

25 JAHRE

TECHNISCHE

HOCHSCHULE

BRESLAU

1910-1935

BH37

m

Archiwum



Festschrift der Technischen Hochschule Breslau

Festschrift

der Technischen Hochschule Breslau

zur Feier ihres 25jährigen Bestehens

1910–1935

Ein Bericht über ihre Entwicklung
und wissenschaftliche Beiträge
aus ihrem Kreise



Verlag von Wilh. Gottl. Korn / Breslau

1935.16



Inv. 18256.



Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung und der Wiedergabe durch den Rundfunk, vorbehalten
Copyright 1935 by Verlag Wilh. Gottl. Korn, Breslau. Printed in Germany
Drucklegung: Wilh. Gottl. Korn in Breslau, Schweidnitzer Straße 47
Papier: Sacrauer Papier- und Zellstoffwattfabrik G. m. b. H., Sacrau



Der Führer des Deutschen Volkes



Ein Führerwort:

„Sichere Nerven und eiserne Zähigkeit sind die besten Garanten für den Erfolg auf dieser Welt.“

Nürnberg, den 5. September 1934.

Unablässiges Forschen und Schürfen sollen unsere Lebensarbeit in klare Bahnen leiten und ihr damit auch Ruhe und Sicherheit verleihen. In diesem Sinne wollen die geistigen Kräfte unserer Technischen Hochschule in dieser Schrift ein Bekenntnis und im Rahmen der übernommenen Aufgaben auch das Gelöbnis treuer Pflichterfüllung ablegen.

Wir stehen im Osten Deutschlands, schicksalsverbunden mit unserem Grenzland Schlesien. Auch der Pflegestätte unserer geistig-technischen Arbeit sind durch den Versailler Vertrag die gleichen schweren Wunden geschlagen worden wie unserer Heimatprovinz. Unsere Technische Hochschule traf dieses harte Schicksal in einem Entwicklungszustand, der schon durch den vorausgegangenen Weltkrieg ungemein stark beeinflußt war. So wurde unsere Aufgabe, welche an technische Lehre und Forschung die Heilung schwerer Schäden und die dringend notwendige Entwicklung nach vorwärts bindet, zum ständigen zähen Ringen. Heute beseelt uns die berechtigte Hoffnung, daß unseren Kämpfen und Mühen durch das nationalsozialistische Deutschland entscheidender Erfolg werden wird.

Breslau, im Mai 1935.

Der Rektor

Professor Rein

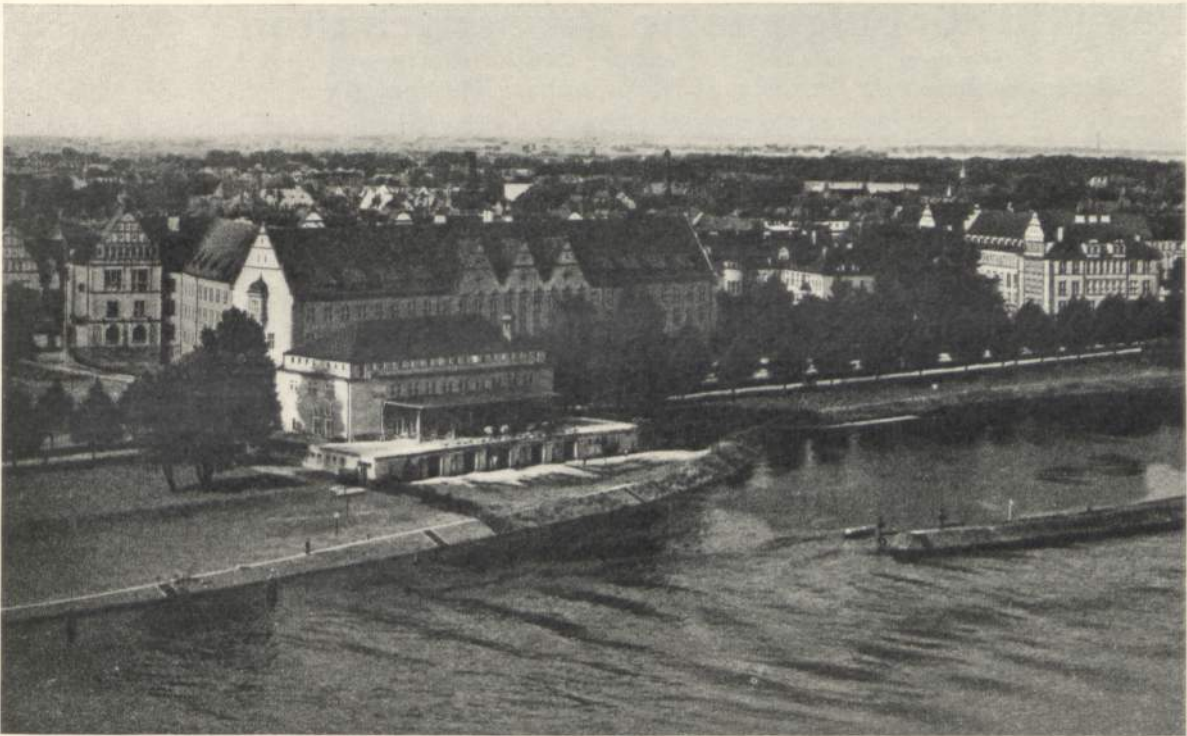
Inhaltsverzeichnis

Das Bild des Führers nach einem Relief von Dozent Dr. phil. habil. Bimler Vorrede Seiner Magnifizenz des Rektors Professor Wilhelm Rein	
Die Technische Hochschule und ihre Einrichtungen. 1910—1935.	3—52
Dr.-Ing. Karl Beger, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule: Eine Darstellung der Höhengliederung von Niederschlagsgebieten	55—60
Dr.-Ing. Alfred Berrer, a. o. Professor, Breslau, Technische Hochschule: Rechenhilfen zur Festigkeitsberechnung von Eisenbetonbauten	61—71
Dr. phil. habil. Kurt Bimler, Dozent, Breslau, Technische Hochschule: Die Wehrbauten der Stadt Breslau	72—94
Heinrich Blecken, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule: Vorstädtischer Wohnungsbau und Altstadtsanierung	95—104
Dr. phil. Constantin Carathéodory, Geheimer Regierungsrat, o. Professor, München, Universität: Einfache Bemerkungen über Nabelpunktskurven	105—107
Dr. phil. Paul Ehrenberg, o. Professor, Breslau, Universität und Technische Hochschule: Zur Erleichterung mancher Schwierigkeiten für den kleineren Bauernhof. Erster Teil.	108—128
Dr. phil. Felix Ehrlich, o. Professor, Breslau, Universität und Technische Hochschule: Über das Pektinproblem. (Aus dem Institut für Biochemie und landwirtschaftliche Techno- logie der Universität Breslau.)	129—141
Dr.-Ing. Karl Euler, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule: Ein neues Verfahren zur Unterdrückung der Oberwellen bei Gleichstrom-Maschinen mit Nutenankern	142—148
Dr. phil. Edwin Feyer, a. o. Professor, Breslau, Technische Hochschule: Über den perspektivischen Charakter von Meßbildern	149—171
Dr.-Ing. habil. Josef Fischer, Dozent, Technische Hochschule: Die Dampfdruckkurve des Thalliums. Messungen und vergleichende Untersuchungen	172—178
Dr. phil. Walter Geisler, a. o. Professor, Breslau, Technische Hochschule: Unterliegen die Wirtschaftsbeziehungen der mitteleuropäischen Staaten geographischen Gesetzmäßigkeiten?	179—188
Dr. sc. nat. habil. Günther v. Geldern-Crispendorf, Dozent, Breslau, Technische Hochschule: Die Standortsbedingtheit der schlesischen Industrien	189—205
Karl Gottwein, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule: Gedanken zur vorjährigen Refa-Schulungswoche in Breslau	206—210
Dr. phil. Hans Happel, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule: Über eine neue Art zur Berechnung der Mondstörungen	211—230
Dr. phil. Hans Happel, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule: Über verschiedene Anwendungen eines Satzes aus der Transformationstheorie der kanoni- schen Differentialgleichungen	231—235
Walter Hartleb, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule: Oberschlesische Basalte im bituminösen Straßenbau	236—242
Dr. rer. pol. habil. Rudolf Hellwig, Dozent, Breslau, Technische Hochschule: Leitsätze zur Finanzierung der Unternehmungen. Grundzüge einer allgemeinen Finan- zierungslehre	243—266
Dr.-Ing. Georg Hilpert, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule: Selbsterregungszeit von Hauptstrommaschinen mit Berücksichtigung der Wirbelströme in den Jochen	267—272
Dr.-Ing. Louis Jaenecke, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule: Welche Höchstgeschwindigkeiten soll man für den Kraftwagenverkehr auf den Autobahnen zulassen?	273—279
Richard Krauß, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule: Fortschritte im Bau der Kraftrohrleitungen für Wasserkraftanlagen mit höheren Gefällen	280—295
Dr. phil. habil. Karl Kröger, Dozent, Breslau, Technische Hochschule, u. Dr.-Ing. Ernst Fingas: Die Gleichgewichte im System $\text{Li}_2\text{O} - \text{SiO}_2 - \text{CO}_2$. (Aus dem Institut für chemische Tech- nologie der Technischen Hochschule Breslau.)	296—306

Cand. rer. mont. Werner Loibl und Ernst-Friedrich Kutter, Studierende, Breslau, Technische Hochschule:	
Magnetische Z-Variometermessungen am Serpentin der Költtschenberge bei Schweidnitz (Schlesien)	307—319
Georg Lotter, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule:	
Erfahrungen und Fortschritte im Bau langachsständiger Eisenbahn-Fahrzeuge	320—328
Dr. phil. habil. Hermann Matzke, Dozent, Breslau, Technische Hochschule:	
Vom Schicksal der Musik im Zeitalter der Technik	329—340
Dr. phil. Ludger Mintrop, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule:	
Über die Periodizität der Gebirgsschläge im westoberschlesischen Steinkohlenbezirk	341—345
Dr. phil. Bernhard Neumann, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule:	
Vanadinsäure als Schwefelsäure-Katalysator	346—354
Dr.-Ing. habil. Walter Reichel, Dozent, Breslau, Technische Hochschule:	
Zur wirtschaftlichen Wechselwirkung zwischen Werkstoff und Werkzeug bei der Metallbearbeitung	355—367
Dr. phil. habil. Otto Rellensmann, Dozent, Breslau, Technische Hochschule:	
Über die Veränderungen der Erdoberfläche beim Abbau von Steinkohlenflözen	368—371
Dr. phil. habil. Heinrich Rose, Dozent, Breslau, Technische Hochschule:	
Die psychologische Bedingtheit des gesamtwirtschaftlichen Erfolges	372—391
Dr. phil., Dr.-Ing. E. h. Otto Ruff, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule:	
Die Messung von Dampf- und Dissoziationsdrucken bis etwa 3000 ^o abs. (Die Bildung und Zersetzung von Siliciumcarbid.) (Aus dem Anorg.-chem. Institut der Technischen Hochschule und Universität Breslau.)	392—400
Dr.-Ing. Johannes Schammel, a. o. Professor, Breslau, Technische Hochschule:	
Zur Theorie der höheren algebraischen Ortskurven der Wechselstromtechnik	401—431
Dr. phil. Rudolf Schenck, Geheimer Regierungsrat, o. Professor, Münster, Universität:	
Die chemische Angreifbarkeit der Mischkristalle.	432—435
Dr. phil., Dr.-Ing. E. h. Werner Schmeidler, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule:	
Dynamik des Schwingenfluges	436—446
Dr. phil., Dr.-Ing. E. h. Werner Schmeidler, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule:	
Die Wirkung der Pfeilstellung eines Tragflügels	447—452
Dr.-Ing. habil. Hermann Steuding, Dozent, Breslau, Technische Hochschule:	
Eine angenäherte Berechnung von Ringschalen	453—456
Dr. rer. techn. Rudolf Suhrmann, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule:	
Über eine der Phosphoreszenz ähnliche Umwandlung von Lichtenergie in Energie freier Elektronen	457—460
Dr.-Ing. Viktor Tafel, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule, und Dipl.-Ing. Gerhard Lampe:	
Neue Wege zur Gewinnung von Nickel aus den Frankensteiner Nickelerzen	461—469
Dr. phil. Erich Waetzmann, o. Professor, Breslau, Technische Hochschule:	
Über die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres.	470—478
Wilhelm Wagenbach, o. Professor, Darmstadt, Technische Hochschule:	
Zur Berechnung der hydraulischen Wandler	479—494
Dr.-Ing. habil. Georg Wagener, Dozent, Breslau, Technische Hochschule:	
Diesellokomotiven unter Tage	495—499
Artur Wechmann, Oberregierungs- und Baurat, a. o. Professor, Breslau, Technische Hochschule:	
Die Talsperrenwirtschaft in Schlesien und ihre weitere Ausgestaltung	500—506
Dr.-Ing. Adolf Zeller, a. o. Professor, Breslau, Technische Hochschule:	
Das südliche Querhaus der Stiftskirche St. Peter zu Wimpfen im Tal	507—519
Dr.-Ing. Ferdinand Zunker, o. Professor, Breslau, Universität und Technische Hochschule:	
Ermittlung der Ergiebigkeit von grundwasserführenden Schichten an Hand von Bodenproben sowie für das Breslauer Grundwasserfassungsgelände durch Auswerten des Thiemschen Versuchsbrunnens	520—536

**Die Technische Hochschule
und ihre Einrichtungen**

1910—1935



Das Hauptgebäude der Hochschule, davor an der Oder das Studentenhaus, ganz rechts das Hüttenmännische Institut

Über die Gründungsgeschichte der Breslauer Technischen Hochschule und über ihre Bauten unterrichten die beiden Festschriften, die anlässlich der Eröffnung 1910 und bei der Einweihung des Erweiterungsbaues 1928 erschienen sind. Es sei daher nur kurz erwähnt, daß auf Anregungen aus weiten Kreisen der Provinz Schlesien, die bis 1902 zurückreichen, die Begründung einer Technischen Hochschule in Breslau in zunächst sehr beschränktem Umfange beschlossen wurde. 1905 begann man mit dem Bau der Gebäude auf dem von der Stadt Breslau geschenkten Bauplatz von rund 3,4 ha Größe. Der ursprüngliche Plan wurde 1906 erweitert, und am 1. Oktober 1910 konnte in Gegenwart des Kaisers die Hochschule mit 32 Lehrkräften in drei Abteilungen eröffnet werden. Neben der Abteilung für Allgemeine Wissenschaften bestand eine Abteilung für Maschinenbau und Elektrotechnik und eine Abteilung für Chemie und Hüttenkunde.

Dauernde Bemühungen führten zur Einrichtung neuer Lehrfächer, u. a. für Physik, Bergbau, Markscheidewesen, Walzwerkskunde, Keramik, auch einige Lehrstühle des Bauwesens wurden geschaffen, die man zunächst den bestehenden Fakultäten einordnete. 1928 konnte der Erweiterungsbau des Hauptgebäudes eingeweiht werden, und in demselben Jahre wurde auch die Fakultät für Bauwesen feierlich eröffnet, in der sich die schon vorhandenen und in der Folge noch geschaffenen Lehrfächer des Bauwesens vereinigten.

So tritt die Hochschule in ihr 25jähriges Jubiläum mit 90 Dozenten in vier Fakultäten ein. Die Fakultät für Allgemeine Wissenschaften hat die Fächer der Mathematik, Physik und Chemie, die Fakultät für Bauwesen umfaßt Architektur und Bauingenieurwesen, die Fakultät für Maschinenwesen enthält Maschinenbau und Elektrotechnik, und die Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen hat die in ihrem Namen enthaltenen Fächer. Über die einzelnen Lehrgebiete soll im folgenden berichtet werden.

Fakultät für Allgemeine Wissenschaften

Seit dem Bestehen der Hochschule ist die **höhere Mathematik** neben der darstellenden Geometrie durch zwei Ordinariate vertreten gewesen, die von den Professoren Steinitz und Carathéodory, dann Dehn und Nielsen, seit 1921/22 von den Professoren Schmeidler und Noether wahrgenommen wurden, seit 1933 von Prof. Schmeidler allein. Die Unterrichtsaufgaben bestehen vor allem in der mathematischen Schulung der Studierenden aller Fachrichtungen, seit 1921 darüber hinaus in der Ausbildung von Diplomkandidaten der Fachrichtungen Mathematik und Physik sowie von Anwärtern für das Lehramt an höheren Schulen. Während die Herren Steinitz, Carathéodory, Dehn und Nielsen in ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit die reine Mathematik bevorzugten und darin als anerkannte Forscher auf den verschiedensten Gebieten Hervorragendes leisteten, wurde seit 1921/22 die angewandte Mathematik mit besonderem Nachdruck gepflegt. Professor Noether hat in den elf Jahren seiner Amtsführung eine Anzahl von Arbeiten aus der theoretischen Elektrotechnik und Mechanik, zum Teil in Verbindung mit den entsprechenden technischen Lehrstühlen teils selbst verfaßt, teils von Doktoranden bearbeiten lassen, und Prof. Schmeidler wandte sich von seinem ursprünglichen Arbeitsgebiete der abstrakten Algebra in steigendem Maße mathematischen Untersuchungen aus der Strömungslehre und aus dem Flugzeugbau zu. Hierin wurden ebenfalls eine Anzahl von eigenen Arbeiten und Dissertationen veröffentlicht.

Eine ergänzende mathematische Unterrichtstätigkeit nebst eigenen Arbeiten, besonders aus dem Gebiete der partiellen Differentialgleichungen und der Integralgleichungen, leistete seit 1928 der Privatdozent für Mathematik Dr. Erich Rothe.

Im Jahre 1928 wurde dem Lehrstuhl für Mathematik unter Leitung von Prof. Schmeidler der **Versuchsflugzeugbau** angegliedert, in dem im ganzen bisher drei Flugzeuge gebaut worden sind, die besonders das Problem der im Fluge veränderlichen Tragfläche betrafen und insofern für den Flugzeugbau allgemein Bedeutung gewannen, als seit dem immer mehr von dem Prinzip des starren Drachenfluges zu einem Flugzeugtyp übergegangen wird, der imstande ist, sich den verschiedenen Flugbedingungen bei Start und Steigflug, Reiseflug und Landung möglichst gut anzupassen. Finanzielle Beihilfen zu diesen Bauten leisteten neben den Freunden

der Hochschule und dem Kultusministerium vor allem die Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft und neuerdings das Reichsluftfahrtministerium.

Auch die Studierenden haben seit dem Jahre 1924 auf dem Gebiete des Flugwesens eifrig mitgearbeitet. Zu nennen sind hierbei vor allen Dingen die akademischen Fliegereisen, insbesondere Marcho-Silesia, und die interkorporative Flugwissenschaftliche Vereinigung der Breslauer Hochschulen. Während die Marcho-Silesia haupt-



Flugzeug mit vergrößerten Tragflächen

sächlich dem Segelflugsport oblag und mit selbstkonstruierten und selbsterbauten Maschinen in Grunau und in der Rhön an den Segelflugwettbewerben erfolgreich teilnahm, wurde der Motorflugsport durch die Flugwissenschaftliche Vereinigung gepflegt, deren Piloten übrigens auch meistens Marchosilesen waren.

Die Professur für **Geometrie** wurde bei der Gründung der Hochschule Prof. Dr. Hessenberg übertragen. Mit kritischem scharf-

sinnigen Geist verband er die Fähigkeit, die behandelten Probleme in anschaulicher, geometrischer Weise zu erfassen. Unter seinen zahlreichen Arbeiten seien hier genannt: Über die Invarianten binärer Differentialformen und ihre Anwendung auf die Deformation der Flächen. Vektorielle Begründung der Differentialgeometrie. Begründung der elliptischen Geometrie. Neue Begründung der Sphärik. Ferner hat er ebenfalls mit großem Erfolg Probleme aus demjenigen Gebiet behandelt, das er selbst als kritische Mathematik bezeichnet. Auch als Verfasser von Büchern ist Hessenberg bekannt (ebene und sphärische Trigonometrie, Grundbegriffe der Mengenlehre, Transzendenz von e und π , Darstellende Geometrie, Analytische Geometrie).

Nach Hessenbergs Berufung nach Tübingen wurde Prof. Dr. Feyer vertretungsweise mit der Verwaltung der Professur für Geometrie beauftragt.

Im Jahre 1920 wurde diese Prof. Dr. Happel übertragen. Bald danach erwuchs der Fakultät für Allgemeine Wissenschaften neue Aufgaben, da diese das Recht erhielt, Diplom- und Staatsexamenskandidaten heranzubilden, für die besondere Vorlesungen eingerichtet werden mußten. In einer größeren Zahl von Arbeiten wurden speziellere Probleme aus dem Gebiet der Geometrie und der theoretischen Mechanik (insbesondere der Himmelsmechanik) behandelt. In seinen eigenen Arbeiten beschäftigte sich Prof. Happel ursprünglich mit Fragen aus der theoretischen Physik, später wandte er sich der angewandten Mathematik und theoretischen Mechanik (insbesondere auch der Himmelsmechanik) zu. In den letzten Jahren hat er sich u. a. mit der Zusammenstellung seiner Vorlesungen über das Dreikörperproblem zu einem umfangreicheren Werk beschäftigt, das jetzt zum größten Teil fertiggestellt ist.

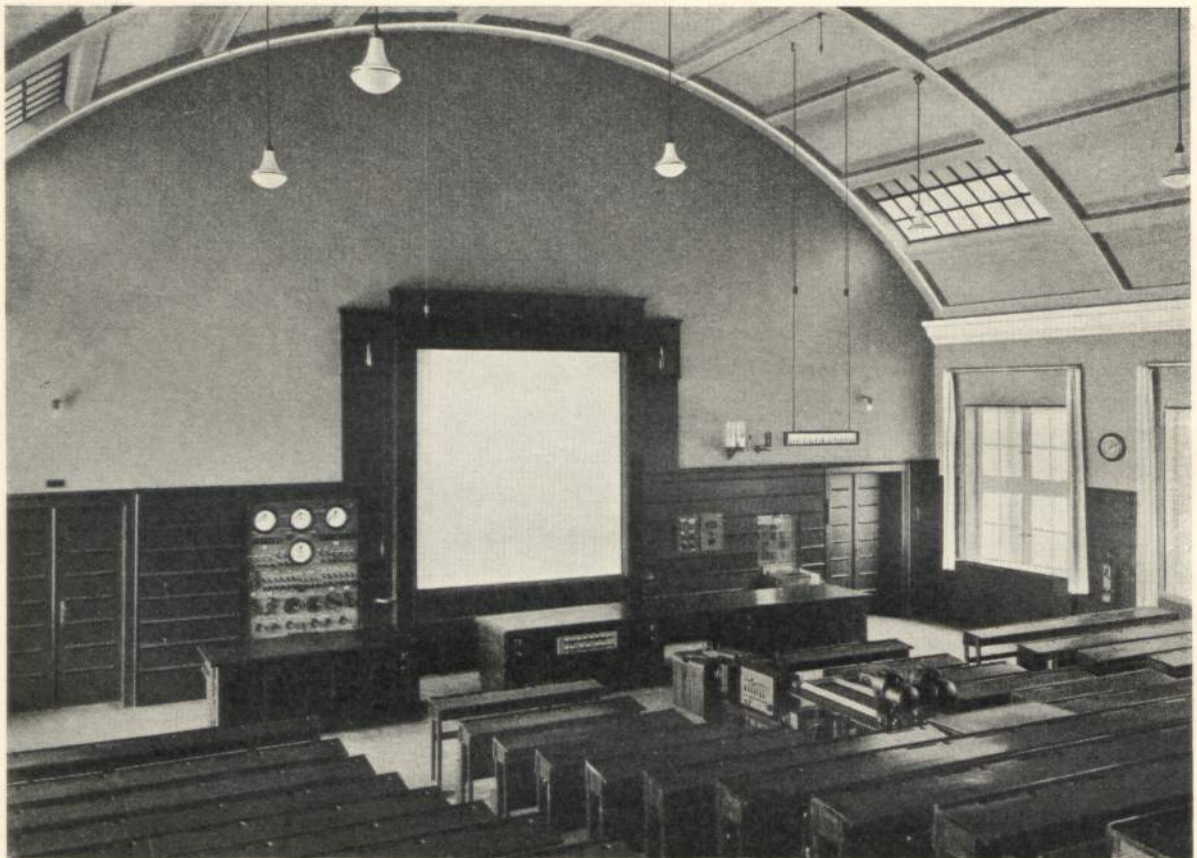
Prof. Dr. Feyer (zugleich Dozent für Geodäsie) hat während der letzten Jahre den Unterricht in Zentralperspektive für Architekten übernommen.

Der Lehrstuhl für **Mechanik** unter Prof. Dr.-Ing. Mann dient den Bedürfnissen der Studierenden sämtlicher Fakultäten. Der Unterricht umfaßt die Gebiete der Statik einschließlich der speziellen Statik der Baukonstruktionen, ferner der technischen Festigkeitslehre und der Dynamik und wird zusammen mit zwei Assistenten ausgeübt. Von diesen hat Privatdozent Dr. Steuding seit einiger Zeit eine selbständige Dozentur für Strömungslehre inne.

Dem Lehrstuhl ist eine Versuchsanstalt für Mechanik und Statik der Baukonstruktionen angegliedert, die zum Teil aus Stiftungsmitteln allmählich ausgebaut werden konnte.



Flugzeug mit verkleinerten Tragflächen



Hörsaal des Physikalischen Instituts

Die Forschung erstreckt sich auf Probleme der angegebenen Gebiete und hat neben den zahlreichen durch die Industrie angeregten praktischen Ergebnissen eine Reihe von Veröffentlichungen in Buchform und als Einzelabhandlungen und Dissertationen hervorgebracht.

Die Fachrichtung **Physik** besteht seit 1926. Das damals noch im Bau befindliche Physikalische Institut wurde nach Angaben des jetzigen Direktors (Prof. Dr. E. Waetzmann, Phys. ZS. 29, 884, 1928) eingerichtet. Vom Wintersemester 1928/29 an konnte der Unterrichtsbetrieb in den neuen Räumen in vollem Umfange aufgenommen werden, nachdem zwei Jahre lang die Vorlesungen und Übungen teils im Universitätsinstitut, teils in einer im Hofe der Technischen Hochschule errichteten Holzbaracke abgehalten worden waren. Der Ausbildung der Lehramtskandidaten an der Technischen Hochschule wird seit 1931 durch einen Lehrauftrag für Schulphysik (Studienrat Dr. Groß) Rechnung getragen.

Die aus dem Institut hervorgegangenen wissenschaftlichen Arbeiten, über die laufend in den Fachzeitschriften berichtet wird, haben in erster Linie das Gebiet der Akustik zum Gegenstand. Besondere Beachtung wird den technischen Anwendungsmöglichkeiten der Physik geschenkt. Eine Anzahl von Doktor- und Diplomarbeiten beschäftigte sich mit der Erprobung und Verfeinerung spezieller akustischer Meßmethoden: Das Verhalten sehr dünner Wollastondrähte als Thermomikrophone wurde unter den verschiedensten Bedingungen eingehend geprüft und dabei nachgewiesen, daß das Thermomikrophon auch bei Ultraschall verwendet werden kann; die für die Eichung von Mikrophonen und für Hörschwellenmessungen außerordentlich wichtige Thermophontheorie konnte verbessert werden; es wurde ein Kompensationsmikrophon sehr kleiner Ausdehnung konstruiert, das beispielsweise für die Messung der räumlichen Schalldruckverteilung bestimmt ist. Mit Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft fanden Untersuchungen statt, die in das Grenzgebiet zwischen Physik und Medizin gehören: Es wurden Hörschwellenwerte nach verschiedenen Methoden bestimmt; die

entsprechenden Messungen werden noch fortgesetzt. Im Anschluß an die Bestimmung von Hörschwellenwerten wurden auch Widerstandsmessungen an Trommelfellen vorgenommen. Das Problem der akustischen Filter, das für die Schallunterdrückung in Rohrleitungen von großer Bedeutung ist, fand theoretische und experimentelle Behandlung. Ferner entstanden Arbeiten über akustische Widerstände verschiedener Art, über die Kopplung zwischen Telephonmembranen und Lufträumen und über den Nachhall in geschlossenen Räumen, die zum großen Teil der Institutsleiter gemeinsam mit dem Oberassistenten Dr. Schuster ausführte. Von nicht akustischen Arbeiten sind besonders Arbeiten über den Ramaneffekt und über die optischen Eigenschaften dünner Schichten hervorzuheben.

Außer den eigentlichen Forschungsarbeiten sind aus dem Institut eine ganze Reihe von Handbuchartikeln hervorgegangen: „Hörtheorien“ und „Ton, Klang und sekundäre Klangerscheinungen“ (Waetzmann), „Lichtinterferenz“ (Waetzmann und Schuster), „Thermische Schallerzeugung“ (Friese), „Die Herstellung von Tönen verschiedener Frequenz und Intensität“ (Murmans und Schuster). In Buchform veröffentlichte Prof. Waetzmann 1934 eine für weite Kreise bestimmte „Schule des Horchens“, die auch zahlreiche Übungen für den Geländesport enthält. Ferner besorgte er 1933 die Herausgabe einer zweibändigen „Technischen Akustik“ im Rahmen des Handbuches der Experimentalphysik von Wien-Harms; mehrere Institutsangehörige arbeiteten an dieser Technischen Akustik mit. Endlich hat Prof. Waetzmann von dem Lehrbuch der Physik von Müller-Pouillet den Akustikband im wesentlichen neu geschrieben.

Es war für den Institutsbetrieb außerordentlich wichtig, daß in der eignen Werkstatt eine große Anzahl von Apparaten hergestellt werden konnte.

Die Fachrichtung **Chemie** ist bei der Gründung der Hochschule mit besonderer Sorgsamkeit organisiert und ausgestattet worden. Sie erhielt auf Grund der guten Erfahrungen, die man an den älteren Technischen Hochschulen Deutschlands mit der Aufteilung der Chemie in einzelne Ordinate gemacht hatte, vier ordentliche Professuren, denen die folgenden Institute angegliedert sind:

1. Institut für anorganisch-chemische Technologie, Kokerei- und Gaslaboratorium,
2. das Anorganisch-chemische Institut,
3. das Physikalisch-chemische Institut,
4. das Organisch-chemische Institut.

Die Erfolge der Institute in den hinter uns liegenden fünfundzwanzig Jahren haben die Zweckmäßigkeit dieser Einrichtungen bewiesen.

Der Fachrichtung Chemie gehört ferner ein Institut für feuerfeste Materialien und Keramik an, das von einem Honorarprofessor geleitet wird und in seiner jetzigen Gestalt 1929 eingerichtet wurde. Das Anorganisch-chemische, das Physikalisch-chemische und das Organisch-chemische Institut sind im Chemiegebäude untergebracht, das Institut für anorganisch-chemische Technologie sowie das Keramische Institut im Gebäude des Hüttenmännischen Instituts.

Zur Vereinheitlichung des Chemieunterrichts an den beiden Breslauer Hochschulen ist eine Vereinigung der Chemischen Institute beider Hochschulen vorgesehen, die im Jahre 1933 begonnen hat und in etwa drei bis vier Jahren beendet sein soll. Zu diesem Zwecke und zur Erweiterung und Vervollständigung des Unterrichts und der Forschungsmöglichkeiten ist ein Neubau auf dem Gelände der T. H. geplant. — Die Ordinarien der T. H. gehören gleichzeitig der Philosophischen Fakultät der Universität an, ebenso die Chemieordinarien der Universität der Fakultät für allgemeine Wissenschaften der T. H. Hierdurch besteht für die Studierenden der T. H. die Möglichkeit, sich mit den Grenzgebieten der Chemie und Landwirtschaft, der Biochemie und der landwirtschaftlichen Technologie, zu befassen. Auch der bisherige Direktor des Schlesienschen Kohlenforschungsinstituts der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und der Direktor des Deutschen Forschungsinstituts für Bastfasern in Sorau gehören der Fachrichtung Chemie als Honorarprofessoren an.

Dem ersten Inhaber des Lehrstuhls für **anorganische Chemie** Prof. Dr. Stock folgte nach vorübergehender Vertretung durch den damaligen Ordinarius für physikalische Chemie

Prof. Dr. Schenck, 1916 Prof. Dr. Dr.-Ing. e. h. Ruff, der bis dahin den Lehrstuhl für anorganische Chemie und Elektrochemie sowie anorganisch-chemische Technologie an der T. H. zu Danzig innegehabt hatte.

Die Einrichtung des Breslauer Instituts, das zur Zeit seiner Inbetriebsetzung als ein Musterinstitut der deutschen Hochschulen galt, ist durch Prof. Dr. Stock geschehen. Prof. Ruff hat das Institut durch den Ausbau seiner Einrichtungen für Hochtemperatur-Chemie, durch eine Abteilung für Röntgenkunde und einiger Räume für physikalisch-chemische Arbeiten, insbesondere für solche mit Wechselstrom, erweitert. Bei dem Ausbau des Röntgenlaboratoriums trug besonders Privatdozent Dr. Ebert für die sachgemäße und sehr reichhaltige Ausstattung Sorge. Unter den zahlreichen Mitarbeitern beim Unterricht im Laboratorium sei vor allem Privatdozent Dr. Hartmann erwähnt, dem die Vorlesungen über analytische Chemie 1926 übertragen worden sind.

Der Besuch des Laboratoriums durch Studierende war zu allen Zeiten befriedigend und entsprach den Erwartungen, die man bei der Gründung der Hochschule gehegt hatte. Besondere Anleitungen für den Unterricht in den verschiedenen Fachrichtungen wurden von Prof. Ruff und seinen Mitarbeitern angefertigt und sind heute nicht bloß in dem Breslauer Institut, sondern auch an anderen deutschen Instituten im Gebrauch. Fast alle Mitarbeiter haben in Industrie und Wissenschaft gutes, zum Teil sogar sehr gutes Unterkommen gefunden.

Die Forschungsarbeit, welche in einem chemischen Institut nicht bloß für dessen äußeres Ansehen, sondern auch für die Ausbildung der Studierenden von besonderer Bedeutung ist, bewegte sich so ziemlich auf allen Gebieten chemischer Tätigkeit und zeitigte manch erfreuliche Erfolge wissenschaftlicher und technischer Art. Erwähnt seien nur die Tieftemperaturarbeiten von Prof. Stock und dessen Arbeiten über Borane und Silane. Unter der Leitung von Prof. Ruff waren die Arbeiten des Instituts während des Weltkrieges vor allem durch die Bedürfnisse der Kriegswirtschaft bestimmt; die Verbesserung der Wasserfestigkeit der damals gefertigten Papiergewebe, die Erzeugung eines Lacks ohne die Verwendung organisch-chemischer Lösungsmittel waren erfreuliche Erfolge. Nach dem Krieg folgten zahlreiche Arbeiten über das Fluor und seine Verbindungen, über plastische Massen, aktive Kohle, Silicagel, Gasausbrüche in Steinkohlengruben, Hochtemperaturchemie und andere. Die äußere Anerkennung der wissenschaftlichen Erfolge fand in mannigfachen Ehrungen der Professoren Stock, Schenck und Ruff im In- und Ausland ihren Ausdruck.

Die Abteilung für Röntgenkunde gab zahlreichen Schülern die Möglichkeit der Weiterentwicklung und der Leistung von Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet. Die Abteilung machte sich durch die wissenschaftlichen Erfolge, die sie ihrem Leiter, Privatdozent Dr. Ebert, verdankte, in Deutschland rasch bekannt. Ihm wurde im Oktober 1933 der in Preußen erstmalig eingerichtete Lehrauftrag für Röntgenkunde erteilt.

Die erfolgreichen Forschungsarbeiten des Privatdozenten Hartmann beschäftigten sich vor allem mit den Alkali- und Erdalkalimetallen sowie ihren Stickstoffverbindungen.

Das im Jahre 1912 eingerichtete Institut für **chemische Technologie** wurde im Gebäude für die Hüttenkunde untergebracht, weil die drei anderen Fachrichtungen der Chemie das dafür bestimmte Gebäude vollständig ausfüllten. Die Lage des neuen Instituts im ausgebauten Dachgeschoß brachte zwar genügend Platz, schuf aber bezüglich der Abzugsverhältnisse, des Wasserdrucks usw. einige Unzuträglichkeiten, auch konnten schwere Maschinen und Akkumulatoren nicht aufgestellt werden.

Obgleich diese Umstände der vollen Ausnutzung wissenschaftlicher Möglichkeiten hinderlich waren, hat das Institut doch in Unterricht und Forschung beachtliche Erfolge erzielen können.

Der erste Direktor, Prof. Lütj, starb im März 1914 und das Institut übernahm vom 1. April 1914 ab der jetzige Inhaber Prof. Dr. Neumann.

Ein einsemestriges ständiges Chemisch-technisches Praktikum wurde neu für die Studierenden eingerichtet und wird nach dem Vorexamen absolviert. Zu den Vorlesungen über das Gebiet

der Technischen Chemie traten noch solche über Technische Elektrochemie und über Chemisch-technische Berechnungen. Seit 1919 ist dem Institut das Kokereilaboratorium angegliedert, das ursprünglich nur als Übungsraum für Hüttenleute zu kokereitechnischen Untersuchungen gedacht war; es ist zu einem kokereitechnischen und gaschemischen Institut erweitert worden, in welchem jetzt auch die Praktikanten des Chemisch-technischen Laboratoriums ihre Untersuchungen über Brenn-, Heiz- und Kraftstoffe, Industriegase usw. neben Verkokungs- und Verschwelungsversuchen durchführen.

Im Chemisch-technischen Praktikum werden die Studierenden hauptsächlich mit den verschiedenen in der Technik verwendeten Prozessen vertraut gemacht, soweit sich solche in kleinem Maßstabe durchführen lassen. Hiermit geht Hand in Hand die Untersuchung und Bewertung der Ausgangsmaterialien und der Fertigprodukte, auch elektrochemische und elektrothermische Prozesse sind in die Übungsaufgaben einbezogen.

Da die Studierenden der Chemie die Wahl haben, ihre Diplomarbeit nach Belieben in einem der vier chemischen Institute ausführen zu können, so sind dauernd auch Diplomkandidaten und Doktoranden im Institut mit Experimentaluntersuchungen beschäftigt.

Trotz der erwähnten Lage des Instituts ist die Anzahl der aus ihm hervorgegangenen wissenschaftlichen Arbeiten sehr groß. Seit Übernahme des Instituts durch den jetzigen Inhaber sind 125 Arbeiten veröffentlicht worden, welche die verschiedensten Gebiete der chemischen Technik betreffen. Davon seien genannt: Leichtmetallgewinnung im Schmelzfluß, Ammoniak- und Cyanwasserstoffoxydation zu Salpetersäure, Chlorgewinnung, synthetische Salzsäure, Chlorkalk, Schwefelsäure-Kontaktprozeß, Bleicherden, Ammoniak soda, Schwefelkohlenstoff- und Chlorschwefelzerlegung, Ätznatron, Tonerde, Superphosphat, oxydierende, sulfatisierende und chlorierende Röstung, Bleiraffination, Salzglasur, und andere Glasuren, Antike Gläser und Glasmalerei, Silikatchemie, Verkokerei.

Ein im Institut besonders gepflegtes Arbeitsgebiet ist das der chemischen Katalyse. Mehrere dieser Untersuchungen sind schon oben bei den technischen Gebieten mit aufgeführt, andere, neben solchen von technischem Interesse (Essigsäure, Formaldehyd), dienen mehr der wissenschaftlichen Aufklärung. Hierzu gehören zahlreiche Untersuchungen über Gasgleichgewichte (Methangleichgewicht, Wassergasgleichgewicht, Kohlenoxydverbrennung, Methan-Kohlensäureumsetzung). Zur Aufklärung von Vorgängen bei einigen technischen Prozessen sind weiter noch eine größere Anzahl Untersuchungen über die Dissoziationsdrucke von Sulfaten und Nitraten, über die Adsorptionsverhältnisse an Katalysatoren, über die Bildungswärmen von Nitriden usw. ausgeführt worden. Eine Anzahl anderer Arbeiten des Direktors beschäftigen sich mit der Geschichte der Metalle und der chemischen Technik und der Aufklärung antiker Arbeitsverfahren.

Oberassistent und Privatdozent Dr. Kröger behandelte in seinen Vorlesungen die physikalische Chemie technischer Verfahren; technische Katalyse; Grundlagen des Gas- und Luftschutzes. Die speziellen Experimentaluntersuchungen betreffen die Aufklärung der Gleichgewichte in polynären silikatischen Systemen, insbesondere der Vorgänge bei der Gasbildung.

Über Gasanalyse und Gastechnik liest auch der Oberstadtchemiker Dr. Nauß.

Die Unterrichtstätigkeit des Lehrstuhls für **physikalische Chemie** will den Studierenden der Chemie, der Hüttenkunde und des höheren Lehramts eine Grundlage in dieser Wissenschaft vermitteln und einzelnen fortgeschrittenen Studierenden und Diplomingenieuren eine physikalisch-chemische Spezialausbildung geben, die für die erfolgreiche Tätigkeit in manchen Zweigen der chemischen Großindustrie unerlässlich ist. Die besondere Ausbildung besteht in der Durchführung größerer wissenschaftlicher, den Charakter von Forschungsarbeiten tragender Untersuchungen.

Das Physikalisch-chemische Institut wurde bei der Gründung der Hochschule durch Professor Dr. Abegg eingerichtet, der die Leitung jedoch nicht mehr übernehmen konnte, da er 1910 durch einen Unglücksfall verstarb.

Der erste Leiter des Instituts war Prof. Dr. Schenck, der 1915 einem Rufe nach Münster folgte. Sein Nachfolger wurde Prof. Dr. Eucken, der jedoch bis 1919 als Kriegsteilnehmer beurlaubt war. Während seiner Abwesenheit vertrat ihn Prof. Dr. Bornemann, der damalige Inhaber des Lehrstuhls für Metallhüttenkunde. Unter der Leitung von Prof. Eucken entfaltete das Institut eine rege wissenschaftliche Tätigkeit. Es wurden Probleme der physikalischen und chemischen Wärmelehre behandelt, die sich vorzugsweise auf das Verhalten der Materie bei sehr tiefen Temperaturen bezogen. Ferner wurden Themen aus der theoretischen Elektrochemie bearbeitet und Untersuchungen über die Eigenschaften der Metalle angestellt. In der Zeit seiner hiesigen Tätigkeit veröffentlichte Prof. Eucken außerdem eine Reihe weit verbreiteter Lehrbücher.

Nachdem er im Jahre 1930 als Professor für physikalische Chemie an die Universität Göttingen berufen worden war, übernahm Prof. Dr. Simon Ostern 1931 die Leitung des Instituts. Er arbeitete hauptsächlich über das Verhalten der Materie bei tiefen Temperaturen und richtete zu diesem Zweck ein Kältelaboratorium ein, in dem flüssige Luft und flüssiger Wasserstoff in größeren Mengen hergestellt werden und Helium verflüssigt werden kann. Im Sommer 1933 ging Professor Simon als Inhaber einer Forschungsprofessur am Clarendon Laboratory nach Oxford.

Seine Nachfolge trat Prof. Dr. Suhrmann im Oktober 1933 an. Die wissenschaftliche Tätigkeit des jetzigen Institutsleiters erstreckt sich auf Arbeiten über die physikalische Chemie der Metalle, insbesondere lichtelektrische und glühelektrische Elektronenemission, das elektrische Leitvermögen, elektrische und optische Eigenschaften von Metalloberflächen, Untersuchungen zur Klärung der katalytischen Aktivität sowie spektralanalytische Untersuchungen im ultraroten, sichtbaren und ultravioletten Teil des Spektrums. Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeiten haben in zahlreichen Veröffentlichungen, zum Teil in Form von Büchern, ihren Niederschlag gefunden.

Die Zusammenarbeit der früheren und des jetzigen Lehrstuhlinhabers mit der Industrie führte zur erfolgreichen Anwendung der gewonnenen Forschungsergebnisse bei der Lösung zahlreicher technischer Aufgaben.

Die Eröffnung des **Organisch-chemischen Instituts** erfolgte im Jahre 1910. Der Direktor des Instituts, Prof. Dr. Semmler, war vom Jahre 1919 ab durch politische Tätigkeit an der unmittelbaren Leitung des Instituts behindert und wurde bis März 1923 von Privatdozent Dr. phil. Jonas vertreten, der sich im Mai 1919 für Organische Chemie habilitiert hatte. Vom Sommersemester 1923 bis Wintersemester 1933/34 lag die Leitung des Instituts in Händen des ordentlichen Prof. Dr. phil. Straus. Seit Sommersemester 1934 ist mit der vertretungsweisen Wahrnehmung der Direktorgeschäfte der Privatdozent Dr. phil. Voß beauftragt, dessen Habilitation für das Lehrfach Organische Chemie im Februar 1931 erfolgt war.

Das Institut war bei Errichtung mit den nötigen Apparaturen gut ausgestattet worden; eine später notwendige räumliche Vergrößerung ist durch den Ausbau einer Dienstwohnung zu Arbeitsräumen im Jahre 1924 erfolgt.

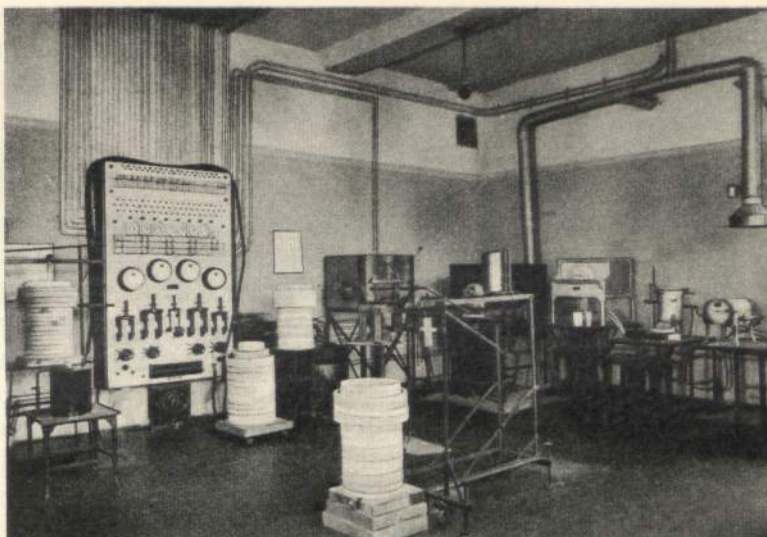
Die im Institut geleistete wissenschaftliche Arbeit der Lehrkräfte gemeinsam mit einer großen Zahl von Mitarbeitern begann mit Untersuchungen auf dem Gebiete der Terpene (Semmler), daran schlossen sich grundlegende Arbeiten aus der Chemie der Sesquiterpene (Semmler, Jonas); weiterhin wurden Untersuchungen über Lignine und Humussäuren (Jonas) durchgeführt. Spätere Probleme bezogen sich auf die Chemie ungesättigter Verbindungen und die Frage der Polarität der Kohlenstoff-Halogen-Bindungen (Straus), Ester der schwefligen Säure, Peptide der Glutaminsäure und die Untersuchung junger hochverholzter Materialien (Voß). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der einschlägigen Fachliteratur mitgeteilt worden.

Schon bei der Gründung der Technischen Hochschule Breslau war in Anbetracht der Wichtigkeit gerade der feuerfesten Baustoffe für die Hüttenindustrie und im Hinblick auf die besondere Stellung jener Industrie innerhalb der keramischen Betriebe Schlesiens auch ein

„Institut für feuerfeste Materialien und Keramik“

geschaffen worden, das die Beziehungen zwischen dieser auf hoher Stufe stehenden, allerdings bisher meist empirisch behandelten Technik und den exakten Naturwissenschaften pflegen und besonders den Studierenden der Hüttenkunde einen Einblick in diese wichtige und bedeutende Fabrikation vermitteln sollte.

Die Leitung des Institutes und die hauptamtliche Dozentur hatte von 1910—1929 Dr. Hollmann inne und seit dessen Pensionierung Honorarprofessor Dr. phil. Krause.



Ofenraum

Das Fortschreiten der keramischen Forschung ließ mehr und mehr die Gleichartigkeit der in den verschiedenen Zweigen der Keramik zu lösenden Probleme erkennen. Diese Momente erforderten eine Umstellung und Erweiterung der Lehr- und Forschungsaufgaben des Institutes, zumal auf das Drängen industrieller Kreise zwecks Ausbildung für die Leitung keramischer Betriebe geeigneter Akademiker schon 1925 mit einem besonderen Studien- und Prüfungsplan eine chemische Sonderfachrichtung „Keramik“ eingeführt worden war. Trotz schwierigster Verhältnisse gelang es, Institutseinrichtungen zu schaffen, die allen Erfordernissen moderner Forschung genügen, so daß mit den nunmehr vorhandenen Ofen, Maschinen, Meßinstrumenten und Werkzeugen alle Arten von Untersuchungen und Prüfungen von Rohstoffen und Fertigfabrikaten und auch keramische Betriebsarbeiten in bezug auf Masseherstellung, Formgebung und Brennen durchgeführt und so an der Weiterentwicklung keramischer Wissenschaft und Praxis mitgearbeitet werden kann.

Aus dem Institut gingen in den letzten fünf Jahren eine größere Anzahl von Diplom- und Doktorarbeiten hervor, die fast durchweg Fragen der keramischen Praxis behandelten und in einer Reihe von Veröffentlichungen in keramischen Fachzeitschriften ihren Niederschlag fanden. Es werden vorzugsweise die Sinterungsvorgänge und die Konstitution keramischer Massen, ferner die für den praktischen Brennbetrieb besonders wichtigen Fragen des Einflusses von Brenntemperatur, Brenndauer und Ofenatmosphäre auf die Strukturänderungen, Sinterungsvorgänge und Eigenschaften keramischer Erzeugnisse und auf deren innere Zusammenhänge bearbeitet. Das Institut beschäftigt sich schließlich auch mit Fragen der keramischen Betriebskontrolle und Arbeiten über die Ausschaltung ausländischer Rohstoffe und deren Ersatz durch einheimische sowie mit Versuchen zur Veredlung minderwertiger keramischer Rohstoffe.

Das **Schlesische Kohlenforschungsinstitut** in Breslau, Auenstraße 36/38, ist zwar eine Gründung der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften in Berlin, hat aber von Anfang an im engsten Freundschaftsverhältnis zur Technischen Hochschule Breslau gestanden und darf deshalb in diesem Kreise nicht fehlen.

Errichtet aus den Mitteln einer Dreimillionen-Goldmark-Spende des verstorbenen schlesischen Großindustriellen, Geheimrat Fritz von Friedländer-Fuld, fiel sein Arbeitsbeginn in die Zeit des schwersten deutschen Zusammenbruches. Weil damals Materialmangel und Streiks die Errichtung eines Institutsneubaus trotz der reichen Mittel der Stiftung unmöglich machten, gewährte die Technische Hochschule dem heimatlosen Institut durch gastliche Aufnahme in

ihrem Chemisch-physikalischen Institute (Prof. Dr. Eucken) für mehrere Jahre wertvollste Arbeitsmöglichkeit. Seit dem Frühjahr 1922 wirkt das Institut auf eigenem Grundstück, das ihm — in Größe von fünf preußischen Morgen — die Stadt Breslau schenkte.

Neben dieser engen Verbundenheit von Hochschule und Institut besteht auch noch eine Personalunion, da der erste Institutsdirektor Prof. Dr. phil., Dr. med. h. c. Hofmann zugleich ordentlicher Honorarprofessor der Chemie und Hüttenkunde und Mitglied der Fakultät für Stoffwirtschaft (jetzt Fakultät für allgemeine Wissenschaften) der Technischen Hochschule ist.

In den schweren Nachkriegs- und Inflationsjahren ging das Stiftungskapital fast restlos verloren. Das tatkräftige Eintreten der drei schlesischen Steinkohlensyndikate sowie der Stadt Breslau sicherte jedoch den Weiterbestand der jungen Forschungsstätte, welcher weder Reich noch Preußen Hilfe gewähren konnten. Es gelang dem Institute, seine anfangs recht bescheidenen Anlagen mehr und mehr auszubauen und auf die nötige technische Höhe zu bringen.

Im Aufgabenbereich des Institutes, der Bearbeitung von wissenschaftlichen und technischen die Kohle angehenden Fragen chemischer Art, galt die erste Studie der Aufklärung der chemischen Wesensart der einheimischen Kohle. Bei der außerordentlichen Schwierigkeit dieses Problems darf man es schon als Fortschritt bewerten, daß in den kalt bereiteten Extrakten der Kohle chemische Individuen in größerer Zahl aufgefunden und in ihrer Konstitution aufgeklärt werden konnten, die als solche in dem ursprünglichen Fossil vorhanden sind.

Ferner entstand eine brauchbare Methode zur Brikettierung von Steinkohlenstaub ohne Bindemittel. Mit beachtlichem Erfolge wurde an der Gewinnung eines noch brauchbaren Kokes aus nichtkokenden oberschlesischen Kohlen gearbeitet. Das Institut setzte sich mit Wort und Schrift auf Grund seiner kritischen Nachprüfung für den Bergius-Prozeß der Kohleverflüssigung damals schon ein, als dessen Wert noch in Zweifel gezogen wurde. Katalytische Arbeiten führten dazu, aus Abfallgasen der Kokerei wie der Erdölcrackung — besonders aus Aethylen — neue hochwertige Öle zu synthetisieren, die auch als Transformatorenöle brauchbar sind. Damit wurden die in anderen deutschen Forschungsstätten gefundenen Benzin-Herstellungsverfahren für das Gebiet der hochviskosen Öle ergänzt, die ja gleichfalls als moderne Betriebsstoffe unerlässlich sind. Auch den Vorgängen im Diesel- und Explosionsmotor gilt schon seit geraumer Zeit die Arbeit des Institutes, wobei es immer von der Absicht geleitet wird, die unsere Einfuhr gewaltig belastenden Motoren-Betriebsstoffe durch eigenes Kohlegut zu bereichern oder gar zu ersetzen.

Studien aus dem Gebiete der Polymerisation und Kondensation vermittelten neue theoretisch interessante oder praktisch brauchbare Reaktionen zum Raffinieren von Kohle- und Erdölen. Zumal die Reinigung der Benzolkohlenwasserstoffe wurde in neue Bahnen gelenkt und rationeller gestaltet. Der Begünstigung von Oxydationsprozessen an Ölen einerseits, wie andererseits der Zurückdämmung unerwünschter Oxydation durch chemische Antikatalysatoren galt die Arbeit. Das erstere bezweckt, aus nicht assimilierbaren Kohlenwasserstoffen Fettsäuren zu bereiten, um damit dem Problem der künstlichen Fette und Seifen näher zu rücken. Das zweite gilt dem Schutze der für alle Maschinentchnik unentbehrlichen Schmieröle, die unter dem Einflusse des Luftsauerstoffes in den heißen Lagern verharzen.

Das in gewaltigen Mengen in den Teerdestillationen anfallende Steinkohlenpech wurde in schwierigen, aber erfolgreichen chemischen Studien bearbeitet, die als eine wichtige Förderung dieses zukunftsreichen Gebietes angesprochen werden können. Auch die Probleme, welche der moderne Straßenbau dem Praktiker stellt, haben im Institut eingehende Bearbeitung gefunden.

Im **Institut für Biochemie** und landwirtschaftliche Technologie der Universität Breslau wurden auf Grund eines seitens des Ministeriums erteilten Lehrauftrages bereits im Jahre 1912 von Prof. Dr. Ehrlich für die Studierenden der Technischen Hochschule zuckertechnische und gärungsphysiologische Übungen und Vorlesungen über Gärungschemie abgehalten, denen später allgemeinere Vorlesungen über die technische Verarbeitung landwirtschaftlicher Rohstoffe, Milchverwertung, über pflanzliche und tierische Biochemie u. a. folgten. Gelegentlich der

Zusammenlegung der chemischen Fächer beider Hochschulen wurde Anfang 1934 der Institutsdirektor ordentliches Mitglied in der Fakultät für Stoffwirtschaft.

Das Institut führte im Laufe der Jahre eine große Anzahl experimenteller chemischer und biochemischer Untersuchungen durch, die wichtige technische Probleme der Zuckerindustrie, der Brennerei, Brauerei, der Milchverarbeitung, der Faserstoffindustrien sowie der Obstverwertung betrafen. Besonders in der Richtung der chemischen Ausnutzung der Fabrikationsabfälle wurden der Praxis vielfache Anregungen gegeben. Eingehend wissenschaftlich erforscht wurden biochemische Vorgänge der Hefegärung und Fuselölbildung, die alkoholische Gärung des Eiweißes und der Aminosäuren, Stoffwechselprozesse technischer Mikroorganismen, ferner die Chemie, Biochemie und Bildung des Pektins und darin neuentdeckter Verbindungen sowie einer Anzahl neu aufgefundener Fermente. Über einzelne dieser Themen haben im Institut auch mehrere Studierende der Technischen Hochschule Doktorarbeiten angefertigt.

Professor Dr. Ehrenberg, Direktor des Agrikulturchemischen und bakteriologischen Instituts der Universität, liest u. a. über Kolloidchemie, während Prof. Dr. Meyer, Abteilungsvorsteher am Chemischen Institut der Universität, die Chemie der Metalle, physikalisch-chemische und gasanalytische Probleme behandelt.

Das „**Deutsche Forschungsinstitut für Bastfasern**“, Sitz Sorau NL., wurde im Jahre 1920 von der deutschen Bastfaserindustrie gegründet und in den ersten Jahren finanziell von dieser Industrie getragen. In der Folgezeit unterstützten dann das Reich und andere behördlichen Organe die Arbeiten. Heute erhält das Institut besonders große Zuwendungen vom Reichsernährungsministerium, der Reichstextilstiftung und anderen Organen. Das Institut hat sowohl die rein wissenschaftliche wie auch die angewandte biologische, chemische und technische Forschung auf allen Gebieten des Anbaues, der Gewinnung und Verarbeitung von Bastfaserpflanzen zu betreiben. Es soll eine Brücke zwischen Wissenschaft und Praxis schlagen und so den Interessen der deutschen Volkswirtschaft und Wissenschaft dienen. Daher steht es auch in Beziehung zur Hochschule, insofern sein Direktor, Prof. Dr. Schilling, als Honorarprofessor über Chemie und Technologie der Faserstoffe liest. Das Arbeitsgebiet des Instituts erstreckt sich auf die Bastfasern Flachs, Hanf, Jute, Ramie, Hartfasern usw., ferner auf Ersatzfasern. Dabei werden besonders stark die Möglichkeiten der einheimischen Rohstoffversorgung auf dem Fasergebiet und damit zusammenhängend auf dem Ölgebiet bearbeitet, vornehmlich bei Flachs und Hanf. Die Forschungen gehen vom Saatgut über die Technik des Anbaues, der Ernte, der Fasergewinnung (biologische, chemische und mechanische Verfahren) über die Verspinnung, Verwebung (Textilchemie) bis zur Wäschereichemie und Verschleiß der Erzeugnisse. Das Institut besitzt seit Mai 1933 ein eigenes modernes Gebäude und arbeitet außerdem auf technischem Gebiete zusammen mit der „Preußischen Höheren Fachschule für Textilindustrie“. Es verfügt ferner über Versuchsländereien in Sorau, Schlesien, und anderen Orten. Hier werden die eigenen, neu geschaffenen Zuchtsorten (Faserleine, Olleine und Kombinationszüchtungen, Hanf) auf ihre Leistungen erprobt und vermehrt. Ferner ist angegliedert die Staatlich anerkannte Untersuchungsstelle, welche Gutachten auf allen obenstehenden Gebieten für Behörden, Industrie, Landwirtschaft und sonstige Interessenten erteilt.

Die Versorgung der Landwirtschaft mit anbauwürdigen Faserpflanzen, der Ölmühlen mit geeigneter Olsaaten, der Leinen- und Hanfindustrie mit deutscher Faser, zwingen zu intensiver Arbeit. Besondere Aufmerksamkeit wird der Frage gewidmet, inwieweit durch die Herstellung von Mischgeweben aus deutscher Faser mit Baumwolle, Kunstseide und Wolle die ausgesprochene Abhängigkeit von ausländischen Zufuhren abgedämmt werden kann.

Der 1918 eingerichtete und 1923 zur hauptamtlichen Dozentur erhobene Lehrstuhl für **Wirtschafts- und Verkehrsgeographie** verdankt der unermüdlichen Arbeit seines ersten Inhabers, Prof. Dr. Dietrich, seine Ausgestaltung. 1928 wurde der jetzige Leiter, Prof. Dr. Geisler, aus Halle berufen, nachdem Prof. Dietrich an der Hochschule für Welthandel in Wien eine Professur übernommen hatte. 1932 wurde das Institut in das Seminargebäude der Universität auf

der Martinstraße verlegt, wobei eine wesentliche Vergrößerung der Räume und der Ausstattung erreicht wurde. Wenn dabei auch die enge Fühlungnahme mit den Studierenden unter der räumlichen Entfernung von der Hochschule litt, so blieb doch die Zusammenarbeit mit den Fachgenossen und der Dozentenschaft unbehindert. Seit 1929 arbeitet Dr. v. Geldern-Crispendorf, der sich 1932 als Privatdozent für Wirtschafts- und Verkehrsgeographie habilitierte, als Assistent am Lehrstuhl.

Die Arbeiten waren von Anfang an auf positive Mitarbeit an den deutschen Ostproblemen eingestellt.

Schon Prof. Dietrich hatte eine Reihe von Veröffentlichungen zur oberschlesischen Frage und zum Abstimmungskampf 1921 geliefert. Prof. Geisler hat sich von Beginn seiner wissenschaftlichen Tätigkeit an mit den geopolitisch-wirtschaftlichen Problemen des deutschen Ost- raumes befaßt. Es setzte diese Untersuchungen in Breslau fort und dehnte sie auf die schlesischen Grenzfragen und den Wirtschaftsraum Schlesiens aus. Die Beschäftigung mit dem Problem Nationalität und Sprache führte zur Berichtigung der Spettschen Fälschung. Ein Teil der Abhandlungen der Mitarbeiter wurde in der von Prof. Geisler seit 1932 herausgegebenen Schriftenreihe „Zur Wirtschaftsgeographie des Deutschen Ostens“ veröffentlicht. Die Bestandsaufnahme von Wirtschaft und Verkehr Schlesiens wurde zum Teil nach neuartigen Methoden in dem Wirtschafts- und Verkehrsgeographischen Atlas von Schlesiens geboten, der zugleich eine unerläßliche Vorarbeit für die Landesplanung ist. Die Untersuchungen sind seitdem fortgesetzt worden, so daß in diesem Jahre ein wasserwirtschaftlicher Atlas von Schlesiens, an dessen langwieriger Bearbeitung die Herren vom Ingenieurdienst, Bezirksstelle Schlesiens, großen Anteil haben, und ein Atlas über den Wirtschaftsorganismus Breslau erscheinen werden. Bei der Bearbeitung der großen Atlanten hat sich in erfreulicher Weise die Zusammenarbeit verschiedener Lehrstühle bewährt. Dr. v. Geldern-Crispendorf widmet sich der Erforschung der wirtschaftlichen Zusammenhänge unserer Heimatprovinz und wird seine Untersuchungen über die Wirtschaftsstruktur Schlesiens in diesem Winter abschließen.

Die Wirtschaftslehre war in der ersten Zeit des Bestehens der Hochschule nur nebenamtlich vertreten, erst im Jahre 1928 wurde ein planmäßiger Lehrauftrag zur Vertretung der **Volks- wirtschafts- und Privatwirtschaftslehre** dem ordentlichen Professor Dr. Bräuer von der Universität Breslau erteilt. Anfang 1929 wurde ein volks- und privatwirtschaftliches Seminar eingerichtet, nachdem im Wintersemester 1929/30 erstmalig Etatsmittel für den Aufbau der Lehrmittelsammlung und für Assistenten bewilligt worden waren. Im Wintersemester 1928/29 trat als weitere Lehrkraft durch Habilitation für das Fachgebiet Dr. rer. pol. Hellwig hinzu, im Wintersemester 1931/32 ebenfalls durch Habilitation a. o. Prof. Dr. Bechtel von der Universität.

Das volkswirtschaftliche und privatwirtschaftliche Seminar konnte trotz außerordentlich geringer Etatsmittel seine Bücherei und Lehrmittelsammlung dank der Spenden der Gesellschaft von Freunden der Technischen Hochschule und einer Reihe von Firmen sowie der Fachvertreter der Wirtschaftslehre an der Hochschule aufbauen. Zu Ende des Sommersemesters 1932 bestand bereits eine Bücherei von mehreren tausend Bänden sowie eine umfangreiche Sammlung von Anschauungsmaterial, auch stand dem Institut eine größere Zahl von Zeitschriften, namentlich der Wirtschaftspraxis, laufend zur Verfügung. Die für die Studierenden der meisten Fachrichtungen als Pflichtfach bestehende Hauptvorlesung „Grundzüge der Wirtschafts- und Sozialpolitik“ sowie eine Reihe von Spezialvorlesungen, welche durch die zeitweilige Vermehrung der Fachvertreter möglich waren, dienten der besonderen wirtschaftswissenschaftlichen Ausbildung der angehenden Ingenieure. Regelmäßige seminaristische Übungen und Exkursionen ergänzten die Vorlesungen. In den Seminaren hat eine größere Zahl von Studierenden eine Spezialausbildung erhalten. Eine Reihe von wirtschaftswissenschaftlichen Untersuchungen aus dem Grenzgebiet von Wirtschaft und Technik, namentlich aus dem Gebiet der Energiewirtschaft und der Standortslehre, erschienen als Doktor-Dissertationen.

Nach der Berufung der Professoren Bräuer und Bechtel nach Würzburg bzw. Gießen wird das Fachgebiet zur Zeit von Privatdozent Dr. Hellwig vertreten, neben dem Oberlandesgerichtsrat Schmidt über Wirtschaftsrecht liest. Das Gebiet der gewerblichen Schädigungen wird von Prof. Dr. med. Bruck behandelt.

Die Zusammenlegung verschiedener Einrichtungen der Technischen Hochschule mit der Universität Breslau im Jahre 1933 betraf auch das volks- und privatwirtschaftliche Seminar der Technischen Hochschule. Bei der räumlichen Neugliederung wurden die dem volks- und privatwirtschaftlichen Seminar zur Verfügung stehenden Räumlichkeiten auf einen kleinen Bücher-raum, der nunmehr den Rest des Institutes darstellt, beschränkt. Die Bemühungen um eine förmliche Rückgliederung des Seminars in die Technische Hochschule sind noch nicht zum Ergebnis gekommen. Die Erfahrungen der früheren Zeit haben jedoch gezeigt, daß eine befriedigende Durchführung des wirtschaftswissenschaftlichen Lehrbetriebes an der Technischen Hochschule nur dann möglich ist, wenn der Hochschule eigene Lehrmitteleinrichtungen für das Fachgebiet zur Verfügung stehen und wenn besondere Fachvertreter vorhanden sind, die sich in ihrer Lehrtätigkeit den besonderen Bedürfnissen des technischen Studiums dienstbar machen.

Die Beschäftigung mit der **Musik** begann im Jahre 1923 mit der Gründung eines „Akademischen Musikvereins an der Technischen Hochschule“ zur musikalischen Ausgestaltung der akademischen Feiern. Dies führte im Wintersemester 1924/25 zur Schaffung eines Lektorats für Musik (praktische Musik und Musiktheorie). Das gleichzeitig hiermit gegründete „Collegium musicum“ der Hochschule, das Studierende, Assistenten und Professoren in seinen Übungen vereint, fand von Anbeginn besonderen Anklang. Als bald wurde systematisch an den Ausbau und die organische Erweiterung des Lehrgebiets in Materialsammlung, Forschung und Lehre herangegangen. Spezielle Veröffentlichungen des Lehrauftragsinhabers Dr. Matzke führten später in persönlicher Beziehung zur Habilitation für das Lehrgebiet „Musikalische Technologie und Organisationslehre“ und schließlich zur Zusammenfassung des gesamten musikalischen und musikwissenschaftlichen Lehrgebiets an der Technischen Hochschule als „Institut für musikalische Technologie“ durch Ministerialerlaß vom 20. Februar 1933.

Der Neubau der Hochschulaula brachte im Jahre 1929 die Aufstellung einer wertvollen Orgel (28 klingende Stimmen, erbaut von Gebr. Rieger, Mocker OS.) auf der als Übungsraum dienenden großen Musikempore für etwa 40 Instrumentalisten und 100 Sänger. Hand in Hand damit ging die Aufnahme von Orgeltheorie und praktischem Orgelspiel



Die Orgel

in den Unterrichtsplan, was sich seitdem als sehr beehrter Lehrgegenstand erwiesen hat. Eine weitere wesentliche Bereicherung der Lehrmittel konnte im Wintersemester 1931/32 mit der leihweisen Überlassung des im Privatbesitz des Institutsleiters befindlichen „Archivs für Musikwirtschaft und Musiktechnik“ erfolgen, das sich die Aufgabe gestellt hat, alles erreichbare Material aus dem Gebiete der Musikwirtschaft, der sozialen Beziehungen des Musiklebens, der Musiktechnik und der allgemeinen Musikkultur systematisch zu sammeln (Zeitungsarchiv, Bildarchiv, Bücherei, Schallplattenarchiv, Modellsammlung usw.). Im Jahre 1931 wurde durch ein Leihabkommen das überaus wertvolle Notenarchiv der „Breslauer Sing-Akademie“ (begründet 1825) der Hochschulbibliothek zur Verwahrung und zur unterrichtlichen Mitbenutzung übergeben. Dadurch ist die bedeutendste Sammlung dieser Art im deutschen Osten in glücklicher organisatorischer Lösung weiterer Verwertung zugänglich gemacht worden. Schließlich sind Verhandlungen im Gange, eine der umfangreichsten Spezialbibliotheken aus dem Gebiete des Musikinstrumentenbaus, die Bibliothek der „Zeitschrift für Instrumentenbau“ (begründet von dem bekannten Instrumentensammler Paul de Wit, Leipzig) dem Institut als Leihgabe zu überlassen. Das Instrumentarium der Hochschule enthält zur Zeit (ergänzt durch eine Reihe von Leihgaben) außer der Orgel u. a. zwei Harmonien (darunter ein Titz-Kunsthharmonium), zwei Konzertflügel, Streichinstrumente, Pauken, ferner erhebliche Notenbestände des „Collegium musicum“ für verschiedenste Besetzungen.

Der Unterricht erstreckt sich auf allgemeine Musikgeschichte, Musiktheorie, auf Stimmbildung, Orgelunterricht, das gesamte Gebiet der musikalischen Technologie und die musikorganisatorischen Fragen. Aus den genannten wissenschaftlichen Sonderdisziplinen liegen eine Reihe von Veröffentlichungen in Buchform vor. Zur Zeit sind spezielle Untersuchungen im Gange über die Wiedererlangung der früheren führenden Rolle der deutschen Musikinstrumentenindustrie im Rahmen des deutschen Außenhandels. Abschließend darf hinzugefügt werden, daß der Vorsteher des Instituts seit dem Dezember 1934 die „Zeitschrift für Instrumentenbau“ herausgibt, wodurch dem Institut eine besondere Verbindung mit allen Fragen der Theorie und Praxis dieses umfangreichen Gebietes eröffnet ist.

Über die erste Entwicklung des Lehrgebiets gibt Aufschluß die im Bärenreiter-Verlag, Kassel, 1929 erschienene Arbeit „Die Musik an der Technischen Hochschule zu Breslau nebst Würdigung ihrer Orgel“.

Prof. Dr. Steinberg behandelt philosophische Fragen der Naturwissenschaften, der Erziehung und des Sozialismus.

Fakultät für Bauwesen

Bei der Gründung der Hochschule wurde aus Sparsamkeitsgründen eine Fakultät für Bauwesen (Ingenieurwesen und Architektur) nicht gleich mit eingerichtet, obwohl eine solche in Schlesien in besonderem Maße naturgebunden gewesen wäre und eine bevorzugte Berücksichtigung verdient hätte. Für die Bauingenieure bestand lediglich die Möglichkeit, einige grundlegende Fächer zu hören, deren Lehrstühle bereits für die anderen Fakultäten vorhanden waren. Der Krieg und seine Folgen verzögerten den Ausbau der Hochschule noch mehr. Erst vom Jahre 1924 ab konnten die Bauingenieure wenigstens das Vorexamen an der Technischen Hochschule Breslau ablegen, nachdem noch ein Lehrauftrag für Geodäsie an a. o. Prof. Dr. Feyer erteilt worden war. Im Jahre 1927 wurden vom Ministerium die erforderlichen Lehrstühle für die Bauingenieurabteilung bewilligt; der Ausbau der Architekturabteilung zog sich jedoch noch bis 1934 hin.

Von der Bauingenieurabteilung wurden 1927 zunächst die Lehrstühle für Wasserbau und für Eisenbahn- und Verkehrswesen geschaffen und mit den Professoren Dr.-Ing. Beger und Dr.-Ing. Jänecke besetzt sowie ein Lehrauftrag für Wasserbau an den Oberregierungs- und

-baurat Wechmann erteilt. Im Jahre 1928 folgte die Berufung der Professoren Hartleb und Rein für Städtebau und städtischen Tiefbau beziehungsweise Stahlbau und Industriebau. Im Jahre 1929 wurde ein Lehrauftrag für Eisenbahnsicherungswesen an Oberbaurat Möllering erteilt, den später nach dessen Ausscheiden vom W.-S. 1934 ab der Reichsbahnoberrat Dr.-Ing. Gläsel übernahm. Ein Lehrauftrag für Eisenbeton- und Massivbrückenbau an a. o. Prof. Dr.-Ing. Berrer am 1. April 1930 brachte dann die Entwicklung der Bau fakultät zu einem gewissen Abschluß.

Vier Jahre später, im W.-S. 1933/34, wurden auf Antrag der Bau fakultät die Universitätsprofessoren Dr.-Ing. Zunker, Dr. Buder, Dr. Berkner, Dr. Krzymowski vom Ministerium beauftragt, Vorlesungen zu halten, und zwar über

- a) die kulturtechnische Boden- und Grundwasserkunde sowie die Kultur des Ödlandes und der Wiesen und Weiden (Zunker),
- b) die Grundlagen der allgemeinen Botanik (Buder),
- c) die Boden- und Ackerbaulehre (Berkner),
- d) die landwirtschaftliche Betriebslehre und die landwirtschaftliche Taxationslehre in Vorlesungen und, soweit nötig, in Übungen (Krzymowski),

wobei Herr Prof. Dr.-Ing. Zunker gleichzeitig zum Mitglied der Fakultät für Bauwesen ernannt wurde.

Die Möglichkeit für die Architekten, wenigstens das Vorexamen an der Techn. Hochschule Breslau ablegen zu können, wurde vom W.-S. 1929/30 ab geschaffen durch den entsprechenden Ausbau des Studienplanes und Erteilung eines Lehrauftrags an Prof. Dr.-Ing. Zeller für Antike Baukunst, Formenlehre und Aufnahmen von Bauwerken. Das Lehrfach Freihandzeichnen wurde nacheinander von Privatdozent Dr. phil. Loeschmann, Prof. Utinger und neuerdings von Oberzeichenlehrer Dobers wahrgenommen, während Kunstgeschichte, Aktzeichnen und Plastik Privatdozent Dr. Bimler seit 1925 lehrt.

Die nationalsozialistische Regierung brachte 1934 den Vollausbau der Architekturabteilung durch die Errichtung zweier ordentlicher Lehrstühle für Stadtbaukunst und Siedlungswesen (Prof. Bode) und für Baukunst einschließlich Industriebau (Prof. Blecken). Gleichzeitig wurde ein Lehrauftrag für landwirtschaftliche Siedlungen dem Architekten Thomas erteilt. Dadurch haben nunmehr die Architekten Gelegenheit, auch an der Technischen Hochschule Breslau das Diplomexamen abzulegen, und die Fakultät für Bauwesen tritt als gleichwertig neben die der übrigen deutschen Hochschulen.

Der Lehrstuhl für **Wasserbau** wurde 1927 errichtet. Der Inhaber, Prof. Dr.-Ing. Beger, begann seine Lehrtätigkeit mit Vorträgen auf der Grundlage einer allumfassenden Wasserwirtschaft. Unter den Fachleuten war damals bereits die Auffassung vertreten, daß die Belange aller Kreise, welche das Wasser und die ihm innewohnenden Werte nützen, gleichmäßig berücksichtigt werden müssen. Es war also zweckmäßig, daß auch bereits die angehenden Bauingenieure zu dieser Auffassung erzogen wurden, die sich heute weitgehend durchgesetzt hat.

Es war selbstverständlich, daß sich zwischen dem Lehrstuhl und insbesondere den schlesischen Behörden und Dienststellen, welche Wasserbau- und Wasserwirtschaftsaufgaben zu lösen hatten, Beziehungen entwickelten, die den Lehrstuhl und dessen Arbeiten förderten und lebendig erhielten. Die gewaltigen Pläne, welche Reichs-, Landes- und Kommunalbehörden und die Wirtschaftskreise vorbereiteten und nun nach der Machtergreifung durchführen können, gaben und geben reichen Bearbeitungsmaterial für Übungs- und Diplomaufgaben und auch für wissenschaftliche Arbeiten, Dissertationen usw. Einen Niederschlag dieser Einstellung für Schlesien zeigt z. B. die Beteiligung des Lehrstuhls an der Herstellung des Wirtschaftsatlases (Wasserwirtschaftskarte) und eines Wasserwirtschaftsatlases von Schlesien, herausgegeben durch Prof. Dr. Geisler.

Die lebendige Verbindung mit den Wasserfragen Gesamtdeutschlands wurde gepflegt durch regen Gedankenaustausch auf wasserwirtschaftlichen und wassertechnischen Tagungen in naher und weiter Ferne. Hierdurch wurde manche Grundlage für Studienreisen geschaffen, die

dann mit den Studierenden durchgeführt werden konnten. Manchem jungen Diplomingenieur wurde so der Übergang in den Beruf geebnet, auch bereits zu einer Zeit, in der die Arbeitsmöglichkeiten gering waren.

Erwähnt sei auch die Beziehung, die der Lehrstuhl von Anfang an zum Arbeitsdienst und später zum Arbeitsdank unterhalten hat und noch unterhält.

Zum Lehrstuhl Wasserbau gehört auch noch das Lehrgebiet „Grundbau“.

Die engere Bindung der Technischen Hochschule mit der Universität wirkte sich auch im Lehrgebiete der Wasserwirtschaft und des Wasserbaues aus. Seit S.-S. 1934 wurde Prof. Dr.-Ing. F. Zunker, Direktor des Kulturtechnischen Instituts der Universität, gleichzeitig Mitglied der Fakultät für Bauwesen. Er unterrichtet nunmehr neben den Studierenden der Landwirtschaft auch die Bauingenieurstudierenden in Kulturtechnik sowie Boden- und Grundwasserkunde.

Der **Lehrstuhl für Städtebau, Straßenbau und Städtischen Tiefbau** wurde 1928 eingerichtet und mit Professor Stadtbaurat a. D. Hartleb besetzt. Mit dem Lehrstuhl ist das Städtebau-Seminar verbunden, in dem mit Prof. Bode zusammen Sonderfragen des Städtebaues sowie der Reichs- und Landesplanung durch Vorträge von Fachleuten aus der Praxis, durch Vorträge von Studierenden mit nachfolgender Erörterung und durch Bearbeitung von Sonderentwürfen behandelt werden. Außerdem wurde unter Prof. Hartleb ein **Institut für Straßenbauforschung** im Jahre 1931 angegliedert, das aus Mitteln aufgebaut ist, die das Reich, das Land Preußen, die Provinz Niederschlesien und die Stadt Breslau zur Verfügung gestellt haben. Zuerst im Dachgeschoß des Hauptgebäudes der Technischen Hochschule vorübergehend untergebracht, ist es im Dezember 1933 in das Gebäude der landwirtschaftlichen Institute der Universität (Hansastraße 25) verlegt worden.

Das Institut hat neben der Ausbildung der Studierenden zwei Aufgaben zu erfüllen:

1. Prüfung von Straßenbaustoffen und Straßendecken für Straßenbaubehörden und Straßenbauunternehmer. Beratung der Behörden bei der Wahl zweckmäßiger Straßendecken;
2. Erforschung noch ungeklärter Fragen in der Zusammensetzung der Bindemittel und der Decken.

Durch planmäßiges Zusammenarbeiten mit den schlesischen Straßenbaubehörden und der schlesischen Straßenbauwirtschaft ist das Institut der ersten Aufgabe bisher gerecht geworden

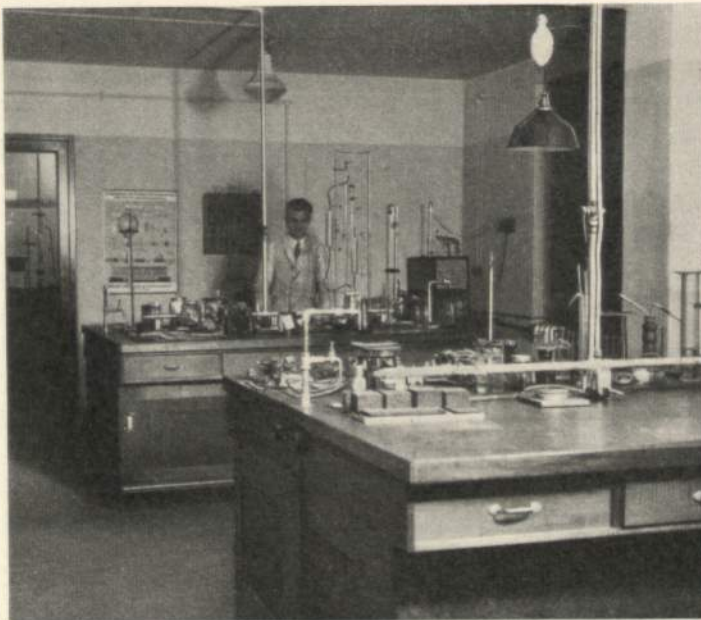
und wird sie, der wachsenden Bedeutung des Straßenbaues sich anpassend, auch weiter erfüllen.

Auf dem zweiten Tätigkeitsgebiete, der Forschung, wurde u. a. die Frage der Eignung von Braunkohlenteerpech für den Straßenbau bearbeitet und das Ergebnis in der Zeitschrift „Asphalt und Teer, Straßenbautechnik“, Jahrg. 1934, Heft 11—13, veröffentlicht.

Weiter sind Untersuchungen über die Eignung von Granit- und Basaltmehlen für den Straßenbau angestellt worden (Zeitschrift „Stein-Industrie und Straßenbau“, Jahrgang 1934, Heft 17 ff.).

Beide Arbeiten fanden besondere Beachtung in der Fachwelt.

Zur Zeit ist das Institut u. a. mit Untersuchungen über die

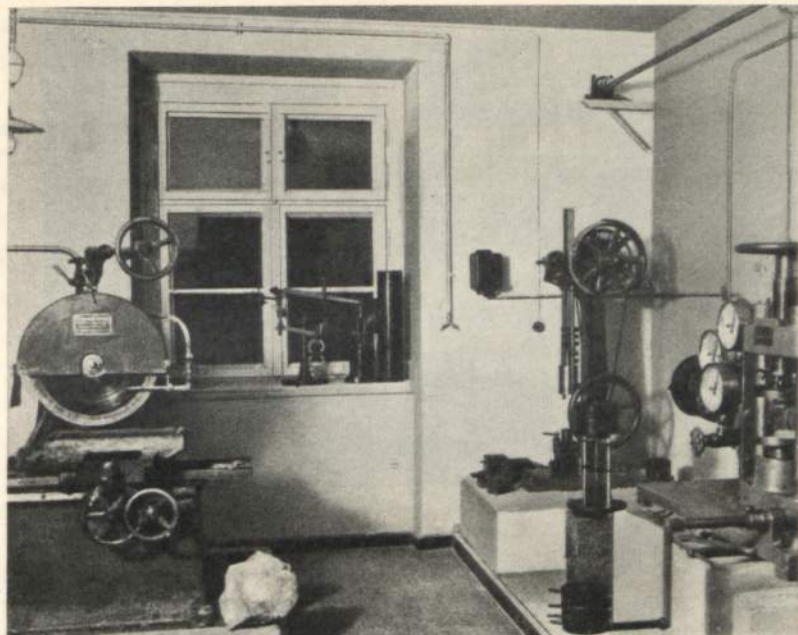


Laboratorium für Teer- und Asphaltstraßendecken

zweckmäßigste Zusammensetzung von Vergußmassen für die Fugen von Zementbeton - Straßen - decken beschäftigt.

Ständiger Mitarbeiter im Institut war und ist Dr. phil. Wasserfuhr. Vorübergehend war für die Bearbeitung der Steinhohluntersuchungen Dr.-Ing. Lubke tätig.

Das Institut arbeitet in Gesteinsfragen mit dem mineralogisch - petrographischen Institut der Universität (Professor Dr. Spängenberg) zusammen. Auch mit dem Betonlaboratorium der T. H. (Prof. Dr.-Ing. Berrer) besteht ein enges Zusammenarbeiten.



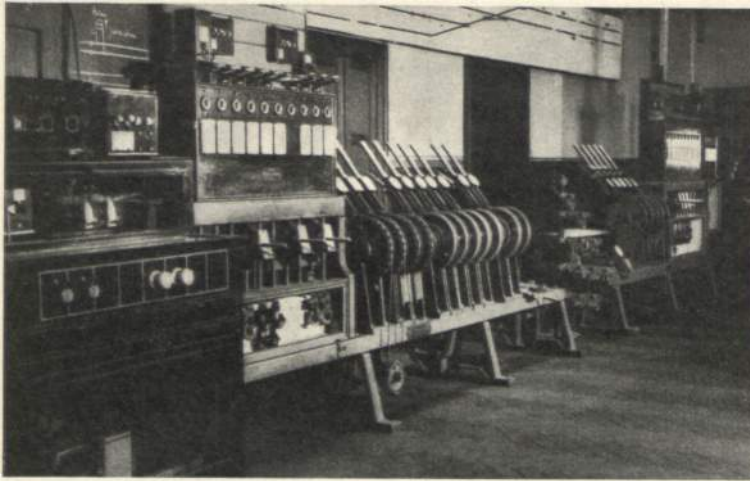
Maschinenraum für Gesteinsuntersuchungen

Der **Lehrstuhl für Baukunst einschließlich Industriebau** unter Prof. Blecken eröffnete seine Tätigkeit im Wintersemester 1934/35 und vertritt das Entwerfen (Seminar der Oberstufe) sowie den Industriebau und die industrielle Siedlung in Vorlesungen und Übungen. Auf den Lehrstoff der Unterstufe aufbauend wurde der Zusammenhang zwischen Bauform, Bautechnik und Bauwirtschaft auf der Grundlage einer bodenständigen Baugesinnung zum Vortrag gebracht, wobei bisher in erster Linie der Siedlungsbau eine besondere Pflege erfuhr. Im Anschluß an den Entwurf wurden Baumassenberechnungen, Kostenvoranschläge und heute gültige Finanzierungsmaßnahmen besprochen. Dazu kommt als nächster Vortragsstoff der Zweckbau bis zum Industriebau, bei dem die zweckmäßige Erfüllung des Bauprogramms im Vordergrund stehen soll, und der Denkmalsbau, mit vorwiegender Betonung der rein künstlerischen Gestaltung. Für die jeweiligen letzten Semester sollen die praktische Bauwirtschaftslehre, die heutigen Organisationen der Bauwirtschaft und die Baufinanzierung zu Wort kommen.

In den Übungen werden Beispiele aus dem Vorlesungsstoff bis in alle Einzelheiten bearbeitet unter gleichzeitiger besonderer Berücksichtigung der Belange aus dem Bereich der Staatsverwaltung, der Baupolizei und des Finanzierungswesens, die für eine praktische Durchführung der bearbeiteten Entwürfe unter den heute gegebenen tatsächlichen Verhältnissen in der Bauwirtschaft zu beachten sind.

Seit S.-S. 1934 besteht unter Prof. Bode der **Lehrstuhl für Architektur, Stadtbaukunst und Siedlungswesen**. In seiner Tätigkeit ging Prof. Bode von dem Gedanken aus, daß das Entwerfen von Hochbauten allein nicht mehr unserem nationalsozialistischen Gemeinschaftsgedanken entspricht, daß vielmehr auch der Architekt in seinem Gebiet lernen müsse, sich als Teil des Ganzen zu fühlen, für das Ganze zu schaffen und aus ihm wieder für seine individuelle Arbeit die nötige Kraft zu bekommen. Oder mit anderen Worten, daß der Architekt bei der Errichtung jedes einzelnen Gebäudes sich stets der Umgebung anpassen und auf sie Rücksicht nehmen müsse.

In noch weitergehender Weise gilt dies natürlich auf dem Gebiete der Stadtbaukunst, die in den großen Maßstäben ganzer Siedlungen, Ortschaften und Städte denken muß.



Eisenbahnsicherungswesen

Die Studierenden haben nicht nur ein überraschendes Maß von Verständnis für diese Ausweitung ihres Studiums gezeigt, sondern sind auch mit innerer Berufsfreudigkeit an ihre neuen Aufgaben herangegangen.

Das Gebiet land- und forstwirtschaftlicher Bauten wird von dem Architekten Thomas betreut.

Der Ende des Jahres 1927 errichtete **Lehrstuhl für Eisenbahn- und Verkehrswesen** unter Prof. Dr.-Ing. Jaenecke umfaßt das ge-

samte Gebiet des Eisenbahnwesens, soweit es für den Bauingenieur von Wichtigkeit ist, sowie das allgemeine Verkehrswesen, und zwar Linienführung der Eisenbahn, Unterbau einschließlich Tunnelbau, Oberbau und Gleisentwicklung, Bahnhofsanlagen, Eisenbahnbetrieb, Eisenbahnsicherungswesen und allgemeines Verkehrswesen einschließlich Großstadtverkehr.

Unterricht und Forschung sind in ständiger Fühlungnahme mit dem praktischen Eisenbahnbetrieb, einmal durch Teilnahme des Lehrstuhlinhabers an den Sitzungen der verschiedenen Ausschüsse der Reichsbahn, wie des Fahrdienst-, Block- und Stellwerks- und Oberbauausschusses, sowie durch gelegentliche Seminarvorträge leitender Persönlichkeiten der Reichsbahn im Eisenbahn- und verkehrswissenschaftlichen Seminar.

Vom W.-S. 1929 ab wurde für das Gebiet des Eisenbahnsicherungswesens ein Lehrauftrag geschaffen, der Oberbaurat Professor Möllering aus Dresden übertragen wurde und nach dessen Ausscheiden Reichsbahnoberrat Dr.-Ing. Gläsel von der Reichsbahndirektion Breslau. Auch hierdurch ist eine enge Fühlungnahme zwischen Praxis und wissenschaftlichem Unterricht gewährleistet.

An wissenschaftlichen Arbeiten veröffentlichte Prof. Jaenecke in den letzten Jahren Aufsätze über Bahnanlagen, städtische Bahnen, Betriebs-, Personen- und Güterverkehrsfragen und über die Bedeutung der Binnenwasserstraßen in den Vereinigten Staaten.

Dem Lehrstuhl sind angegliedert: 1. die Lehrsicherungsanlagen, 2. die Sammlung für Oberbau. Geplant ist weiter noch die Einrichtung eines verkehrswissenschaftlichen Institutes zur Erforschung wichtiger Verkehrsfragen Schlesiens und Verkehrsprobleme allgemeiner Natur.

Das Lehrstellwerk umfaßt die Blockeinrichtung und die Signal- und Weichenhebel eines Befehls- und abhängigen Stellwerks und einer Blockstelle. Außerdem sind ein kleines Kraftstellwerk mit angeschlossenem Weichenmotor sowie das Modell eines Wechselstrom-Blockfeldes, das Schnittmodell eines Schienen-Kontaktes, zwei elektrische Weichenantriebe, zwei Morseapparate und einige andere sicherheitstechnische Gegenstände vorhanden. Die Anlage hat den Zweck, den Unterricht auf dem Gebiete des Eisenbahnwesens zu erleichtern und durch praktische Vorführung den Studierenden einen möglichst guten Einblick in die Wirkungsweise der sicherheitstechnischen Anlagen eines mittelgroßen Bahnhofs zu gewähren. Die Mittel zu der Anlage wurden vom Kultusministerium bereitgestellt, und durch das Entgegenkommen der Deutschen Reichsbahn sowie der Montage- und Lieferfirma „Vereinigte Signalwerke“ wurde aus den zur Verfügung gestellten Mitteln eine verhältnismäßig umfangreiche Einrichtung geschaffen.

Die Oberbausammlung umfaßt die wichtigsten Modelle von Schienen- und Schwellenformen, verschiedene Arten von Schienenbefestigungen, Hilfsmittel für den Gleisbau, wie Füllformen für Eisenschwellen usw.

Diese Sammlung konnte in erster Linie durch das Entgegenkommen der Deutschen Reichsbahn aufgebaut werden, die große Teile der Sammlung unentgeltlich zur Verfügung stellte.

Spezielle Fragen des Eisenbahnbetriebes werden von Honorarprofessor Vizepräsident Zoche in Vorlesungen behandelt.

Der **Lehrstuhl für Baukonstruktionen** besteht unter Prof. Müller-Breslau seit der Gründung der Technischen Hochschule (1910) und war zuerst der Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik angegliedert. Im Jahre 1928 wurde er in die neugegründete Fakultät für Bauwesen übergeführt.

Es werden die gesamten Grundlagen der Baukonstruktionen, insbesondere des Stein- und Holzbaues und einzelne Teile der Eisen- und Eisenbetonkonstruktionen des Hochbaues (Decken und Stützen) in Vorträgen und Übungen behandelt. Der Unterricht erstreckt sich auf Studierende des Bauingenieurwesens, der Architektur und des Maschinenbaues und auf die Berg- und Hüttenleute.

Daneben wird in Sondervorträgen das Gebiet der Baustoffe behandelt und dieser Unterricht wird wesentlich durch das umfangreiche Anschauungsmaterial der Baustoffsammlung unterstützt, das nebst den zugehörigen Prospekten im Hörsaal vorgelegt und kritisch besprochen wird. Außerdem werden beim Lehrstuhl den Studierenden der Architektur in Vorträgen und Übungen die Grundlagen des Entwerfens von Hochbauten vermittelt. Eine größere Lichtbildersammlung, die reichhaltige Handbücherei und zahlreiche Modelle unterstützen die Ausbildung der Studierenden. Durch Bearbeitung von Doktordissertationen wurde besonders begabten Studierenden und Assistenten Gelegenheit zu eigener wissenschaftlicher Arbeit gegeben.

Am 1. Oktober 1928 wurde ein **Lehrstuhl für Stahlbau und Industriebau** errichtet, zu dessen Inhaber der o. Prof. Rein berufen wurde. Dieser übernahm zunächst den Ausbau des Lehrgebietes Stahlbau und die Prüfungen für das Lehrgebiet Eisenbetonbau. Die Vorlesungen über Eisenbetonbau hielt zunächst Privatdozent Dr.-Ing. Ratzersdorfer. Im Wintersemester 1929/30 hatte außerdem Stadtbaurat Dr.-Ing. Trauer-Breslau einen Lehrauftrag über Massivbrückenbau.

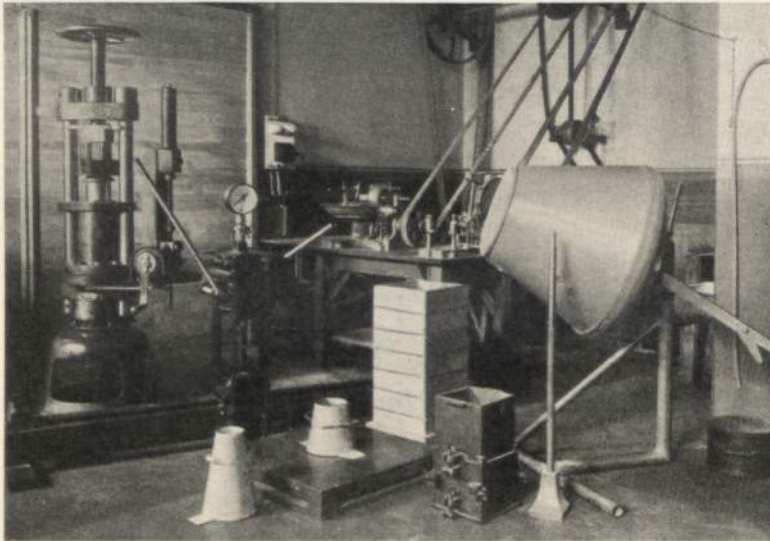
Da das Lehrgebiet Statik der Baukonstruktionen an der Technischen Hochschule Breslau mit dem Lehrgebiet Technische Mechanik in einem besonderen Lehrstuhl zusammengefaßt ist, konnten die Vorlesungen und Übungen über Stahlbau auf die wichtigsten Anwendungsgebiete ausgedehnt werden. Hierbei hat sich namentlich die Zusammenfassung des Brückenbaues mit dem Hochbau besonders bewährt, zumal ja die Grundlagen für beide die gleichen sind. Der Lehrbetrieb selbst konnte in ständiger Verbindung des Lehrstuhlinhabers mit Verwaltungen und Industrie besonders nach der praktischen Seite hin vertieft und dem jeweiligen Stand der Erkenntnisse angepaßt werden. Sehr wertvoll erwies sich hierbei die enge Zusammenarbeit mit dem Ausschuß für Versuche im Stahlbau, und wesentliche Neuerungen, welche hauptsächlich durch die weitere Erforschung von Stabilitätsproblemen, die Einführung hochwertiger Baustähle und der elektrischen Lichtbogenschweißung gegeben sind, konnten sowohl durch eigene Arbeiten des Lehrstuhlinhabers wie auch durch Diplom- und Doktorarbeiten gefördert werden.

Nachteilig macht sich der Mangel eines Institutes bemerkbar. Für Baustoffuntersuchung wird durch das Institut von Prof. Gottwein ein gewisser Ersatz geboten. Außerdem besteht die Aussicht auf Errichtung eines Schweißinstituts. Wenn auch für die Einführung der Studierenden in verschiedene wichtige Vorgänge in absehbarer Zeit genügend Sorge getragen werden kann, bleibt doch immerhin der Wunsch nach experimenteller Forschungsmöglichkeit bestehen.

Schon kurz nach der Gründung des Lehrstuhles wurden jeweils im Wintersemester zwei-stündige seminaristische Übungen eingeführt. Diese haben sich als Ergänzung der allgemeinen Vorlesungen außerordentlich bewährt, und die Studierenden beteiligten sich bisher auch sehr zahlreich daran.

Mit der Gründung und dem Aufbau der Architektur-Abteilung hat Prof. Rein besondere Stahlbau-Vorlesungen für Architekten eingeführt. Neben einem Abriß der wichtigen Grundlagen werden hierbei den Architekturstudierenden in einer zweistündigen Wintervorlesung die wichtigsten baulichen Anforderungen vermittelt. Auch dieser Unterricht wird auf Grund der nach und nach gewonnenen Erfahrungen sorgfältig gepflegt und ausgebaut werden.

Mit der Errichtung eines **Lehrstuhls für Eisenbetonbau und Massivbrückenbau** unter a. o. Prof. Dr.-Ing. Berrer am 1. Mai 1930 ist der Aufbau der Bauingenieurabteilung im wesentlichen abgeschlossen worden. Durch die Zeitverhältnisse bedingt, konnte allerdings bisher nur ein Lehrauftrag für das für das Bauwesen bedeutsame Fachgebiet vorgesehen werden. Auch sonst wirkten die Folgen des einsetzenden wirtschaftlichen Niedergangs und die damit bedingten Sparmaßnahmen erschwerend auf den Ausbau des jüngsten Lehrstuhls, an den gleich die vollen Arbeitsanforderungen herantraten.



Prüfung des Aushangwiderstandes von Betonkörpern

Außer der Vertretung des Eisenbeton- und Massivbrückenbaus in Vorlesungen und Übungen wurde bald auch das bisher an der Hochschule noch nicht besonders gelesene Fachgebiet der Baustelleneinrichtung und des Baubetriebs übernommen. Seit 1933 traten nach Einrichtung der Oberstufe der Architekturabteilung noch die Vorlesungen und Übungen im Eisenbetonbau für Architekten hinzu.

Neben der Aufbau- und Lehrtätigkeit wurden Aufgaben über vereinfachte Bemessungsver-

fahren, insbesondere wirtschaftliche Bemessung im Eisenbetonbau, über den Einfluß von Stützensenkungen auf Eisenbetontragwerke (siehe Ausgabe der „Bautechnik“ zum 25jährigen Bestehen der Technischen Hochschule Breslau) bearbeitet sowie verschiedene Untersuchungen über Schäden an Eisenbetontragwerken und deren Instandsetzung und dergleichen angestellt.

Von Anfang an hatte sich ein starkes Bedürfnis auf Schaffung eines eigenen Instituts bemerkbar gemacht, vor allem, um den Studierenden die heute zu fordernde Kenntnis des Baumittels Beton, seines Aufbaus, seiner Herstellung und der dabei nötigen Bauüberwachung zu vermitteln. An die Einrichtung eines Betonlaboratoriums konnte aber erst im Jahre 1932 herangegangen werden, nachdem sich die oberschlesische Portlandzementindustrie in dankenswerter Weise zu einer tatkräftigen Unterstützung bereitgefunden hatte. Ein weiterer Ausbau ist durch die Mithilfe des Vereins Deutscher Portlandzementfabrikanten für die nächsten Jahre in sichere Aussicht gestellt.

Im Lauf der letzten Jahre sind in dem neuen Laboratorium schon beachtete Untersuchungen über den Auslaugwiderstand des Betons in Verbindung mit der Oderstrombauverwaltung und der Zementindustrie sowie neuerdings über die Eignung schlesischer Betonaufbaustoffe durchgeführt worden. Hierbei und bei Klärung zahlreicher sonstiger Fragen zeigte es sich erfreulicherweise, daß die Schaffung des Instituts einem vorhandenen Bedürfnis des schlesischen Bauwesens entsprach. Die Breslauer Hochschule ist damit um eine neue Stelle bereichert worden, die wissenschaftliche mit praktisch wertvoller Arbeit zu verbinden in der Lage ist.

Die Gebiete des **Wasserbaus** und der **Wasserwirtschaft** mit ihren mannigfaltigen Einzelgebieten sind zu groß, als daß sie von einem einzigen Hochschullehrer vertreten werden könnten, daher wurde neben der ordentlichen Professur (Prof. Dr. Beger) ein Lehrauftrag für Sondergebiete des Wasserbaus an a. o. Prof. Oberregierungs- und -baurat Wechmann erteilt. Dabei wurden dem Lehrbeauftragten das wassertechnische Rechnen, der Schleusen- und Kanalbau, der landwirtschaftliche Wasserbau und die allgemeine Übersicht über die Wasserwirtschaft zugewiesen. Später wurde der Stoff nochmals unterteilt, indem der Inhaber des Lehrstuhls für Kulturtechnik an den landwirtschaftlichen Instituten der Universität (Prof. Dr. Zunker) die Vertretung der Kulturtechnik erhielt, von der Prof. Wechmann lediglich der Hochwasserschutz verblieb als eines der Tätigkeitsgebiete in seiner hauptamtlichen Dienststellung am Oberpräsidium in Breslau.

Im S.-S. 1934 kam das technische Skizzieren hinzu. Bis dahin hatten die Studierenden des Bauingenieurwesens an den Übungen im Freihandzeichnen teilzunehmen. Diese mehr künstlerische Betätigung setzt jedoch Fähigkeiten voraus, die zum Studium des Bauingenieurwesens nicht unbedingt erforderlich sind, während andererseits die Erfahrung lehrte, daß bei der Anfertigung von Handskizzen häufig die Studierenden die notwendige Geschicklichkeit infolge mangelnder Übung nicht hatten. Das Freihandzeichnen wurde daher durch das technische Skizzieren ersetzt, das sich auf alle Zweige des Bauingenieurwesens erstreckt und sowohl nach Modellen, im besonderen aber nach der Natur und aus dem Gedächtnis durchgeführt wird.

Der **Lehrstuhl für Bauformenlehre, Ornamentik, Aufnahmen von Bauten und Baugeschichte** wurde am 1. Oktober 1929 zunächst für die Unterstufe eingerichtet und a. o. Prof. Dr.-Ing. Zeller von der Technischen Hochschule Charlottenburg übertragen. Die wichtigste Arbeit galt zunächst der Beschaffung einer Lehrstuhlbücherei, die dank Überlassung älterer wertvoller Werke, wie Letarouilly, Edifices de Rome; Stuart und Rewett, Altertümer Attikas; Moller, Deutsche Baudenkmäler usw. durch die Bibliothekverwaltungen der Technischen Hochschulen in Aachen und Hannover, der Spende der Werke Schinkels durch Dr. Buchkremer in Aachen sowie Fahndung nach antiquarischen Resten bei Verlegern und Sortimentern nach und nach auf über 400 Nummern gebracht werden konnte.

Mit Einrichtung der Oberstufe am 1. Oktober 1934 wurde der Lehrstuhl durch Aufnahmen größerer Bauten und die Baugeschichte als Prüfungsfach erweitert und der Unterricht durch Einrichtung eines Bauseminars nach Dresdener Muster auch durch die Mitarbeit der Zuhörer in Bearbeitung und Vortrag einzelner Ausschnitte der Baugeschichte vertieft, um die Teilnehmer nicht nur in die einschlägige Literatur einzuführen sondern auch zu wissenschaftlicher Tätigkeit auf diesem Gebiete anzuregen.

So konnten bereits eine Reihe größerer Aufnahmen durchgeführt werden, wie das Rathaus in Hirschberg, die Clarenmühle und das Greifenhaus in Breslau, dazu Schlösser aus Schlesien; Aufnahmen, die zum Teil sogar von Interessenten vergütet wurden und so die Bearbeiter wirtschaftlich unterstützten.

Das Gebiet der Denkmalpflege betreut Prof. Zeller durch eine einstündige Vorlesung an der Universität in der Ev.-theol. Fakultät über evangelischen Kirchenbau; im W.-S. an der Technischen Hochschule durch eine Vorlesung über Hilfswissenschaften der Denkmalpflege, die im S.-S. durch praktische Übungen an Baudenkmälern und Wiederherstellungen ergänzt wird.

Am 3. November 1933 wurden den ordentlichen Professoren an der Universität Breslau Dr. Berkner, Direktor des Instituts für Pflanzenbau, Dr. Buder, Direktor der Botanischen Anstalten, Dr. Krzymowski, Direktor des Instituts für Wirtschaftslehre des Landbaues und Dr.-Ing. Zunker, Direktor des Kulturtechnischen Instituts, Lehraufträge an der Technischen Hochschule Breslau für **Pflanzenbau, Botanik, landwirtschaftliche Betriebslehre** und dem letzteren für **Boden- und Grundwasserkunde und Kultur des Odlandes** erteilt. Am 6. April 1934 wurde Prof. Dr.-Ing. Zunker zum Mitglied der Fakultät für Bauwesen und Mitglied des Prüfungsausschusses für die Diplomprüfung für die Fachrichtung

„Kulturtechnik“ ernannt. Während der Lehrstuhl und das mit diesem verbundene Institut für Kulturtechnik an der Universität Breslau schon seit dem Jahre 1897 besteht, konnte also beides für die Technische Hochschule Breslau erst seit dem Jahre 1934 nutzbar gemacht werden.

Durch diese Maßnahmen ist eine vertiefte Ausbildung in Kulturtechnik für die Studierenden der Fakultät für Bauwesen ermöglicht worden. Die große Nähe der Landwirtschaftlichen Institute der Universität erleichtert es dem angehenden Kulturingenieur, sich darüber hinaus noch weitere Kenntnisse auf den landwirtschaftlichen Grenzfachgebieten anzueignen.

Damit ist den Belangen der Landwirtschaft und Landeskultur in Anbetracht ihrer hervorragenden Bedeutung für das Staatsdasein auch an der Technischen Hochschule Breslau in erwünschtem Maße Rechnung getragen und der Gefahr einer einseitigen, landwirtschaftsfremden technischen Entwicklung entgegengewirkt.

Für Bauingenieure werden seit dem Jahre 1934 von Prof. Dr. Zunker Vorlesungen und Übungen in Kulturtechnik, Boden- und Grundwasserkunde, Kultur des Odlandes und der Wiesen und Weiden nebst Gräserkunde, von Prof. Dr. Berkner Vorlesungen in Pflanzenbau und von Prof. Dr. Krzymowski Vorlesungen in Landwirtschaftlicher Betriebslehre und Taxationslehre gehalten. Für die Übungen in Boden- und Grundwasserkunde, wohl die ersten ihrer Art an einer preußischen Technischen Hochschule, steht ein gut ausgerüstetes kulturtechnisches Institut zur Verfügung. Der angehende Bauingenieur soll hier mit den Eigenschaften des Bodens, insbesondere mit seinem Fließvermögen, seiner Bindigkeit praktisch vertraut werden. Dem angehenden Kulturingenieur als Bodenarzt sind darüber hinaus noch weitergehende Bodenstudien ermöglicht.

Das Kulturtechnische Institut bietet außerdem Gelegenheit zu mannigfachen Forschungsarbeiten. In den letzten Jahren sind bereits eine ganze Anzahl Doktorarbeiten aus dem Institut hervorgegangen. Von den größeren Forschungsarbeiten des Instituts im letzten Jahrzehnt seien erwähnt: Arbeiten über geophysikalische Fragen, das Verhalten des Wassers zum Boden, die Gesetze der Wasserbewegung, des Schwindens und Schwellens, des Benetzungswiderstandes des Bodens, Methoden für die Untersuchung des Bodens, Beziehungen zwischen Dränentfernung und Bodenbeschaffenheit, die Förderung der Normungsbestrebungen durch umfassende Dränrohrprüfungen, Aufstellen eines neuen Prüfverfahrens und eines Normblattes für Dränrohre, die Ermittlung des Verdunstungsgesetzes freier Wasserflächen und der Verdunstungsgröße grasbedeckter Flächen, Untersuchungen über die Feldberegnung, die Klärung der Frage der Abwasserverregnung durch mehrjährige Versuche mit dem Abwasser der Flachsroste und achtjährige Versuche mit städtischem Abwasser, zahlreiche Untersuchungen und Aufsätze über wasserwirtschaftliche Fragen, Arbeiten über Od- und Grünlandkultur, die Bekämpfung des Wüschelrutenaberglaubens durch Rutengängerprüfungen, Fragen der Berufsausbildung u. a. m. Fast ein Jahrzehnt ist im Institut die Zeitschrift „Der Kulturtechniker“ herausgegeben worden, und die meisten wissenschaftlichen Arbeiten des Instituts sind in dieser Zeitschrift erschienen. Auch an Ausstellungen hat sich das Institut mehrfach beteiligt. Zusammengefaßt darf wohl gesagt werden, daß das Institut in den letzten Jahren im Mittelpunkt der kulturtechnischen Forschungen in Deutschland gestanden hat. Um aber den durch den Hinzutritt der Bauingenieure gesteigerten Ansprüchen gerecht werden zu können, bedarf das Institut einer Erweiterung und einer Erhöhung seiner Mittel.

Mit der kulturtechnischen und landwirtschaftlichen Praxis, insbesondere mit den Kulturbauverwaltungen, hat das Institut enge Fühlung, und aus dieser Fühlungnahme ergeben sich immer wieder neue wissenschaftlich und volkswirtschaftlich wertvolle Aufgaben. Besonders hat auch die Einführung des Arbeitsdienstes, dessen auf viele Jahrzehnte hinaus unerschöpftes Arbeitsgebiet die Landeskultur sein wird, eine ganze Reihe dringend zu lösender kulturtechnischer Aufgaben gebracht.

Auf den großen Gebieten der Odlandkultur, der Verbesserung des alten Kulturlandes durch Vorflutbeschaffung, Bodenentwässerung und Mergelung, der Neulandgewinnung und des Küstenschutzes, des Hochwasserschutzes und der engeren Wasserwirtschaft, der Wasserver-

sorgung der Kulturpflanzen durch Bewässerung und Beregnung, der landwirtschaftlichen Verwertung unserer organischen Abwässer, der ländlichen Wasserversorgung u. a. m. ist noch viel zu tun übrig, und die kulturtechnische Lehre und Forschung an der Technischen Hochschule Breslau wird auch in Zukunft ihr Bestes dazu beitragen, daß der Lebensraum in unserem Vaterlande durch Vermehrung und Sicherung des Kulturbodens und Steigerung seiner Ernten größer und wertvoller wird, daß insbesondere auch die mächtige schlesische Landwirtschaft sich wieder voller zu entwickeln vermag, und daß gut ausgebildete Kulturingenieure den Ruhm der Technischen Hochschule Breslau weit über Deutschlands Grenzen tragen.

Der Unterricht in **Geodäsie** wird seit dem Jahre 1924 auf Grund eines Lehrauftrages von dem a. o. Prof. Dr. Feyer erteilt. Vorwiegend Bauingenieure und Architekten, aber auch Mathematiker und Physiker und Studierende des Vermessungsfaches nehmen am Unterricht teil, der am Ende des vierten Studienseesters durch ein 14tägiges Praktikum im Gebirge abgeschlossen wird.

Die Gerätesammlung enthält eine Reihe neuzeitlicher Instrumente, darunter auch Geräte für den photogrammetrischen Unterricht. Seit 1930 findet alljährlich im Sommer-Semester das Aerophotogrammetrische Praktikum statt. Infolge der erwähnten starken fliegerischen Tätigkeit an der Hochschule war es hier zum ersten Male in Deutschland möglich, eigene Vermessungen vom Flugzeug aus im Rahmen des akademischen Unterrichts vorzunehmen und photogrammetrisch auszuwerten. So entstanden ein Luftbildplan und eine Karte von Oels (Schles.), die mit allen Zwischenphasen der Entstehung im Jahre 1933 auf der Ausstellung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie in Essen gezeigt wurden. Mit Unterstützung des Reichsministeriums für Luftfahrt wurde ein Unterrichtsmodell des Hugershoffschen Aerokartographen erbaut, das Ende 1934 in Paris zur Ausstellung gelangte, anlässlich der Tagung der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie. Zu erwähnen ist auch die Tagung für Photogrammetrie mit Ausstellung im Jahre 1927, die unter Leitung von Prof. Feyer in den Räumen unserer Hochschule stattfand und sich eines starken Besuches erfreute.

Eine Reihe von photogrammetrischen und geodätischen Arbeiten kam zur Veröffentlichung, zum Teil mit Unterstützung durch die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, darunter eine Dr.-Ing.-Dissertation. In günstiger Weise wirkte sich auch die Arbeitsgemeinschaft mit dem Aerokartographischen Institut Breslau (jetzt Hansa-Luftbild, Filiale Breslau) aus, wodurch die wertvollen Einrichtungen dieses Instituts den Studierenden zugänglich gemacht wurden.

Das Lehrfach der **Kunstwissenschaft** wird durch den seit 1925 habilitierten Privatdozenten Dr. Bimler vertreten, der in Vorlesungen, Modellierübungen und im Aktzeichnen die Studierenden des Baufaches unterrichtet. Das Spezialarbeitsgebiet von Dr. Bimler besteht in Forschungen zur schlesischen Kunstgeschichte, worüber eine Anzahl Arbeiten erschienen sind. Als Bildhauer schuf Dr. Bimler u. a. die Porträtköpfe an der Oderfront des Hauptgebäudes sowie eine Reihe plastischer Werke, die zum Teil in Eisenkunstguß wiedergegeben sind, nachdem dieser an der Gleiwitzer Hütte und der Neusalzer Paulinenhütte wieder aufgelegt ist.

Seit 1925 hat der Eisenkunstguß an der Technischen Hochschule durch Prof. Diepschlag, den Direktor des eisenhüttenmännischen Institutes, tatkräftige Förderung erfahren. Von dieser unserer Gießerei sind aus dem Tiegel die fast alljährlichen Neujahrskärtchen in Eisen mit figürlichen oder architektonischen Reliefdarstellungen vervielfältigt worden. Aus dem Cupolofen sind die Statuette des „Siegere“, eines von Prof. Diepschlag 1926 gestifteten Wanderpreises für die Wettkämpfe unserer Hochschule (Goldene Preismedaille Paris), die Büste des Kommerzienrates Dr. Otto Niedt, Porträtplaketten u. a. hervorgegangen.

In ähnlich theoretisch-praktischer Lösung ist im Gefolge historischer Arbeiten über die schlesischen Fayencen und Steingutwaren eine Neubelebung dieses Zweiges durch Erzeugung einer reichhaltigen Porzellanplastik in Tillowitz in verständnisvollem Zusammenarbeiten mit den dortigen Fabrikbesitzern Schlegelmilch erzielt worden.

Einen Lehrauftrag im **Freihandzeichnen** für Architekten hat Oberzeichenlehrer und Maler Dobers, dessen Aufgabe darin besteht, neben dem Studium verschiedener Darstellungs-

methoden und -techniken, im Studierenden die Fähigkeit zu erziehen, seine Bauprojekte in optisch eindringlichster Weise sachlich klar zur Anschauung zu bringen, und durch freie zeichnerische bzw. malerische Nachbildung von Originalen aus allen Gebieten der bildenden Künste, speziell der Architektur, das Gefühl für Rhythmus aus Form und Farbe — das Mittel künstlerischer Gestaltung — zu wecken und zu bilden.

Fakultät für Maschinenwesen

Das **Maschinenlaboratorium** der Technischen Hochschule unter Prof. Dr.-Ing. Baer ist gleichzeitig Lehr- und Forschungsinstitut, wie auch die Wärme- und Kraftzentrale der Hochschule. Diese Vereinigung hat sich in mancher Beziehung auf den Unterricht und auf den Betrieb sehr günstig ausgewirkt. Auf der einen Seite war es möglich, Maschinen in wirklichem Betriebe der Praxis vorzuführen, andererseits auch alle in der Forschung erzielten Verbesserungen dem Betriebe zugute kommen zu lassen. Der Unterricht im Maschinenlaboratorium soll den Studierenden die Grundlagen der Meßtechnik übermitteln und die praktischen Anwendungen der Technischen Wärmelehre in einzelnen Gebieten des Wärme-, Kraft- und Arbeitsmaschinenbaues wie insbesondere der Dampfturbinen und Verbrennungsmaschinen usw. bringen.

Das im Jahre 1908 von Geheimrat Prof. Dr.-Ing. e. h. Riedler gebaute Laboratorium wurde im Jahre 1927/28 einem gründlichen Umbau unterzogen. Die bis dahin getrennte Erzeugung



Das Wahrzeichen der Hochschule, zugleich Esse und Wasserturm, am Maschinenhaus

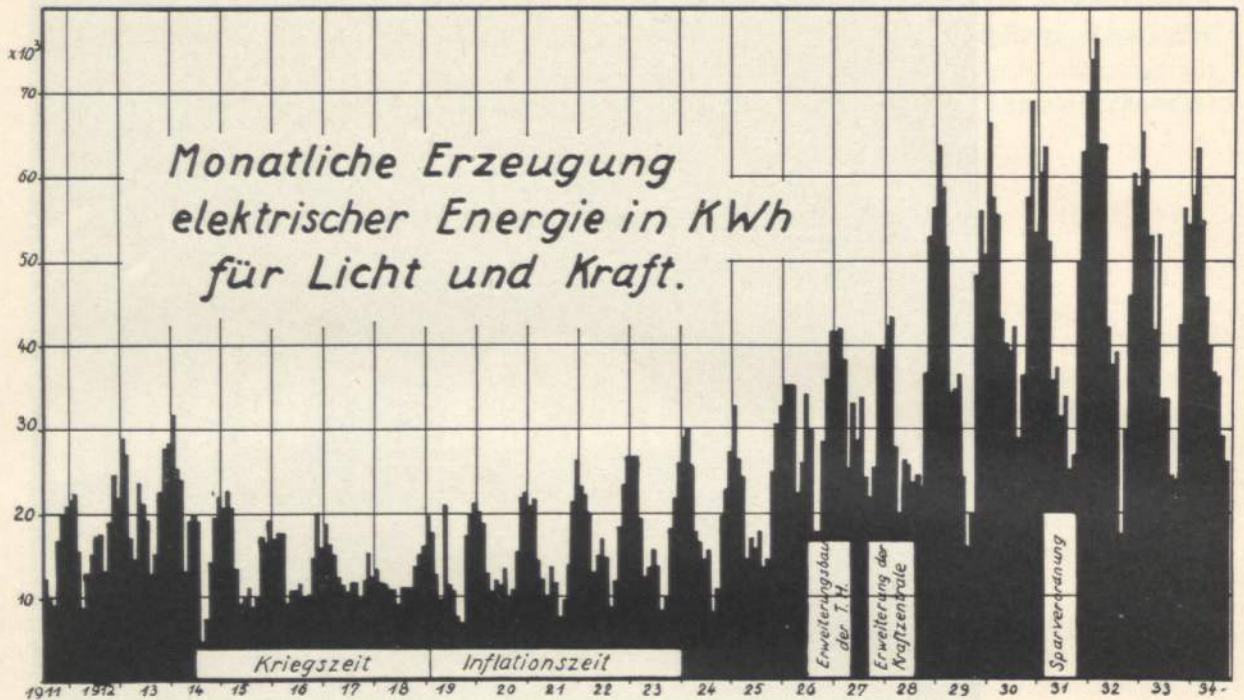


von Strom für die Kraft- und Lichtversorgung und Wärme für die Beheizung wurde gekoppelt, indem eine Entnahmedampfturbine von 500 kW in Verbindung mit einem Kessel für 30 atü sowie ein Dieselmotor von 400 PS für die Spitzenleistungen aufgestellt wurde. Dadurch hat der Betrieb der Kraft- und Heizzentrale um rund 38% verbilligt werden können. Die neue Hochdruckkesselanlage und der Dieselmotor wurden von den Linke-Hofmann-Busch-Werken Breslau, die Dampfturbine von der Wumag, Görlitz, geliefert.

Wie in jedem Betrieb, so ist auch für die Hochschule die Kurve des Energieverbrauches ein deutliches Abbild der Entwicklung.

Die Abb. 1 stellt die monatliche Stromerzeugung seit Bestehen der Hochschule dar.

Abb. 2 enthält die Jahresverbräuche an elektrischer Energie in kWh und an Heizwärme in Kcal. sowie die jährlichen Betriebskosten ausschließlich der Lohnkosten.



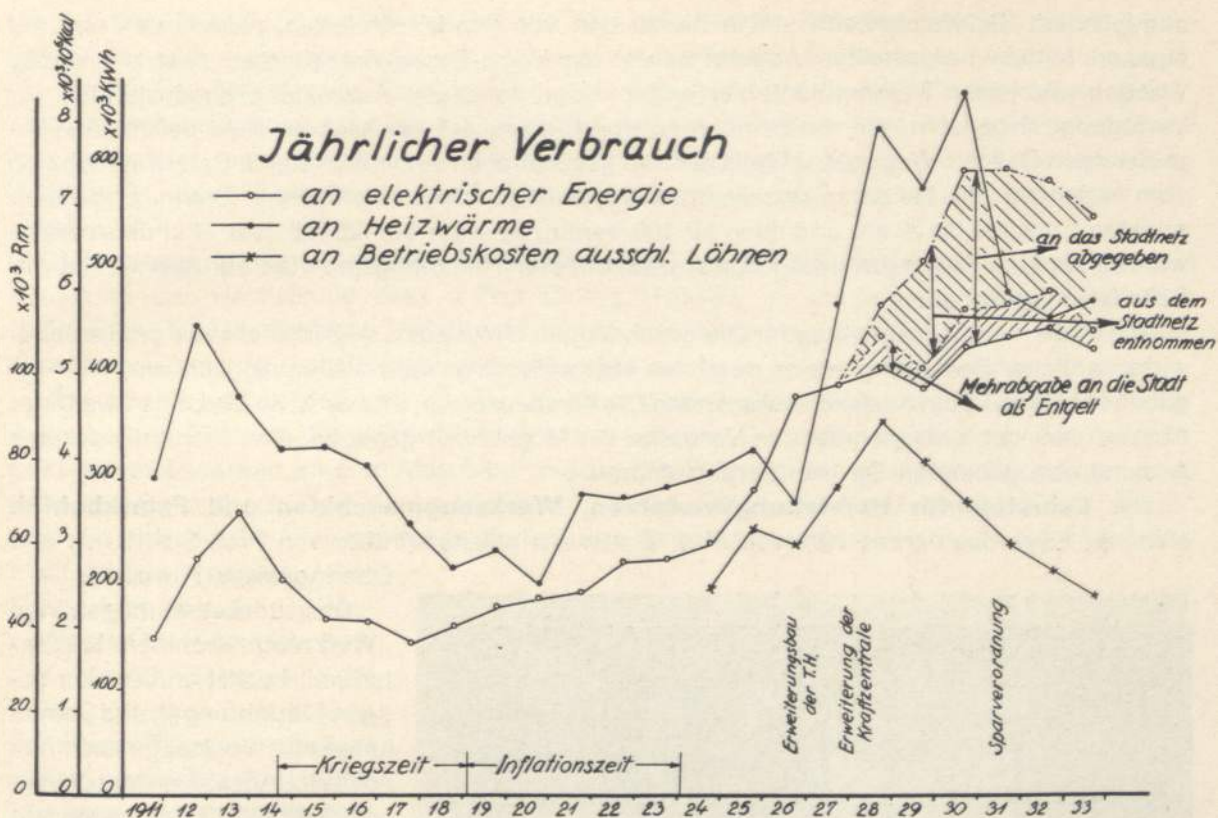
Die Stromkurve läßt die hoffnungsvolle Entwicklung der Hochschule in den ersten Jahren ihres Bestehens erkennen, die jäh durch den Weltkrieg unterbrochen wurde. Auch in der nachfolgenden Inflationszeit macht die Weiterentwicklung, durch den Mangel an Geldmitteln und Material behindert, nur langsame Fortschritte. Erst im Jahre 1925 konnte der Verbrauch des Jahres 1913 wieder erreicht werden.

Der große Aufschwung, den die Hochschule durch den Erweiterungsbau der Jahre 1925/28 und die Errichtung und Ausgestaltung der Bergbauabteilung und der Bauakultät mit der Architekturabteilung erfuhr, kommt durch den gewaltigen Sprung der Verbrauchskurve in den Jahren 1926 und 1927 zum Ausdruck. Trotz der durch die Not der folgenden Jahre erzwungenen Sparmaßnahmen läßt die Kurve die stetige Weiterentwicklung der Hochschule erkennen.

Demgegenüber kommen in der Verbrauchskurve der Heizwärme, abgesehen von den durch besonders harte Winter veranlaßten Spitzen, die wirtschaftlichen Konjunkturen stärker zum Ausdruck. Gegenüber der vollen Beheizung der Friedensjahre 1912 und 13 wurde die Heizung während und nach dem Kriege, und nach der vorübergehenden Entspannung der Jahre 1926/1929 in besonders einschneidendem Maße seit 1930 an die Grenzen des Erträglichen heruntersgesetzt, um soviel wie möglich zur Entlastung des Staatshaushalts beizutragen.

Durch eine Reihe baulicher und betriebsorganisatorischer Verbesserungen ist es gelungen, die Betriebskosten der letzten Jahre trotz rund 40 v. H. höherer Gesamtleistung unter den Betrag des Jahres 1925 herunterzusetzen. Die wichtigsten dieser Maßnahmen waren erstens die bei dem Erweiterungsbau des Heiz- und Kraftwerkes im Jahre 1927 vorgenommene Koppelung der Strom- und Wärmeerzeugung, ferner die an Stelle der früheren Akkumulatorenbatterie geschaffene Verbindung des Hochschulnetzes mit dem Stadtnetz über Umformer, die den nachts und Sonntags entnommenen Strom tagsüber in das Stadtnetz zurückspeisen und über das ganze Jahr einen vollständigen Belastungsausgleich und damit einen äußerst wirtschaftlichen Betrieb ermöglichen.

Die Unterrichtstätigkeit erstreckt sich auf die versuchstechnische Vermittlung der Lehren der Wärmetechnik und auf die Untersuchung verschiedener Wärmekraftmaschinen, Kessel, Pumpen, Kompressoren nach den verschiedensten Richtungen, auch nach der dynamischen Seite hin.



An Forschungsarbeiten wurden zum Teil als selbständige Aufsätze der Angehörigen des Maschinenlaboratoriums, zum Teil als Dissertationen und Diplomarbeiten eine Reihe Arbeiten in den Fachzeitschriften wie Zs. d. V. D. I., Archiv für Wärmewirtschaft, Forschung, Die Wärme, Automobiltechnische Zeitschrift usw. veröffentlicht. Umfangreiche Untersuchungen über die Strömungsvorgänge in Dampfturbinen, wobei hier zum erstenmal die Bestimmung der Geschwindigkeitszahl der Laufschaufel an umlaufenden Schaufeln erfolgte, machte Privatdozent Dr. Faltin an einer von Professor Baer eigens dazu mit der Turbinenfabrik der AEG entworfenen und gebauten Versuchsturbine.

Dann sind weiter zu erwähnen Untersuchungen an Luftfiltern von Professor Baer, wobei ein neues Verfahren zur Bestimmung des Staubgehaltes der Luft entwickelt wurde, an das sich Untersuchungen über die Dynamik staubhaltiger Luft durch Dr.-Ing. Fahrenbach schlossen.

An größeren Versuchsarbeiten sind zu nennen, die Untersuchungen an einer rotierenden Luftpumpe von Dr. Jürgens, dann am raschlaufenden Dieselmotor von Dr. Neumann, ferner die Arbeiten von Dr.-Ing. Loewenstein über die Verbrennung von oberschlesischer Steinkohle auf dem Wanderrost eines Steilrohrkessels, von Dr.-Ing. Schiller über Messungen von strömenden Dämpfen und Gasen bei überkritischer Entspannung an den Meßdüsen und -blenden, von Dr.-Ing. Niederschuh an einem Turbinengebläse sowie weitere ähnliche Arbeiten.

Dem Maschinenlaboratorium wurde im Jahre 1930 die Versuchsabteilung zur Untersuchung von Ölen insbesondere unter hohem Druck, Leiter Privatdozent Dr. Hassenbach, angegliedert, aus dem die Öluntersuchungen von Dr. Hassenbach und Dr. Kallmünzer hervorgingen.

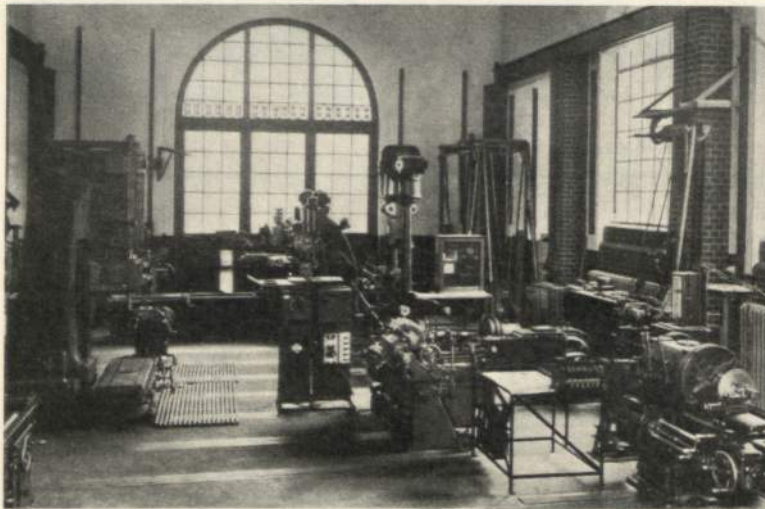
Das Kraftfahrwesen hat in neuerer Zeit einen besonderen Vertreter in Privatdozent Dr. Straubel.

Dem Maschinenlaboratorium wurde im Jahre 1930 unter der selbständigen Leitung von Privatdozent Dr.-Ing. Hassenbach, Abteilungs-Oberingenieur beim Schlesischen Dampfkessel-Überwachungsverein, eine Versuchsabteilung für Öle, insbesondere für hohen Druck,

angegliedert. Dr. Hassenbach stellte hierzu den von ihm konstruierten, patentierten und mit eigenen Mitteln hergestellten Apparat sowie ein Vogel-Ossag-Viskosimeter, zwei chemische Waagen und einen Flammpunktprüfer außer vielen sonstigen Ausrüstungsgegenständen zur Verfügung. Ergänzt wurde die Einrichtung durch einen mit Hochschulmitteln beschafften Ölprüfer nach Dallwitz-Wegener. Mittels der neu geschaffenen Apparatur stellte Dr. Hassenbach zum erstenmal die bis dahin unbekanntenen Beziehungen zwischen Flamm-, Brenn- und Zündpunkten zunächst bis 30 atü und dann bis 100, vereinzelt sogar bis 120 atü, fest. Auf diese Weise wurden die Unterlagen für eine große Anzahl anderer Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Schmierung geschaffen.

Die in der Versuchsabteilung für Öle geschaffenen Unterlagen sind insofern von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung, als es durch sie nachweislich in vielen Fällen möglich war, die Ausgaben für die aus dem Ausland stammenden Öle herabzusetzen, und es ist so durch den weiteren Ausbau der noch vorzunehmenden Versuche die Möglichkeit gegeben, eine Ersparnis der ans Ausland abzugebenden Devisen herbeizuführen.

Der **Lehrstuhl für Herstellungsverfahren, Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb** wird seit Ende des Jahres 1921 von Prof. Gottwein geleitet (früher von Prof. Schilling und Oberingenieur Hippler).



Werkzeugmaschinenlaboratorium

Das zum Lehrstuhl gehörige „Werkzeugmaschinen-Laboratorium“ besitzt außer den nötigen Einrichtungen und Sammlungen für Werkzeugmaschinen noch eine Anzahl von Maschinen und Geräten für den Unterricht in Materialkunde und Fabrikbetrieb. Im Laufe der Jahre ist am Lehrstuhl eine Reihe einschlägiger Arbeiten durchgeführt worden, die teils in Diplom- und Doktorarbeiten, teils in Veröffentlichungen niedergelegt worden sind. Von letzteren seien erwähnt die verschiedenen Arbeiten von Prof. Gottwein über Temperaturmessungen an den

Schneiden spanabhebender Werkzeuge, weiterhin über den Einfluß der Kühlung und Schmierung bei spanabhebender Bearbeitung, über Schlosserei- und Montage-Arbeitszeitermittlung und über Werkzeugmaschinen.

Mit dem Lehrstuhl verbunden ist die Privatdozentur von Dr.-Ing. Reichel, der gleichzeitig Oberassistent am Lehrstuhl ist. Er liest über „Ausgewählte Kapitel aus der Metall- und Holzbearbeitung“. Die von ihm in Veröffentlichungen besonders behandelten Fragen betreffen z. B. Untersuchungen über das Kaltwalzen von Schrauben, die in einem größeren Betriebe der Schraubenindustrie durchgeführt wurden, ferner über das Wesen der Kühlung und Schmierung bei spanabhebender Metallbearbeitung, Untersuchungen über die Bearbeitbarkeit von Werkstoffen bei spanabhebender Bearbeitung, über Kurzprüfverfahren für Standzeitermittlung von Schneidstählen bei der Zerspanung und eine Reihe Veröffentlichungen über Werkzeugmaschinen usw.

Der Lehrstuhl steht in ständiger und lebendiger Berührung mit den Betrieben der schlesischen Metallindustrie und der Praxis, ferner mit der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure (ADB.) in Breslau dadurch, daß er von Anfang an den Schriftführer zu dieser Vereinigung

gestellt (zur Zeit Dr. Reichel) und sich an den betreffenden Arbeiten beteiligt hat. Bei den beiden bis jetzt in Breslau unter der Führung des Verbandes Schlesischer Metallindustrieller durchgeführten Refa-Kursen (Reichsausschuß für Arbeitszeitermittlung) hatte der jetzige Inhaber des Lehrstuhls die technische Leitung inne. Ein weiteres Einvernehmen zwischen dem Lehrstuhl und den schlesischen Betrieben der Metallindustrie ergibt sich daraus, daß mit dem Lehrstuhl gleichzeitig das Praktikantenamt für Maschinen- und Elektroingenieure verbunden ist.

Der **Lehrstuhl für maschinelle Gestaltungs- und Fertigungslehre** untersteht seit Gründung der Hochschule dem o. Prof. Dr.-Ing. Heinel, in dessen Lehrbetrieb Lasthebemaschinen, Transportanlagen, Arbeitsmaschinen, Baumaschinen, Maschinen und Apparate für Chemische Industrie und Kälteanlagen behandelt werden.

Grundsätzliches der Lehre: Die Maschine dient in allen Fällen der Erfüllung bestimmter Aufgaben im Rahmen des volkswirtschaftlichen Lebens. Die restlose Erfassung der Aufgabe geht jedem Gedanken an eine Maschine voraus. Die Führung der bewegten Werkzeuge bzw. Arbeitsstoffe ist durch die Aufgabe bestimmt nach Art, Größe und Weg in gewisser Zeit. Hierfür sind die maschinellen Triebmittel zu finden, ihre Beanspruchungen sind nach Art und Größe festzustellen, daraus ihre Sonderformen, Wahl der Baustoffe und die Abmessungen. Die elastische Verformung der Teile und die Veränderung der Baustoffeigenschaften ist immer gegenüber der Sicherheit gegen Bruch das Wichtigere. Hierauf folgt die Feststellung der Nutzleistung und der verlorenen Zusatzleistungen.

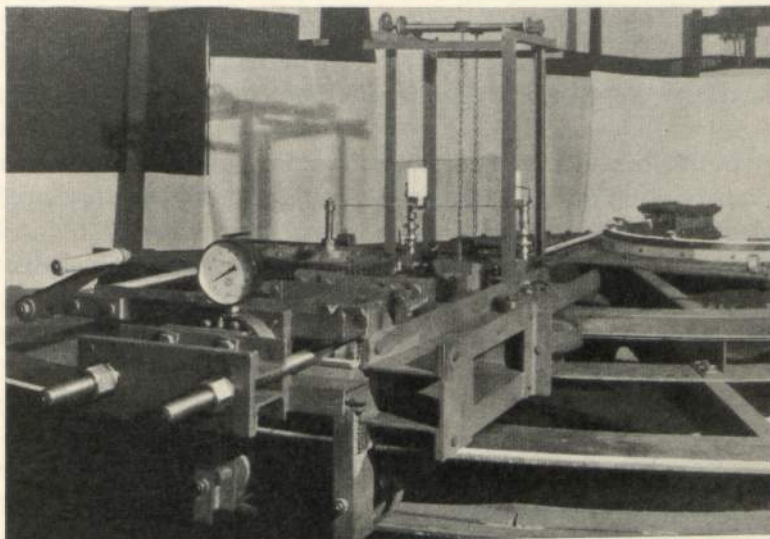
An mindestens einem Beispiel ist zu erörtern das Verhältnis der Gesamtaufwendung an Geld für Betrieb und Kapitaldienst einer Arbeitsleistung für eine bestimmte Arbeitszeit. Diese Reihen-

folge gilt auch, auf andere Energieformen übertragen, für alle wärmetechnischen und chemisch-technischen Aufgaben.

Die strenge Befolgung dieser Arbeitsweise der Ingenieur ermöglichte dem Lehrstuhl eine wohl- anerkannte Unterstützung der Rechtsprechung der Gerichte niederer und höchster Instanz in technischen Fragen auf zahlreichen Gebieten der Anwendung von Maschinen und Apparaten, auch auf Gebieten, welche von dem Lehrstuhl im Unterricht nicht behandelt werden, z. B. bei Gefahren von Eisenbahnübergängen für Zugtiere, Sägen von Steinplatten, Herstellung von Glasbirnen für elektrische Beleuchtung, Schachtabteufung mit Gefrierverfahren, Heizung und Lüftung, bei Zentrifugen, Baggerarbeiten usw.

Der oberschlesischen Industrie diente der Lehrstuhl bei der Fördermaschinen-Ausnützung und dem Walzwerksantriebe.

Durch die Seilfrage der Fördermaschinen angeregt gingen aus den sehr bescheidenen Versuchsräumen des Lehrstuhles zwei größere Versuchsarbeiten hinaus: Dr.-Ing. Beck, Über Dauerbeanspruchung von Drahtseildrähten und -Litzen auf Zug und Dr.-Ing. Ernst, Über die Belastbarkeit von Tragseilen.



Drahtseilbiegemaschine

Zwei weitere Versuchsarbeiten sind im Gange:

1. Über die elastischen und Drall-Eigenschaften der Seile in Abhängigkeit von der Zuglast und Belastungszeit.
2. Über den Biegewiderstand der Drahtseile in Abhängigkeit von Zuglast und Biegungsradius.

Die maschinellen Vorrichtungen für beide sind teils (Dezember 1934) fertig, teils nahe der Inbetriebsetzung. Bis Mai 1935 werden Ergebnisse vorliegen.

Während des Krieges (Juli 1915 bis Juli 1918) diente der Lehrstuhl der Kriegswirtschaft durch Übernahme der Maschinenausgleichsstelle bzw. der „technischen Betriebsdienststelle“ im Rahmen der Kriegsamtstelle Breslau.

Der **Lehrstuhl für Wasserkraftmaschinen** besteht seit der Gründung der Hochschule. Ihm sind neben den hydraulischen Kraftmaschinen die hydraulischen Arbeitsmaschinen, Maschinenelemente II und das Gebiet der Verarbeitung der Faserstoffe angegliedert. Versuchseinrichtungen gestatten in beschränktem Umfang, Untersuchungen auf den genannten Gebieten durchzuführen. Bis zum Jahre 1922 wurde das Institut von Prof. Wagenbach geleitet, nach dessen Berufung nach Darmstadt übernahm es Prof. Krauß. Der Unterricht wird von dem Gesichtspunkt aus erteilt, die Studierenden möglichst gründlich in das konstruktiv gestaltende Schaffen des Ingenieurs einzuführen. In den letzten Jahren sind zum Teil in Verbindung mit anderen Lehrstühlen, entweder als Doktorarbeit oder als Sonderuntersuchung, größere Arbeiten aus den Gebieten der Kraftrohrleitungen, der Strömung in Peltondrüsen, des Rührens und Mischens von Flüssigkeiten, der Kettengetriebe, der Drahtseile, des Kaltwalzens von Schrauben, der Spinnspindeln usw. durchgeführt worden.

Den **Lehrstuhl für Maschinenbau, insbesondere Eisenbahnmaschinenwesen** übernahm mit Gründung der Hochschule o. Prof. Dr.-Ing. Schenk, damals Oberingenieur bei I. A. Maffei-München, der ursprünglich vorwiegend den Lokomotivbau pflegen sollte. Er bildete die Studierenden im Laufe der Jahre auf einer Reihe von Gebieten aus: in der Triebwerkskonstruktion, im Dampfkesselbau, im Dampfkolbenmaschinenbau und im Dampflokomotivenbau. Hierbei stellte er die Dampfkolbenmaschine in den Mittelpunkt des Unterrichts und entwickelte aus ihr die den Konstrukteur berührenden Fragen unter starker Heranziehung der Festigkeitslehre. Sein Ziel war die Entfaltung der Fähigkeiten des einzelnen zu eigener selbständig gestaltender Kraft vorwiegend auf Grund systematischer Denkarbeit.

Nach seinem Tode im Jahre 1929 wurde Prof. Lotter, damals Oberingenieur des elektrischen Lokomotivbaues bei I. A. Maffei-München, zugleich Honorar-Professor für Eisenbahnmaschinenwesen an der Technischen Hochschule München berufen. Den Bedürfnissen der Zeit folgend, wurde neben den Triebwerken und dem Dampfkolbenmaschinenbau eine zusammenfassende Vorlesung über Kraftmaschinen und Energiewirtschaft eingeführt, welche vorwiegend der allgemeinen Ausbildung der Maschinen- und Elektro-Ingenieure dienen, die wirtschaftliche Bedeutung der verschiedenen Energieformen klarlegen und als Mittel zur gründlichen Ausbildung späterer Kraftwerks-Betriebsingenieure dienen soll. Der Unterricht im Eisenbahnmaschinenwesen wurde auf vier Semester verteilt und zur besseren Verarbeitung des im Laufe der hundertjährigen Entwicklung sehr umfangreich gewordenen Stoffes in folgende Teilgebiete zerlegt:

Grundzüge des Verkehrsmaschinenwesens, wobei neuerdings auch der Kraftverkehr und seine Mittel behandelt werden.

Eisenbahnfahrzeugtechnik, welche die Beziehungen zwischen dem belasteten Gleis und dem bewegten Fahrzeug an Hand der gemachten Bau- und Betriebserfahrungen entwickelt und hieraus Leitsätze zur Erbauung von für Hochgeschwindigkeiten brauchbaren Eisenbahnfahrzeugen ableitet.

Dampflokomotivbau, in welchem die für die verschiedenen Betriebszwecke geeigneten Achsanordnungen und die Lokomotive als ortsbewegliche Wärmekraftanlage betrachtet werden, während die baulichen Einzelheiten der neuzeitlichen Reichsbahnlokomotiven in den Übungen erläutert werden.

Triebwerke elektrischer Lokomotiven, womit einem für Schlesien besonders wichtigen Gebiete des Eisenbahnmaschinenwesens Rechnung getragen wird.

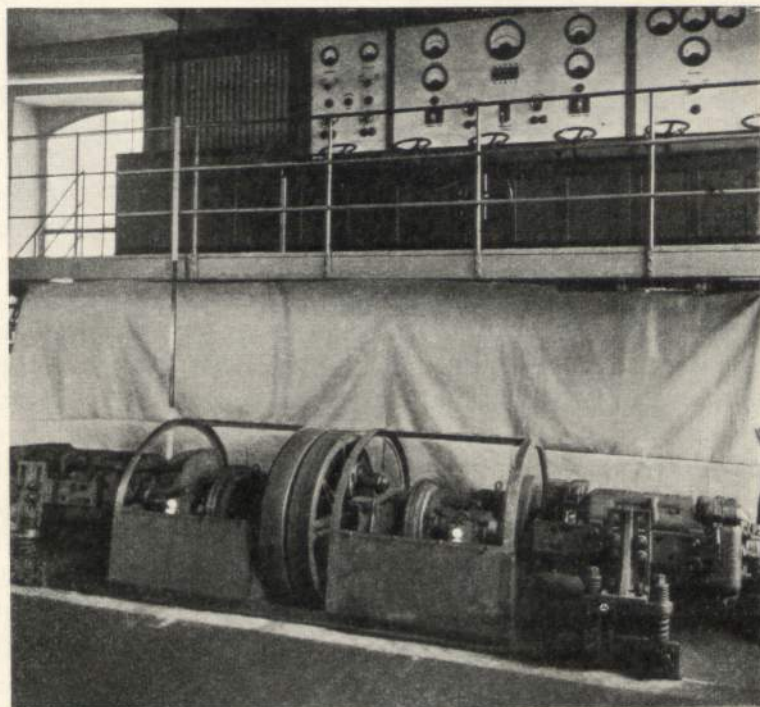
Die betriebliche Seite des Eisenbahnwesens wird von Herrn Vizepräsident a. D. Zoche vertreten, wobei neuerdings auch die Rangiertechnik in das Unterrichtsprogramm aufgenommen wurde.

Für das **Elektrotechnische Institut** war in den ersten Jahren nur eine ordentliche Professur für Elektrotechnik und Elektromaschinenbau (Prof. Dr.-Ing. Hilpert) und eine Dozentur für Elektrische Kraftanlagen und Bahnen und Elektrische Meßkunde (Prof. Dr.-Ing. Euler) vorhanden, welche letztere 1934 in eine ordentliche Professur umgewandelt wurde. Seit 1911 war auch eine nebenamtliche Dozentur für Fernsprech- und Telegraphentechnik geschaffen worden, welche von 1911—18 durch Telegraphendirektor Grosse-Leege, 1918—21 durch Telegraphendirektor Bohner, 1921—31 durch Oberpostdirektor Prof. Dr. Lange besetzt war und die heute Oberpostrat Beulke vertritt. Die Ausbildung der Elektroingenieure machte die Heranziehung von weiteren Lehrkräften erforderlich. So übernahm deshalb 1923 der damalige Privatdozent Dr.-Ing. Hemmeter gewisse Spezialfächer aus der Starkstromtechnik (Elektromagnetische Ausgleichsvorgänge und Symbolische Rechnungsmethode), die ab 1926 einschließlich Elektromotorische Antriebe und Apparatebau durch den Privatdozenten a. o. Prof. Dr.-Ing. Schammel vertreten werden. Über Gebiete aus der Hochfrequenztechnik (Elektronenröhren nebst Anwendungen) liest seit 1929 a. o. Prof. Dr.-Ing. Büge.

Innerhalb der 25jährigen Entwicklung wurden am **Lehrstuhl für Elektrotechnik und Elektromaschinenbau** unter Prof. Hilpert viele wertvolle wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt, die in Diplomarbeiten und in Doktorarbeiten ihren Niederschlag fanden, teils auch in der Fachpresse erschienen sind. Ein größerer Teil der Arbeiten behandelt die Stromverdrängung in Eisenleitern, die Feldverdrängung in massiven Eisenteilen mit und ohne Luftspalt, Untersuchungen an Wirbelstrombremsen mit eisernem Bremskörper und Vorgänge bei Frequenzvervielfachung sowie Eisenverluste bei Hochfrequenz. Mit Hilfe von Studierenden und der Werkstatt wurden wichtige Apparate selbst hergestellt, von denen nur ein Kathodenstrahl-oszillograph und ein Stoßgenerator für 350000 Volt genannt sein mögen.

Auf dem Gebiet der **Elektrischen Kraftanlagen** wurde durch Prof. Euler eine Reihe von Einzelfragen elektrizitätswirtschaftlicher und betriebstechnischer Art, an deren Beantwortung die Praxis besonders interessiert war, aufgegriffen und eingehender untersucht, zum Teil als Aufgaben für Diplomarbeiten verwendet.

Die Arbeiten auf dem Gebiet der **Elektrischen Bahnen** erstrecken sich vor allem auf die im Vordergrund stehende Frage der elektrischen Widerstandsbremmung bei Straßenbahnen. Mit Unterstützung der Städtischen Straßenbahn Breslau (Mag.-Baurat Lüdde) werden



Ortsfester Prüfstand für Straßenbahnmotoren

seit mehreren Jahren mit besonders für diesen Zweck gebauten Einrichtungen (Meßwagen, ortsfestem Prüfstand usw.) eingehende experimentelle Untersuchungen im Betrieb über die bei der Bremsung auftretenden Vorgänge angestellt, die zu wichtigen Teilergebnissen und Erkenntnissen über die verschiedenen Bremsschaltungen und die Vorgänge zwischen Rad und Schiene beim Überbremsen geführt haben.

Auf dem Gebiet der elektrischen Meßkunde wurden mit Unterstützung der Helmholtz-Gesellschaft Untersuchungen über die Unterdrückung der Oberwellen bei Gleichstrommaschinen mit Nutenanker gemacht und Vorversuche an einer nach neuen Verfahren hergestellten Versuchsmaschine zum Teil zum Abschluß gebracht.

Die Forschungsarbeiten von Prof. Schammel betreffen die Gebiete der elektromagnetischen Ausgleichsvorgänge, der symbolischen Rechenmethode und der Theorie der Ortskurven in der Wechselstromtechnik. So wurde ein für den elektrischen Bahnbetrieb wichtiger Einschaltvorgang bei Gleichstrom-Hauptstrommotoren mit Nebenschluß zur Erregerwicklung theoretisch und experimentell untersucht. Ferner wurden die Strom- und Spannungsverhältnisse bei Transformatoren mit unsymmetrischer parallelgeschalteter Wicklung behandelt. Mehrere Veröffentlichungen beschäftigten sich mit dem allgemeinen Stromdiagramm der Synchronmaschine, insbesondere bei ausgeprägten Polen, auf theoretischer und experimenteller Grundlage und brachten sie in eine für den praktischen Gebrauch geeignete einfache Form. Die letzten Untersuchungen behandeln die Theorie der höheren algebraischen Ortskurven der Wechselstromtechnik.

Prof. Büge, Lehrbeauftragter für Fernmeldetechnik und Hochfrequenztechnik, entwickelt in seinen Arbeiten spezielle Meßmethoden; z. B. wird eine Methode zur Messung ganz kurzer Zeiten — bis zu 10^{-7} sek — angegeben, mit der die Abschaltdauern von Sicherungen und erstmalig der Zündverzug der Glimmentladung in diesen kurzen Bereichen untersucht werden.

Das **Institut für Landmaschinenkunde** wurde im Rahmen der Landwirtschaftlichen Institute an der Universität Breslau am 1. April 1925 eingerichtet. Zum Leiter desselben wurde Prof. Erhardt berufen, welcher jahrelang in leitender Stellung in der Landmaschinenindustrie tätig war. 1926 erhielt er auf Antrag der Fakultät für Maschinenwesen an der Technischen Hochschule Breslau Sitz und Stimme in dieser Fakultät.

Seit seinem Bestehen verfolgte das Institut als Hauptaufgabe die intensive Ausbildung der Studierenden der Landwirtschaft und des Maschinenbaues auf dem großen Sondergebiet der Landmaschinen, wobei neben dem rein wissenschaftlichen Unterricht größter Wert auf praktische Anschauung gelegt wurde. Letztere konnte durch die umfassenden Lehrmittel- und Maschinensammlungen, durch Versuchseinrichtungen und durch Exkursionen weitgehend vermittelt werden. Die sehr geringe Entwicklung der Landmaschinenindustrie in Schlesien bringt es mit sich, daß die Zahl der Studierenden, die sich an unserer Hochschule diesem Sondergebiet zuwenden, naturgemäß klein ist. Das Institut legte von Anfang an großen Wert auf eine enge Zusammenarbeit mit der Praxis, die sich für beide Teile als nutzbringend erwies und zahlreiche Fragen aufwarf, die teils in größeren Untersuchungen, teils in Doktorarbeiten und Veröffentlichungen behandelt wurden. Um nur die bedeutendsten der letzten Jahre herauszugreifen, seien genannt die Durchbildung einer Bauerndrillmaschine, die Konstruktion einer Flachsraufmaschine und eines Schilfmähers, die Entwicklung einer Methode zur Beurteilung von Drillmaschinen und Untersuchungen über das mechanische Rübenschneiden. Gegenwärtig finden Untersuchungen statt, welche die Anwendbarkeit rechnerischer Beurteilungsmethoden von Sämaschinen durch Ernterversuch nachprüfen und klarstellen sollen. Nachdem neuerdings der Flachsanbau in den Vordergrund des Interesses gerückt ist, sind auch die Arbeiten für die Entwicklung geeigneter Flachserntemethoden wieder aufgenommen worden.

Über flüssige Brennstoffe und Schmieröle arbeitete bis zu seiner kürzlichen Berufung in eine Münchener Professur Privatdozent Dr. Schmidt, dessen Forschungsgebiet auch die chemische

Technologie des Erdöls sowie Maschinen und Apparate der chemischen Industrie umfaßt. Ein besonderes Laboratorium stand Dr. Schmidt für seine Arbeiten zur Verfügung.

Einen Lehrauftrag für **Arbeitsrecht und Arbeitsschutz** hat Honorar-Professor Oberregierungs- und Obergewerberat Kramer.

Für die Betriebswirtschaft ist letzten Endes nicht die tote Maschine, nicht die technische Arbeitsmethode und kaufmännische Organisation das Entscheidende, sondern der arbeitende Mensch, der den wichtigsten Faktor des Produktionsprozesses bildet. Darum ist es für den künftigen Ingenieur unerläßliches Erfordernis, sich im Rahmen seiner wirtschaftswissenschaftlichen Ausbildung mit den Arbeiter- und Angestelltenfragen und somit auch mit den Sondergebieten des Arbeitsrechts und des Arbeitsschutzes, über die seit dem Wintersemester 1923/24 Vorlesungen gehalten werden, zu beschäftigen.

Um für arbeitsrechtliche Fragen Verständnis zu erwecken, werden vor allem die wirtschaftlichen und sozialen Triebkräfte des Arbeitsrechts, die Entstehungsgeschichte und die Motive der hauptsächlichsten Gesetzesbestimmungen hervorgehoben und ihre Anwendung in der Praxis erläutert. Besonders eingehend wird neuerdings die grundsätzliche Wandlung gewürdigt, die das neue deutsche Arbeitsgesetz, das Gesetz zur Ordnung der nationalen Arbeit vom 20. Januar 1934, als Grundlage des heutigen Arbeitsrechts gebracht hat.

In der Vorlesung über Arbeitsschutz werden unter besonderem Hinweis auf die hervorragende Bedeutung, die dem Schutze der Arbeitskraft sowohl in wirtschaftlicher wie in sozialer Hinsicht zukommt, systematisch die Grundzüge der Unfallverhütung und Gewerbehygiene behandelt, wobei nicht nur die technische, sondern auch die nach den neueren Erkenntnissen besonders wichtige psychologische Seite berücksichtigt wird. Die praktische Durchführung des Arbeitsschutzes wird unter Vorführung von Lichtbildern pp. besprochen und bei Betriebsbesichtigungen gezeigt.

Die Einrichtung eines **Psychotechnischen Instituts**, wie es Charlottenburg und andere Hochschulen besitzen, war in Breslau aus Gründen des Raummangels und infolge fehlender Mittel nicht möglich. Um aber den Studierenden Gelegenheit zu geben, sich über die Anwendung psychologischer, wissenschaftlicher Erkenntnisse in Industrie und Verkehr zu unterrichten, erhielt der Gesamtleiter des Berufsamtes der Stadt Breslau i. R. Dr. phil. Rose auf Grund einer Arbeit über Eignungsprüfungen im Bekleidungsgerwerb und einer Probevorlesung über „Veranlagung, Auslese und Fähigkeitsschulung des Maschinenschlossers“ die *venia legendi* für Wirtschaftspsychologie (Eignungsprüfung und Fähigkeitsschulung). Neben Vorlesungen über Grundlagen und Praxis der Eignungsprüfungen bzw. über die psychologischen Voraussetzungen erfolgreicher Kundenwerbung fanden Vorträge im Außeninstitut der Technischen Hochschule über „Entwicklung, Krisis und Neugestaltung in der Psychotechnik“, „Fähigkeitsschulung“, „Werbegesamtenprüfung“, „Berufsausbildung und Berufserziehung“, „Psychologie und Sport“, sowie ein Vortrag über „Bildung, Beruf, Hochschulreform“ vor der Dozentenschaft der Technischen Hochschule lebhaftes Interesse. Das Dintz erstattete im W.-S. 1934/35 in einer Reihe von Vorträgen Bericht über seine Bestrebungen. Experimentelle Forschungsarbeiten konnten infolge des fehlenden Psychotechnischen Instituts vorläufig nicht durchgeführt werden.

Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen

Die Fachrichtung **Hüttenkunde** mit ihren beiden Zweigen Eisen- und Metallhüttenkunde besteht seit Gründung der Hochschule und ist im Gebäude des Hüttenmännischen Instituts untergebracht. Sie umfaßt außer den beiden genannten Instituten, deren Direktoren ordentliche Professoren sind, den ebenfalls mit einem o. Professor besetzten Lehrstuhl für Hüttenmaschinen- und Walzwerkskunde; einen solchen für Metallkunde als besonderer Abteilung im Rahmen des Eisenhüttenmännischen Instituts und ebenfalls innerhalb desselben

das Institut für Gießereikunde; einen Lehrstuhl für Kokerei- und Gaswerksbau und einen dem Direktor des Metallhüttenmännischen Instituts unterstellten Lehrstuhl für Elektrometallurgie, Probier- und Lötrohrprobierkunde. Der ursprünglich ebenfalls dem Metallhüttenmännischen Institut angegliederte Lehrstuhl für Aufbereitung wurde später (1924) mit Einrichtung der Fachrichtung Bergbau eine selbständige Professur. Im letzten Jahre gelang ferner noch die Einrichtung eines Lehrstuhles für Schweißtechnik (Reichsbahnrat Dr. Matting) mit einer nach jeder Richtung gut ausgebauten Lehrschweißerei. Dem Lehrstuhl für Hüttenmaschinen- und Walzwerkskunde wurde eine Walzwerksversuchsanstalt angegliedert, außerdem erfolgte Erteilung eines besonderen Lehrauftrages für Maschinenkunde für Berg- und Hüttenleute.

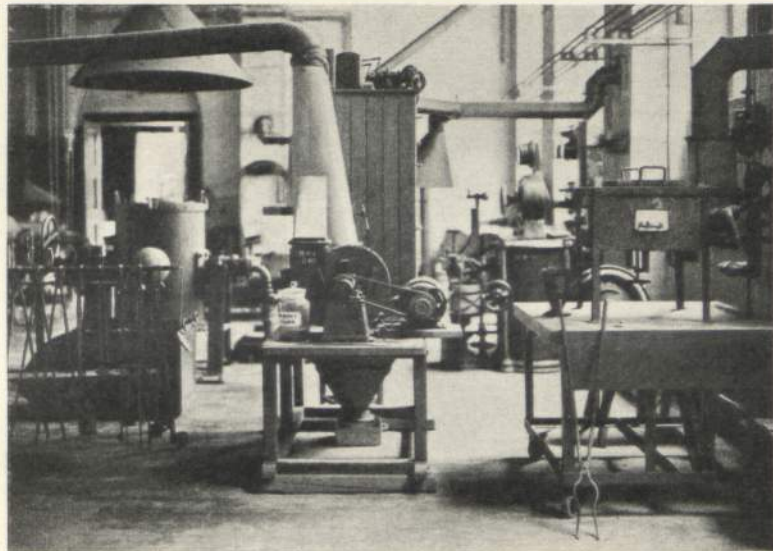
Hand in Hand mit der Fachrichtung Bergbau ist es so möglich, die Ausbildung der Hüttenleute in einer Weise durchzuführen, die es gestattet, das so außerordentlich umfassende Wissensgebiet in der vorgesehenen Zeit von vier Jahren zu bewältigen.

Das **Eisenhüttenmännische Institut** wurde im Jahre 1912 durch den mit der Leitung beauftragten Prof. Simmersbach eröffnet, nachdem es unter Ausnutzung der staatlichen und der von der Eisenhüttenindustrie Oberschlesiens zur Verfügung gestellten Mittel nach jeder Richtung in vorbildlicher Weise ausgestattet war. Die Anordnung der Räume, die Einrichtung derselben und die Beschaffung von Versuchseinrichtungen ist seinerzeit auf Grund der Erfahrungen einiger anderer Institute und Hochschulen so ausgeführt worden, daß es damals als das modernste Eisenhütteninstitut angesehen werden konnte. Professor Simmersbach entwickelte im Laufe seiner Tätigkeit, die leider durch seine Verwendung im Kriegsdienst unterbrochen wurde, vornehmlich die Arbeitsgebiete des Kokerei- und des Hochofenwesens. Er hat durch zahlreiche Veröffentlichungen in den führenden Fachzeitschriften dem Institut in der Fachwelt einen Namen gegeben.

Nach seinem unerwarteten Ableben Ende 1918 übernahm Prof. Oberhoffer die Leitung des Instituts, hat hier jedoch nur kurze Zeit gewirkt, indem er 1920 einem Rufe an die Technische Hochschule Aachen folgte. Nach der Berufung von Prof. Diepschlag konnte das traditionsgemäß von der Hochschule gepflegte Gebiet der gesamten Eisenhüttenkunde, insbesondere des Hochofengebietes, weitergeführt werden. Eine große Zahl von Veröffentlichungen in in- und ausländischen Zeitschriften, u. a. auch eine Buchveröffentlichung, sind im Laufe der Zeit entstanden. Entsprechend den veränderten wirtschaftlichen Verhältnissen im oberschlesischen Industriebezirk und im Zuge der Gesamtentwicklung des deutschen Eisenhüttenwesens wurde den Aufgaben der Verfeinerung und Veredelung der Hüttenerzeugnisse in steigendem Maße Aufmerksamkeit zugewandt. Insbesondere das Gebiet neuzeitlicher Werkstoffprüfung wurde durch die Mitarbeit von Professor Sauerwald entwickelt. Den neu auftretenden Bedürfnissen entsprechend sind eine Reihe von wertvollen Einrichtungen angeschafft worden. Besonders zu nennen wäre die Einrichtung der Röntgenprüfung, die Schaffung von Groß- und Hochfrequenz-Schmelzanlagen und die neuzeitlichen Mittel der Schmelzschweißung. In Anlehnung an die industriellen Verhältnisse Schlesiens wurde seit 1923 die Gießereikunde in den Rahmen der Institutsarbeiten aufgenommen. In Verbindung mit den Studien über Gießereigenschaften ist der Eisenkunstguß im Institut entwickelt und auch in einer größeren Zahl von Kunsterzeugnissen auf eine Höhe gebracht worden, wie sie heute an anderen Stellen kaum erreicht wird.

Der erste Direktor des **Instituts für Metallhüttenkunde** war Prof. Friedrich (1909 bis 1914), vorher o. Professor für Probierkunde und Metallographie an der Bergakademie Freiberg. Sein Forschungsgebiet erstreckte sich in erster Linie auf die Konstitution hüttenmännischer Zwischenprodukte (Steine, Speisen) und die Aufklärung gewisser beim Probieren von Erzen auftretender Erscheinungen. Sein Nachfolger, Prof. Bornemann (1914 bis 1922), war in erster Linie phys. Chemiker und beschäftigte sich vorwiegend mit Fragen der Legierungskunde, ebenso wie Friedrich unter starker Benutzung metallographischer Forschungsmethoden. Das hüttenmännische Gebiet wurde damals mehr durch a. o. Prof. Dr.-Ing. Günther (Lehrstuhl

für Elektrometallurgie, Probierkunde und Lötrohrprobierkunde) behandelt, der besonders sorgfältige Untersuchungen der Gewinnung von Nickel und Kupfer auf nassem Wege widmete. Der jetzige Direktor, Prof. Dr.-Ing. V. Tafel, folgte Bornemann nach dessen Ableben (1922) im Jahre 1923 und entstammt der Industrie. Er hat es sich von Anfang seiner hiesigen Tätigkeit an zur Aufgabe gestellt, solche Verhüttungsmethoden zu studieren und in ihren Reaktionen zu verfolgen, welche gestatten, die deutschen, meist sehr armen Erzvorkommen in



Schmelzhalle

wirtschaftlich tragbarer Weise zu verwerten und die dabei auftretenden Metallverluste zu vermeiden oder herabzusetzen. Daneben wurde in Diplom- und Doktorarbeiten Aufklärungsarbeit über besonders wichtige oder interessante hüttenmännische Vorgänge geleistet. Nach dem 1928 erfolgten Tode Günthers trat an dessen Stelle Lehrbeauftragter Dr. Kühle, dessen Arbeitsfeld auf dem Gebiete der elektrolytischen Metallgewinnung und -raffination liegt.

Das Metallhüttenmännische Institut erstreckt sich vom Keller bis in das dritte Stockwerk des Südflügels des hüttenmännischen Institutsgebäudes. Seine Inneneinrichtung erfolgte (zum großen Teil aus Mitteln der Industrie) durch Friedrich in einer Vollkommenheit, die es möglich macht, auch heute noch allen Anforderungen, die Lehre und Forschung stellen, gerecht zu werden, zumal auch Friedrichs Nachfolger alles getan haben, um die Einrichtungen ständig auf der Höhe zu halten. Ein großer Teil der — meist nach eigenen Entwürfen und Ideen gebauten — Apparate, Ofen usw. wurde in der von Werkmeister Imhof seit 25 Jahren in musterhafter Weise geleiteten eigenen Werkstatt gebaut.

Das **Institut für Elektrometallurgie und Probierkunde** unter Dr.-Ing. Kühle ist ausgestattet mit Gleichstromgeneratoren in allen Größen bis zu 150 Kilowatt, den erforderlichen Meßinstrumenten und Vorrichtungen für Elektrolysen wässriger Lösungen und im Schmelzfluß, ferner mit einer großen Zahl von Ofen in verschiedenen Größen für Beheizung mit Kohle, Koks, Gas und elektrischem Strom. Es können daher alle elektrolytischen Arbeiten auch in großem Maßstabe und analytische Probiermethoden auf feurig-flüssigem und nassem Wege für alle Metalle ausgeführt werden. Im besonderen wurde gearbeitet auf den Gebieten der Kupfer-, Blei-, Nickel-, Zink- und Aluminium-Elektrolyse, sowie deren Legierungen und der Probierkunde für Edelmetalle.

Der **Lehrstuhl für Metallographie und Materialprüfung** unter Prof. Dr. Sauerwald wurde bei Einrichtung der Fachrichtung Hüttenwesen gegründet. Die Zeit seiner Entwicklung fällt zusammen mit der Zeit der starken Entwicklung auf dem Werkstoffgebiet, die aus einer Hilfswissenschaft der Metallurgie und der konstruktiven Ingenieurfächer ein selbständiges Wissenschaftsgebiet großen Umfanges und großer praktischer Bedeutung für die gesamte Technik hat entstehen lassen.

Dementsprechend mußten insbesondere in der Zeit nach dem Kriege der Aufbau des Unterrichts und der Laboratorien den neuen Erfordernissen angepaßt werden. Es wurde damals der in einer Reihe von speziellen Vorlesungen verstreute Stoff zu einer einheitlichen Hauptvorlesung „Metallkunde“ zusammengeschweißt und die weitere Vertiefung in seminärstischer Gemein-

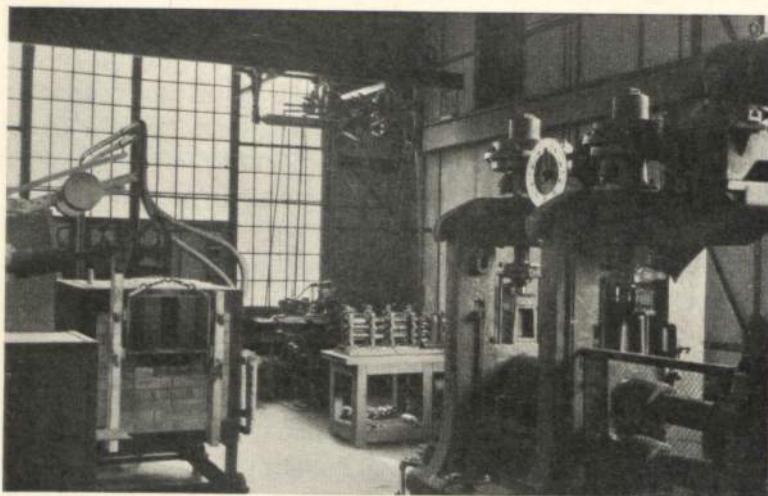
schaftsarbeit durch Entwicklung des metallkundlichen Seminars zu schaffen gesucht. Das gesamte so gelehrte Gebiet der Metallkunde als die Wissenschaft von den Eigenschaften der Metalle und Legierungen, die bei der Weiterverarbeitung und der Verwendung der Metalle eine Rolle spielen, wurde zum ersten Male in einem Lehrbuch zusammenfassend dargestellt. Für Studierende des Maschinenwesens und anderer konstruktiver Fächer wurde eine besondere, den Vorkenntnissen und Anforderungen dieser Studierenden angepaßte Vorlesung über Werkstoffkunde eingerichtet.

Für Hüttenleute wurde das Gebiet der physikalisch-chemischen Grundlagen der Metallgewinnungsprozesse noch besonders ausgebildet.

Sehr umfangreich war die Forschungstätigkeit, die mit einer großen Anzahl von Mitarbeitern ausgeführt wurde, auf allen Gebieten der Metallkunde. Es sind in den letzten 12 Jahren über 100 Veröffentlichungen erschienen. Zahlreiche Arbeiten, die nicht veröffentlicht wurden, sind auch gemeinsam mit der Industrie ausgeführt worden.

Die Laboratorien wurden in der letzten Zeit besonders durch Schaffung einer Hochfrequenzschmelzanlage, einer Einrichtung für Dauerfestigkeitsuntersuchung und für Röntgenfeinstruktur- sowie -Durchleuchtungsuntersuchung weiter entwickelt.

Die Entwicklung des **Lehrstuhles für Hüttenmaschinen- und Walzwerkskunde** und der Walzwerkversuchsanstalt ist mit den Namen Puppe und Wilhelm Tafel verknüpft, von denen ersterer von 1912 bis 1914, letzterer von 1914 bis zu seinem Tode im Jahre 1931 den Lehrstuhl innehatte. In die Zeit der Amtstätigkeit Dr. Puppes fallen die noch heute grundlegenden



Walzwerk-Versuchsanstalt

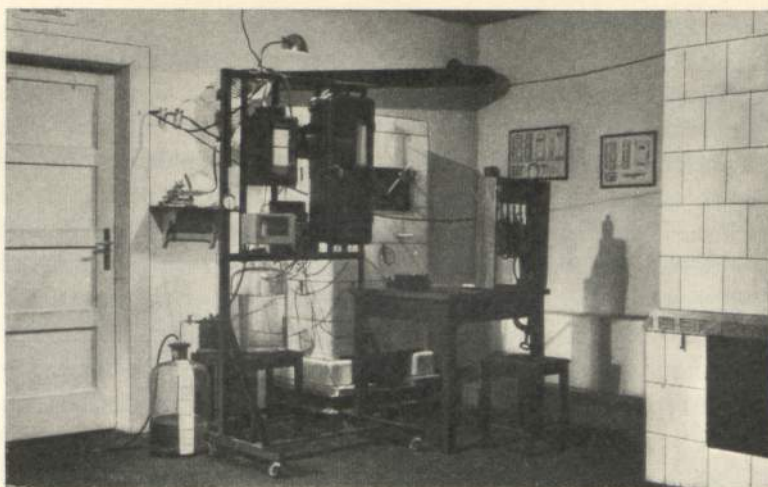
Kraftbedarfsuntersuchungen an elektrisch angetriebenen Walzenstraßen. W. Tafel ist die Einrichtung der Walzwerkversuchsanstalt zu danken, die 1925 als erste ihrer Art gebaut wurde und neben verschiedenen Wärmöfen und Hilfsmaschinen für die Bearbeitung von Walzen und Proben ein betriebsfähiges Walzen-Duo-Gerüst enthält, an dem zahlreiche Arbeiten zur Erforschung des Walzvorganges und der praktischen Formänderung von W. Tafel und seinen Mitarbeitern ausgeführt wurden. Neben

den Aufgaben aus dem Gebiet der Formänderung beim Walzen, bei denen insbesondere die Frage der Breitung durch eingehende Forschung die erforderliche Klärung fand, wurden auch Fragen der Wärme- und Energiewirtschaft, z. B. die des Wärmeüberganges in Wärmöfen an Stahl und Nicht-Eisenmetalle, untersucht. Der Lehrstuhl wurde von 1931 bis zur Berufung von Professor Dr. Netter am 1. Oktober 1934 von Privatdozent Dr.-Ing. Wagener vertretungsweise verwaltet.

Der Letztgenannte hat den Lehrauftrag **für Maschinenkunde für Berg- und Hüttenleute** inne. Der Lehrauftrag wurde im Jahre 1924 eingerichtet, als durch die hinzukommende maschinentechnische Ausbildung der Studierenden des Bergbaus die Aufgaben für den Lehrstuhlinhaber zu umfangreich wurden. Er umfaßt den maschinentechnischen Unterricht der Berg- und Hüttenleute vor und nach der Vorprüfung und eine Einführung in die Aufgaben der Maschinenkunde für Chemiker. Die Forschungsarbeiten von Dr.-Ing. Wagener liegen besonders auf wärmetechnischem Gebiet und behandeln Fragen des Wärmeüberganges und der

Wärmewirtschaft, insbesondere auch der im Hausbrand; für letztere steht ein aus Mitteln des Ofensetzer-gewerbes und des Reiches vorzüglich eingerichtetes Laboratorium zur Untersuchung von Kachelöfen zur Verfügung, in dem zahlreiche Arbeiten in enger Verbindung mit der Praxis und den Brennstoff-syndikaten ausgeführt wurden.

Bei der Lage Breslaus in der Mitte zwischen den beiden Steinkohlenbezirken von Niederschlesien und Oberschle-



Versuchsraum für Hausbrandfeuerungen

sien war die Errichtung einer **Bergbau-Abteilung** bei Gründung der Technischen Hochschule gegeben und geplant. Um einen organischen Aufbau zu sichern, wurden zunächst Vorlesungen in den Vorprüfungsfächern eingerichtet. Dazu wurden zwei im Bergbau bekannte Gelehrte, der Mineraloge Hintze und der Geologe Frech, ein hervorragender Kenner der deutschen Kohlenlagerstätten, o. Professoren der Universität Breslau, an die Technische Hochschule berufen. 1913 folgte die Schaffung einer hauptamtlichen Dozentur für Bergbau und Aufbereitungskunde, welche Dr.-Ing. Gross übertragen wurde. Der Krieg verzögerte die planmäßige Weiterentwicklung. Erst 1924 erfolgte der volle Ausbau. Dazu wurden zwei o. Professuren für Bergbaukunde, Aufbereitung und Bergwirtschaftslehre sowie eine Dozentur für Markscheidekunde geschaffen. Die eine Professur wurde Prof. Dr.-Ing. Gross übertragen, die andere zunächst von dem Privatdozenten Dr. jur., Dr.-Ing. Sieben verwaltet, bis im Jahre 1925 der jetzige Inhaber Prof. Dr.-Ing. Spackeler den Lehrstuhl übernahm. Seit dem W.-S. 1928/29 besteht daneben ein Lehrauftrag für Teile der Bergbaukunde, der dem Oberberggrat Weißleder erteilt ist. Die Markscheidekunde wurde zunächst nebenamtlich von dem Markscheider Baum, Lehrer an der Bergschule Waldenburg, übernommen und ging von ihm auf den jetzigen Inhaber der Professur an der Technischen Hochschule Berlin, Dr. phil. Niemczyk, über, der anfangs als Dozent, später als Honorarprofessor in Breslau tätig war. Im Jahre 1928 wurde an Stelle der Dozentur für Markscheidekunde eine o. Professur für Markscheidekunde und Geophysik eingerichtet und dem Begründer der seismischen Schürfverfahren, Direktor der Seismos, konzessioniertem Markscheider Dr. phil. Mintrop übertragen. Seit dem S.-S. 1932 hat sich der konzessionierte Markscheider Dr. phil. Rellensmann, Berg- und Vermessungsrat am Oberbergamt Breslau, für Markscheidekunde und Geophysik habilitiert.

Die maschinentechnische Ausbildung der Bergleute wurde zunächst, soweit sie nicht in den Laboratorien der Maschinenfakultät erfolgte, durch den Inhaber des Lehrstuhls für Hüttenmaschinenkunde, Prof. Dr.-Ing. e. h. Tafel, mit übernommen. Im Jahre 1925 wurde für die besonderen Bedürfnisse der Bergleute ein Lehrauftrag erteilt. Seit dem Jahre 1929 ist der Privatdozent Dr.-Ing. Wagener hauptamtlich als Dozent für Maschinenkunde für Berg- und Hüttenleute bei der Fakultät tätig.

Die Vorlesungen über Bergrecht waren anfangs dem Präsidenten des Oberbergamts, Berghauptmann Völckel, als Honorarprofessor übertragen. Seit dessen Tode (1925) sind sie vom Oberbergamtsdirektor Pieler übernommen, der ebenfalls zum Honorarprofessor ernannt ist.

Im Jahre 1913 wurde dem derzeitigen Inhaber des **Lehrstuhles für Bergbau und Aufbereitung**, o. Prof. Dr.-Ing. Gross, der bis dahin im Steinkohlen- und Kalibergbau Elsaß-Lothringens leitend tätig war, als Dozenten für Bergbaukunde und Aufbereitung der Auftrag gegeben,

diese Fachgebiete in Vorlesungen und Übungen zu vertreten. Damals studierten noch wenig Bergleute an der Technischen Hochschule und der Universität Breslau, die Vorlesungen waren in der Hauptsache von Hüttenleuten besucht, wurden aber auch von Studierenden anderer Fachrichtungen gehört. Es bestand bereits das Aufbereitungslaboratorium im Hof des Hüttenmännischen Gebäudes, von den Firmen Krupp Grusonwerk und Humboldt geschenkweise mit Maschinen ausgestattet, die in ihrer Zusammenstellung eine Kleinanlage der neuzeitlichen ober-schlesischen Blei-Zinkerzwaschen mit vielen anderen Apparaten darstellten. So ausgezeichnet die Maschinen waren, bildeten sie in der Art ihres Aufbaues keine geeignete Einrichtung für Unterricht und Forschung, da Prof. Gross von Anfang an die Studierenden nicht nur mit den Aufbereitungsprozessen vertraut machen, sondern vor allem die physikalische Erkenntnis der Vorgänge vertiefen und soweit als möglich an Stelle der Aufbereitungskunst die Aufbereitungswissenschaft setzen, Maß, Zahl, Rechnen und Berechnen einführen wollte. Das Aufbereitungslaboratorium an der Technischen Hochschule Breslau war das erste unabhängige dieser Art in Deutschland, wahrscheinlich in Europa überhaupt. Mit Rückberufung des Lehrstuhlinhabers von der Bergakademie Freiberg erfuhr es im Jahre 1927 einen erheblichen Umbau, verbunden mit der Schaffung neuer Räume, insbesondere für exakte physikalische und physikalisch-chemische Untersuchungen. Die Veröffentlichungen des Institutsdirektors, einige mit seinen Mitarbeitern, bewegen sich in der Hauptsache auf dem Gebiet physikalischer Messungen von Aufbereitungsvorgängen, beginnend mit der Untersuchung der Permeabilität von Zinkblende und anderen Mineralien, über deren zahlenmäßige Größen bisher nichts bekannt war. Größere Beachtung dürften weiterhin die Untersuchungen zur Kohlenaufbereitung, über Siebanalysen und Schwimm- und Sinkversuche gefunden haben, insbesondere die im Institut erdachte Methode, die Schwimm- und Sinkanalyse feinsten Stäube durch Zentrifugen durchzuführen. Es wurde stets versucht, die Aufbereitung als Wissenschaft an die anderen Fachgebiete anzuschließen, besonders an die physikalische Chemie, und dazu die Aufbereitungsvorgänge nicht nur der nutzbaren Mineralien zu behandeln, vielmehr das ganze weite Gebiet auch der Verarbeitung der Rohstoffe organischer Natur einzubeziehen. Namentlich der derzeitige Assistent des Instituts, Dr.-Ing. Gründer, hat in einer Reihe von Veröffentlichungen die Aufbereitung des Getreides behandelt. Aus dem Institut ist eine größere Reihe von Doktorarbeiten hervorgegangen, die im wesentlichen das Aufbereitungsgebiet behandeln, aber auch die Tiefbohrung, das Schacht- abteufen und den Braunkohlenbergbau betreffen.

Bald nach Einrichtung des Laboratoriums und der Veröffentlichung der ersten Arbeiten fand sich die schlesische Industrie des Bergbaues der nutzbaren Mineralien und anderer Stoffe zu Untersuchungen ein. Auch heute noch steht das Institut in dauernder Beziehung mit den Aufbereitungen bauenden Firmen sowie mit Bergwerksbetrieben und Mühlenbetrieben.

Der **Lehrstuhl für Bergbaukunde und Bergwirtschaftslehre** wurde am 1. Oktober 1925 mit Prof. Dr.-Ing. Spackeler besetzt. Außer ihm wirkten in den vergangenen fast zehn Jahren u. a. als Privatdozent der jetzige Direktor der OS. Bergschule Dipl.-Ing. Dr. phil. Marx und als Assistent Dr.-Ing. Müller, der durch seine experimentellen Untersuchungen über Gebirgsdruck in der Fachwelt bekannt wurde. Diese Untersuchungen sind in dem bergmännischen Laboratorium ausgeführt, das zu den neuesten und modernsten seiner Art gehört und außer den Forschungseinrichtungen einen Bohrmaschinenstand, Schlagprüfer, Seilprüfeinrichtungen u. a. enthält, um die Studenten vor allem im bergtechnischen Messen praktisch auszubilden.

Die günstige Lage Breslaus zwischen dem nieder- und ober-schlesischen Industriegebiet und dem Braunkohlenrevier der Oberlausitz erleichtert die Beziehungen zwischen Wissenschaft und Praxis. Das wurde für die Ausbildung der Studenten weitgehend nutzbar gemacht. In dem dem Institut angegliederten bergmännischen Seminar wurden größere Aufgaben stets dem praktischen Betriebe Nieder- und Oberschlesiens entnommen. Die Seminararbeit begann daher mit einer Grubenfahrt zur Sammlung der benötigten Unterlagen. Darauf dürfte es wesentlich

mit zurückzuführen sein, daß der Fachrichtung Bergbau stets auch Studierende angehörten, die ihre Heimat in westlichen deutschen Bergwerksrevieren hatten.

Durch die lebendige Zusammenarbeit mit dem schlesischen Bergbau wurde auch die wissenschaftliche Forschungsarbeit des Instituts beeinflußt und befruchtet. Prof. Spackeler erforscht die Fragen des bergmännischen Gebirgsdrucks und der Abbauwirkungen, ein vorher kaum beachtetes Arbeitsgebiet von großer praktischer Bedeutung. Die Untersuchungen wurden teils im Laboratorium, hier mit der erwähnten Unterstützung von Dr. Müller, überwiegend aber im Bergwerksbetriebe selbst auf Studienreisen ausgeführt. Die grundlegenden Berichte erschienen 1927—1930 in der Zeitschrift „Glückauf“. Nach einer gewissen Klärung der Fragen über die Vorgänge bei gleichmäßigem Abbau wurden Sonderfragen beantwortet, von denen die oberschlesischen Gebirgsschläge und die niederschlesischen Kohlensäureausbrüche genannt seien. Dabei konnten im besonderen Maße die Erfahrungen fremder Länder durch Heranziehung der Weltliteratur für den deutschen Bergbau ausgewertet werden. In jüngster Zeit ist die Gebirgsdruckfrage durch Aufnahme markscheiderischer Feinmessungen kleinster Gebirgsbewegungen im Abbau gewissermaßen aus dem qualitativen in das quantitative Erforschen gekommen. Die grundlegenden obengenannten Untersuchungen haben sich bisher als richtig erwiesen. Gleichwohl sind neue Probleme entstanden, an deren Klärung das Institut mitarbeitet. Darauf bezieht sich z. B. die jüngste Veröffentlichung Prof. Spackelers über Gewölbebildung über Abbauen („Glückauf“ 1934).

Aus dem Institut gingen eine Reihe von Doktorarbeiten hervor, welche die Beachtung der Fachwelt fanden. Es wurde aber nicht nur in dem Sonderforschungsgebiet, sondern, wie eine Reihe von Aufsätzen der Institutsangehörigen und von Dissertationen zeigen, auch auf ganz anderen Gebieten gearbeitet. Als Beispiele seien erwähnt Aufsätze von Prof. Spackeler über vereinigten Kali- und Erdöltiefbau und über den nordamerikanischen Salzbergbau, zahlreiche Aufsätze des Privatdozenten Dr. Marx über bergwirtschaftliche Fragen, besonders über die deutsche Rohstoffversorgung sowie eine Reihe von Dissertationen. Neuerdings sind Untersuchungen über Fragen des Braunkohlenbergbaus (Rutschungen im Tagebau und Druckwirkungen im Tiefbau im Zusammenhang mit Einwirkung der Entwässerung) in Angriff genommen.

Das **Institut für Markscheidekunde** war zunächst im Anschluß an die Institutsräume für Bergbaukunde und Aufbereitung untergebracht und befindet sich seit dem Sommer 1928 im Hauptgebäude der Technischen Hochschule. Nach der Berufung von Prof. Dr. Mintrop ist eine Abteilung für angewandte Geophysik hinzugekommen, die aus einer Erdbebenwarte und einer Sammlung geophysikalischer Instrumente für die Erforschung von Gebirgsschichten und nutzbaren Lagerstätten besteht.

Die Einrichtungen dienen in erster Linie den Studierenden des Bergfaches. Neben dem Unterricht in der Markscheidekunde werden Vorlesungen und Übungen aus der angewandten Geophysik bzw. geophysikalischen Lagerstättenforschung abgehalten.

An wissenschaftlichen Arbeiten sind aus dem Institut Dissertationen über die Ausbreitung von Maschinenschwingungen in Abhängigkeit von der geologischen Beschaffenheit des Untergrundes, seismische Untersuchungen im Zusammenhang mit der Frage nach der Ursache der Kohlensäureausbrüche im niederschlesischen Steinkohlenbezirk sowie Untersuchungen über die Gravitationsfernwirkung des Abbaues in Bergbaugebieten hervorgegangen.

Eine illustrierte Beschreibung des Instituts ist im Jahre 1931 erschienen und wird Interessenten kostenlos zur Verfügung gestellt.

Der **Lehrstuhl für Geologie**, dem seit 1925 auch der Lehrauftrag für angewandte Geologie und Lagerstättenkunde angegliedert ist, steht mit dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität in engster Verbindung. Der jeweilige Direktor dieses Instituts ist zugleich Lehrstuhlinhaber und als solcher Mitglied der Fakultät für Stoffwirtschaft bzw. neuerdings der für Bergbau und Hüttenwesen. In dieser Eigenschaft wirkten: von 1911—17 Geh. Bergrat

Prof. Dr. Frech, aus dessen umfassendem wissenschaftlichen Schaffen die Untersuchungen über die Kohlenvorräte Deutschlands und die Lagerstätten des Orients in diesem Zusammenhang erwähnt werden mögen, dann von 1919—26 Prof. Dr. Cloos, der Begründer neuer tektonischer Arbeitsmethoden, insbesondere der Granittektonik, und von 1926—31 der bekannte Diluvialgeologe Prof. Dr. Soergel. Seit 1931 hat Prof. Dr. Bederke den Lehrstuhl inne, der sich bereits 1924 an der Hochschule habilitierte und seit 1925 über angewandte Geologie und Lagerstättenkunde liest. Neben dem Lehrstuhlinhaber waren bzw. sind als Privatdozenten oder Lehrbeauftragte am geologischen Unterricht der Studenten der Technischen Hochschule beteiligt: Privatdozent Dr. Lachmann (Lagerstättenkunde 1911—17), der Begründer der umwälzenden Theorie des atektonischen Salzaufstiegs, der Geophysiker Privatdozent Dr. von dem Borne (1911—18), Privatdozent, später a. o. Prof. Dr. von Bubnoff (1926—30), der vor allem den Bau und die Bodenschätze Osteuropas erforscht hat, a. o. Prof. Dr. Meyer, Privatdozent Dr. Rode und Dr. Petrascheck, der seit 1932 den Lehrauftrag für angewandte Geologie und Lagerstättenkunde versieht.

Von den genannten Herren wurden Dr. Lachmann, Prof. Dr. Frech und Dr. von dem Borne Opfer des Weltkrieges. Die Professoren Cloos, Soergel und von Bubnoff sind seit ihrem Weggang von Breslau Institutsdirektoren in Bonn, Freiburg und Greifswald.

Den Unterrichtsbedürfnissen der Studenten des Bergbaus, der Hüttenkunde und des Bauwesens standen und stehen die großen Sammlungen, Mittel und wissenschaftlichen Hilfskräfte des gesamten geologischen Instituts zur Verfügung, was sich besonders bei der Anleitung der Diplomkandidaten des Bergbaus zu den geologischen Meldarbeiten als nützlich erweist. Zwölf Bergleute promovierten mit einer geologischen Dissertation zum Dr.-Ing., drei Markscheider zum Dr. phil. (unter ihnen der jetzige Professor für Markscheidekunde Niemczyk-Charlottenburg). Von den sonstigen Mitgliedern des Geologischen Instituts wurden in den letzten 25 Jahren über 160 wissenschaftliche Arbeiten von zum Teil erheblichem Umfang, darunter etwa 40 lagerstättenkundliche bzw. praktisch-geologischen Inhalts veröffentlicht. Ein großer Teil derselben ist der Geologie Schlesiens und seinen Bodenschätzen gewidmet und hat die Grundlage fruchtbarer Beziehungen zur schlesischen Industrie, insbesondere dem Bergbau, geliefert.

Die Oberschlesische Hauptstelle für **Grubenrettungswesen** und die **Versuchsstrecke** in Beuthen OS., welche 1908 von der Knappschafts-Berufsgenossenschaft ins Leben gerufen wurde, ist damit die älteste und in Europa auch größte Anstalt dieser Art. Neben der Leitung und der Beaufsichtigung des ober-schlesischen Grubenrettungswesens beschäftigt sich die unter a. o. Prof. Bergdirektor Woltersdorf stehende Anstalt mit der Prüfung und Entwicklung von Gaschutzgeräten und sonstigen Rettungseinrichtungen sowie auch mit der Untersuchung von Grubenwettern, Nachschwaden, Kohlen und Betriebsmitteln der verschiedensten Art. Sie verfügt zu diesem Zweck über besonders eingerichtete Spezial-Laboratorien. Erwähnenswert sind umfangreiche Untersuchungen über Brandwetter. Zur Erforschung der Vorgänge bei Schlagwetter- und Kohlenstaubexplosionen dienen die Einrichtungen der Versuchsstrecke, welche gleichzeitig die amtliche Prüfungsstelle für die Sprengstoffe und Zündmittel in den Oberbergamtsbezirken Breslau und Halle ist. Die Anlagen der Versuchsstrecke werden z. Zt. nach teilweise völlig neuen Gesichtspunkten um- bzw. neugebaut. Hierzu gehört auch ein elektrisches Laboratorium, das u. a. auch die Untersuchung der Zündmaschinen übernehmen wird. Ergänzt werden die Einrichtungen durch eine meteorologische Station.

Auf der Hauptrettungsstelle befindet sich eine ständige Grubenwehrbereitschaft, deren Mannschaften in einem bestimmten Turnus sämtlichen Grubenwehren des Bezirks entnommen und im Bedarfsfalle mittels Kraftwagen den gefährdeten Gruben zugeführt werden.

Eine vielseitig ausgestattete Werkstatt dient zur Instandhaltung der Rettungsgeräte und Apparaturen, führt gleichzeitig auch Neukonstruktionen durch (von der Schmiede bis zur Feinmechanik).

Bei der steigenden Wichtigkeit, die dem Grubensicherheitswesen im Bergbau zukommt, lag es auf der Hand, die Einrichtungen der Anstalt auch für den akademischen Unterricht nutzbar zu machen. Zu diesem Zwecke begannen 1926 Lehrgänge für die Bergstudenten der Technischen Hochschule Breslau unter Leitung des Anstaltsdirektors, welcher sich 1926 habilitierte und gegenwärtig als a. o. Professor dem Lehrkörper der Technischen Hochschule angehört.

In den ersten Jahren seines Bestehens nach Gründung der Hochschule wurde der **Lehrstuhl für Mineralogie und Petrographie** durch den o. Professor an der Universität, Geh. Regierungsrat Prof. Dr. Hintze, verwaltet. Er hielt seine an der Universität angekündigten Vorlesungen und Übungen in den Räumen des Mineralogisch-petrographischen Instituts ab. Am 12. September 1910 wurde der Privatdozent Prof. Dr. Sachs zum Dozenten an der Technischen Hochschule für den speziellen Unterricht in Erzlagerstättenlehre ernannt. Diese Dozentur übernahm kurz darauf der Privatdozent Prof. Dr. Beutell, der bis zu seinem Tode im Jahre 1922 eine besondere zweistündige Vorlesung über „Erzlagerstätten“ las. Nachfolger des 1916 verstorbenen Prof. Dr. Hintze wurde 1917 der o. Prof. Dr. Milch, der von da an besondere Vorlesungen und Übungen für die Studierenden der Technischen Hochschule einrichtete und diese getrennt von den Universitätsvorlesungen abhielt. Im Jahre 1923 übernahm er auch die bis dahin von dem Dozenten Prof. Dr. Beutell gehaltene Vorlesung über „Erzlagerstätten“. Anlässlich des vollständigen Ausbaues der Fachrichtung Bergbau erfolgte im Jahre 1924 eine Trennung der speziellen Vorlesungen des Wintersemesters für Chemiker, Hüttenleute und Bergleute. Nach dem Tode Prof. Dr. Milchs im Jahre 1927 übernahm 1929 der gegenwärtige Lehrstuhlinhaber Prof. Dr. Spangenberg die Vorlesungen und Übungen.

Von ihm wurden nicht nur die getrennten Vorlesungen für die einzelnen Fachrichtungen, zu denen die Bauingenieure noch kurz vorher hinzugekommen waren, weiter ausgebaut, sondern es wurden auch besondere Lern- und Übungsversammlungen zum makroskopischen Bestimmen der nutzbaren und bautechnisch wichtigen Gesteine, für die Bergleute eine Erlern- und eine Erzbestimmungssammlung sowie eine Erzlagerstättensammlung und eine Anschliffsammlung zu erzmikroskopischen Übungen neu angelegt.

Von Prof. Dr. Beutell sind zahlreiche Untersuchungen aus dem Institut hervorgegangen (chemisch-mineralogische Untersuchungen an Glanzkobalt, Arsenkies, Glaukodot; über die Konstitution von Markasit-, Arsenkies-, Glaukodot-Gruppe, desgleichen von Zinkblende, Wurtzit und Hauerit; über die Genese der Arsenerzlagerstätte von Reichenstein; Synthese der Nickelarsenide; mikroskopische Untersuchung des Speiskobalts und Chloantits; zur Genese von Speiskobalt und Chloantit auf Erzgängen u. a. m.). Auch die rein petrographischen Arbeiten von Milch kamen im wesentlichen seiner Lehrtätigkeit an der Technischen Hochschule zugute. Seitdem sind aus dem Mineralogischen Institut Arbeiten über schlesische Erzlagerstätten und schlesische Gesteine hervorgegangen und werden besonders vom jetzigen Lehrstuhlinhaber mit mehreren Mitarbeitern gepflegt.

Mit dem Institut für Straßenbauforschung der Technischen Hochschule besteht enge Zusammenarbeit hinsichtlich der petrographisch-mikroskopischen Untersuchungen von Straßenbaumaterialien.

Bei Gründung der Technischen Hochschule wurde eine **Kokereiabteilung** eingerichtet. Zur Erweiterung des zuerst vorgesehenen Unterrichtes erhielt 1912 Dipl.-Ing. Schmolke einen Lehrauftrag für Kokerei- und Gaswerksbau, der 1918 durch die früher von Prof. Simmersbach gehaltenen Vorlesungen und Übungen in Kokereikunde erweitert wurde. Der Unterricht bezweckt die Ausbildung der Studierenden für den Bau, Betrieb und die Verwaltung im Kokerei- und Gasfach. Es wurden Bauwesen, Betriebslehre, Wirtschaft und Ferngasversorgung in das Lehrgebiet aufgenommen. Besondere Beachtung fand die Verbesserung der Wärmewirtschaft im Kokereiwesen. In Diplomarbeiten wurden Aufgaben, die bauliche, wärmetechnische und wirtschaftliche Fragen behandeln, bearbeitet. Ergebnisse aus Arbeiten im Laboratorium und Untersuchungen an Werksanlagen wurden in Fachzeitschriften veröffentlicht.

Zur Einrichtung einer **Bibliothek** wurde im Januar 1911 ein Bibliothekar der Breslauer Universitätsbibliothek, Prof. Dr. Molsdorf, an die Hochschule beurlaubt. Am 18. Mai 1911 konnte die Bibliothek bereits eröffnet werden. Für sie waren zwei Giebelräume des Hauptgebäudes der Hochschule zu zwei Sälen ausgebaut worden, die als Leseraum und Büchermagazin dienten. Durch Abtrennungen mittels dünner Wände wurde eine Bücherausgabe und ein kleines Vorstandszimmer gewonnen. 1913 erfuhr das Magazin eine Erweiterung durch den ganzen östlich anstoßenden Teil des Dachgeschosses, und 1929 erhielt die Bibliothek in diesem Baustrakt noch zwei kleinere Räume für Buchbinderarbeiten und Dissertationsvorräte. Anschließend an den Lesesaal wurden nach Westen drei Zimmer als Dozentenlesezimmer, Beamtenzimmer und Vorstandszimmer ausgebaut. Das bisherige Zimmer des Bibliothekars neben der Bücherausgabe wurde durch Herausnahme der Trennwand mit der Bücherausgabe vereinigt, wodurch diese eine befriedigende Größe erhielt und infolge der nunmehr beiderseitigen Beleuchtung auch heller geworden ist.

Im Lesesaal sind eine Reihe Nachschlagewerke aufgestellt, und in einem umfangreichen Gestell liegen die neuesten Hefte von über 200 Zeitschriften zur Einsicht aus. Den Bücherbestand der Bibliothek, der auf über 40 000 Bände ohne Hochschulschriften angewachsen ist, verzeichnen drei gleichfalls im Lesesaal stehende Kataloge, ein alphabetischer Katalog der Bücher und Zeitschriften, ein alphabetischer Katalog der Hochschulschriften und ein Schlagwortkatalog, der den gesamten Bestand der Bibliothek nochmals nach Schlagworten geordnet enthält. Besonders dieser letztere Katalog hat sich außerordentlich bewährt und erfreut sich daher reger Benutzung. Die Kataloge sind auf Zetteln des internationalen Formates in Maschinenschrift, seit 1928 unter Benutzung der Berliner Titeldrucke, aufgenommen und in entsprechenden Schränken untergebracht.

Die Aufstellung der Bücher im Magazin erfolgt in 20 Gruppen und in diesen nach dem Eingang mit fortlaufender Numerierung. Ein Standortkatalog in Bänden, der sich im Vorstandszimmer befindet, gibt ein Abbild dieser Anordnung.

Zur Beschaffung von Büchern stand ein anfangs sehr bescheidenes jährliches Ordinarium von 6000 Mark und ein einmaliges Extraordinarium von 120 000 Mark zur Verfügung. Das Ordinarium stieg dann auf 10 000 Mark, wuchs in den Inflationsjahren ins Unermeßliche, um danach entsprechend dem wirtschaftlichen Verfall des Landes bedeutend abzusinken. Auch heute kann der Staat die Bibliotheken noch nicht wieder ausreichend dotieren. Geschenke gingen und gehen nur in bescheidenem Umfange ein, dagegen brachten die seinerzeit überwiesenen Dubletten der Bibliotheken der Technischen Hochschulen Berlin und Danzig einen beträchtlichen Zuwachs zum Grundbestande.

Da an der Hochschule zuerst nur drei Abteilungen für Allgemeine Wissenschaften, für Maschinenbau und Elektrotechnik und für Chemie und Hüttenkunde eingerichtet waren, beschränkte sich die Bücheranschaffung vorzugsweise auf diese Gebiete, doch wurden im Hinblick auf den beabsichtigten Ausbau der Hochschule, der in den Jahren 1924 (Bergbau) und 1927/34 (Bauingenieurwesen und Architektur) erfolgte, auch einige wichtigere Erscheinungen dieser Fächer erworben. Von anderen Wissensgebieten konnte im allgemeinen mit Rücksicht auf die hier vorhandene Universitätsbibliothek abgesehen werden. 1934 wurde für Bücherbeschaffung der Bauabteilung ein Extraordinarium von 4000 RM für die Bibliothek und von 2000 RM für die entsprechenden Lehrstühle bewilligt.

Der anfangs nur spärliche Besuch der Bibliothek hob sich von Semester zu Semester, bis der Weltkrieg auch hier die Entwicklung unterbrach. Die Haupttätigkeit der Bibliothek in dieser Zeit bestand in Verbindung mit anderen Breslauer Bibliotheken in der Versorgung der Truppen mit Lesestoff. Die Bibliothek der Technischen Hochschule allein schickte 33 533 Bände in Lazarette und ins Feld. Nach dem Kriege hob sich der Besuch der Bibliothek, die auch in steigendem Maße von den Angehörigen der Universität wie von auswärts von Behörden, Anstalten und von der Industrie benutzt wird. Der Lesesaal hat trotz der ungünstigen Lage des Raumes im obersten

Geschoß des Hauptgebäudes einen Tagesdurchschnitt von über 50 Besuchern durch das ganze Jahr, verliehen werden über 20 000 Bände jährlich.

Am 1. April 1912 wurde der kommissarische Leiter der Bibliothek, Prof. Dr. Molsdorf, zum Bibliothekar des Instituts ernannt, wodurch die Stelle etatsmäßig wurde. Nach seiner Pensionierung folgte ihm am 1. Januar 1920 der jetzige Leiter der Bibliothek, Bibliotheksrat Dr. Pescheck. Das ursprünglich nur aus einer Schreibhilfe ohne bibliothekarische Vorbildung und einem Diener bestehende Personal ist inzwischen auf zwei diplomierte, etatsmäßige Hilfsarbeiterinnen, einen Magazinverwalter und einen Bibliotheksangestellten angewachsen.

Die im ganzen nicht zur Ausführung gekommene Zusammenlegung der beiden Breslauer Hochschulen ist bei einigen Wissenszweigen und bei der Bibliothek vollzogen worden, wobei letztere jedoch ihr bisheriges Eigenleben weiterführt, und nur unter der Oberleitung des Direktors der Staats- und Universitätsbibliothek ein gemeinsamer Plan über Verteilung der Anschaffungsgebiete und Verbrauch der staatlichen Mittel durchgeführt wird.

Die Verbindung mit der Öffentlichkeit und den Ingenieurverbänden wird durch das sogenannte, dem stellvertretenden Rektor unterstehende **Außeninstitut der Hochschule** aufrechterhalten. In seinem Rahmen werden in den Räumen der Hochschule Vorträge über allgemein interessierende Themen in nicht volkstümlicher sondern fachlicher Form gehalten, die allgemein zugänglich sind.

Über **Pressewesen** hält der Leiter der 1931 geschaffenen Pressestelle der Technischen Hochschule, Dozent Dr. Matzke, der in der Berufsliste eingetragener Schriftleiter ist, laufend Einführungsvorträge. Er verwaltet auch das Hochschul-Presse-Archiv.

Die Studentenschaft der Technischen Hochschule Breslau

Am 1. Oktober 1910 wurde in der Technischen Hochschule Breslau mit der ersten Immatrikulation im alten Senatszimmer des damaligen Verwaltungsteiles der Hochschule in der Hansastraße der Betrieb eröffnet. Man war froh, als das erste Hundert der Immatrikulierten erreicht war, denn der Andrang zur Hochschule war noch nicht sehr groß. Es waren unter ihnen manche, die von westlichen Hochschulen nach dem Osten gekommen waren.

Die Entwicklung des Lebens innerhalb der Studentenschaft spiegelt sich, den Gebräuchen der damaligen Zeit folgend, besonders im Entstehen der Korporationen wieder. Neben völligen Neugründungen lebten Verbindungen auf, die von anderen Orten und auch von der Universität zur Technischen Hochschule übersiedelten. Bei der Einweihung der Hochschule am 29. November 1910 traten erstmalig sieben Korporationen in ihrer Gesamtheit auf.

Die ersten Anfänge einer studentischen Selbstarbeit gehen auf die bereits damals starke Aktivität der Freien Studentenschaft an der Universität zurück, welche auch an der Technischen Hochschule für ihre Ideen und, vornehmlich auch für die Wohlfahrtseinrichtungen, Wirtschaftsämter usw. warb. Es wurde auch bald nach der Eröffnung der Technischen Hochschule im Keller des Hauptgebäudes eine Mensa eröffnet, die rege in Anspruch genommen wurde.

Die Arbeit der Studentenschaft wurde in der damaligen Zeit nur wenig erleichtert. So bestanden z. B. ganz allgemein Bedenken, die Studentenschaft von sich aus bei akademischen Feiern und ähnlichen Gelegenheiten zu Worte kommen zu lassen. Es lag dies eben an den Anschauungen der damaligen Zeit, die anders waren als heutzutage. Deshalb gab es auch wenig Höhepunkte im Leben der Studentenschaft. Unter ihnen treten jedoch ganz besonders hervor die Erinnerungsfeiern an die Freiheitskriege und auch die große historische Jahrhundertausstellung in Breslau. An einer überwältigend schönen Erinnerungsfeier an die Einsegnung der Lützower in der Kirche zu Rogau nahm die gesamte Breslauer Studentenschaft teil. In lebhafter Erinnerung mögen die ersten Augusttage des Jahres 1914 stehen, an denen die Zahl der Studierenden sehr zusammenschumpfte, weil alle Kameraden, die ihrer militärischen Pflicht noch

nicht genügt hatten, als Kriegsfreiwillige in Deutschlands Heer eintraten. Von da an war das Leben der Studentenschaft von den großen Ereignissen des Weltkrieges beherrscht. Langemarck ist das größte, das erschütterndste Ereignis nicht nur im Buch unserer jetzigen Kameraden, sondern auch in dem unserer Kameraden vor zwanzig Jahren. Ein Wort ehrenden Gedenkens sei an dieser Stelle einem Mann gewidmet, der auch damals nicht nur Führer, sondern auch Kamerad seiner jungen, ihm anvertrauten Soldaten war. Es war der Professor der Staatswissenschaften an der Technischen Hochschule und Universität von Wenkstern, der an der Spitze einer der Langemarck-Kompagnien, die aus jungen Studenten bestand, gefallen ist. Sein heldenhaftes Vorbild wird uns auch in fernster Zukunft Kraft aus der Quelle von Langemarck schöpfen lassen.

Die Nachkriegszeit zeigt in der Geschichte der studentischen Selbstverwaltung an unserer Hochschule zwei scharfe Einschnitte: den ersten mit der Verzichtserklärung auf die staatliche Anerkennung der Studentenschaft und den zweiten mit der Betreuung der studentenschaftlichen Vertretung mit hochschulpolitischen Aufgaben durch den neuen nationalsozialistischen Staat. Über die Anfänge einer stärkeren Aktivität seit den ersten Studententagen in Würzburg, Dresden und Göttingen kam man schwer heraus; denn es gab nur wenige, die das Erwachen des Selbstbewußtseins in den jungen Studenten mit wohlwollenden Blicken betrachteten. Aus dem Chaos der Revolution schälten sich vier Vertretertypen in der studentischen Selbstverwaltung heraus, die durch ihre unterschiedlichen Interessen vorläufig noch kein klares Bild vom Wollen und Streben der Studenten entstehen ließen. — Der Kriegstudent war in seiner Arbeitsweise der grundlegende Schöpfer, die zweite Kategorie stellt die bewußt Weiterbauenden dar. Die dritte Gruppe weist die um die Erhaltung des Geschaffenen Ringenden auf. Der SA.-Student nahm sich aus dem Überlieferten das Gute heraus und fügte seine eigenen nationalsozialistischen Ideen und Ideale in seine Arbeit ein.

Der innere Aufbau der Studentenschaft gruppierte sich zwangsläufig um die notwendigen Einrichtungen für die soziale Fürsorge der damaligen Studierenden. Aus dieser Selbsthilfe der Studentenschaft heraus entstand so ohne alle fremde Hilfe als Bedeutsamstes das Wirtschaftsamt der Studentenschaft mit allen seinen sozialen Ämtern. In der Ausbauzeit der darauf folgenden Jahre erfuhr die soziale Fürsorge und Selbsthilfe weitgehende Untermauerung, während gleichzeitig die Stellung der Hochschule als nationales Bollwerk im deutschen Osten befestigt wurde.

Neben diesen Bestrebungen lief jahrelang der Kampf um die Erhaltung des nationalen Charakters der Studentenschaft und der Hochschule, der dann im Streit mit dem Ministerium Becker im einhelligen Verzicht der Studentenschaft auf die Beibehaltung der staatlichen Anerkennung endigte. Bemerkenswert für diese ganze Zeit von 1920—1927 ist das außerordentlich starke Zusammengehörigkeitsgefühl der Studierenden untereinander und mit der Professoren-schaft. Der Geist des Frontsozialismus, die Kameradschaft des Werkstudenten und des im nationalen Kampf stehenden Grenzlanddeutschen schmiedeten in der Not der Zeit ein starkes Band um alle und ließen die Angehörigen der Technischen Hochschule als ein geschlossenes Ganzes erscheinen. Hieran konnten auch die Versuche einiger international eingestellter Außenseiter nichts ändern. Äußerlich bewährte sich dieses kameradschaftliche Band durch die starke Teilnahme an den Oberschlesienkämpfen, in den Kämpfen anlässlich des Kapp-Putsches, bei der fast geschlossenen Teilnahme an den Einsätzen der Technischen Nothilfe, bei den verschiedenen Hochwasserkatastrophen der Oder sowie bei den Streiks lebenswichtiger Betriebe. Überwältigend war auch die Anteilnahme weitester Kreise der Studierenden beim Kampf um die Wiederherstellung der nationalen Ehre, die durch Hochschuldozenten wie Lessing und Gumbel in den Schmutz gezogen worden war. In diese Gemeinschaftsarbeit gehört auch die tatkräftige Mitarbeit mit Schaufel und Spaten an der Erbauung des akademischen Sportplatzes in Wilhelmsruh; hierher gehört ferner die Ausgestaltung der Feste der Studentenschaft ohne jede fremde Hilfe in organisatorischer und künstlerischer Hinsicht zu Kundgebungen wahrsten Gemeinschaftsgeistes. Aus ihren Reinerträgen konnten Tausende von Mark jeweils den sozialen

Zwecken der studentischen Fürsorge, den Aufgaben für körperliche Ertüchtigung und den Zwecken unserer Patenhochschule Brünn zugeführt werden.

Der Charakter als Grenzlandhochschule brachte auch die Verpflichtung zur Grenzlandarbeit mit sich. Zahlreiche Grenzlandfahrten wurden unternommen in die angrenzenden deutschen Gebiete Mährens und Polens, in die bedrohten Gebiete unserer eignen Provinz und fernab bis zu den deutschen Bauern in der Zips. Praktisch unterstützten wir unsere Patenstudentenschaft Brünn in ihrem schweren Kampf um das deutsche Volkstum durch laufende Beiträge und durch sonstige große Zuwendungen.

Dieser so starken und hoffnungsfreudigen Entwicklung der studentischen Selbstverwaltung nach innen und außen versetzte das damals herrschende System in der Person des Kultusministers Becker einen schweren Schlag. Es stellte die Forderung auf, daß die preußischen Studentenschaften sich nur mit solchen Studentenschaften verbinden durften, die die gleiche Zusammensetzung hätten wie sie selbst. Dies hätte praktisch ein Überhandnehmen volksfremder und rassefremder Elemente in den Studentenschaften Danzigs, Osterreichs und Sudetenlands bedeutet. Freiwillig haben hier die preußischen Studentenschaften auf all ihre Rechte und Einkünfte aus der staatlichen Anerkennung verzichtet. An erster Stelle erklärte am 30. November 1927 die Studentenschaft der Technischen Hochschule Breslau diesen Verzicht, wie überhaupt unsere Studentenschaft in der vordersten Linie und mit unter den Führern im Kampfe um unsere nationalen Belange gestanden hat.

Die Zeit nach 1927 war ein Kampf um die Erhaltung des Geschaffenen. Hierbei haben nach einer Periode vorübergehenden Sinkens der Wirksamkeit ihrer Arbeit die nationalen Kreise der Studentenschaft, Korporationsstudenten und Freie Studentenschaft, in gemeinsamer Arbeit das Werk in der Erkenntnis seiner Wichtigkeit hindurchgetragen, bis mit der Ablösung des bisherigen Systems durch den Nationalsozialismus wieder frisches Leben und frische Kraft in die Studentenschaft hineinkam.

Die Ereignisse seit der Machtübernahme durch den Nationalsozialismus überstürzten sich fast. Im Sommersemester 1933 setzt von der Studentenschaft ein harter Kampf um die Erhaltung der Selbständigkeit unserer Technischen Hochschule ein. Dieser Kampf verschlingt alle Geldmittel, und es bleiben große Schulden, die erst ganz allmählich abgestoßen werden können. Daneben, aber mit gleicher Intensität, geht der Neuaufbau der studentischen Selbstverwaltung vor sich. Es gilt, den Lebensstil des Studenten umzuformen. Der SA-Student tritt hervor, nicht nur wie bisher im Sinne der politischen Opposition, sondern als derjenige, der das Wesen des neuen Lebensstiles zeigt. Am Ende des Sommersemesters 1933 nehmen einige Amtsträger und Mitarbeiter der Studentenschaft am Studententag in Aachen teil.

Im Wintersemester 1933/34 übernimmt der Nationalsozialistische Deutsche Studentenbund die Führung der Studentenschaft in allen ihren Ämtern. Die Aufgabe, die Gesamtstudentenschaft mit den Ideen des Nationalsozialismus zu durchdringen, wird in planmäßiger Schulung und politischer Erziehung durchgeführt. Denn der Student studiert nicht für sich, sondern für sein Volk; die Ausrichtung seines Studiums auf seinen späteren Beruf in politischer Beziehung erfolgt unter diesem Gesichtspunkt.

Am Ende des Wintersemesters 1933/34 tritt die Studentenschaft der Technischen Hochschule korporativ dem Bund der Saarvereine bei.

Nachdem zu Beginn des Sommersemesters 1934 die Geldsorgen zum größten Teil behoben sind, bleibt der Weg für weitere Aufbauarbeit frei. Für die Verwaltung der Studentenschaft wurden neue Räume geschaffen. Die kameradschaftliche Erziehung und die enge kameradschaftliche Zusammenarbeit mit der Studentenschaft der Universität geben die Möglichkeit, Führerprinzip und Mannschaftsgedanken in gleicher Weise sich auswirken zu lassen. Die Studentenbundsvertreter nehmen am Parteitag in Nürnberg teil.

Das Wintersemester 1934/35 beginnt mit der grundlegenden Umorganisation des Nationalsozialistischen Deutschen Studentenbundes: er wird eine Untergliederung der Partei. Mitglieder

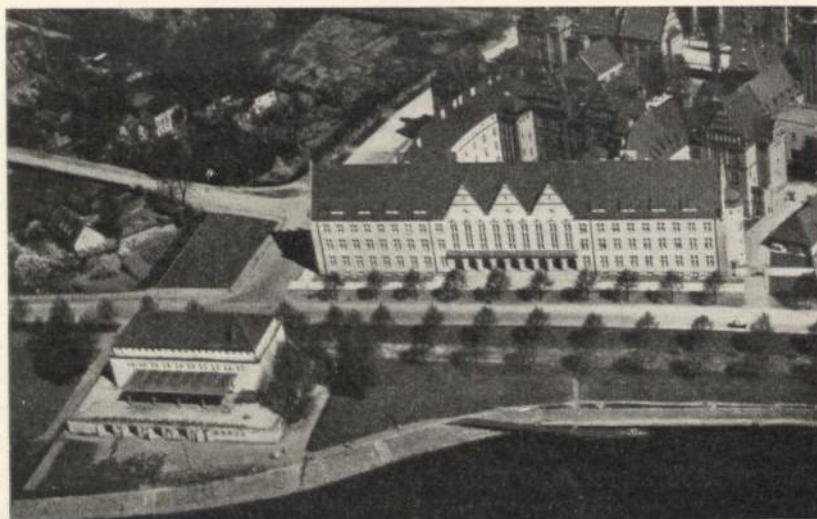
sind nur noch Parteigenossen und alte NSD-Studentenbundskameraden. Daneben werden solche jungen Kameraden aufgenommen, die gewillt sind, sich freiwillig für die Arbeit des Nationalsozialismus einzusetzen. Neben der Schulung „Volk und Rasse“ erfolgt die Schulung der Gesamtstudentenschaft mit der Dozentenschaft zusammen. Aus der großen Menge der Schulungsarbeit seien die Vorträge des Deutschen Institutes für Nationalsozialistische Arbeitsforschung und -schulung herausgegriffen. Die weitere Schulungsarbeit unter dem Gesichtspunkt „Hochschule und Landschaft“ (Landesplanung) soll im Sommersemester 1935 in breitester Front in Angriff genommen werden, nachdem die hierfür notwendigen Vorarbeiten beendet worden sind.

Das Studentenwerk der Technischen Hochschule Breslau

Dr.-Ing. Wagener.

Aus dem Geist der Kameradschaft, den die zurückkehrenden Frontkämpfer aus den Schützengräben in die Hochschulen trugen, und aus der Not der Nachkriegsjahre entstand, wie an anderen Hochschulen, auch an der unseren die studentische Selbsthilfe, die sich die Aufgabe stellte, durch gemeinsamen Einsatz die wirtschaftlichen Bedrängnisse der Nachkriegs- und Inflationsjahre unter den Kommilitonen zu lindern. Es wurde im Rahmen der studentischen Selbstverwaltung das Wirtschaftsamt und in Zusammenarbeit mit den Dozenten die „Studentennot“ gegründet, die aus Pflichtbeiträgen der Studenten und aus freiwilligen Spenden staatlicher, kommunaler und privater Stellen einen segensreichen Kampf führte gegen die wachsende Not der Studierenden durch Beschaffung von Lebensmitteln und Kleidung, durch geldliche Beihilfen und Darlehen, und die vielen Kameraden das Durchhalten während des Studiums ermöglicht haben. Das studentische Wirtschaftsamt übernahm auch die Verwaltung der im alten Hauptgebäude befindlichen Kantine, die bis dahin verpachtet war, und der Verkaufsstelle. Auf eine breite Grundlage wurden die Maßnahmen der kameradschaftlichen Selbsthilfe gestellt durch die Gründung der „Wirtschaftshilfe der deutschen Studentenschaft“ im Jahre 1921 in Tübingen, der „Darlehnskasse der Deutschen Studentenschaft e. V.“ 1922 und der „Studienstiftung des Deutschen Volkes“, für die gemeinsam im Haushaltsplan des Staates Mittel unter dem Titel „für Zwecke studentischer Wirtschaftshilfe“ bereitgestellt wurden.

Im Jahre 1926 erhielt das studentische Wirtschaftsamt der Technischen Hochschule eine juristische Form als eingetragener Verein, dessen Mitgliedschaft jeder Student bei der Immatrikulation erwarb, und dessen Vorstand aus zwei Dozenten und einem Studenten bestand. Er umfaßte außer Krankenkasse, Darlehnskasse und Studentennot, die zunächst selbständig weiter bestanden, alle Einrichtungen sozialer Hilfe und Fürsorge, die im Laufe der Jahre geschaffen worden waren, und arbeitete eng zusammen mit der damaligen „Ver-einigung der Studierenden an der T. H.“. In diese Zeit fällt der Umzug der



Hochschule und Studentenheim

Roter Saal

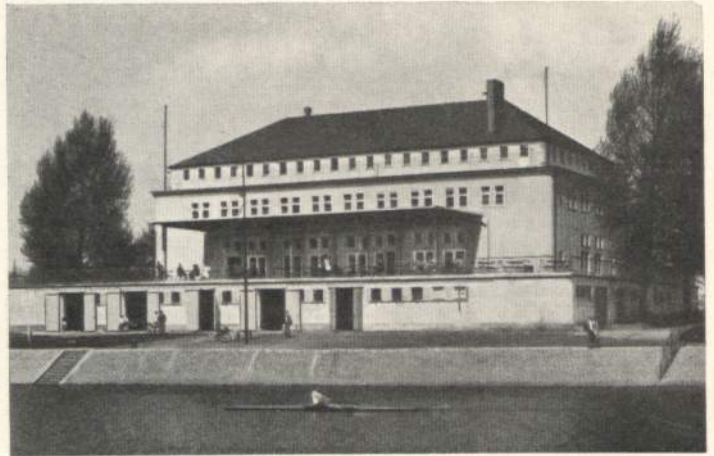


Haupteingang



Grüner Saal

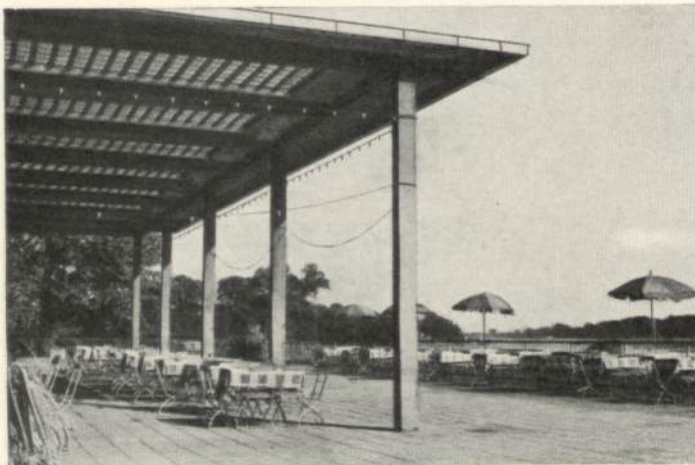
Kantine in schöne, große Räume des neuen Hauptgebäudes und von 1928 bis 1930 der Bau des Studentenheimes, dessen Errichtung der aufopferungsvollen Arbeit der damaligen Vorstandsmitglieder des Wirtschaftsamtes, der Unterstützung durch die „Wirtschaftshilfe der Deutschen Studentenschaft“ und den zahlreichen Geld- und Sachspenden der schlesischen Industrie und anderer Freunde der Technischen Hochschule zu danken ist. Trotz der wirtschaftlichen Schwierigkeiten, die nach der Scheinblüte von 1929 bedrohlich wuchsen, konnte so den Studenten ein Heim geschaffen werden, das durch seine ideale Lage und seine großzügige Gestaltung zu den schönsten Studentenhäusern zu zählen ist.



Studentenheim von der Oder aus gesehen

Im Jahre 1929 wurde aus der „Wirtschaftshilfe der Deutschen Studentenschaft“ das „Deutsche Studentenwerk e.V.“, das 1934 seinen Sitz von Dresden nach Berlin verlegte und am 2. November 1934 durch Ministerialerlaß in „Reichs-Studentenwerk“ umbenannt und zugleich als eine Anstalt des öffentlichen Rechts unter der Aufsicht des Reichsministers für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung erklärt wurde. Im Juli 1933 wurde auch das Wirtschaftsamt der Technischen Hochschule in „Studentenwerk Technische Hochschule Breslau e. V.“ umbenannt und dem Deutschen Studentenwerk angegliedert. Im letzten Jahr sind auch die neben dem Studentenwerk noch bestehenden Einrichtungen studentischer Fürsorge, oder wie wir heute sagen, studentischer „Förderung“, wie Studentennot, Krankenkasse und Darlehnskasse im Studentenwerk aufgegangen. Durch Personalunion des Vorstandes ist gleichzeitig eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Studentenwerk der Technischen Hochschule und dem der Universität gesichert worden. Im Studentenheime konnte auch ein Zeitungslesezimmer eingerichtet werden. Die ausliegenden Zeitungen werden zum Teil von der Studentenschaft, zum Teil aus einem jährlichen Staatsfonds „Lesehalle“ beschafft, der von der Hochschulbibliothek verwaltet wird.

Die Aufgabe des Studentenwerkes ist „jeder volksdeutschen Begabung ohne Rücksicht auf Herkunft und wirtschaftliche Kraft den Zugang zur deutschen Hochschule zu ermöglichen. Sein Ziel ist die Auslese der Tüchtigsten im Sinne nationalsozialistischer Forderungen.“



Terrasse

Mitglieder des Vereins Studentenwerk sind die an der T. H. immatrikulierten reichsdeutschen Studenten arischer Abstammung und die Hochschulangehörigen; daneben können natürliche oder juristische Personen durch einen geringen Jahresbeitrag die Mitgliedschaft und damit das Recht zur Benutzung der Einrichtungen des Studentenheimes erwerben. Der Kopfbeitrag der Studenten wird vom Reichsminister für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung festgesetzt. Neben den Mitgliedsbeiträgen erhält das Studen-



Blauer Saal

Die Arbeit des Studentenwerkes besteht heute aus folgenden Gliederungen:

- A) Förderung,
- B) Gesundheitsdienst,
- C) Wirtschaftsbetriebe.

Zur Förderung gehört die Kameradschaftsförderung (1. und 2. Semester), die Studienförderung (3. bis 6. Semester) und die Darlehnskasse (ab 6. Semester), bei denen durch Zuschüsse zu den Lebenshaltungs- und Studienkosten, durch Freitische und durch Gewährung von langfristigen Darlehen bedürftigen Kameraden das Studium ermöglicht oder erleichtert wird. Daneben werden Vergünstigungen für Theater, Konzerte, Bücherbeschaffung usw. sowie Gelegenheitsarbeiten und Wohnungen für Studierende vermittelt. Die Auswahl der in die Förderung aufgenommenen Kameraden erfolgt nach Feststellung wirklicher Bedürftigkeit in den ersten Semestern auf Grund der Beurteilung in Schule, H.-J. und Arbeitsdienst, in den späteren auf Grund von Gutachten der Dozenten und der Bewährung in SA., Kameradschaftshaus und Fachschaftsarbeit.

Der Gesundheitsdienst übernimmt die Überwachung des Gesundheitszustandes der Studierenden durch Pflichtuntersuchungen im 1. und 5. Semester, die Behandlungskosten in Krankheitsfällen und die Fürsorge für tuberkulosekranke Studenten durch Zuschüsse zu Behandlung und Kuraufenthalt.

Zu den Wirtschaftsbetrieben gehört das Studentenheim mit dem Speisebetrieb, die Verkaufsstelle, in der vor allem Zeichengerät und Dinge des täglichen Bedarfs zu Vorzugspreisen an Studierende abgegeben werden, eine Flickstube und ein Friseurgeschäft. Das schöne, geräumige Studentenheim, in dem zugleich der Ruderbetrieb beider Hochschulen seine Heimstätte in den fünf großen Bootshallen des Sockelgeschosses hat, und das außer den auch zu Festlichkeiten jeder Art geeigneten Speisesälen einen Fechttraum, einen Arbeitssaal, ein neuzeitliches Ruderbecken und Einzelwohnungen für Studierende enthält, dient in erster Linie dem Speisebetrieb, der den Studenten zu billigsten Preisen einen



Blick von der Terrasse auf die Oder

tenwerk zur Durchführung seiner Aufgaben laufende Mittel vom Reichsstudentenwerk und Zuschüsse der Provinzial- und der Stadtverwaltung. Manche Aufgaben bedürfen aber der Unterstützung durch Spenden von privater Seite, deren sich das Studentenwerk in den vergangenen Jahren oft und in reichem Maße erfreuen durfte; wenn wir an dieser Stelle dafür herzlich danken, so verbinden wir damit die Hoffnung, daß uns diese Quelle auch in Zukunft nicht versiegen wird.

reichlichen, schmackhaften Mittags- und Abendbrottisch bietet. Die Wirtschaftsbetriebe sollen sich nach Möglichkeit aus eigener Kraft erhalten und der Verbilligung der Lebenshaltung aller Studierenden dienen.

Die Durchführung dieser vielseitigen Aufgaben ist nur durch selbstlose Hingabe der studentischen Mitarbeiter möglich, die in wahrem Kameradschaftsgeist diese Arbeit neben ihrem Studium auf sich nehmen.

So ist aus kleinen Anfängen studentischer Selbsthilfe ein großes „Studentenwerk“ geworden, das einen wichtigen Platz in der Betreuung unserer Hochschuljugend einnimmt, und das im alten Frontgeist, aus dem es einst entstand, und im Geist des neuen Reiches, der ihm neues Leben und größere Ziele gab, mitarbeitet an den großen Aufgaben der Auslese, der Erziehung und Förderung unserer Jugend.



Die Aula mit dem Hindenburgbilde und der Büste des Führers

Wissenschaftliche Beiträge

Eine Darstellung der Höhengliederung von Niederschlagsgebieten

Von Karl Beger in Breslau

J immer mehr setzt sich das Streben nach einer allumfassenden Wasserwirtschaft durch. Sie beginnt mit dem Beobachten und Messen der Niederschläge, deren Ablauf dann verfolgt wird. Insbesondere ist der oberirdische Abfluß von grundlegender Bedeutung. Dieser hängt wieder von der Lage, der Größe, der Gestalt und der Beschaffenheit der Niederschlagsgebiete ab. Es bestehen da recht verwickelte und noch nicht restlos geklärte Beziehungen. In einfachster Weise stellt man sich zunächst ein Niederschlagsgebiet als undurchlässige und gleichmäßig beschaffene Gelände fläche vor, von der das Wasser restlos nach einem Fluß, Bach oder Gerinne abfließen kann. Zu einem jeden Punkt oder Querschnitt eines Flusses gehört also ein Niederschlagsgebiet, d. h. das Gebiet, von dem alles Wasser durch diesen Querschnitt fließt. Die Größe dieser Gebiete nimmt von der Quelle nach der Mündung hin zu. Zwischen zwei aufeinander folgenden Flußpunkten liegt also ein Unterschieds-(Differenz-) Gebiet, und zwar immer ein linker und rechter Gebietsteil, links und rechts, wie bekannt, von der Fließrichtung aus gesehen. In einem verästelten Stromgebiet geht der Zuwachs an Niederschlagsgebiet beim Zusammenfluß zweier Wasserläufe, also an den Einmündungspunkten, sprunghaft vor sich. Aber auch zwischen zwei Einmündungspunkten wird der Zuwachs in der Regel nicht gleichmäßig sein.

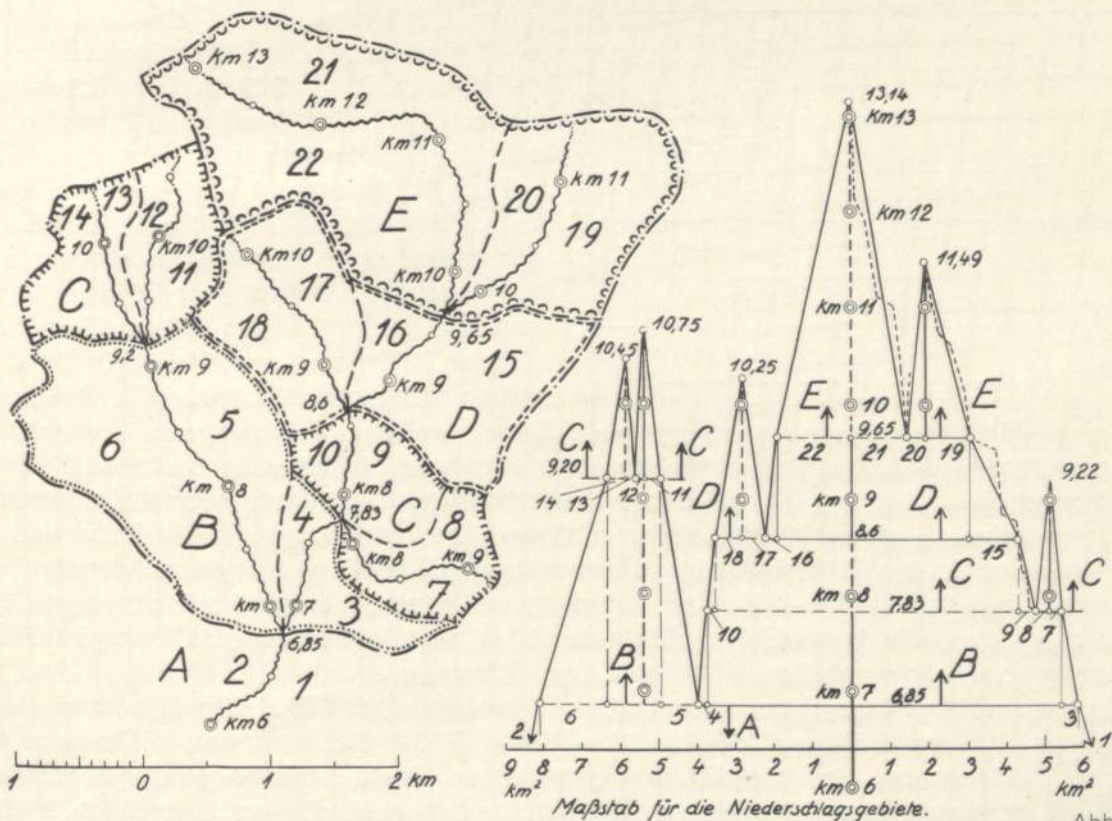


Abb. 1

Vor 50 Jahren hat B. Stecher eine zeichnerische Darstellung entwickelt¹⁾, nach der später in den Werken unserer großen deutschen Ströme deren Gebiete übersichtlich aufgezeigt worden

¹⁾ Zentralblatt der Bauverwaltung, Jahrgang 1886, N. 8, S. 70: Stecher, Übersichtliche Darstellung der Flächen von Fluß-Sammelgebieten.

A		1	2	km 6.85	
		—	—	km ²	
B	○	3	4	km 7.83	
		0.44	0.22	km ²	
	+	5	6	km 9.20	
		0.95	1.83	km ²	
C	○	7	8	(km 9.22)	
		0.30	0.37	km ²	
	○	9	10	km 8.60	
		0.49	0.19	km ²	
	+	11	12	(km 10.75)	
		0.48	0.25	km ²	
	+	13	14	(km 10.45)	
		0.19	0.52	km ²	
D	○	15	16	km 9.65	
		1.21	0.30	km ²	
	○	17	18	(km 10.25)	
		0.59	0.71	km ²	
E	○	19	20	(km 11.49)	
		1.11	0.51	km ²	
	○	21	22	(km 13.14)	
		1.41	1.97	km ²	

sind. Abbildung 1 zeigt das Verfahren. Es muß noch vorausgeschickt werden, daß entgegen der Darstellungsweise von Stecher der Fluß von der Mündung nach der Quelle zu eingeteilt (stationiert) worden ist, was offenkundige Vorteile hat. Auch die Zählung und Ordnung der Gebiete geht der Fließrichtung entgegengesetzt, und zwar derart, daß von Mündungs- zu Mündungspunkt Gebietszonen A, B, C, D, E, gewissermaßen ersten (A), zweiten (B) usw. Grades abgegrenzt wurden. Hierzu siehe die verschiedenartige Grenzbezeichnung in der Abbildung 1. In diesen Zonen sind die Gebiete von links nach rechts gezählt, so daß linksufrige Gebiete stets durch ungerade, rechtsufrige durch gerade Zahlen bezeichnet sind. Teilt und ordnet man in der vorgeschlagenen Weise, so kann man ein Flußgebiet durch nebenstehende Tafel einfach kennzeichnen. Es ist in ihr dann alles enthalten, was man zur Darstellung nach Stecher nötig hat.

Hierzu sei bemerkt: Unter den Gebietszahlen 1, 2, 3 usw. stehen die Größenzahlen der N-Gebiete in km². Die eingeklammerten km-Zahlen, z. B. (km 9,22) in Zone C besagen, daß dort der Flußlauf (Verlängerung des Flusses in der Quellmuldenlinie bis zur Wasserscheide) zu Ende ist, sich also keine weiteren Niederschlagsgebiete anschließen. Die Marken ○ und + oder andere zeigen, welche Flußstrecken aufeinanderfolgen, z. B. folgt nach 5/6 in km 9,2 der Zone B die Gabel 11/12 und 13/14 in Zone C.

Diese Tafel findet nun ihr Bild in der Darstellung nach Stecher (Abbildung 1). Sie spricht für sich selbst und bedarf kaum einer Erläuterung.

In den Mündungspunkten der als Strecken gezeichneten Flußteile, die nach ihren Niederschlagsgebieten mit 1/2 — 3/4 — 5/6 usw. bezeichnet seien, sind als senkrechte Strecken die zugehörigen Niederschlagsgebiete aufgetragen. Die Verbindungslinie der Endpunkte ist die Zuwachslinie des Gesamtgebietes. Man erhält auf diese Weise also Kennbilder für Flußgebiete, die außerordentlich klar sind und recht viel zeigen, z. B. den Verästelungsgrad, die Flußlängen, die Werte der Nebenflußgebiete der Größe nach. Viele solche Bilder verschiedener Flüsse nebeneinander gehalten, bilden gute Vergleichsgrundlagen.

Im vorliegenden Bilde sieht man den längsten Fluß mit dem Quellfluß 21/22 auf den ersten Blick. Er ist hier als Stammfluß gewählt (1/2 — 3/4 — 9/10 — 15/16 — 21/22). In vielen Fällen wird ein solcher Fluß auch dem Gesamtgebiet den Namen geben. Nicht immer bringt aber der längste Fluß, wie im Beispiel, das größte Niederschlagsgebiet mit. Es wäre aber wohl berechtigt, daß der Flußteil mit dem größten Niederschlagsgebiet den Namen zu geben hat. Auch hier führt die Betrachtung des Flusses in Richtung Mündung—Quelle leichter zum Ziel. Es drängt sich da der Vergleich mit einem Baum auf, dessen Stamm nicht in dem längsten, sondern in dem stärksten Ast endet. Um diesen Quellflußteil zu finden, würde man also im Schaubild nach Stecher von km 6 an flußaufwärts und bei einer Gabelung immer in das N-Gebiet gehen, welches das größere ist.

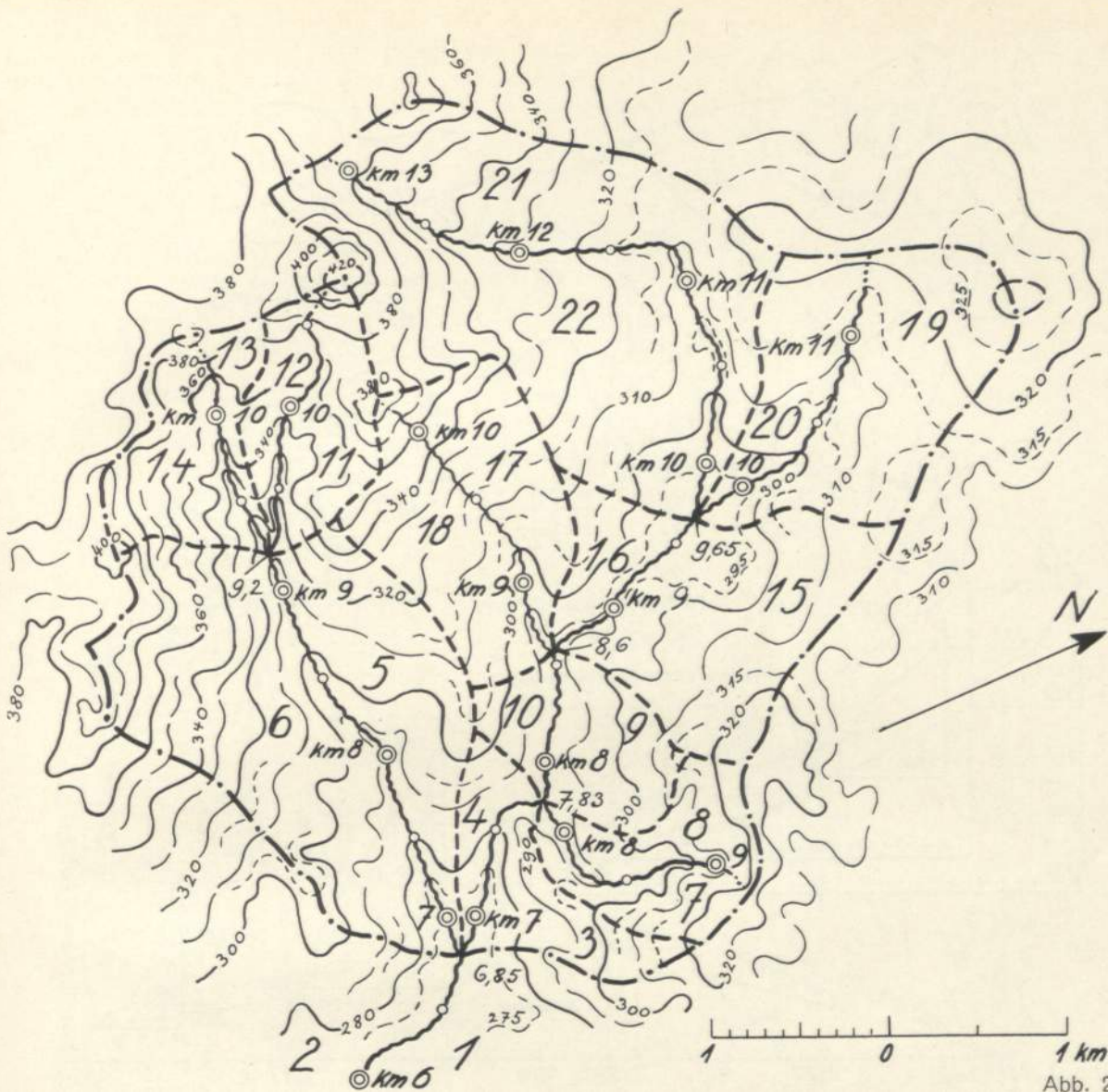


Abb. 2

Im Schaubild gibt die Neigung der Gebietsanwachslinie zur Flußstreckenlinie den Grad der Zunahme an. Der gradlinige Verlauf würde ausdrücken, daß die N-Teilgebiete Rechtecke sind. In Wirklichkeit sind sie es aber nicht. Vervollkommenet oder ergänzt man nach dieser Richtung hin die Darstellungsweise Stechers, unterteilt man also die Gebiete durch Ziehen weiterer Wasserscheiden, so erhält man gebrochene Linien, wie sie in Abbildung 1 bei den Gebietsteilen 21, 19, 15 und 9 gezeichnet sind. Auf Abbildung 3 und 4 sei hier auch bereits verwiesen.

Auch der Verlauf dieser Linien gibt mancherlei wertvolle Kennzeichen der Gebietsgestalt. Ist die Neigung steil, so ist der Anwachs auf kleiner Flußstrecke sehr groß. Die Abweichung von der Linie nach Stecher zeigt z. B. auch Abbildung 3, in der das Gebiet 19 dargestellt ist. Aus dieser Abbildung erkennt man noch folgendes: Es würde naheliegend sein, die Niederschlagsgebiete derart zu unterteilen, daß man für gleichweit voneinander entfernt liegende Flußpunkte, also etwa alle 200 m N-Gebietsgrenzen = Wasserscheiden zeichnet. Dies führt aber nicht zum Ziel. Man muß aus der Geländegestalt, nach Lage der Rippen und Mäulen die hauptsächlichsten Wasserscheiden auswählen und ihren Verlauf bis zum Fluß feststellen, im Gebiet 19 also bei km 10,1 — 10,3 — 10,63 — 10,75 — 11,2 — 11,49 (Ende). Geht man so vor, so wird in der Darstellung nach Stecher bei starken Knicken und Abweichungen von der Stecherschen Durchschnittslinie das Auge sofort auf die Eigentümlichkeit gelenkt, daß zu diesen Flußstrecken besonders große oder kleine Gebiete gehören, z. B. auf Flußstrecke 19/20 von km 10,63

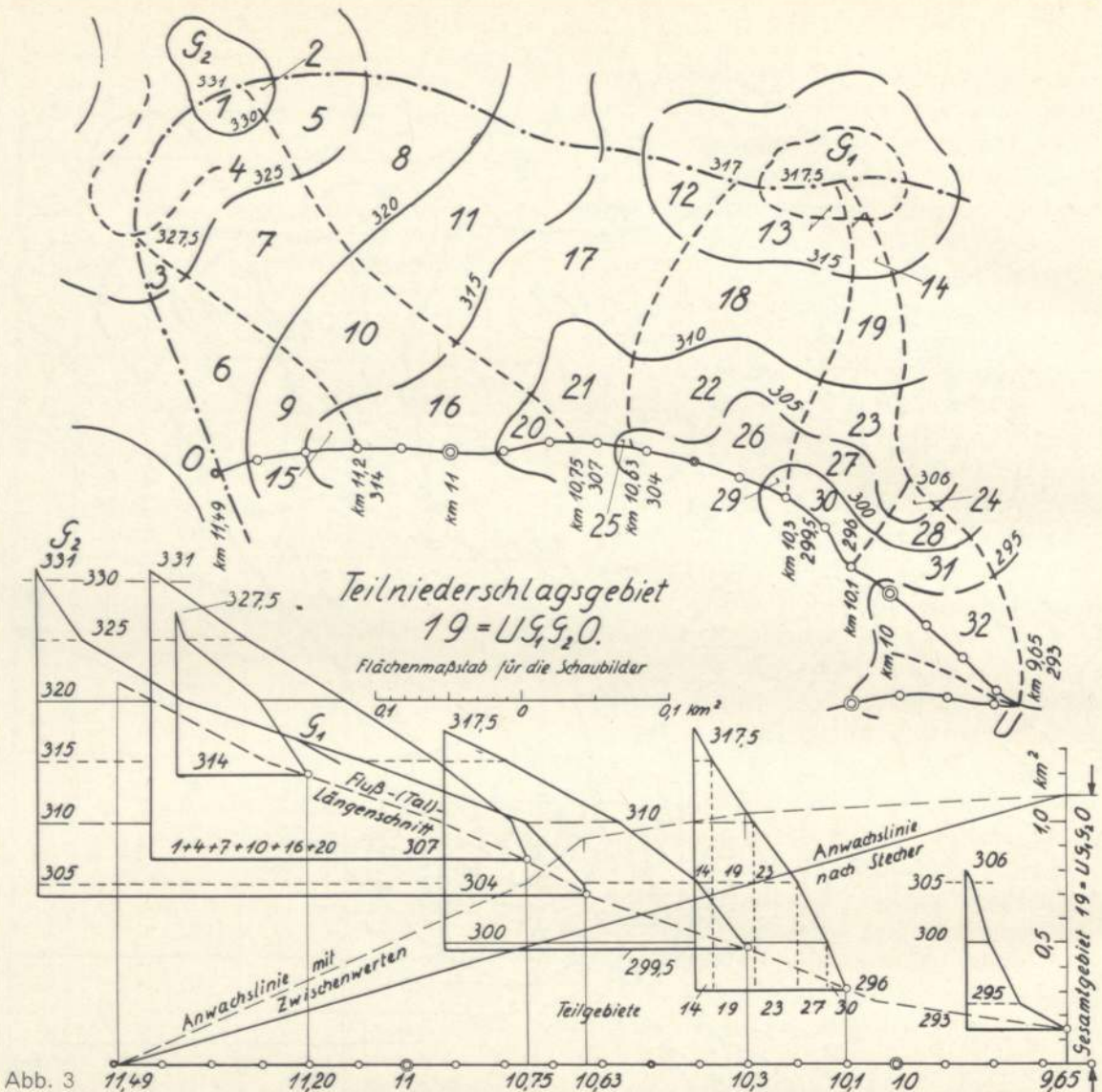


Abb. 3

bis 10,75 im Gebiet 19 (Abbildung 3) das große, fächerartig gestaltete Gebiet mit der Unterteilung 2 — 5 — 8 — 11 — 12 — 17 — 21 — 25.

In Abbildung 4 sind sämtliche unterteilten N-Gebiete in Vergleich zur Durchschnittslinie gesetzt. Man erkennt z. B., daß die Gebiete der linken Ufer sich meist über die Linie von Stecher erheben, die der rechten Ufer dagegen oft drunter bleiben. Manche Gebiete zeigen durch die geringe Abweichung von der Durchschnittslinie, daß sie gleichmäßig mit dem Flußverlauf anwachsen (16 — 10 — 4).

Die Darstellung nach Stecher und deren Ergänzung zeigt aber nur die Flächengrößen. Der Einfluß eines Niederschlagsgebietes auf den Wasserabfluß hängt aber nicht nur von der Größe, sondern von der Höhenlage des Gebietes und von der Neigung der Hänge ab. Es ist deshalb die vorliegende Darstellung noch durch Höhenangaben ergänzt worden.

Auch hier könnte man zunächst jede ein Niederschlagsgebiet darstellende Strecke in Höhenzonen unterteilen und die Linien gleicher Höhenpunkte ziehen. Diese Darstellung stößt aber auf Schwierigkeiten und gibt nur ungenügende Klarheit und Übersicht. Es wurde deshalb ein anderer Weg gewählt.

Zunächst sei noch Abbildung 2 erwähnt. Sie zeigt die Höhengichtlinien und Flüsse des bereits vorher behandelten Gebietes. Es stammt aus Meßtischblatt 3384, Sauerwitz, Mittelgebirgsausläufer in Oberschlesien, Fluß: Troja.

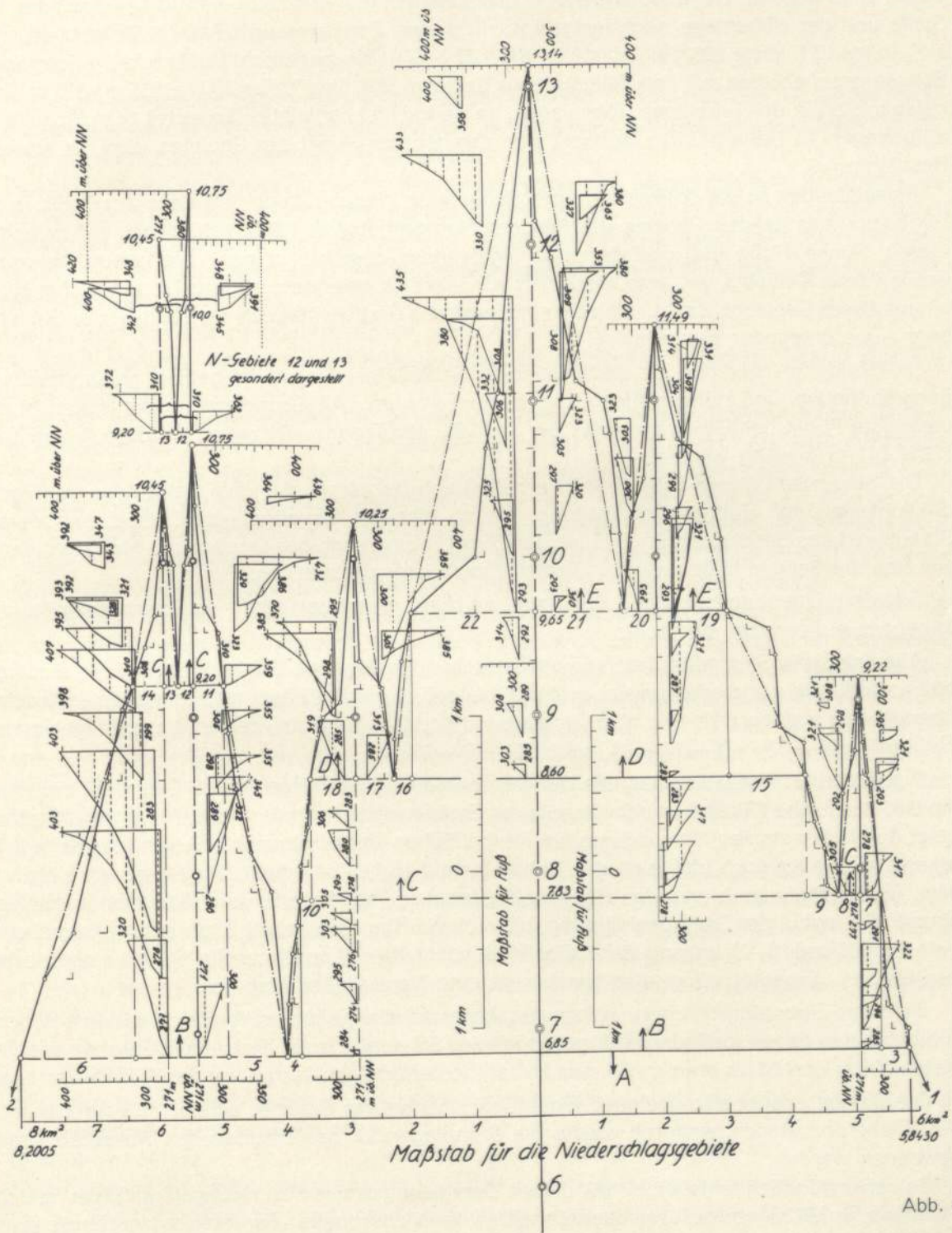


Abb. 4

Als Beispiel sei wieder das Gebiet 19 (Abbildung 3) erläutert. Nachdem die Teilgebiete 1 bis 32 ermittelt (planimetriert) wurden, wurde der Längenschnitt des Flusses (Tales) gezeichnet. In dieser Linie wurden die Fußpunkte der Wasserscheiden (U — km 10,1 — km 10,3 — usw.) der km-Stelle und der Höhenlage nach festgelegt. In diesen Punkten wurden die N-Teilgebiete, also z. B. in km 10,1, Höhe 296, Teilgebiet 14 + 19 + 23 + 27 + 30 waagrecht als Strecken aufgetragen. Ebenso geschah dies mit den Teilen dieses Gebietes, die über Höhe 300 m, 305 m, 310 m usw. gelegen sind in den jeweiligen Höhenlagen. Im Beispiel ist der letzte Flächenteil 14 in 315 m Höhe aufgetragen, in Höhe 317,5 m befindet sich der höchste Punkt des Gebietes, dort ist also die Restfläche=0.

Es entstanden so die dreiecksförmigen Schaubilder, welche durch ihre Lage zur Flußlinie die Höhenlage des tiefsten Punktes des Niederschlagsteilgebietes (Unterschiedsgebiets) zwischen diesem Punkt (Flußpunkt) und dem nächstgelegenen oberhalb zeigen. Sie lassen ferner die Größe dieses Gebietes, und, was besonders von Wert ist, erkennen, wie und bis zu welcher Höhe hinauf dieses Gebiet abnimmt. Bis zu einem gewissen Grade wird auch die Steilheit des Gebietes dem Auge erkennbar gemacht.

In Abbildung 4 sind nun auf diese Weise die Schaubilder für alle Teilgebiete an den zu ihnen gehörenden km- und Höhenstellen eingezeichnet worden. Als Grundlage für die Höhen ist der niedrigste Punkt des Gesamtgebietes bei km 6,85, der Trennpunkt zwischen Zone A und B in Höhe 271 m gewählt worden.

Die Gesamtheit dieser Schaubilder vermittelt nun bei vergleichendem Betrachten die Eigentümlichkeiten der Flußgebietsgestaltung. Auch hier gilt als günstigste Betrachtungsweise: Standpunkt des Beschauers im Fluß mit der Blickrichtung nach den Quellen zu. Man sieht dann, wie sich die Gebiete flußaufwärts in immer höhere Lagen erstrecken.

Bei den Eigentümlichkeiten, die ohne weiteres erkennbar sind, sei beispielsweise auf folgendes aufmerksam gemacht:

Alle links vom Stammfluß (rechts vom Beschauer) gelegenen Gebietsanwachsteile sind verhältnismäßig klein und erheben sich erst im Quellgebiet von 21/22 bei km 11 in größerem Ausmaß über die Gebietsfußpunkte und bis in größere Höhen. Das Gegenteil zeigen die rechtsgelegenen Flußgebiete 6 — 11 — 12 — 13 — 14, auch 16 — 17 — 18.

Auffallend ist beispielsweise das außerordentlich große Teilgebiet im Gebiet 22 zwischen km 9,65 und Höhe 293 und km 10. Bereits die Ergänzungslinie in der Darstellung nach Stecher zeigt durch den starken Neigungsgrad den erheblichen Gebietsanwachs. Durch das Schaubild erkennt man aber noch, daß sich das Gebiet bis auf Höhe 434 erhebt, ohne besonders steil zu sein. Betrachtet man hierzu den Höhenschichtenplan Abbildung 2, so erfährt man sofort den Grund. Er liegt in der Geländeeintiefung, die sich als Rinne im Gebiet 22 an der Wasserscheide zwischen 22 und 16—17 entlang zieht. Das Meßtischblatt zeigt an dieser Stelle auch einen trockenen Graben. Eigentlich liegt also hier bereits eine Nebenflußbildung vor.

Derartige Eigentümlichkeiten, welche das Auge anziehen und zum Vergleich mit dem Höhenschichtenplan reizen, befinden sich noch viele im Schaubild, z. B. der starke Anwachs des Gebietes 15 von km 9,65 bis etwa km 9,3, was an der trichterförmigen Gestaltung des Teilgebietes liegt.

Die Darstellung ist also geeignet, Eigentümlichkeiten des Gebietes schnell zu erkennen und Vergleiche anzustellen, wodurch wieder die Grundlagen für das Erfassen des Wasserabflusses gewonnen werden.

Selbstverständlich entstehen bei dieser Darstellungsweise für Hochgebirgsflüsse andere Bilder als für Mittelgebirgsflüsse oder für solche der Niederungen. Für letztere werden sie kaum erforderlich sein. Grundsätzlich wird die Darstellung, wenn auch vielleicht mit anderen Maßstäben, stets die gleiche sein. Auch hier dürfte das Nebeneinanderstellen solcher Bilder verschiedener Flußgebiete zu den mannigfachsten Vergleichen anregen und dazu beitragen, für gleiche Verhältnisse die Gesetzmäßigkeiten des Wasserabflusses weiter zu erforschen.

Rechenhilfen zur Festigkeitsberechnung von Eisenbetonbauten

Von Alfred Berrer in Breslau

Der Hunderttagesplan gegen die Verschwendung von Bau- und Werkstoffen hat die Aufmerksamkeit wieder einmal vermehrt auf ein vom Bauingenieur auch bisher beachtetes Gebiet, nämlich die wirtschaftliche Bemessung der Bauteile, gelenkt.

Die Möglichkeit, an Baustoffen ohne Beeinträchtigung der Standsicherheit zu sparen, ist durch die Vorschriften der amtlichen Baubestimmungen begrenzt. Diese stellen einen möglichst vereinfachten — auch dem nicht wissenschaftlich geschulten Fachmann verständlichen — Niederschlag der durch Forschung und Erfahrung jeweils gewonnenen Erkenntnisse über die Standsicherheitsforderungen dar.

Die Baustoffersparnis kann hiernach gefördert werden:

1. durch die enge Anpassung der Vorschriften an den jeweils erreichten Stand der Erkenntnisse,
2. durch die Ausnutzung der im Rahmen der Bestimmung gegebenen Möglichkeiten.

Im Eisenbetonbau gelten zur Zeit die Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton vom September 1932. Sie sind aus dem eben in Punkt 1 genannten Grunde sehr eingehend gehalten und daher umfangreich. Es ist zu erwarten, daß sie für eine längere Reihe von Jahren im wesentlichen unverändert gültig bleiben und solange eine feststehende Grundlage für unsere Standsicherheitsberechnungen bilden werden. Maßnahmen zur Sparsamkeit im Stoffverbrauch haben sich daher im Rahmen der Bestimmungen zu halten.

Die Verfahren zur Festigkeitsberechnung der Eisenbetonbauten sind trotz der üblichen vereinfachenden Annahmen wesentlich umständlicher als diejenigen für Tragwerke aus einheitlichem, zugfähigem Baustoff. Die besonders von der Wiener Schule verfolgten Bestrebungen, andere, noch besser den Versuchs- und Erfahrungsergebnissen angeschmiegte Grundlagen für die Festigkeitsberechnung einzuführen [5, 6, 7 u. a. m.]¹⁾, können daher für die Zukunft nur dann praktisch bedeutungsvoll werden, wenn sie die heute üblichen Berechnungsweisen vereinfachen. In absehbarer Zeit werden sie jedenfalls kaum zu einer Änderung der heute üblichen Grundlagen der Festigkeitsrechnung (gleichbleibender Elastizitätsmodul in der Betondruckzone, gerissener Zugbeton, $n = E_e/E_b = 15$) führen.


Wegen der Umständlichkeit der Arbeitsgänge, die vom Eisenbetoningenieur tagtäglich zu erledigen sind, sind schon seit der Jahrhundertwende außerordentlich viele Rechenhilfen zur Vereinfachung und Beschleunigung der Arbeit bei der Querschnittsbemessung oder beim Spannungsnachweis ausgearbeitet worden. Als wichtigste Hilfen kommen in Betracht:

- a) Zahlentafeln mit den endgültigen Abmessungen für die verschiedenen möglichen Belastungen und vorgeschriebenen Grenzspannungen;
- b) Zahlentafeln mit Hilfwerten, die das Ergebnis durch Ausrechnen einer einfachen Formel finden lassen;
- c) Linientafeln, aus denen die Ergebnisse unmittelbar oder mit einfacher Hilfsrechnung zu ermitteln sind; schließlich
- d) Nomogramme.

Außerdem ist die oft vorteilhafte Anwendung von Faustformeln zu erwähnen, die sich in der Regel auf Feststellungen der praktischen Erfahrung unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit aufbauen.

¹⁾ Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das am Schluß angeführte Verzeichnis des verwendeten Schrifttums.

Tafel 1. **Zulässige Tragkraft quadratischer längsbewehrter Stützen ohne Knickgefahr.** $\sigma_{bzul} = 35 \text{ kg/cm}^2$ *)

		Mindest- (wirtschaftlichste) Bewehrung				Kräftige Bewehrung		Äußerst zul. Bewehrung	
		$\mu \sim (\geq) 0.5\%$ **)		$\mu \sim (\geq) 0.8\%$		$\mu \sim 1.5 \text{ bis } 1.8\%$		$\mu \sim (\leq) 3.0\%$	
		$F_i \sim 1.075 F_b$		$F_i \sim 1.12 F_b$		$F_i \sim 1.25 F_b$		$F_i = 1.45 F_b$	
d	Fb	Fe	Pzul	Fe	Pzul	Fe	Pzul	Fe	Pzul
cm	cm ²	cm ²	kg	cm ²	kg	cm ²	kg	cm ²	kg
25	625				25100				
26	676			4 Ø 14 = 6.16	26890	4 Ø 18 = 10.18	27210	4 Ø 22 = 15.21	29850
27	729				28750		29000	4 Ø 25 = 19.63	33970
28	784		30670		31660	4 Ø 20 = 12.57	32120	4 Ø 25 = 19.63	35830
29	841		32670	4 Ø 16 = 8.04	33660		34040	8 Ø 18 = 20.36	37750
30	900		34730		35720	4 Ø 22 = 15.21	36040	4 Ø 28 = 24.63	42370
31	961	4 Ø 14 = 6.16	36870		37860	8 Ø 16 = 16.08	39480	8 Ø 20 = 25.14	42630
32	1024		39070		41180	4 Ø 25 = 19.36	39940	4 Ø 28 = 24.63	44430
33	1089		41350	4 Ø 18 = 10.18	43460	8 Ø 16 = 16.08	41620	8 Ø 20 = 25.14	44690
34	1156		43690		45800	4 Ø 25 = 19.36	42080	8 Ø 22 = 30.41	46570
35	1225		46100		48210	8 Ø 16 = 20.36	42800	8 Ø 28 = 24.63	46830
36	1296		49580		51960		44280	8 Ø 28 = 24.63	48770
37	1369		52140	4 Ø 20 = 12.57	54520		44810	8 Ø 22 = 30.41	51800
38	1444	4 Ø 16 = 8.04	54760	8 Ø 14 = 12.32	57140	4 Ø 28 = 24.36	48430	4 Ø 32 = 32.17	55010
39	1521		57460		59840	8 Ø 20 = 25.14	48810	8 Ø 25 = 39.27	54080
40	1600		60220	4 Ø 22 = 15.21	63980		50770		57350
42	1764	4 Ø 18 = 10.18	67080	8 Ø 16 = 16.08	69720	8 Ø 20 = 25.14	51150	8 Ø 22 = 30.41	56420
44	1936		73100	8 Ø 16 = 16.08	76200		53180	8 Ø 22 = 30.41	59760
46	2116	4 Ø 20 = 12.57	80660		84750		53560		58830
48	2304	8 Ø 14 = 12.32	80530	8 Ø 18 = 20.36	91330	8 Ø 25 = 39.27	55670		62250
50	2500	4 Ø 20 = 12.57	87240		98190		56050		61320
52	2704	8 Ø 14 = 12.32	87110		107830		60850		69290
54	2916	8 Ø 16 = 16.08	103080	8 Ø 20 = 25.14	115250		61110		68540
56	3136		118200		122950		63470	4 Ø 36 = 40.72	71910
58	3364	8 Ø 18 = 20.36	128430	8 Ø 22 = 30.41	133700		63730	8 Ø 25 = 39.27	71160
60	3600		136690		141960	8 Ø 32 = 64.34	66170		74610
							66430		73860

*) Anwendungsbereich s. Best. d. D. Aussch. f. Eisenbeton v. 1932 Teil A, § 27. **) Nur zul. wenn Säulenhöhe $\leq 5d$.

Auswahl und Umfang der Anwendung der Rechenhilfen hängen vom Grad der Umständlichkeit des Rechenverfahrens und von der Häufigkeit ab, mit der es vom betreffenden Fachmann zu handhaben ist. Zu zahlreiche, zu umfangreiche oder zu schwer verständliche Hilfen sind nicht am Platze. Eine seltener vorkommende Aufgabenstellung wird oft besser unmittelbar mit den Rechenformeln bewältigt.

In einfachen Fällen mit wenigen von einander abhängigen Rechengrößen werden Tafeln mit Angabe der fertigen Abmessungen nicht zu umfangreich²⁾. Aufgaben mit weitem Spielraum der möglichen gegebenen Größen oder der praktisch möglichen Lösungen werden meist zweckmäßiger mit Hilfwert- oder Linientafeln gelöst, weil sie es gestatten, eine größere Zahl von von einander abhängigen Größen übersichtlich zur Darstellung zu bringen.

Die an die Rechenhilfen zu stellenden Forderungen können wie folgt zusammengefaßt werden:

- a) leichte Handhabung, selbst durch weniger Geübte,
- b) möglichst vielseitige Anwendbarkeit, um dem Benutzer die Einarbeitung in zahlreiche Gebrauchsweisen zu ersparen,
- c) einfache Überblickbarkeit der Ergebnisse, damit die Auswirkung verschiedener Wahl der gegebenen Größen schnell feststellbar wird.

Wegen der unter a) und c) genannten Forderungen hat das Arbeiten mit Nomogrammen im Eisenbetonbau kaum Anhänger gefunden.

Die vorstehend ausgeführten Überlegungen, insbesondere die unter b) genannte Forderung einer möglichst vielseitigen Anwendbarkeit haben den Verfasser veranlaßt, einige Rechenhilfen zur Erleichterung der häufigsten im Eisenbetonbau vorkommenden Festigkeitsrechnungen auszuarbeiten, von denen eine Anzahl als Beispiele für die verschiedenen Arten der Hilfen mitgeteilt werden soll. In ihrer Zusammenstellung dürften die angegebenen Verfahren für den praktischen Gebrauch demjenigen von Wert sein, der für die häufigst wiederkehrenden Aufgaben der Festigkeitsberechnung Erleichterungen sucht.


1. Tafeln mit endgültigen Abmessungen

Als Formen des Betonquerschnitts von Eisenbetonsäulen kommen in der Regel nur das Quadrat (für längstbewehrte Stützen) und das regelmäßige Achteck (für umschnürte Säulen) in Betracht. Beschränkt man sich auf den häufigst vorliegenden Fall einer zulässigen Betonbeanspruchung $\sigma_b = 35 \text{ kg/cm}^2$, auf die jeweils wirtschaftlich vorteilhaften Lösungen [vgl. 13], ferner auf die üblichen runden Maße, so können die für gegebene Abmessungen zulässigen Tragfähigkeiten P_{zul} in verhältnismäßig knappen Zusammenstellungen (Tafeln 1 und 2) unmittelbar angegeben werden. (Für andere σ_{zul} ist die Tragfähigkeit $\frac{\sigma_{zul}}{35} \cdot P_{zul}$.) Zwischenlösungen zwischen den in den Tafeln angegebenen werden selten benötigt, sie können durch schätzungsweise Zwischenschalten schnell gefunden werden. Die Übersichtlichkeit bleibt durch den geringen Umfang der Tafeln gut gewahrt.

2. Hilfwerttafeln

Eine dem Eisenbetoningenieur außerordentlich häufig vorliegende Aufgabe, nämlich die Ermittlung der Abmessungen einer auf Biegung beanspruchten Platte unter Zugrundelegung der zulässigen Grenzspannungen $\sigma_b \text{ zul}$ für Beton und $\sigma_e \text{ zul}$ für Bewehrungsseisen wird allgemein mit Hilfe der einfachen Gleichungen $h = r \cdot \sqrt{M/b}$ und $F_e = t \cdot \sqrt{M \cdot b}$ gelöst, in denen r und t nur von den Spannungen abhängige Hilfwerte bedeuten und die übrigen Bezeichnungen den Deutschen Bestimmungen (DIN 1044) entsprechen. Meist ist mit ganz bestimmten

²⁾ Der Sonderfachmann wird allerdings auch die Anwendung umfangreicher Tafelbücher mit fertigen Abmessungen nicht scheuen [vgl. 3,4].

Tafel 2. Zulässige Tragkraft achteckiger umschnürter Säulen ohne Knickgefahr. $\sigma_{b\text{zul}} = 35 \text{ kg/cm}^2$ *


D cm	Kern F _k cm ²	Geringste zul. Längsbewehrung Schwache Umschnürg.**) F _e ~ 0,8% von F _k										Wirtschaftliche Bewehrung Stärkste zul. Umschnürg.**) F _e ~ 1,4% von F _k										Stärkste zul. Bewehrung F _e ~ 3% von F _k									
		F _{is} ~ 2,1 F _k					F _{is} ~ 1,6 F _i					F _{is} ~ (≤) 2 F _i					F _{is} ~ (≤) 3 F _e					F _{is} ~ (≤) 2 F _i					F _s ~ 1,5 bis 1,8 F _e				
		d _s cm	s cm	F _s cm ²	F _{is} cm ²	P _{zul} t	d _s cm	s cm	F _s cm ²	F _{is} cm ²	P _{zul} t	F _e cm ²	d _s cm	s cm	F _s cm ²	F _{is} cm ²	P _{zul} t	F _e cm ²	d _s cm	s cm	F _s cm ²	F _{is} cm ²	P _{zul} t	F _e cm ²	d _s cm	s cm	F _s cm ²	F _{is} cm ²	P _{zul} t		
30	707	35	1014	1.0	5.2	14.2	1531	53.7	1.4	4.4	33.0	2377	83.2	8 Ø 14	1.4	4.4	33.0	2377	83.2	8 Ø 18	1.6	5.3	35.7	2619	91.5						
32	804	37	1134	1.0	4.9	16.1	1714	60.0	1.4	4.3	36.0	2609	91.3	12,32 cm ²	1.4	4.3	36.0	2609	91.3	20,36 cm ²	1.6	5.2	38.8	2855	99.9						
34	908	39	1260	1.0	4.6	18.2	1912	66.8	1.4	4.5	36.5	2736	95.8	8 Ø 16	1.6	4.9	44.0	3129	109.5	8 Ø 20 = 25,14 cm ²	1.6	5.3	40.5	3105	108.4						
35	1018	41	1392	1.0	4.4	20.2	2111	73.9	1.4	4.8	36.4	2864	100.2	16,08 cm ²	1.6	5.0	45.0	3278	114.5	8 Ø 22	1.6	4.6	49.0	3673	128.4						
38	1134	43	1532	1.2	5.9	22.9	2332	81.5	1.4	5.0	36.8	2974	104.0	cm ²	1.6	5.1	47.0	3485	121.6	30,41 cm ²	1.8	5.7	53.0	3974	138.6						
40	1257	45	1678	1.2	5.6	25.3	2581	90.5	1.4	5.2	37.1	3101	108.5	8 Ø 18	1.6	4.6	55.0	4032	141.0	cm ²	1.8	5.7	57.0	4260	148.8						
42	1385	47	1831	1.2	5.4	27.6	2809	98.3	1.4	5.5	36.9	3229	113.0	20,36 cm ²	1.6	4.6	58.0	4292	150.0	8 Ø 25	1.8	5.3	63.7	4840	169.2						
44	1521	49	1989	1.2	5.2	30.0	3055	107.0	1.4	5.8	36.6	3352	117.3	8 Ø 20	1.8	5.1	68.0	4953	173.2	39,27 cm ²	1.8	5.2	67.7	5155	180.2						
46	1662	51	2155	1.2	4.9	33.2	3397	118.9	1.4	4.6	48.4	4078	132.4	8 Ø 16	1.8	5.3	69.0	5139	180.0	cm ²	1.8	4.9	75.3	5790	202.2						
48	1810	53	2327	1.2	4.6	37.0	3583	125.5	1.4	4.8	48.4	4226	147.6	16,08 cm ²	1.8	5.3	72.0	5422	189.5	8 Ø 28	1.8	4.8	79.8	6134	205.0						
50	1964	55	2506	1.2	4.5	39.4	3975	139.0	1.4	5.0	48.4	4380	153.0	cm ²	1.8	5.1	78.0	5922	207.0	49,26 cm ²	1.8	4.7	84.1	6492	226.5						
52	2124	57	2691	1.2	4.3	42.8	4354	151.3	1.4	4.1	61.0	5169	180.2	8 Ø 18	1.8	5.1	82.0	6269	219.0	cm ²	1.8	4.7	88.7	6862	239.0						
54	2290	59	2884	1.4	5.7	45.8	4656	162.9	1.4	4.3	60.6	5320	186.0	20,36 cm ²	2.0	5.8	91.0	6968	243.0	8 Ø 32	2.0	5.4	98.5	7698	268.7						
56	2463	61	3082	1.4	5.5	49.2	4982	174.3	1.4	4.5	60.2	5478	191.5	8 Ø 25	2.0	5.8	96.0	7366	256.5	64,34 cm ²	2.0	5.3	104.8	8094	282.5						
58	2642	64	3394	1.4	5.3	53.0	5399	188.5	1.6	4.9	74.5	6363	222.5	39,27 cm ²	2.0	5.5	105.0	7964	278.0	cm ²	2.0	5.0	114.0	8718	304.0						
60	2827	66	3610	1.4	5.1	56.8	5759	201.5	1.6	5.0	74.8	6563	229.4	25,14 cm ²	2.0	5.0	117.5	8695	304.0	8 Ø 36 = 81,44 cm ²	2.0	4.8	123.0	9577	335.4						

*) Anwendungsbereich s. Best. d. D. Aussch. f. Eisenbet. v. 1932, Teil A, § 27.

**) Wirtschaftlich vorteilhaft ist es stets, das stärkste beim betr. F_e zulässige F_s zu wählen. Dann ergibt sich für F_e ~ 1,4% von F_k die theoretisch wirtschaftlichste Lösung, jedoch werden die Lösungen f. F_e ≤ 1,4% v. F_k nicht sehr viel teurer.

σ_{zul} , also mit immer wiederkehrenden Werten r und t zu rechnen, die in jedem einschlägigen Hand- oder Taschenbuch zu finden sind. Für Bauten aus hochwertigem Beton wird neuerdings als Grenzspannung $\sigma_{b\,zul}$ ein Bruchteil der jeweils festzustellenden Betonfestigkeit zugelassen. Damit erhöht sich schon die Zahl der benötigten Hilfwerte. Das Bedürfnis, sie auch für verschiedene Eisenspannungen zu kennen, besteht zunächst nur in geringerem Umfang. Es tritt heran bei Berechnungen, für die fremdländische Bestimmungen zugrunde zu legen sind, vor allem aber bei anderen Aufgabestellungen, die wie unten angegeben, ebenfalls mit den genannten Hilfwerten gelöst werden können. Eine derartige umfassende Tafel mit Angabe der Hilfwerte r und t für alle möglichen Verbindungen von σ_e und σ_b ist vom Verfasser ausgearbeitet worden [10]. Sie gestattet folgende Lösungen:

a) Reine Querschnittsbemessung. Gegeben σ_b , σ_e , M ; gesucht h und F_e . Lösung: $h = r \cdot \sqrt{M/b}$, $F_e = t \cdot \sqrt{M \cdot b}$.

b) Bemessung bei gegebener Bauhöhe. Gegeben die Grenzwerte σ_b und σ_e (von denen einer nicht ausgenutzt werden kann), M und h ; gesucht F_e und die nicht ausgenutzte Beanspruchung. Lösung: Ausrechnung von $r = \frac{h}{\sqrt{M/b}}$, Aufsuchen dieses Beiwertes in der Spalte für $\sigma_e\,zul$ oder für $\sigma_b\,zul$ derart, daß die zugehörige zweite Spannung σ_{zul} wird. Ablesen des zugehörigen t und Ausrechnung von $F_e = t \cdot \sqrt{M \cdot b}$.

Weiterhin können die Hilfwerte auch zur Bemessung von Platten und Rechteckbalken mit doppelter Bewehrung dienen, die durch einfache Biegung beansprucht werden, sowie für einfach oder beiderseits bewehrte durch Biegung mit Achskraft beanspruchte Baukörper mit Rechteckquerschnitt (Verfahren mit Teilschnittkräften; s. Schrifttum [1], [8]).

Die für einfach bewehrte Platten geltenden Bemessungsformeln können bekanntlich mit veränderten Hilfwerten auch für symmetrische Bewehrung $F_e = F_e'$ Anwendung finden. Auf eine hierfür ausgearbeitete, alle vorkommenden Spannungswerte umfassende Zahlentafel sei ebenfalls nur verwiesen [14].

3. Linientafeln

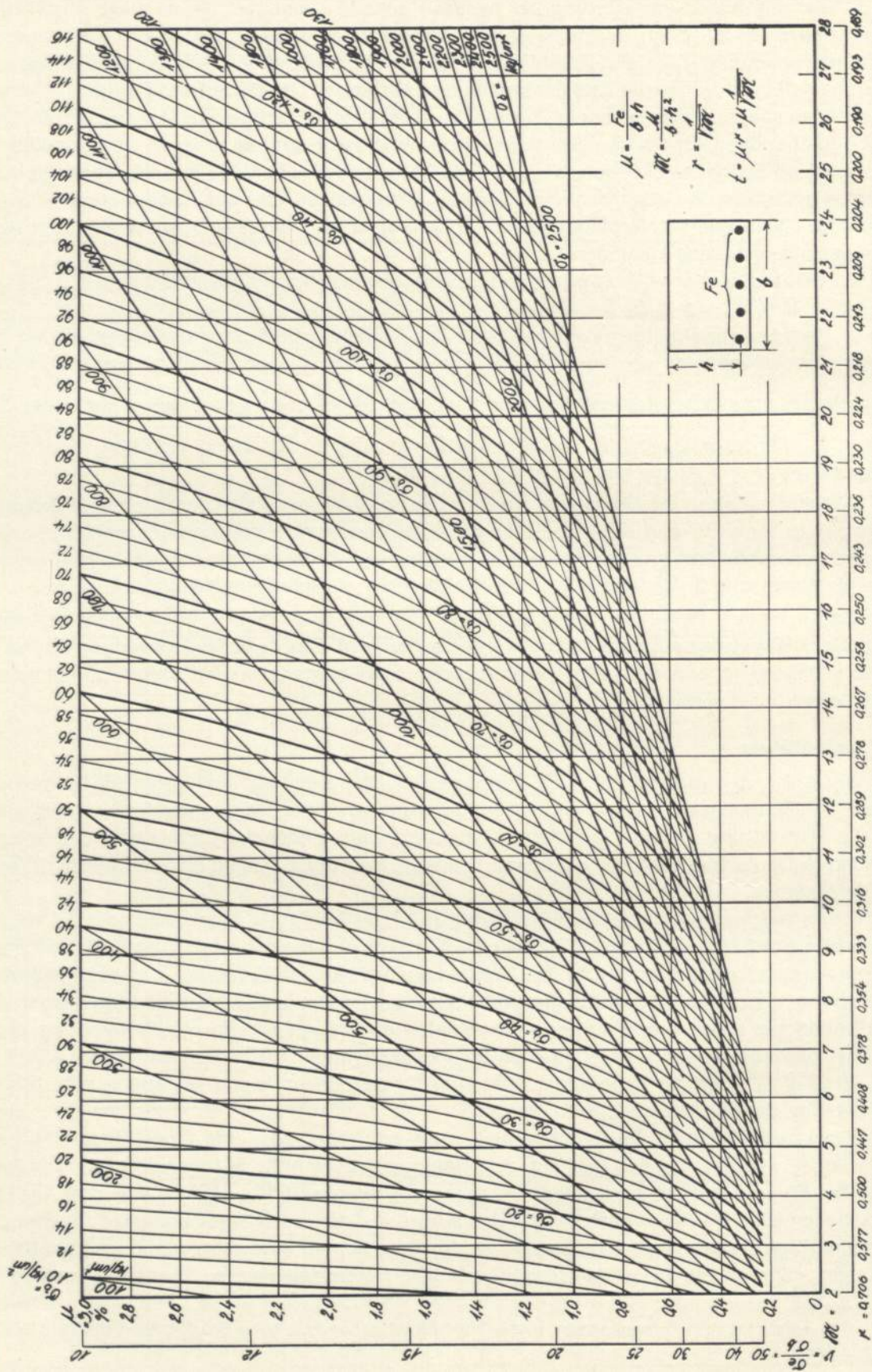
Wenn von Bemessungshilfen im Eisenbetonbau die Rede ist, so dürfen die Bemessungstafeln von Mörsch nicht unerwähnt bleiben, der als einer der ersten den praktischen Wert solcher Hilfen erkannte und die unübertroffenen Tafeln ausgearbeitet hat [1], [2], die nachgewiesenermaßen in Deutschland schon vor Jahren von allen derartigen Hilfsmitteln am meisten Verwendung fanden.

Die vorbesprochene Tafel der Hilfwerte r und t gestattet trotz ihrer vielseitigen Verwendbarkeit noch nicht die Ermittlung der Spannungen in einer einfach bewehrten Platte, deren Abmessungen bekannt sind. Wegen der Notwendigkeit, hierbei u. a. eine quadratische Gleichung aufzulösen, ist eine Rechenerleichterung erwünscht. Sie kann erhalten werden durch Auftragen von Linien r und t zu den Koordinaten σ_b und σ_e [10]. Bei der Anwendung sind zunächst die Größen r und t aus den Bemessungsgleichungen zu berechnen (also $r = h : \sqrt{M/b}$, $t = F_e : \sqrt{M \cdot b}$); für den Schnittpunkt der zugehörigen Linien können σ_b und σ_e mit stets ausreichender Genauigkeit abgelesen werden.

Etwas einfacher wird die Rechenarbeit, wenn an Stelle von r und t zwei andere Hilfwerte verwendet werden, nämlich die auf den Betonnutzquerschnitt bezogene Bewehrungsmenge $\mu = F_e / bh^3$ und das entsprechend bezogene Biegemoment $\mathfrak{M} = M / bh^2$, wie dies in Tafel 3 geschehen ist. Die Tafel ist nach einiger Umstellung aus der in der Tafel 4 eingezeichneten „Linie für einseitige Bewehrung“ entstanden. Am unteren Rande sind die zugehörigen Werte r abzulesen, während die t aus der Beziehung $t = \mu \cdot r$ ermittelt werden können. Die neue Tafel

⁹⁾ In den Tafeln ist μ in % angegeben, in die Formeln ist daher z. B. bei $\mu = 0,1\%$ für μ die Zahl 0,001 einzusetzen.

Tafel 3. Spannungsermittlung und Bemessung von Eisenbetonplatten. Einfache Biegung. Einseitige Bewehrung



kann somit auch zur Bestimmung der Hilfswerte r und t für die heute in Einzelfällen zugelassenen hohen Spannungen dienen, die auch in der Tafel der r - und t -Werte nicht mehr enthalten sind, (z. B. σ_e *zul* für IStegstahl und Baustahlgewebe). Die Anweisung für den Gebrauch der Tafel 4 sei wieder kurz zusammengefaßt:

- Spannungsberechnung. Gegeben M, h, Fe ; gesucht σ_b, σ_e . Lösung: Ausrechnung von $\mathfrak{M} = \frac{M}{b h^2}, \mu = \frac{Fe}{b h}$ (in %) und Aufsuchen der σ_b und σ_e für den Schnittpunkt der \mathfrak{M} - und μ -Linien.
- Bemessung bei gegebener Bauhöhe. Gegeben M, h, σ_b und σ_e (von denen eine Grenzspannung in der Regel nicht ausgenutzt werden kann); gesucht Fe und die nicht ausgenutzte Beanspruchung. Lösung: Ausrechnung von $\mathfrak{M} = \frac{M}{b h^2}$. Aufsuchen der Schnittpunkte der zugehörigen Lotrechten mit den Linien für σ_b und σ_e . Der untere Schnittpunkt gilt. Zweite Spannung und μ hierfür ablesen. $Fe = \mu \cdot b h$.
- Tragfähigkeitsermittlung. Gegeben h, Fe, σ_e und σ_b (von denen eines meist nicht ausgenutzt); gesucht M . Lösung: Ausrechnung von $\mu = Fe/bh$. Aufsuchen der Schnittpunkte der angehörigen Waagerechten mit den Linien für σ_b und σ_e , von denen der linke gilt. Ablesen von \mathfrak{M} , daraus $M = \mathfrak{M} b h^2$.
- Reine Querschnittbemessung (nur zweckmäßig, wo Zahlentafel 3 nicht ausreicht). Gegeben M, σ_b, σ_e ; gesucht h, Fe . Ablesen von \mathfrak{M} bzw. r und μ für den Schnitt der σ_b - und σ_e -Linien. Ausrechnen von $h = r \cdot \sqrt{M/b}$ und $Fe = \mu r \cdot \sqrt{M \cdot b}$.

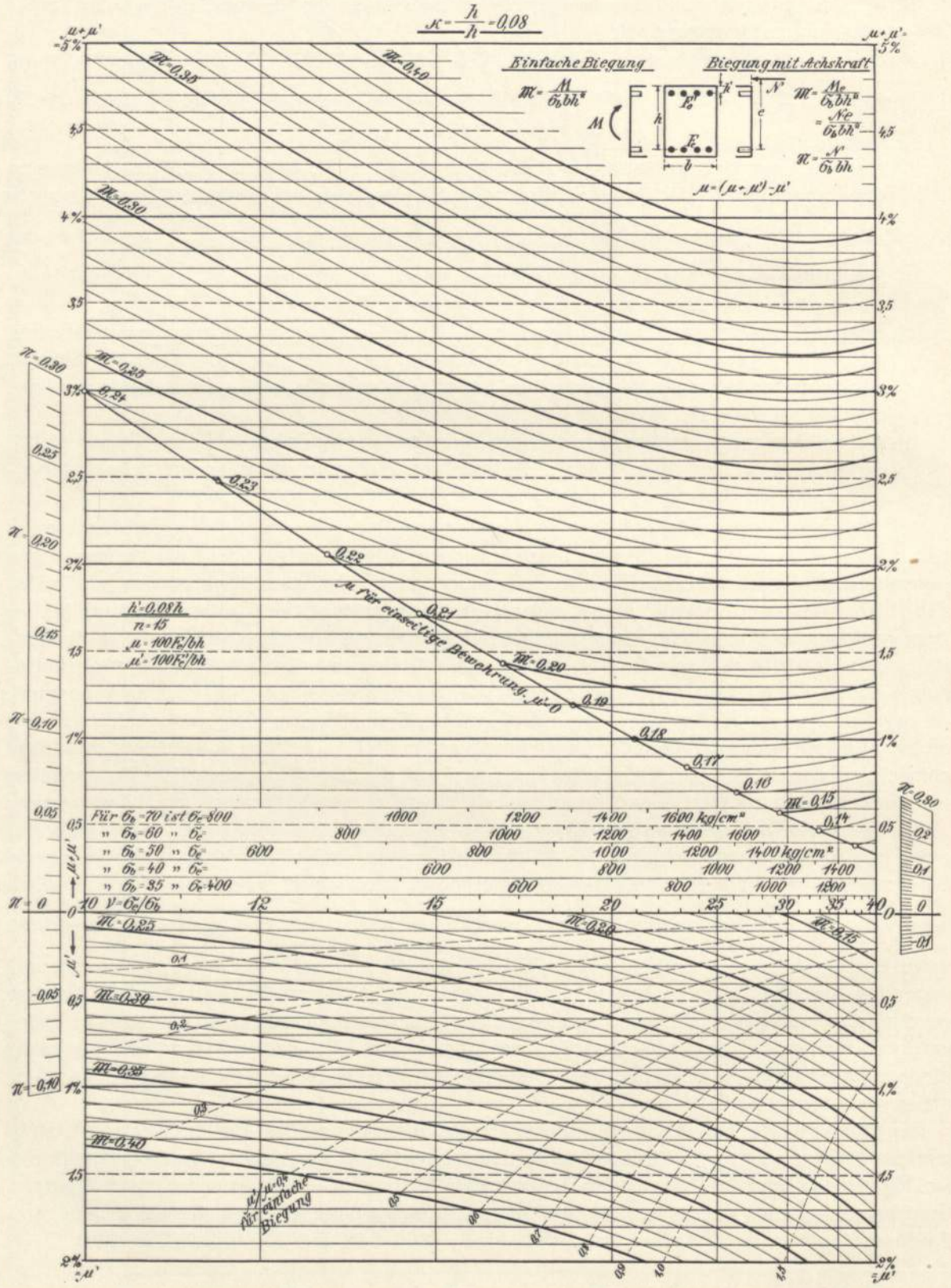
Im Bestreben, eine möglichst vielseitig verwendbare Rechenhilfe zur Verfügung zu haben, wird man mit Vorteil Bemessungshilfen nach Art der Tafel 4 zu Hilfe nehmen. Ihre Gestaltung geht zurück auf Tafeln zur Bemessung doppelt bewehrter durch einfache Biegung beanspruchter Platten oder Balken mit Rechteckquerschnitt [8], [9]. In ihrer vorliegenden Ausgestaltung gestattet die Tafel auch die Lösung verschiedener Aufgabenstellungen für einfache Bewehrung, ferner ist sie zur Bemessung der Bewehrung auch für Beanspruchung durch Biegung mit Achskraft (Rahmentragwerke) geeignet [12]. Das Augenmerk ist bei ihrer Ausgestaltung besonders auf die leichte Ermöglichung einer wirtschaftlichen Bemessung gelegt worden, indem der Gesamteisenverbrauch $Fe + Fe'$ bzw. $\mu + \mu'$ leicht erkennbar gemacht worden ist. Bezüglich der Entwicklung der Tafel, die das Werden derartiger Rechenhilfen recht anschaulich zur Darstellung bringt, sei auf die genannte Veröffentlichung [12] verwiesen.

Die Rechenhilfe für einseitige Bewehrung und einfache Biegung ist durch eine einzige Linie zum Ausdruck gebracht. Es ist dies dadurch ermöglicht worden, daß das bezogene Biegemoment nicht nur auf die Einheiten der Betonabmessungen, sondern auch auf die Einheiten der Betondruckspannung bezogen worden ist, also durch $\mathfrak{M} = \frac{M}{\sigma_b \cdot b \cdot h^2}$ ausgedrückt wird. Entsprechend sind an Stelle der σ_e -Größen $\sigma_e/\sigma_b = \nu$ eingeführt. Die in diesem Fall vorliegenden Aufgaben konnten bereits mit Hilfe der r - und t -Werte oder der Linientafel 3 gelöst werden. Die neue Vereinfachung der Darstellung, also Verringerung des Umfangs der Hilfe, ist durch eine etwas umständlichere Rechenarbeit erkauft. Auf das Verfahren soll hier nicht eingegangen werden, weil es aus dem folgenden mit hervorgeht und die anderen Hilfen hier meist vorzuziehen sind.

Liegt doppelte Bewehrung vor, so ist die Spannungsverteilung im Querschnitt stets merkbar beeinflußt vom Abstand h' der Druckbewehrung vom gedrückten Querschnitttrand (vgl. Skizze auf Tafel 4). Der wieder auf h bezogene Abstand ($\alpha = h'/h$) kann zwischen gewissen Grenzen schwanken. Für den praktischen Gebrauch genügt daher die eine hier wiedergegebene Tafel nicht immer, doch reichen drei Tafeln für $\alpha = 0,06, 0,08$ und $0,10$ für alle Zwecke⁴⁾.

⁴⁾ Die Tafeln können durch den Verfasser bezogen werden. Siehe auch [12].

Bemessung von Rechteckquerschnitten und Biegung sowie Biegung und Achskraft



Der obere Teil der Tafel zeigt die Summe der bezogenen Eisenquerschnitte $\mu + \mu'$, also den Gesamteisenverbrauch für verschiedene bezogene Momente \mathfrak{M} und verschiedene Spannungsverhältnisse $\nu = \sigma_e / \sigma_b$ an, auf dem unteren sind die entsprechenden Größen μ' aufgetragen. Der Zahlenwert von μ ist jeweils aus $\mu = (\mu + \mu') - \mu'$ zu ermitteln.

Die mit den Tafeln ausführbaren Arbeiten seien wieder in gedrängter Form wiedergegeben. Meist ist hier auch bei der Bemessung mit festliegenden Betonabmessungen zu rechnen.

1. einfache Biegung und doppelte Bewehrung

- a) Bemessung der Eisenquerschnitte F_e und F_e' . Gegeben $M, h, \sigma_b = \sigma_{b\text{ zul}} (\sigma_e \leq \sigma_{e\text{ zul}})$; gesucht $F_e, F_e' (\sigma_e)$. Lösung: Ausrechnung von $\mathfrak{M} = \frac{M}{\sigma_b \cdot b \cdot h^2}$. Alle Punkte der \mathfrak{M} -Linie auf der oberen Tafelseite geben mögliche Lösungen. Ablesung von $\mu + \mu'$ im Schnitt mit der Senkrechten für $\nu = \sigma_{e\text{ zul}} / \sigma_{b\text{ zul}}$ (Ausnutzung von $\sigma_{e\text{ zul}}$), oder im niedersten Punkt (wirtschaftlichster Bewehrung), unter Umständen auch im Schnitt mit Linie der einseitigen Bewehrung ($\mu' = 0$); sodann Ablesen der zugehörigen μ' auf der unteren \mathfrak{M} -Linie. Ausrechnen von $\mu = (\mu + \mu') - \mu', F_e = \mu b h, F_e' = \mu' b h$.
- b) Bemessung der Zugbewehrung F_e für festliegende Druckbewehrung F_e' . Gegeben $M, h, \sigma_b = \sigma_{b\text{ zul}}, F_e'$; gesucht F_e, σ_e . Lösung: Ausrechnen von \mathfrak{M} und μ' . Aufsuchen des Schnitts der zugehörigen Linien im unteren Tafelteil. Die hiermit gefundene Ordinate gibt die gesuchten Größen wie unter a).
- c) Tragfähigkeitsermittlung. Gegeben $h, F_e, F_e', \sigma_{b\text{ zul}}$ und $\sigma_{e\text{ zul}}$ (von denen eine Spannung, und zwar meist σ_e nicht ausgenutzt); gesucht M . Lösung: Ausrechnung von $\mu, \mu', \mu'/\mu$. Der Schnitt der μ' - und μ/μ' -Linien im unteren Tafelteil gibt \mathfrak{M} und $\nu = \sigma_e / \sigma_b$, somit auch σ_b und σ_e , von denen eines $= \sigma_{\text{zul}}$, das andere $< \sigma_{\text{zul}}$ sein muß. Schließlich Ausrechnen von $M = \mathfrak{M} \cdot \sigma_b \cdot b \cdot h^2$.
- d) Spannungsermittlung. Gegeben M, h, F_e, F_e' ; gesucht σ_b, σ_e . Lösung: Ermittlung von \mathfrak{M} und $\nu = \sigma_e / \sigma_b$ wie unter c). Ausrechnung von $\sigma_b = \frac{M}{\mathfrak{M} \cdot b \cdot h^2}$ und $\sigma_e = \nu \cdot \sigma_b$.
- e) Reine Bemessungsaufgabe für symmetrische Bewehrung. Gegeben: $M, \sigma_b (\leq \sigma_{b\text{ zul}}), \sigma_e = \sigma_{e\text{ zul}}$; gesucht $F_e = F_e'$ und h . Lösung: Aufsuchen des Schnittpunkts der Ordinate für $\nu = \sigma_e / \sigma_b$ mit der Linie $\mu'/\mu = 1$. Ablesen von \mathfrak{M} und μ' und Ausrechnung von $h = \sqrt{\frac{M}{\mathfrak{M} \cdot b \cdot \sigma_b}}$ sowie $F_e = F_e' = \mu' b h$.

Die wirtschaftlichste Lösung wird, sofern h unbeschränkt ist, nicht für $\sigma_{b\text{ zul}}$, sondern für ein kleineres σ_b gefunden.

2. Biegung mit Achskraft oder außermittige Normalkraft

Die Kraftwirkung kann bekanntlich durch das Moment der Kraft bezüglich des Schwerpunkts der Zuginlage F_e ($M_e = N \cdot e$ vgl. Bild auf Tafel 4) und eine in Höhe von F_e wirkende Normalkraft N zerlegt werden. Die Bemessung der Druckeinlage kann für M_e genau wie für einfache Biegung geschehen, während vom gleicherweise ermittelten Zugeisenquerschnitt (F_e) noch der durch die in F_e angreifende Normalkraft bedingte Anteil $\frac{N}{\sigma_e}$ abzuziehen ist.

$$F_e = (F_e) - \frac{N}{\sigma_e} \text{ oder}$$

$$\mu = \frac{F_e}{bh} = (\mu) - \frac{N}{\sigma_e bh} = (\mu) - \frac{N}{\nu \cdot \sigma_b \cdot bh} = (\mu) - \frac{\mathfrak{M}}{\nu}$$

Hierin bedeuten also (μ) den erforderlichen bezogenen Zugeisenquerschnitt für die einfache Biegebeanspruchung mit M_e und \mathfrak{N} die „bezogene Normalkraft“ $\mathfrak{N} = \frac{N}{\sigma_b \cdot bh}$. Die Größen $\frac{\mathfrak{N}}{\nu}$ können in unsere Tafel 4 aufgenommen werden. Die Abszissen ν sind darin derart aufgetragen, daß die $\frac{\mathfrak{N}}{\nu}$ -Linien Gerade werden. Diese sind nicht voll eingezeichnet, sondern für die vor kommenden \mathfrak{N} -Werte in Skalen am rechten und linken Tafelrand angegeben. Mit einem Lineal und spitzem weichem Bleistift können sie für jeden Rechenfall eingetragen (und später aus radiert) werden.

Der Ordinatenabschnitt zwischen der \mathfrak{N} - und \mathfrak{N} -Linie ist dann, entsprechend der Ableitung der Tafeln, die gesuchte bezogene Eisenmenge $\mu + \mu'$. Der Bemessungsvorgang ist somit genau der gleiche wie für einfache Biegung, wenn man von der durch \mathfrak{N} festgelegten „gehobenen Grundlinie“ an Stelle der ursprünglichen ausgeht. So kann im Einzelfall auch der Gesamteisenverbrauch für verschiedene Wahl der Spannungsverhältnisse σ_e/σ_b mit einem Blick übersehen und damit abgewogen werden, welche Wahl zweckmäßig ist.

Die Anwendung der Tafeln ist in allen Fällen zu empfehlen, in denen σ_b bekannt ist, nämlich:

- Bemessung von F_e und $F_{e'}$ für ausgenützte Randspannungen. Gegeben M , h , $\sigma_{b\text{ zul}}$, $\sigma_{e\text{ zul}}$, gesucht $F_e, F_{e'}$. Lösung: Ausrechnung von $\mathfrak{N} = \frac{M_e}{\sigma_b \cdot bh^2} = \frac{N_e}{\sigma_b \cdot bh^2}$ und $\mathfrak{N} = \frac{N}{\sigma_b \cdot bh}$. Aufsuchen von $\mu + \mu'$ (Abschnitt zwischen \mathfrak{N} - und \mathfrak{N} -Linie) sowie von μ' auf der Ordinate $\nu = \frac{\sigma_{e\text{ zul}}}{\sigma_b}$. Ausrechnung von $\mu = (\mu + \mu') - \mu'$, F_e und $F_{e'}$.
- Bemessung von F_e und $F_{e'}$ für den Mindestverbrauch von $F_e + F_{e'}$ (kann hier unter Umständen erhebliche Ersparnisse bringen). Gegeben M , h , $\sigma_{b\text{ zul}}$; gesucht $F_e, F_{e'}$ (σ_e nachzuprüfen ob $< \sigma_{e\text{ zul}}$). Lösung wie vor, jedoch Ablesen auf der Ordinate auf der sich \mathfrak{N} - und \mathfrak{N} -Linie am nächsten sind.
- Bemessung von $F_e = F_{e'}$. Symmetrische Bewehrung (manchmal von praktischem Vorteil und zugleich meist ziemlich wirtschaftlich). Gegeben M , h , $\sigma_{e\text{ zul}}$; gesucht $F_e = F_{e'}$ ($\sigma_e < \sigma_{e\text{ zul}}$). Lösung: wie vor, jedoch Ablesen auf der Ordinate, auf der $\mu' = \frac{1}{2}(\mu + \mu')$ ist, die schnell festgestellt werden kann, weil $\mu + \mu'$ im fraglichen Bereich nicht stark veränderlich ist.
- Bemessung von F_e für $F_{e'} = 0$ (einfache Bewehrung). Gegeben M , h , $\sigma_{e\text{ zul}}$, $F_{e'} = 0$; gesucht F_e . Lösung wie vor mit Ablesung auf der Linie der einseitigen Bewehrung.
- Bemessung von F_e für gegebenes $F_{e'}$ (etwa für ein Mindestmaß der Bewehrung wie es bei Stützen vorgeschrieben ist, wobei für F_e und $F_{e'}$ sinngemäß je die Hälfte der vorgeschriebenen Mindestbewehrung anzunehmen ist). Gegeben M , h , $\sigma_{b\text{ zul}}$, $F_{e'}$; gesucht F_e . Lösung: Ausrechnung von \mathfrak{N} und \mathfrak{N} wie vor, ferner von μ' . Der Schnitt von \mathfrak{N} mit μ' gibt die Ordinate, auf der im oberen Teil der Abschnitt zwischen \mathfrak{N} - und \mathfrak{N} -Linie wieder gleich $\mu + \mu'$ ist.

Es ist bei den besprochenen Lösungen nicht nötig, sich von vornherein zu überlegen, welcher der Fälle jeweils in Betracht kommt, denn die Notwendigkeit oder Zweckmäßigkeit, diese oder jene Bedingung einzuhalten, ergibt sich bei der Anwendung der Tafeln fast von selbst. Es ist dies einer der Hauptvorteile derartiger Linientafeln, denn selbst geübte Eisenbetonfachleute werden nicht immer ohne weiteres übersehen können, welche Grenzbedingung im Einzelfall zweckmäßigerweise in Betracht zu ziehen ist.

Schrifttum

- [1] Mörsch, Der Eisenbetonbau, seine Theorie und Anwendung. I. Band, 6. Aufl., Stuttgart 1929; Wittwer.
- [2] Mörsch, Bemessungstabeln für das Entwerfen von Eisenbetonbauten. 3. Aufl., Stuttgart 1933; Wittwer.
- [3] Göldel, Bemessungstabeln für Eisenbetonkonstruktionen. Berlin 1932; Springer.
- [4] Weese, Eisenbeton-Zahlentafeln, 4. Aufl., Kirchmöser (Havel; Selbstverlag).
- [5] Emperger, Der Beiwert $n = 15$ und die zulässige Biegungsspannung B. und E. (Beton und Eisen) 1931, S. 340.
- [6] Schreyer, Elastizität und Festigkeit des Betons auf Grund von Würfelversuchen und relativen Spannungen. B. und E. 1933, S. 42 u. f.
- [7] Vieser, Neuere Rechnungsannahmen zur Bemessung von Eisenbetonquerschnitten. Zement 1934, S. 6,
- [8] Richter-Berrer, Theorie des Eisenbetonbalkens im Handbuch für Eisenbeton, 3. Aufl., 1. Band, Berlin 1921, Wilh. Ernst & Sohn.
- [9] Berrer, Neue Bemessungstabeln für doppelt bewehrte Eisenbetonbalken. Der Bauingenieur 1922, S. 310.
- [10] Berrer, Zusammenstellung der Beiwerte für die Bemessung einfach bewehrter Eisenbetonplatten, B. und E. 1927, S. 43.
- [11] Berrer, Über die Bestimmungen zur Berechnung umschnürter Säulen, B. und E. 1927, S. 326.
- [12] Berrer, Bemessungstabeln für rechteckige Eisenbetonquerschnitte, B. und E. 1930, S. 47.
- [13] Berrer, Das Bemessen der Säulen nach den neuen Eisenbetonbestimmungen, B. und E. 1932, S. 156.
- [14] Berrer, Bemessungstafel für symmetrisch bewehrte Platten und Balken aus Eisenbeton. Zement 1935, S. 55.

Die Wehrbauten der Stadt Breslau

Von Kurt Bimler in Breslau

Jhre Behandlung schließt die durch den Mangel an schwierig durchzuführenden Untersuchungen der vorgeschichtlichen bzw. vorkolonisatorischen Besiedlung bedingte Problematik aus der Behandlung aus. Sie wahrt die durch schriftliche Urkunden, alte Pläne, Abbildungen und erhaltene Bautenreste gewährleistete Sachlichkeit und muß selbst da, wo der geschichtlich verwertbare Stoff in den geretteten Zeugen der vergangenen Stadtwehrhaftigkeit offen vor unseren Augen liegt, noch eine Fülle von unzulänglich beantwortbaren Fragen den künftigen Untersuchungen überlassen.

Mit dem zunehmenden Schwinden der Schönheit des mittelalterlichen Wehrbaues infolge seiner Höhenreduzierung und fortschreitenden Einbettung in die horizontale Ebene im Zeitalter der Entwicklung der Feuerwaffen mindert sich auch das gegenständliche Interesse für die Befestigungskunst. Die Momente der prachtvollen Körperlichkeit und stereometrischen Klarheit, der Rhythmik und Dynamik der aufstrebenden romanischen und gotischen Wehrgürtelformen fallen bei den in die Horizontale verwiesenen Befestigungsbauten von der Neuzeit an in zunehmendem Maße fort. Das Ende des 15. und der Anfang des 16. Jahrhunderts bleiben im Bau der Basteien und niedrigen Rundtürme noch in gewisser Verbundenheit mit der plastisch-stereometrisierenden Gestaltungsweise des Mittelalters. Selbst der sie ablösenden Befestigungsart der Folgezeit (bis zum Beginn moderner Kriegstechnik) mit ihrem zu gebrochenen Wall- und Grabenflächen mit niedrigen Toren zusammenschumpfenden Ausdruck ist eine gewisse Schönheit nicht abzuspochen, die sich zum Teil auf der Linie berechnender Ordnung hält. Voraussetzung ihrer Erfassung ist der genügend erhöhte Standpunkt des Beobachters. Die Flugzeugaufnahme verleiht erhaltenen Bastionärbefestigungen das Recht künstlerischer Wirksamkeit, wie etwa einer geometrischen Schreinerarbeit.

Die Stadt Breslau besaß den Vorzug, alle Entwicklungsstadien der bis zum Ausgang des 17. Jahrhunderts als kunstnahe bewertbaren Befestigungstechnik zu erleben. Durch ein halbes Jahrtausend, bis zum Übergang ihrer freistaatlichen, autokratischen Verwaltung in das System der absoluten preußischen Monarchie war der Breslauer Rat selbst Kriegs- und Bauherr, der meist aus den städtischen Einnahmen die Errichtungs- und Unterhaltungskosten bestritt. Wenn dem Piastenherzog Heinrich III. die um 1260 ausgeführte erste Massivumwehrung zugeschrieben wird, so entspricht der tatsächlich durch jene vollzogene Hergang vielleicht der Initiative, kaum dem wirtschaftlichen Vermögen eines einzelnen, wenn er auch ein Herzog war. Wie der Gang der Ereignisse stets lehrt, haben die Fürsten sogar die Entstehungskosten für ihre Stadtschlösser auf die Bürgerschaft abzuwälzen gewußt.

Das Verhältnis von herzoglicher Gewalt und Bürgerschaft wird um 1250 ähnlich wie in Ohlau und Brieg, durch die Lage der durch Graben und Mauern abgesonderten Burg mit Rücken- deckung durch einen Fluß charakterisiert. Der Landesherr hält mit seinem Bollwerk den Übergang und Handelsweg nach Polen über die Oder in seiner Hand. Die Schmiedebrücke weist nach der herzoglichen Burg, in gerader Fortsetzung durch das Burggelände ging zweifellos die Hauptverkehrsstraße nach der Oderbrücke, die bis zur Eröffnung des neuen Odertores, des späteren Kaisertores, weiter östlich (vergl. Abb. 2) im Bereich des fürstlichen Bollwerkes lag. In der Erzwingung eines von der Stadt kontrollierten Überganges spricht sich die Abänderung des Verhältnisses zwischen landesherrlicher und bürgerlicher Kraftentfaltung aus. Die vom ersten Augenblick an energisch einsetzende Entwicklung des städtischen Gemeindewesens mit seiner Kaufherrenoligarchie, durch das frühzeitige Absterben des Piastenzweiges in Breslau (1327) eher gefördert, hatte innerhalb eines Jahrhunderts nach der Stadtentstehung ziemlich alle Rechte landesherrlicher Gewalt an sich gebracht.

Ausgangspunkt unserer Wehrbaugeschichte Breslaus ist der durch die Gründung von 1241 gegebene vorgezeichnete Stadtplan. In seinem Straßengefüge mit einem Netz sich rechtwinklig schneidender Verkehrswege erster und zweiter Ordnung und mit einem dem Handel zugewiesenen, 210 : 180 m messenden Hauptplatz und zwei kleineren Marktplätzen nebst zwei Friedhöfen mit Kirchen ist er durch sieben Jahrhunderte im großen und ganzen unangetastet geblieben. Die Geländeabsteckung sah ein Oblongum mit abgerundeten Südecken von etwa 600 : 1000 m für das Gemeinwesen vor. Oder und Ohlemündung mit westlich und östlich vorgelagertem, sumpfig durchsetzten Überschwemmungsgebiet waren geschickt als natürlicher Schutz ausgenützt. Die Deckung der Ostseite übernahm eine künstliche schnurgerade Verbindung zwischen Oder und Ohle als Weiße Ohle. An der Nordseite dieses Stadtrechteckes führte die bei Weiner 1562 so genannte Herrengasse (heut Ursulinerstraße), die südliche Parallelbegrenzung war die Jungherrengasse. Neumarkt und Salzring (Blücherplatz) lagen hart an der Stadtperipherie, nur durch je eine Häuserreihe von der Umwehrung getrennt. Das nördlich dieser ehemaligen Herrengasse sich ausdehnende Dreieck bis an die Oder gehörte anfangs nicht zum Gemeinwesen. Hier hatten der Herzog und die Klöster der Kreuzherren, Klarissinnen und Franziskaner (und im Westen die Juden) Fuß gefaßt und standen außerhalb jeder städtisch-bürgerlichen Gemeinschaft und Bevormundung. Gewichtige Gründe sprechen sogar dafür, daß dieses Gebiet im Zuge des Oder- (Weißen Ohle-) einflusses durch einen Graben, ähnlich wie in Ohlau, abgetrennt war. Letzterer könnte sogar ein Oderarm (Odrizza?) gewesen sein, wofür die vor der Mündung entstandene lange schmale Ablagerung der Mühleninsel (Mühlgartens) Beweis wäre. Straßennamen, wie Schmiede- und Schuhbrücke, finden dann ihre nächste Erklärung. In geringerem Umfange als man sich gewöhnlich vorstellt, präsentiert sich bei genauerer Grenzziehung das erste Stadtgebilde, der Kern der durch den zweiten Stadtgraben noch heut klar umrissenen erweiterten City. Durch diese zu beachtende Feststellung wird die erstaunlich geringe Zeitdifferenz erklärt, die zwischen der Erbauung der ersten und der zweiten weiteren Stadtmauer in Erscheinung tritt.

Die Quellen zu meiner Geschichte der von der Stadt ausgeführten Befestigungsanlagen sind die bekannten Stadtpläne von 1562 an, publizierte und unveröffentlichte Urkunden der beiden Breslauer Archive sowie das Material an Aufnahmen der städtischen Plankammer. Mit der Anführung „Klose“ ist dessen noch ungedruckte „Architectura Wratislaviensis“ (Stadtarchiv) gemeint. Die bisherige Literatur über dieses Thema geht über kleine Teilveröffentlichungen mit oft abwegigen Vorstellungen nicht hinaus. Sie sind in der Schlesischen Kunstbibliographie von H. Gruhn (Breslau 1933) zusammengestellt und erübrigen eine Aufzählung. Die bisher von Lutsch 1886 und Burgemeister 1930 ff. herausgegebenen Kunstdenkmälerverzeichnisse der Stadt Breslau werden dem Entwicklungsvorgang der mittelalterlichen Wehranlagen nicht immer gerecht. Auch der 1926 angeblich „auf Grund alter Pläne“ bearbeitete und von R. Konwiarz in seiner „Baukunst Breslaus“ veröffentlichte Plan der Befestigungen entspricht in fast sämtlichen Datierungen, in der falschen ersten Mauerführung, in der Ignorierung des Basteiengürtels und in der Verlegung von Bastionsbefestigungen des 17. Jahrhunderts in das 18. durchaus nicht den geschichtlichen Gegebenheiten. Dementsprechend ist auch der Begleittext zu bewerten. Ein von R. Stein gezeichneter Plan der mittelalterlichen Stadt Breslau (Ausstellung „Großer Ring“ 1935 und Plankammer 1. 158) irrt in der Wiedergabe der Stadtmauern und ihren Mauerturmformen, vermerkt weder das dritte und vierte Schweidnitzer Tor noch die heut stehende Dorotheenpforte usw.

Die erste Stadtmauer

Die Ersetzung des „hölzernen Parchen“, d. h. der Pallisaden- oder Fachwerkwand (mit Wall), durch eine von Bruchstein und Ziegeln aufgemauerte und in regelmäßigen Abständen von Türmen durchsetzten Mauer gibt der Stadt Breslau vor den anderen Gemeinden Schlesiens in wehrtechnischer Hinsicht einen Vorsprung, der sich offensichtlich in ihrer geradezu rapiden Entwicklung im letzten Drittel des 13. Jahrhunderts auswirkt. Kaum dreißig Jahre nach dem von dem Chronisten in das Jahrzehnt nach 1260 angesetzten ersten Massivmauerbau ist die ihrem Wehrkleid entwachsene Stadt reif für eine beträchtlich erweiterte Umgürtung.



Abb. 1. Ausschnitt aus Barthel Weiners Stadtplan von 1562.

Die Linienführung dieser ersten Massivwand kann bei der Beschränktheit des Stadtgeländes nur ungefähr dieselbe wie diejenige der „hölzernen“ gewesen sein. Die räumliche Distanz von der ersten Holzkonstruktion ist durch die Unverrückbarkeit des Wassergrabens auf ein Mindestmaß beschränkt. Der verhältnismäßig große, bis 50 m betragende Abstand der neuen Mauer von der Ohle läßt die Möglichkeit ihrer Errichtung in Parallelführung zu jener zu.

Ihr Verlauf im Westen, Süden und Osten ist durch die Linie des ersten, 1866 zugeschütteten Stadtgrabens (Ohlelaufes) in der Straßenüberlieferung der Reußen-, Siebenrade-, Schloß-, Altbüßer-, Kätzel- und Weißen Ohle ungefähr bekannt. Mit einer gewissen Bestimmtheit läßt er sich zunächst aus Barthel Weiners Stadtplan von 1562 ablesen, trotz der zweieinhalb Jahrhunderte, die damals seit der Entkleidung ihres Wehrcharakters verfließen waren. Ihre Außerdienststellung hatte beträchtliche Teile von ihr aus dem Stadtraum nicht verschwinden lassen. Die folgenden Stadtpläne bis zum Ende des 18. Jahrhunderts und Teilaufnahmen aus dem 19. geben Vervollständigung und Korrektur.

Die Ablesung der Linienführung aus Weiners Plan wird durch die Fixierung der Tortürme dieser ersten Mauer vorbereitet. Nikolai-, Reusche-, Schweidnitzer, Ohlauer und Sandtorturm sind

deutliche Meilensteine. Im äußersten Nordwesten vermittelte den Anschluß an die Oder der Ohleendturm (oder Odertorturm) als Eckpfeiler, in gleicher Rolle der Sandturm im Nordosten, dessen Standpunkt im Falle einer gerechtfertigten inselartigen Abtrennung des gesamten herzoglichen Geländes weiter südlich in der Nachbarschaft des Grundstückes Sandstraße 10 zu suchen ist.

Die zweite Gruppe von Fingerzeigen für die Festlegung der ersten Mauerlinie sind die als Posten im Zuge der Tortürme bei Weiner, Hayer, Merian und noch bei Schleuen 1741 eingezeichneten schwibbogenartigen Mauerteile selbst. Daß es tatsächlich Stücke der alten Stadtbefestigung sind, erweist sich aus dem Vorhandensein von weiteren, parallelen Mauerstücken auf der Außenseite der Haupttore zum Zwecke der Zwingergestaltung. Sie stehen am Südausgange des Salzringes auf der heutigen Schloßstraße (neben alter Börse und Stadtbauamt), in der Dorotheengasse, am Südende der Besen- (heut Schuhbrücke), Pfarr- (heut Altbüßerstraße) und Mäntlergasse und des Kugelzipfels als einst straßenabschließende, nach Erbauung der zweiten Umgürtung torartig durchbrochene Teile der ersten Stadtmauer. Ein solches Mauerstück hat sich sogar noch bis heut, unerkannt und unbeachtet, in der Dorotheengasse als überbauter Schwibbogen an die Häuser Nr. 3 und 4 angelehnt, erhalten. Östlich vom Kugelzipfeldurchgang nach dem Ketzerpfortenturm zu diesseits und jenseits der Ohle stehen 1562 noch unversehrt längere Mauerstücke. Im Bezirk der Albrechts- und Katharinenkirche erscheint der Mauerzug unterbrochen — in Wirklichkeit ist diese von Gebäuden kaschierte östliche Hofumfriedung Stadtmauer — um am Ziegeltor wieder aufzutauchen und hier in unberührter Existenz und Durchsetzung mit fünf (nach F. Groß mit vier) Mauertürmen auf das Marien- oder Sandtor hinstreben. Soweit also ist die Standlinie der ersten Stadtmauer gesichert, in einzelnen Abschnitten kommen Angaben von Grundstücksakten¹⁾ und die selten verschobenen Grundstücksbegrenzungen im einstigen Mauerbereich zu Hilfe.

Neben diese Fingerzeige stellen sich schließlich als erstklassige Zeugen die nach fast 700-jähriger Existenz noch vorhandenen Mauerreste zur Verfügung, so außer oben aufgedeckter Mauerpforte in der Dorotheengasse die Turm- und Mauerwandteile an den äußeren Hofseiten der Sandstraßengrundstücke und die Rückwände der hoflosen Häuser Graben Nr. 8 und 10²⁾.

Für die Nordseite fehlt jedoch jede Andeutung einer ersten Stadtmauer. Keine Spur in Form eines Schwibbogens oder in Gestalt eines in einen Häuserblock gedrängten Mauerturmes ist zu finden. Die vierte Seite der Stadt blieb also ursprünglich dem natürlichen Schutz des Stromes bzw. Grabens und einer leicht vergänglichen Pallisaden- oder Fachwerkwand überlassen.

Von dieser ersten schon bei Weiner meist mit Flachwerk oder Schindeln abgedeckten, in den Zwingerpartien aber auch noch gezinnt gezeichneten Stadtmauer läßt sich am ersten ein Urteil über ihre Höhe abgeben. Sie war, wie bei allen spätromanischen Wehrmauern, nicht erheblich. Neben anstoßenden Wohnhäusern erreicht sie auf Weiners Kartenbild das doppelte Stockwerkmaß, also etwa 6 Meter. Bis 1905 stand noch ein Stück von ihr an der Nordostecke als Süd- oder Ost- und Nordwand — je nach der Begrenzung der ersten Mauerführung — des Sand-Zeughauses. Die Aufnahme des Zeughauses in der städtischen Plankammer (56. 10. 2) läßt eine genaue Höhenberechnung aus dem durch den Zeughausflügel gelegten Schnitt deshalb nicht ohne weiteres zu, weil das umgebende Gelände eine erhebliche Aufschichtung erfahren hat. Legt man das 1905 auftretende Niveau des unteren Geschosses als dasjenige des umliegenden Terrains zugrunde — eine Unterkellerung wird beim Bau des Zeughauses in Rücksicht auf die Stadtmauerfundamente kaum stattgefunden haben — so kommen 6 Meter für ihre Höhe ohne Zinnenkranz heraus. Die Mauerstärke an derselben Stelle betrug 2,20 m, dasselbe Maß — 2,25 m mit Putz — haben die Mauerpforte in der Dorotheengasse und die Mauerreste am Graben Nr. 8 und 10. Mit dieser Dicke werden wir für die gesamte Mauerlänge rechnen müssen. So wird Barthel Steins Schilderung von 1512 verständlich, die besagt, daß auf der hohen und starken inneren Mauer „die Verteidiger sicher hin- und hergehen konnten.“ Bei dieser Breite des Wehrganges können wir

¹⁾ Breslauer Stadtarchiv Nr. 7. 127, 7. 1. Vol. 13, 16, 18 u. 26 und 7. 52. Vol. 3 und 7. 140 und 7. 230.

²⁾ Breslauer Staatsarchiv Rep. 18, Dominikaner III 6, h, k, l, und 8 g.

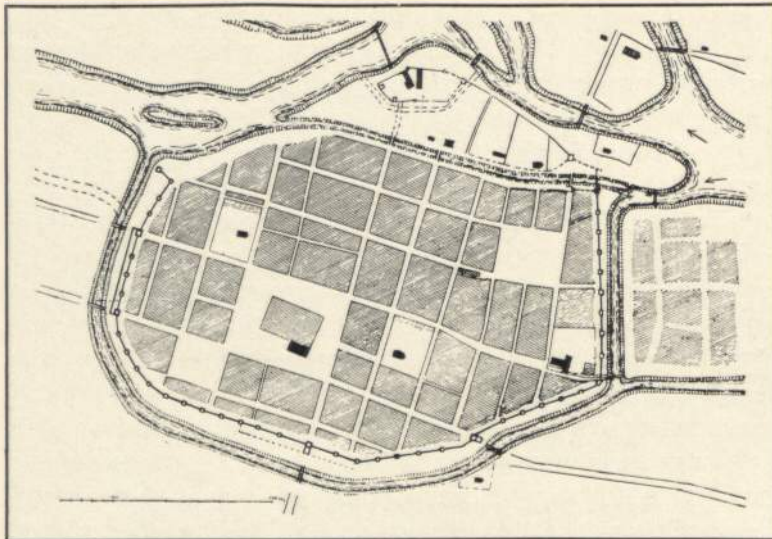


Abb. 2.
Rekonstruierter Stadtplan um 1270
mit der ersten Stadtmauer. (Un-
sichere Festlegungen in unter-
brochenen Linien).

uns die zum erstenmal von H. Luchs ausgesprochene Behauptung zu eigen machen, daß die Mauerzinnen an dessen beiden Rändern zur Bestreichung der Außen- und Innenwand angebracht waren.

Einen Einblick in die Mauerkonstruktion zu gewinnen war mir nicht möglich. Bogenschlag an unsicheren Baugrundstellen, wie z. B. beim Liegnitzer Schloß, ist nicht ausgeschlossen. Anzeichen für Nischenausparungen sind nicht ersichtlich. Die im Sandfeldzeughausabschnitt einst vorhandenen vier Strebepfeiler gehörten dem 15. Jahrhundert an und dienten der Stützung der stark belasteten Wand bzw. wurden durch den unsicheren Baugrund des Grabengeländes notwendig.

Für die in Abständen von 25 bis 32 m — berechnet aus der Reihung der vier oder fünf Stück in dem 160 m langen Abschnitt Zeughaus (Markthalle) und Breitestraße — eingefügten Mauertürme ergibt sich nach Maßgabe des zum Wohnhaus eingerichteten und aufgestockten Exemplares im Hofe des Hauses Sandstraße 7 eine Höhe von drei Stockwerken, also etwa 9 m und eine Seitenlänge von rund 7 m. Das Grundrißmaß des aktenmäßig bekannten Turmes auf dem Grundstück Graben Nr. 6 läßt sich nicht mehr ermitteln. Es waren gedrungene Quader auf quadratischer Grundfläche mit vier etwa meterbreiten Zinnen über geringer Ausladung. Ein abgewalmt hohes Satteldach auf der Plattform war bei dem Wechsel der Bedachungsart kaum die Regel. Bei oben angezogenen vier oder fünf Türmen an der Neumarkt- und Sandstraßenseite fehlt es. Zylindertürme scheinen nicht vorzukommen.

Die Baustoffe der Mauer und ihrer Türme sind, wie sich in der Sandstraße feststellen ließ, in den unteren Teilen Bruch- oder Haustein, in den oberen Ziegeln. Bei einer Wandstärke von rund 2 m war ein Herausspringen um mindestens $2\frac{1}{2}$ m vor und hinter die Mauerflucht zum Bestreichen der Mauer nach vorn und rückwärts nötig. Zur Flankierung waren alle vier oder fünf Türme im genannten Abschnitt ausgebildet, so daß mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf eine gleiche Stellung der anderen Turmquader in der gesamten Stadtmauer geschlossen werden kann. Frühere Grundstückbegrenzungen erschließen den Beweis.

Die Stadttore waren von vornherein als Durchfahrt bergende Tortürme mit vorgesetzter Zwingermauer ausgebildet und wurden nach Erbauung der zweiten Mauer als Stützpunkte der inneren Verteidigungslinie in den folgenden Jahrhunderten instand gehalten. Soweit aus den Stadtplänen abgelesen werden kann, herrscht in ihrer Gestaltung die einfache Quaderform vor³⁾.

Die Überhöhung der einfachen Mauertürme um ein weiteres Stockwerk ergibt für den Torturm vier Geschosse. Seine Gestaltung kann bei Weiner an dem einzigen in reiner Frontstellung

³⁾ Für die Bestimmung ihrer Standorte geben die Akten des Stadtarchivs 7, 52 und 140 und des Staatsarchivs Rep. 199, XII, 28. Vol. 1, 5 und 7 Aufschluß.

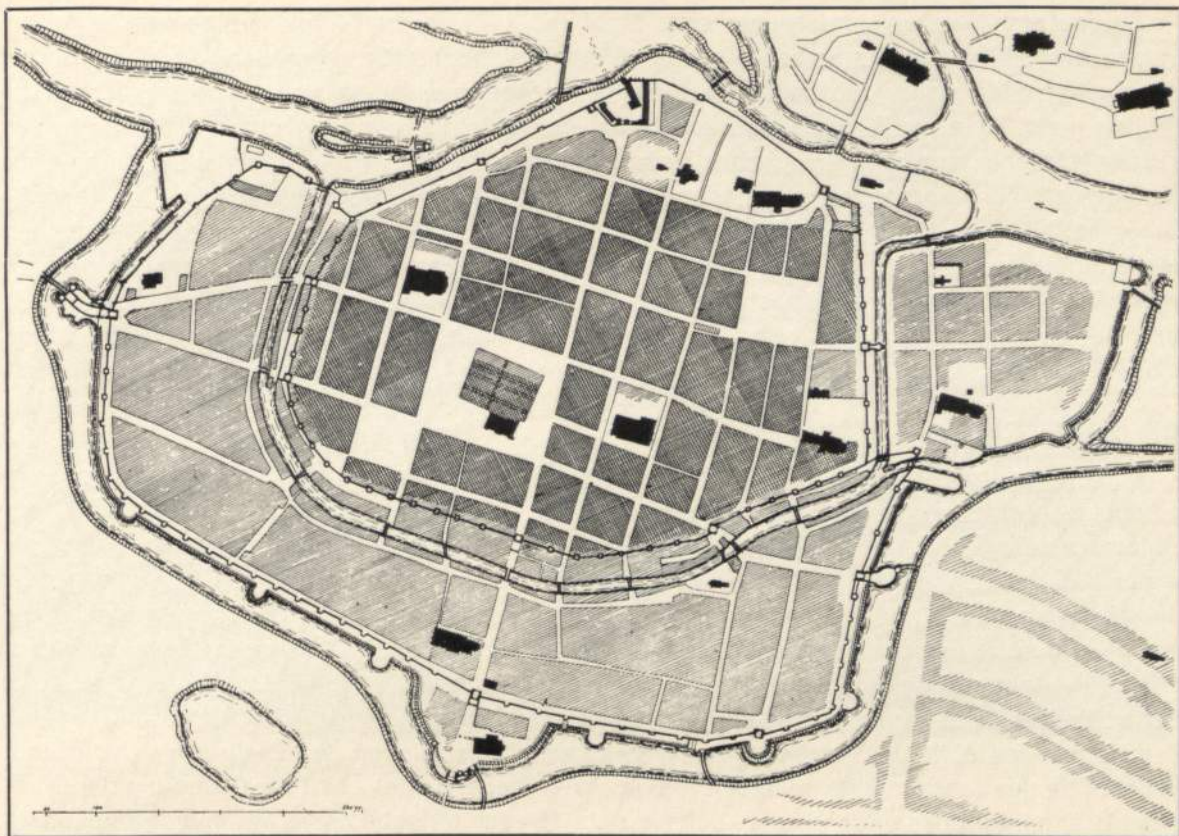


Abb. 3. Rekonstruierter Stadtplan mit zweiter Stadtmauer, Torerweiterungen, erstem Wall und Basteien.

sichtbaren Turme des ersten Schweidnitzer Tores insoweit erkannt werden, als über dem im Halbkreis geschlossenen Durchgang die Andeutung einer die Form des Mauerausschnittes wiederholenden Flachnische erkennbar wird. Für die genauere Rekonstruktion des Torturmtyps dürfen wir das von Bach-Mützel um 1820 gezeichnete Bild des 1305 erbauten Schweidnitzer Torturmes der zweiten Stadtmauer heranziehen. Die zeitliche Entstehungsdifferenz beträgt ja nur etwa 40 Jahre. Auch hier steht die jetzt spitzbogig geschlossene Durchfahrtsöffnung in einer zweigeschossigen Nische — deren Verzierung mit Maßwerk unecht, weil im 19. Jahrhundert aufgemalt worden ist. Wichtiger ist die Gestaltung des Oberbaues, der in Rundbogenlisenen und gleichartigem Konsolfries mit Zinnenkranz durchaus den spätromanischen Charakter wahr. Für die Frage des Zweckes der oberen Nischen gibt uns dieses Bild auch keine Antwort, so daß wir auf Vorkommen in anderen Städten angewiesen sind. Dieselbe Flachnische über der Durchfahrt hat der Wassertorturm in Tangermünde. Auch hier handelt es sich um eine Wandaussparung für das Fallgitter. Entscheiden läßt sich aus der kleinen Stadtplanzeichnung nicht, ob die Nische etwa, wie bei Ordensbauten, z. B. dem Hochmeisterschloß der Marienburg, so tief war, daß Raum an der Decke des Einbaues zur Anbringung von Gußlöchern vorhanden war, eine einfache Konstruktion, um vorkragende Gußerker zu umgehen.

Die zu den ersten Stadttoren gehörenden, somit ursprünglichen Zwinger (Parchen) stellen sich als rechteckige Vorhöfe mit anscheinend etwas niedrigerer Zinnenmauerungsgürtung dar. Bei der durchschnittlich 40 m betragenden Tiefe des Vorgeländes bis zum Ohlegraben war für die Errichtung der etwa 20 m entfernten Parallelwand des Zwingers genügend Raum vorhanden. Für den Verkehr wurden später in der Zwingermauer seitlich Schlupfpforten für die Fußgänger durchbrochen. Für den Wasserein- und Auslaß der Ohle ist ein anderer Schutz als durch Zinnenmauer über flachem Bogen nebst Gitter nicht wahrnehmbar. Der Turm nordöstlich vom späteren Ohleinfluß an der Kätzelmühle gehört der zweiten Stadtmauer an.

So baut sich in rohen Umrissen die erste Stadtmauer vor unseren Augen auf, in dem Umfange, in dem ich sie in den Stadtgrundriß (Abb. 2) eingezeichnet habe. Nicht lange nach Erbauung der zweiten Stadtmauer geht sie im Wachstum der Stadt auf, indem sich vor und hinter sie die Reihen meist kleinster Bürgerhäuser anlehnen und sie als tragende Wand bei Neubauten benutzen. Daher in einem Fragment eines Zinsregisters aus dem 14. Jahrhundert die Erhebung eines Mauerzinses von den an die erste Stadtmauer stoßenden Grundstücken auftaucht. Das ähnliche Schicksal blüht frühzeitig den Mauertürmen, deren wirtschaftliche Verwertung und Vermietung als Wohnungen schon von 1355 an durch entsprechende Einnahmeposten „de turribus“ und „de wichhäuser“ (Kriegshäuser) im städtischen Rechnungsbuch⁴⁾ gewährleistet wird. Um eine Verpachtung der natürlich in vollem Umfange wehrfähig gehaltenen Türme der zweiten Stadtmauer handelt es sich damals noch nicht, wie Grünhagen u. a. annehmen.

Die zweite Stadtmauer

Für die technische Einleitung ihrer Errichtung, die von allen neueren Ortsgeschichtlern viel zu spät angesetzt wird, gibt Klose unter dem Jahre 1291 die wichtige Notiz: „Ist der Fluß der Ohlau umb die Stadt zur Befestigung geführt worden, da vorhin nur ein schlechter Graben gewesen.“ Dann schweigt sich Klose über den Mauerbau vollständig aus. Zum Glück springt hier das die Jahre 1299 bis 1358 umfassende Rechnungsbuch der Stadt ein, das uns ermöglicht, die meisten Phasen des bedeutungsvollen Ereignisses zu verfolgen. Die Ausgaben beginnen gleich 1299 mit dem Bau des Ohlauer Tores und enden zunächst 1318 mit der Wiederaufnahme des Schweidnitzer Torbaues, um nach zehnjähriger Unterbrechung in allmählicher Steigerung 1348 mit dem Beginn des letzten Mauerabschnittes dieses Kapitel zu schließen. Jedenfalls sah sich die Stadt in der Mitte des Jahrhunderts im neuen fertigen Wehrmauerkleide — 1351 die Gründung der Dorotheenkirche inter duos muros⁵⁾ — so daß sie sich 1354 der Aufgabe des vorläufigen Rathausbaues mit der Errichtung des zugehörigen Turmes zuwenden konnte und zur selben Zeit bereits die Bauplätze an der ersten Stadtmauer vergeben durfte. Die Einkünfte von den nunmehr außer Dienst gestellten Türmen der ersten Mauer datieren, wie schon erwähnt, von 1355 an.

Genannt werden in dem Rechnungsbericht nur das Ohläuer-, 1305 das Oder- und Schweidnitzer und 1308 nochmals das Schweidnitzer Tor. Die allgemein gefaßte Ausgabe „ad valvas“ (für Tore) läuft zwischen den Mauerkosten, so daß diese wie die anderen Tore schlechthin damit gemeint sein können. Da jedoch das Rechnungsbuch 1299 anfängt und gleich der Ohlauer-Tor-Bau darin auftritt, so liegt eine gewisse Wahrscheinlichkeit vor, daß schon vorher Aufwendungen für den zweiten Mauergürtel gemacht worden sind. Ich möchte solche vorzudatierende Ausgaben für das im Schnittpunkt der Verlängerungen der Reusche- und Nikolaistraße entstehende, die Ausgänge beider Straßen an einer Stelle vereinigende Nikolaitor in Anspruch nehmen und dessen Turm demgemäß noch an das Ende des 13. Jahrhunderts setzen. Die Sicherung des hier bereits besiedelten Terrains forderte am ehesten dessen Einschluß in die Befestigungslinie.

Im Gegensatz zu der ersten ist die zweite Stadtmauer über vier Jahrhunderte lang unangestastet und in der Hauptsache von Eingriffen privater Bautätigkeit anstoßender Grundbesitzer verschont geblieben. Daher alle Stadtpläne einschließlich der Aufnahmen der Festungsbaumeister Friedrich Groß und Valentin Säbisch bis zu ihrer ersten, 1762 auf 6 Fuß Höhe vorgenommenen Reduzierung und weiterhin bis zu ihrem vollständigen Abbruch nach 1807 ihr Dasein und ihre Form mehr oder weniger richtig vermerken. In verhältnismäßig kurzem Abschnitt ist sie in den Fundamenten fast der gesamten Oderwand des Matthiasgymnasiums und des Universitätsgebäudes⁶⁾, in der Nord- und Westwand des Burgfeldzeughauses und den südlich abzweigenden Gebäuden in unbedeutenden Resten bewahrt geblieben. Bis 1895 stand ein Teil nördlich der Liebichshöhe. Die genaue durch Baurat Plüddemann veranlaßten Aufnahmen (Plankammer

⁴⁾ Dieses wie das Zinsregister abgedr. im Codex Diplom. Siles., Bd. 3 (1860).

⁵⁾ Breslauer Stadtarchiv Libri magni I, 99b.

⁶⁾ Vgl. des Verfassers „Schlesische Burgen und Renaissanceschlösser (1933), S. 13.

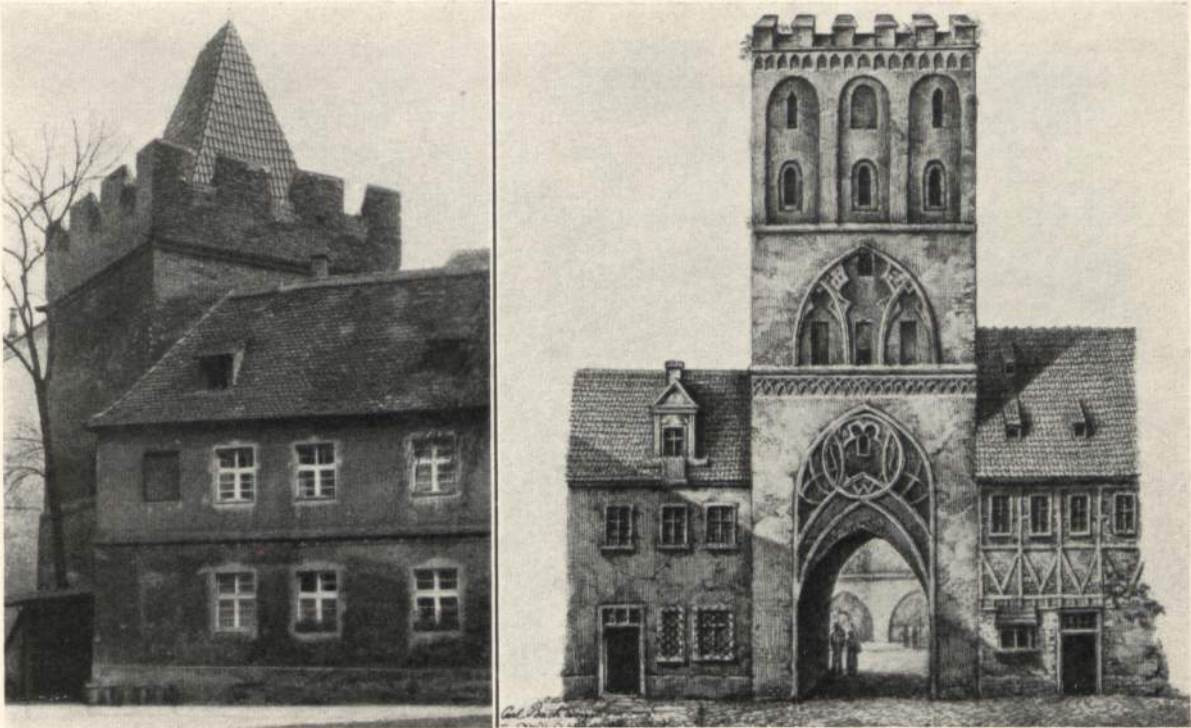


Abb. 4. Links Eckturm am Burgfeldzeughaus. Rechts Schweidnitzer Torturm II nach Bach-Mützels Zeichnung.

11. 7. 59) bieten einschließlich der noch vorhandenen beiden Zeughauswände und eines Grundrisses des Abschnittes an der Barbarikirche von ca. 1800 (Plankammer 11. 7. 2) das Material für die Rekonstruktion dieser zweiten Stadtmauer.

Die genaue Führung dieses neuen Gürtels ist auf der fast gesamten West- und Südseite erheblich schwieriger als die der ersten festzulegen. Durch die Vorlagerung der Bastionen ist die Entfernung der inneren Stadtgrabengrenze von ihr bis auf etwa 160 m am Schweidnitzer Tor und an den Eckpunkten vergrößert worden, so daß der Wasserlauf keinen Anhalt für die Festlegung ihrer Linie gibt. Die bestimmbare Lage der Tortürme, die obengenannten Grundrisse und Mauerüberbleibsel weisen fürs erste die große Richtung, für die Wall- und Zwingerstraße tut Hermann Luchs' Nachricht, daß sie auf der Innenseite der Mauer liege, gute Dienste, dann hilft Plüddemanns Grundriß in der Neuen Gasse um die Ecke an der Liebichshöhe und schließlich vermitteln örtliche Aufnahmen der Gegend zwischen Ohlauer Tor und Kätzelmühle bzw. 1596 errichteter Kätzelkunst, d. h. Zusammenfluß von Ohle und Stadtgraben, den Mauerverlauf vom Endturm am Anfang der Kirchstraße im rechten Winkel westlich zu der ersten Stadtmauer, die hier auf dem nördlichen Teil der Ostseite bis zum neuen Sandtorturm ihre Rolle der Ortabgrenzung bis zu der ein Jahrhundert später einsetzenden Wallbefestigung weiterspielt. An der Nordseite zwischen Sandtor im Osten und Ohleturm im Westen umschließt die nicht immer parallel zum Oderufer gezogene Mauer das bisher abgetrennte große Dreieck mit Klöstern, Kaiserburg und neuen Wohnhausblöcken von hier angesiedelten Handwerkern und Juden. Die ehemaligen Klosterhofmauern als wehrhafte Abgrenzungen nach Norden hatten ihre Integrität eingebüßt, hier gab es fortan nur noch eine dem Rate der Stadt unterstehende Stadtmauer, so daß schon 1374 der Meister von St. Matthias bei der städtischen Obrigkeit die Erlaubnis einholen mußte, ein Fenster auf die Stadtmauer durchbrechen zu lassen. Übrigens auch ein Beweis gegen die immer wieder und von allen Lokalgeschichtlern aufgestellte Datierung der neuen Stadtmauer nach 1427.

Die Stärken- und Höhenmaße der neuen Mauer weichen von denen der ersten erheblich ab. Nur der gesamte Trakt an der Oder bis auf den westlichen Zeughausabschnitt entspricht in der

Stärke derjenigen der ersten Mauer, die Gefahr von seiten des Stromes hatte die Beibehaltung von zwei Metern und einigen Zentimetern ratsam erscheinen lassen. Daher die Wehrgang- und Zinnenbildung hier infolge der Mauerdicke nach den Abbildungen, wie sie von der Kaiserburg nebst Nachbarschaft geboten werden, die gleiche ist wie bei dem ersten Stadtgürtel. Für die Bestimmung der Mauerstärke der gesamten West-, Süd- und Südostseite stehen uns das Stück am Burgfeldzeughaus, die Zeichnungen des Abschnittes am Barbarakirchhof und an der Liebichshöhe zur Verfügung. Sie wechselt überraschenderweise an allen drei Stellen: 1 m an der West- und 1,48 m an der Nordseite des Zeughauses, 1,20 m an der Barbarakirche und 1,08 m nach Plüddemanns Überlieferung am Knie der Neuen Gasse. An letzterer Stelle gibt der Befund geböschtes Bruchsteinfundament von 1,90 m Höhe und 1,60 m Breite an der Sohle. Die Stärkeabweichungen lassen sich durch zeitliche Entstehungs- bzw. Wiederenstehungsunterschiede und den Wechsel der Ausführenden zum Teil erklären. Für die Stadtmauer hinter St. Barbara nebst ihren Wyghusern werden z. B. 1387 neue Baukosten im Cod. dipl. Sil. 3, Seite 137, angeführt.

Die Berechnung ihrer Höhe im Verhältnis zu den anstoßenden Häusern und Tortürmen zeitigt nach Maßgabe von Weiners Stadtbild ein dreifaches Stockwerkmaß von etwa 8 Meter. Die Aufnahme Plüddemanns gibt eine Gesamthöhe von 6,54 m, wovon die obere 1,93 m breite Zinnenzone auf etwa 0,70 m Stärke eingezogen war. Die Ausschnitte zwischen den 2 m breiten Zinnen sind 1 m² groß, vermauert und wie die Zinnen selbst mit Schlitzscharten versehen. Jedenfalls ist bei der geringen Ausdehnung der Mauerstärke die Verbreiterung zum Wehrgang durch eine Holzkonstruktion von Balken, die auf dem Mauerabsatz standen, nebst schrägen Streben vorzustellen. Das Rechnungsbuch vermerkt für den Mauerbau entsprechende Ausgaben an Zimmerleute. Von Erkern (Gußerkern) ist in derselben Quelle mehrfach die Rede. Die Schweidnitzer Torturm-Zeichnung verrät keinen Ansatz dazu, also müßten sie zu der Mauer selbst gehört haben.

Die Etappen der Errichtung lassen sich aus dem Stil der jeweilig eingefügten Mauertürme annähernd bestimmen. Weiner und F. Groß geben deren Formen ziemlich übereinstimmend an, V. Säbisch mehr schematisch beliebig, da ihn die Stadtmauer nicht interessiert. Insgesamt treten in dem neuen Gürtel zwei Haupttypen auf: Der derbe Quader romanischen Schlages auf annähernd quadratischem Grundriß und die stadtseitig geöffnete schlankere Form, die sogenannte Schale oder das Wighus (Wichus = Kriegshaus). Diese zweite Sorte erhält ihre Unterstufung durch Rechteck-, halbes Achteck- und überhöhten Halbkreisgrundriß. Die steigend fortschrittliche Gesinnung dieser drei letzteren gotischen Untertypen bezeichnet den Verlauf des Mauerbaus.

Nikolai-, Ohlauer und Schweidnitzer Torturm (ca. 1295, 1299 und 1318) sind die drei zunächst errichteten Hauptpfeiler des Mauersüdringes. In ihrer Nachbarschaft finden wir jeweilig Mauertürme des ersten, spätromanischen Haupttyps, vom Nikolaitor nach Süden hin mindestens drei (so Säbisch, nach Weiner anscheinend sechs, nach F. Groß elf), vom Schweidnitzer Tor nach Westen einen, vom Ohlauer nach Norden zwei, nach Süden einen. Diese drei Turmgruppen charakterisieren die betreffenden Mauerabschnitte als älteste. Der Anschluß vom Ohlauer Tor nach Süden wird durch Quaderschalen über den neuen Taschentorturm hinaus in einer zweiten Arbeitszeitstufe vollzogen, zu der sich die dritte Etappe mit drei halben Achtecktürmen östlich und vierzehn westlich der schon stehenden Gruppe des Schweidnitzer Tores gesellt.

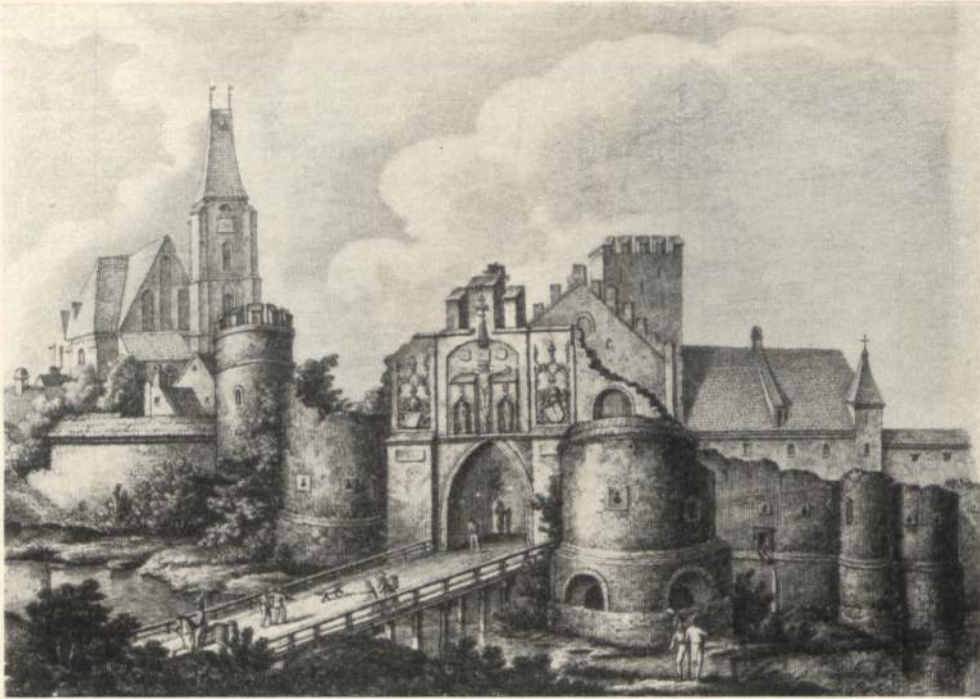
Die Kontrolle der von den Planzeichnern nicht übereinstimmend angegebenen Anzahl der Türme des Südringes wird durch die amtliche Numerierung der seit der Außerdienststellung der zweiten Mauer meist als Wohnungen vermieteten oder als Mannschaftsunterkunftsräume benutzten Türme ermöglicht⁷⁾. Die Zählung beginnt am neuen Torturm nach der Neustadt beim Hiobskrankenhaus mit Nr. 1, der Taschentorturm müßte Nr. 11 und der Schweidnitzer Nr. 21 sein. Am königlichen Palais stand Turm 27⁸⁾, Nr. 34 war der bekannte, 1749 aufgeflogene, 1598 mit Kupfer gedeckte Pulverturm in der Wallstraße⁹⁾ und Nr. 40 wird als Luntenturm bezeichnet. Mit

⁷⁾ Breslauer Stadtarchiv 7. 52, Vol. 1.

⁸⁾ Breslauer Staatsarchiv Rep. 14. I. 33a.

⁹⁾ Breslauer Stadtarchiv M. 1 fol. 1. Skizze eines Laufganges am Wall in M. 2. fol. 13.

Abb. 5.
Partie des teilweise schon abgebrochenen Nikolaitores III mit Teil der zweiten Stadtmauer und Halbzyinderschale (1807)
Von
Bach-Mützel.



Nr. 43, dem Nikolaitorturm und seinem nördlichen Nachbar, Nr. 44, hört die amtlich angewendete Zählung auf. Der Mauerabschnitt Nikolaitor nördlich bis zum gedrungenen Eckturm am Zeughaus schließt fünf Quader- und zwei jüngere Halbzyinderschalen, die einzigen Vertreter dieses letzten Typs, in sich. Der dritte von ihnen also, wenn man weiter zählen würde, Nr. 46, war seit dem 16. Jahrhundert Pulverturm und mit einer Mauer umgeben.

Dadurch, daß an die beiden letzten Türme dieses Mauerteiles das Zeughaus angebaut wurde, sind sie uns bis heut erhalten geblieben. Der Eckturm, auf quadratischem Grundriß von 8 m Seitenlänge, dreigeschossig, die Wände 2,70 m stark im Kreuzverband, mit je vier Zinnen, 32 m davon entfernt die viergeschossige Halbzyinderschale mit einer Wandstärke von nur 1 m. Die hier sichtbaren Kreisscharten mit unterer Zuspitzung, aus quadratischen Sandsteinplatten herausgearbeitet, scheinen erst dem 15. Jahrhundert anzugehören.

Der neue Odermauerzug östlich des Ohleendturmes bis zur Burg und jenseits davon konnte angesichts des Wasserschutzes auf eine gleiche Dichtigkeit der Folge der Mauertürme verzichten, zumal hier starke Tor- und Burgtürme die Wehrhaftigkeit erhöhten. Zu beachten ist, daß einzelne turmähnliche Gebilde, z. B. im westlichsten Abschnitt, nicht Raumkörper, sondern Strebepfeiler waren.

Von der Gestaltung der Tortürme des zweiten Mauerringes gilt das von der ersten inneren Serie Gesagte. Eine Höhenzunahme um ein oder zwei Stockwerke unterschied sie in der Hauptsache von jenen. Infolge des Zusammenschlusses der Nikolai- und Reuschestraße zu einer einzigen mit einer Maueröffnung, dem Nikolaitor, war das Verteidigungssystem hier vereinfacht. Die ausgedehnte Südfront beherrschte der Schweidnitzer Torturm, den wir in Abbildung 4 kennenlernen. Neu ist die Durchlöcherung der Stadtmauer an der Südostecke. Die beiden stark benutzten parallelen Verkehrswege der Weiden- und Taschenstraße erhielten im Taschentorturm einen geschützten Durchgang mit Brückenfortsetzung. Das Osttor hatte seine naturgemäße Position im Zuge der Ohlauer Straße erhalten. Und im nördlichen Abschnitt der Ostmauer ward für den sich entwickelnden Verkehr mit der aufstrebenden Neustadt und den weiter östlich erbauten Ziegelscheuern eine Pforte (an der heutigen Breiten Straße) angelegt, die noch im 14. Jahrhundert in einen Torturm, das Neue oder Ziegelator, umgewandelt wurde. Er erhielt 2,20 m starke

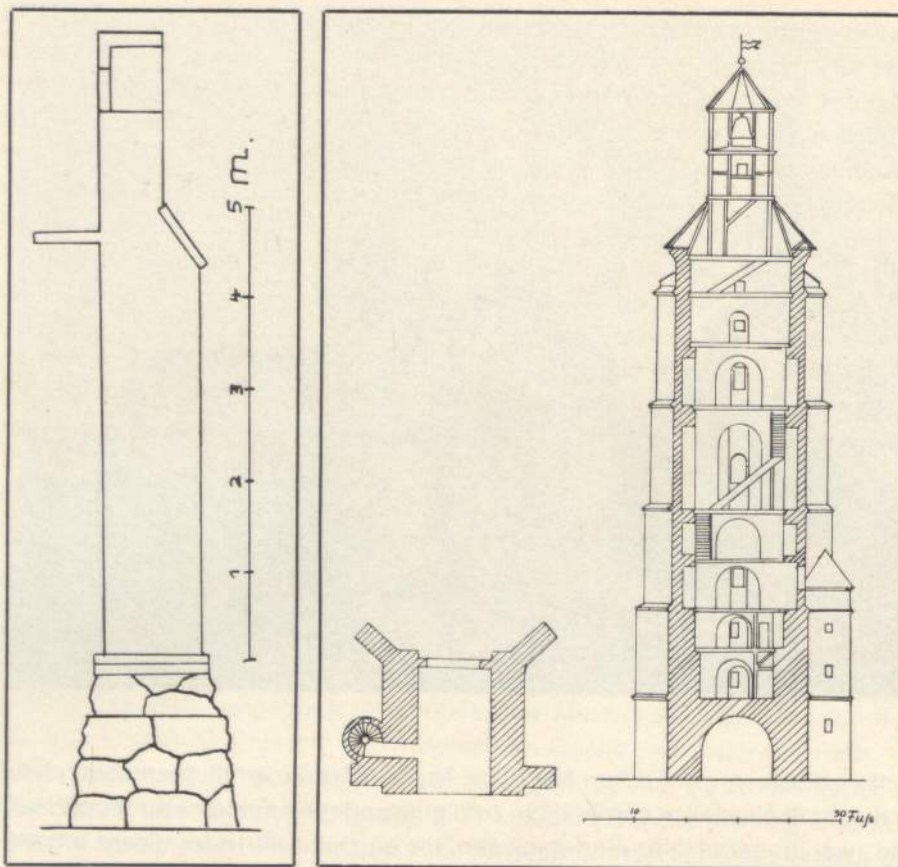


Abb. 6.
Links Querschnitt der
2. Stadtmauer an der
Liebichshöhe.
Nach Aufnahme Plüddemans
von 1895.

Rechts Ziegeltor- (Gute
Graupe-) turm.
Nach Zeichnung
E. Fenzels 1836.

fünfgeschossige Wände von 21 : 22 m messenden Seiten und ward neben dem Ohlauer Tor zum stärksten Bollwerk an der Ostfront. Im Nordosten wie im Nordwesten blieben Sandtor- und Odertorturm als Eckpfeiler der Nordfront bestehen. Hier im Norden war wegen des zunehmenden Bedürfnisses nach Zugängen zur Oder der Prozeß der Stadtmauerdurchbrechung lebhafter. Die an das Wasser gebundenen Handwerke (Fischerpforte, Mühlpforte) wie auch die Klöster strebten nach direkten Zugängen zur Oder. Die Stadt selbst schuf den eingangs erwähnten Hauptübergang über die Oder (heute Universitätsbrücke) und das den Zugang schützende Tor, das von den Jesuiten um- und überbaute Kaisertor. Es ist der einzige aller Tortürme, der, nach 1574 erfolgter Renaissancemodernisierung, 1732 von Universitätsräumen ummantelt und verborgen sein Dasein in die Gegenwart gerettet hat¹⁰⁾. Im Grundriß bildet er ein Rechteck von 11 : 12 m mit drei Meter starken Wänden, in deren Westseite eine Wendeltreppe ausgespart war. Das gesamte Wehrsystem der bis 1327 herzoglichen, dann kaiserlichen Burg, von dem ich hier besonders den nach der Oder als Flankenturm vorspringenden, mit seiner schlanken Spitze weit herausragenden und mit seinen vier Ecktürmchen im 5. Geschoß die etwas eintönige Nordfront belebenden Wartturm hervorhebe, gehörte zu der Verteidigungslinie an der Oder.

Erweiterungen äußerer Tore im 14. und 15. Jahrhundert

Bei den Fortschritten der Belagerungstechnik infolge der Entwicklung der Feuerwaffe wurde der Ausbau der Tortürme samt den ihnen vorgelegten kleinen Zwingerhöfen zu besonderen,

¹⁰⁾ Grundriß davon in meinen Schles. Burgen und Renaissanceschlössern, S. 12. Dort auch S. 16 und S. 20 auf Abb. 13 rechts sein Aufriß von beiden Fronten, jedoch ohne Renaissancehaube, links auch das Bild des nächsten quaderförmigen Mauerturmes. Auf Abb. 9 der einstige Tor- und Wartturm der Kaiserburg. Im neuen Band 3 des Kunstdenkmälerverzeichnisses Breslau (1934), S. 74, ist dieser einzige erhaltene Torturm trotz meines vorangehenden Hinweises nebst beigegebenen Grundrissen vollständig ignoriert.

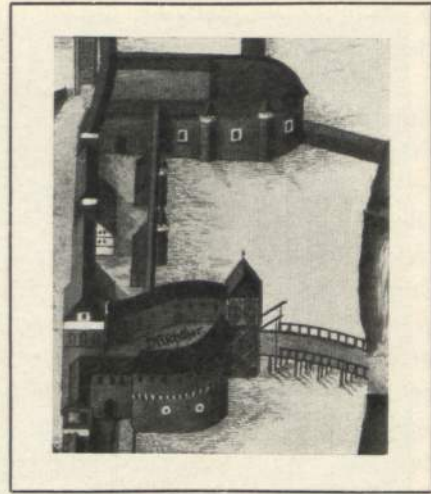
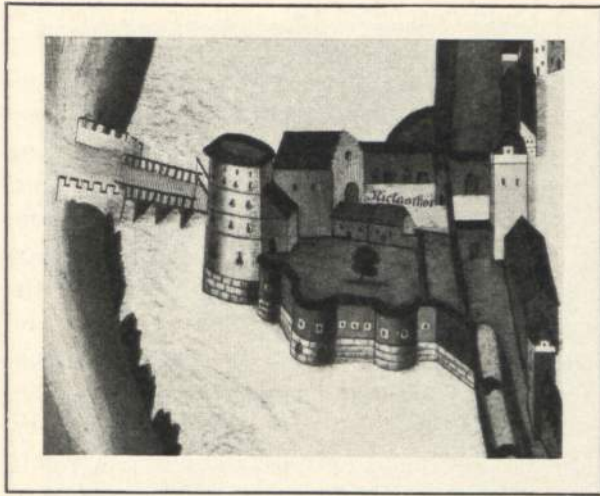


Abb. 7. Links Nikolaitor II und III, rechts Ohlauertor II und III aus B. Weiners Stadtplan von 1562

von der Stadt fast isolierten burgartigen Vorwerken notwendig. Ein charakteristisches Moment der Umgestaltung ist die Abdringung der neuen Torhallen nebst Brückenfortsetzungen von der alten Straßenachse um 30 bis 40 Grad.

Wenn Klose für 1427 vermerkt, daß „man das Niklas-Tor angefangen hat zu bauen“, so kann, da der dortige Torturm unverändert bis ins 19. Jahrhundert geblieben ist, nur die Verstärkung seiner Zwingeranlage (Barbakane) durch ein in der Achse verschobenes, vorgelegtes Torhaus gemeint sein. Bei Wiener ist es deutlich als Haus mit Satteldach auf Rechteckgrundriß unterscheidbar. Die Abbildungen 7 und 12 lassen uns einen Blick in die gotisch gewölbte Halle mit dahinterliegendem Zwinger tun. Es stand zunächst, ohne die flankierenden Rundtürme, in den unteren Mauerteilen aus Werksteinen gefügt, samt der Zwingerverlängerung des hier verbreiterten Grabens im Wasser. Die Schauseite mit abschließendem Zinnenkranz war noch ungeschmückt, statt der seitlichen figurierten Nischen sind lange Schlitzfenster zur Aufnahme der Schwungbäume der anstoßenden Zugbrücke zu denken.

Der Beginn einer zweiten Verstärkung des Nikolaitores wird von Klose für 1479 gemeldet: „Der Grund geleget zum runden Thurm mit den runden Schießlöchern am Niklas Thor, da auch selbiges Thor zugleich mit erbauet worden.“ Der Ratsschreiber Eschenloer nennt auch die speziell damit beauftragten Bauherren Hans Gremil junior und Nikolaus Tinczmann. Ausführung und Abschluß sollen sich bis 1503 hingezogen haben. Die Verzögerung ist sowohl auf die dekorative und figürliche Ausstattung der Torhausfront mit Kreuzigungsgruppe und Wappen (seit dem 1807 erfolgten Abbruch 1824 an der Elftausend-Jungfrauen-Kirche angebracht) und auf die notwendige Versetzung der Zugklappe nach der Brückenmitte, als auch auf die Programmausdehnung zu setzen, welche der massiven Befestigung der um 1465 aufgeschütteten Bastei und der Erbauung des zweiten ähnlichen Flankierungsturmes galt. Den rechts vom Eingang liegenden runden, vier bis fünfgeschossigen Turm hat Barthel Wiener 1562 getreulich eingezeichnet, zwar nicht mit runden Schießlöchern, die Klose erwähnt, sondern mit Schlüsselscharten (Schlitzfenster mit runden Erweiterungen am unteren Ende). Vielleicht liegt seinerseits eine Verwechslung mit den runden Schießscharten der Basteigalerie vor. Oder Klose folgte einer Quelle, die von der späteren Abänderung der Schlüssel- in Kreisscharten nichts wissen konnte. Zusammenfassend darf die 1479 eingeleitete Verstärkung des Nikolaitores als symmetrische Ausstattung des 1427 erbauten Torhauses mit zwei zylindrischen Ecktürmen nebst der Bastei bezeichnet werden. Eine plastische, aus gerundeten und ebenen Flächen zusammengesetzte Körpergruppe, die reizvollste im Breslauer Befestigungsgürtel, war am Ausgang des Mittelalters entstanden, der die im 16. Jahrhundert vorgenommene Ummantelung, d. h. asymmetrisch

ausfallende Verstärkung des einen Flankenturmes kaum geschadet hat, und die im Rahmen des Stadtbildes zu erhalten 1807 heilige Pflicht gewesen wäre.

Die nächste auch urkundlich verfolgbare Erweiterung traf das Ohlauer Tor. Die angegebenen Baujahre 1445 und 1446 dürften zur Bewältigung des kleiner gesteckten Zieles ausgereicht haben. Es wiederholt sich das einfachere Programm: Vergrößerung des Zwingers unter Benützung von aufgeschüttetem Grabengelände und brückenkopffartigem Ausbau dieses Zwingerovals. Die Urkunde nennt nur den „Ohlauer Thorturm“ als Bauvorhaben. Der wieder als Quader mit Satteldach gestaltete, an Zwingerende und Brückenanfang gelegte Torturm, der „neue Tarris“, nun der dritte von etwa gleicher Form in der Reihung der Tortürme in der Ohlauer Straße, war 1562 noch vorhanden. Eine erheblich längere Lebenszeit war ihm nicht beschieden, denn er war merkwürdigerweise in Fachwerkkonstruktion ausgeführt, die Weiner sauber nachgezeichnet hat. Im Rahmen der massiv umgürteten Bastei macht er eine schwächliche Figur. Ihm viel mehr als die Funktion einer Zugbrückenstütze zuzutrauen, fällt schwer. V. Säbisch verzeichnet ihn um 1630 in seinen Planungen nicht mehr. Der Umbau von 1576, der dort eine wuchtige Toranlage zeitigte, brachte den unbrauchbaren Gesellen zu Fall.

Gegenüber diesen beiden, in Gestaltung und Konstruktion verhältnismäßig durchsichtigen Wehrbaugruppen tritt das Haupttor an der Südseite, das Schweidnitzer, als kompliziertes Gebilde mit einer Vielheit von eng gehäuften Türmen und Türmchen auf. Erschwerend kommen hier die Umstände hinzu, daß archivalische Nachrichten über die einzelnen Bauabschnitte dieser dritten Toranlage im Süden bis zum Eintritt des letzten Stadiums von 1525 und altes Planungs- und Abbildungsmaterial in hinreichender Qualität fehlen. Der Prospekt der Stadt in Hartmann Schedels Weltchronik von 1493 mit dem damals vorhandenen ersten Abschnitt dieser Toranlage links im Vordergrund ist in Einzelheiten zu lokal- und wahrheitsfern, um eine richtige Vorstellung zu bieten. Immerhin läßt sich bei näherem Zusehen eine Anlehnung an die wirkliche Form durch Vergleich mit Weiner herauschälen. Bei Hayer, dem Zeichner der 1587 und 1591 herausgegebenen Pläne fehlt bereits der westseitige spätgotische Torgruppenteil, nur das östliche Renaissancebrückentor ist sichtbar. So bleibt einzig Barthel Weiners an dieser Stelle ausnahmsweise unklar die unübersichtliche Komposition wiedergebendes Kartenbild für die Rekonstruktion.

Zur Situationsübersicht sei hier kurz erwähnt, daß sich schon vor Fertigstellung der zweiten Stadtmauer mit ihrem Torturm und Zwinger auf einer vom Stadtgraben umflossenen halbinselartigen und etwa halbkreisförmigen Fläche die Johanniter mit Kloster westlich und Kirche, Kapelle und Hospital östlich der Schweidnitzer Straße niedergelassen hatten. Wie alle anderen Spitäler war auch das ihrige bei der zweiten Stadtmauergründung außerhalb der Befestigung geblieben. Erst im letzten Drittel des 15. Jahrhunderts wurde durch eine Wallschüttung am Rande der Halbinsel ihr Einschluß in das Verteidigungssystem vollzogen.

Zu diesem Zeitpunkt stand bereits der dritte der Schweidnitzer Tortürme in einer Flucht mit den beiden anderen. Die Straße einschließlich der Brücke führte natürlich in der vom Ringe an eingeschlagenen Südrichtung geradeswegs. Auf Schedels wie auf Weiners Bild wird das neue Tor links im Zuge der Schweidnitzer Straße deutlich. Richtiger ist es als Torhaus zu bezeichnen, das von zwei hier rund gezeichneten Pfeilern (oder Türmchen) an den Ecken verstrebt ist. Die Toröffnung ist vermauert, über ihrer Nische könnte man einen vorkragenden Erker auf Mittelkonsol herauslesen. Über seinen Zinnenkranz ragen zwei und seitlich noch ein Türmchen darüber, deren organischer Zusammenhang mit dem Torhaus undeutlich bleibt.

Rechts von diesem um 1525 außer Funktion gestellten Torhaus steht bei Weiner ein zweites, durch die Verbindung mit der seitlich verlegten Brücke kenntlich. Seine Schauseite ist hell abgeputzt, die Schlitzlöcher für die Schwungruten der Zugbrücke sind ihre einzige Flächenbelebung, der Abschluß sieht einer Krönung mit einer Halbkreisrinne oder einem gerundeten Zwerggiebel ähnlich. Bei Säbisch (Blatt 6a) ist dieses zweite Torhaus vermerkt, wodurch die Deutung dieses Bauteiles gesichert wird. Für seine Entstehung im Jahre 1535 nehme ich Kloses Vermerk „das

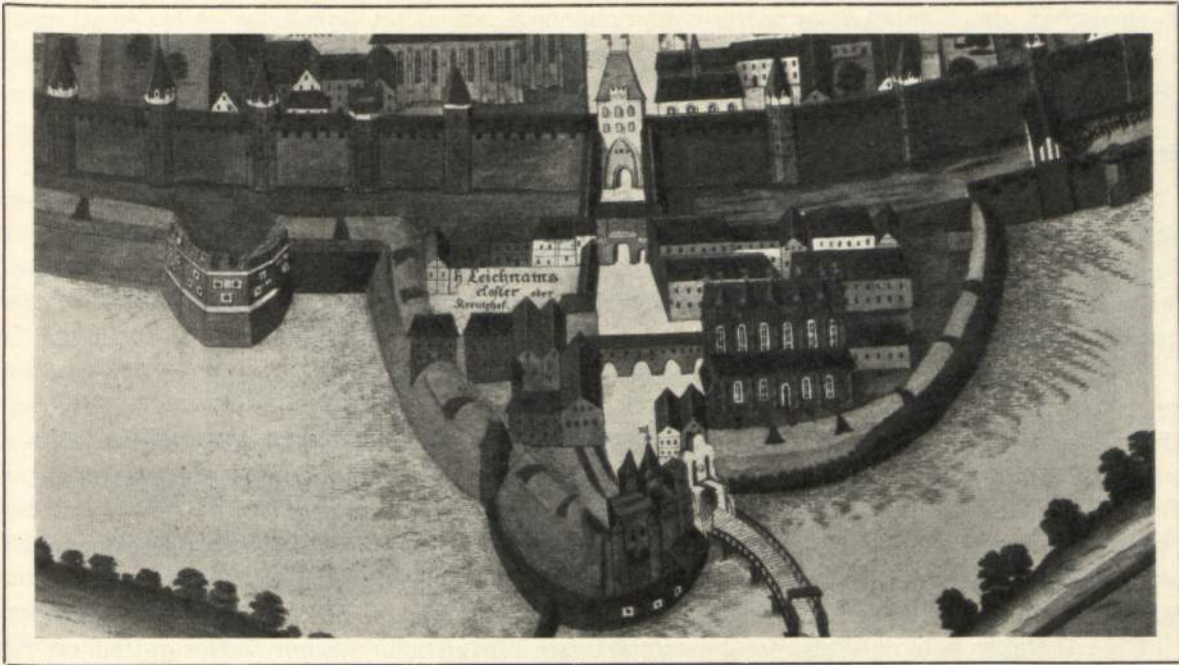


Abb. 8. Schweidnitzer Thor II, III und IV aus B. Weiners Stadtplan von 1562

Schweidnitzer Thor versetzt und Verändert" in Anspruch. Die so überlieferte Maßnahme der Torverlegung an die Seite bedeutet nachgeholte Anwendung einer kriegstechnischen Maßnahme, um den auf der Brücke andringenden Feind in der Flanke bestreichen zu können. Auffällig bleibt die Isoliertheit der mehr zierlich als trutzhaft wirkenden Torhausgruppe vor ihrer Verbindung durch den Wall mit dem Verteidigungsgürtel der Stadt. Dem Außenwerk war eine bescheidene Rolle im Ernstfall zudedacht¹¹⁾, die Hauptabwehr lag seit dem Ende des 15. Jahrhunderts der zu Füßen im Bogen errichteten Eskarpegalerie und den beiden Basteien links und rechts ob.

Die noch gotische Modernisierung des östlich liegenden weniger verkehrsreichen Taschentores zeitigte in den Jahren 1535/36 in Verbindung mit dem zugehörigen wehrhaften Eskarpeabschnitt und mit der seitlichen Verlegung der Brücke ein von einem Rundturm — auf Merians Stich von 1650 sind es zwei auf beiden Seiten — flankiertes Torhaus abseits westlich vom Torturm dicht am Rande des Wassers. Die im Zuge der Taschenstraße und des ersten Torturmes diesem vorgelegte Bastei mit Wall war vielleicht schon um 1460 aufgeschüttet worden und hatte die Rolle einer zwingermäßigen Verstärkung übernommen.

Eine nicht nur der Wehrhaftigkeit, sondern auch der Schönheit gewidmete Erweiterung ist aus Weiners Bild für das Ziegeltor am Ohleübergang zur Neustadt herauszulesen. Eine aktenmäßige Beurkundung dafür ist nicht vorhanden. Die geringfügige Erweiterung besteht in der Besetzung des Endpfeilers der kurzen Massivbrücke mit zwei Halbzylindertürmchen mit schlankem Kegeldach, welche die Massigkeit des dahinter stehenden Torprismas heben. Der einmal angeschlagene Ton der Zierlichkeit und Verschönerungsfreudigkeit ist bei diesem Tor in außerordentlichem Maße, allerdings in der vertikalen Richtung, weiterentwickelt worden. Der Turm, als „Gute Graupeturm“ eine der volkstümlichsten Erscheinungen in Breslau, hat 1618 bis 1624 nach Verstärkung der Ecken durch Strebepfeiler eine Aufstockung bis auf elf Geschosse und eine doppelte Spätrenaissancehaube mit Kupferbedachung nebst Schlaguhr erhalten. An der Ostfront der Stadtumwehrung wurde er das weithin sichtbare Wahrzeichen der Wachsamkeit der

¹¹⁾ Der neue Band des Kunstdenkmälerverzeichnisses von Breslau (1934) bringt auf S. 104 einen merkwürdig phantastischen Befestigungsplan dieser Halbinsel mit einer um ihren Rand geführten, von riesigen Halbtürmen durchsetzten „äußeren Stadtmauer“, während die zweite, tatsächlich äußere Stadtmauer als „innere Stadtmauer“ bezeichnet wird.

Bürgerschaft, das Symbol einer noch ungebrochenen Schmuckfreudigkeit, ihr letztes Ausklingen vor der Verelendung durch den kommenden langen Krieg, für den die Rüstung der Stadt noch lange nicht abgeschlossen war.

Erste Wall- und Basteischüttungen

Bei der um 1450 intensiver einsetzenden Entwicklung der Feuerwaffe suchte man gegen deren rasante Wirkung bekanntlich Schutz durch Erdwerke in Form des Walles und der zur Flankenbestreichung vorgeschobenen, etwa halbkreisförmigen Bastei mit Wallrand. Die Befestigung der loseren Massen geschah durch Flechtwerk und Rasen. Beide Befestigungsarten treten urkundlich zur selben Zeit in Breslau auf.

Die erste Erwähnung¹²⁾ spricht 1459 vom Parchen, der um die Stadt gemacht worden ist, und setzt das Thema für 1460 als „Anfang zur Befestigung“ noch einmal auf die Tagesordnung. Unter „Parchen“ ist die Umgürtung mit einem Wall zu verstehen. Für die folgenden Jahre werden weitere Schüttungen von Wällen, jetzt auch einschließlich der Halbinsel vor dem Schweidnitzer Tor und der Neustadt, und von Basteien, zunächst an den Toren, angekündigt. Um 1475 ist der Prozeß der neuartigen Befestigungsverstärkung samt der Vorlegung der ersten Basteiengruppe und der dazugehörenden Grabenerweiterung abgeschlossen. Die gesamte Nordseite blieb von den Maßnahmen bis auf den Versuch einer späteren Basteieinfügung bei der Werdermühle unberührt.

Die mit Rasen belegte Wallumrahmung hat unser Kartenmaler Weiner wieder getreulich mit grüner Farbe eingetragen. Ihr Rand ist mit ausgesparten Schießscharten besetzt, deren Seitenflächen nach außen divergieren. Durch die Umwallung war jetzt zwischen ihr und der zweiten Stadtmauer ein Zwinger oder Parchen entstanden, der durch das einbezogene Gebiet der Neustadt und der Halbinsel am Schweidnitzer Tor starke Ausladungen erhalten hatte. Von diesen Erd- und Rasenbasteien waren 1562 gemäß Weiners Überlieferung nur noch die Taschen- und Ziegelbastei im ursprünglichen Zustand: Die Verteidigungstechnik brauchte stabilere und besser nutzbare Flankierungsposten als diese vergänglichen, vom Wasser wegschwemmbaren und tatsächlich öfters einfallenden Gebilde. 1516 z. B. sank die Bastei vor dem Nikolaitor ins Wasser.

Daß die Wallschüttung hart am Graben eine sorgfältigere Befestigung des Ufers notwendig machte, kam deren Stützung durch massive Mauern und Umgestaltung zur Grabenverteidigung zugute.

Massive Basteien und Streichwehren

Der zweite Schritt auf dem Wege zur Umwandlung der befestigten Stadt zur Festung mußte dem Ausbau der in ihren Schuttkörpern unausgenutzten Basteimassen gelten. Im ersten Entwicklungsstadium beschränkt sich die Technik auf die Ummantelung der Basteienperipherie mit einer Stütz- oder Futtermauer, dann auch mit einem gewölbten Gang, der für die Aufschüttung die Rolle einer Futtermauer spielt. Die Schießscharten in einiger Höhe über dem Wasserspiegel des Grabens sind bei Weiner durch die helle Farbe der eingesetzten Sandsteinplatten kenntlich, in welche die runden konischen Schießlöcher eingearbeitet sind. Dasselbe Prinzip gelangt ebenso an den geraden Abschnitten des inneren Grabenrandes, der Eskarpe, zur Anwendung. Die Stützung der Futtermauer durch prismatische oder zylindrische Pfeiler, letztere auch mit Kegeldächern, bringt rhythmische und plastische Abwechslung in die Flächen der Eskarpegalerien. Der erzielte Fortschritt kommt der Bestreichung der Grabensohle nach allen Richtungen zugute.

Die erste Umarbeitung in dieser Hinsicht scheint der an der Abzweigung der Ohle vom Stadtgraben angelegten Bastei gegolten zu haben. Sie trägt die Anzeichen dieses Übergangsstadiums an sich und war dort für die Bestreichung des Grabens und des Wasserzuflusses an der wenig geschützten Neustadtpartie höchst notwendig. Klose verzeichnet für 1486 „das Rändel

¹²⁾ Paritius in Schles. Provinzialbl. 45 (1807), S. 438.

(= Rondell oder Bastei) hinter der Bernhardinkirche", womit nur diese erwähnte Bastei gemeint sein kann. Die spätere Erhöhung der Basteiplattform machte die Überwölbung des zugehörigen Zwingerabschnittes notwendig, die mit einer Tonne von ca. 3,20 m Halbmesser die äußere Rundenstraße deckte und sich in dem 1926 eingerichteten „Dominikanerkeller“ in 18 m Länge mit 1,70 m breitem, senkrecht zu ihr stehenden Zugangstollen erhalten hat. In den nächsten 50 Jahren sind die Massivbasteien am Nikolai-, die drei kleineren, spätgotisch im halben Achteck geformten und darum wohl frühesten Rondelle im Süden zu beiden Seiten des Schweidnitzer Tores gebauten, die basteiartige, halbkreisförmige Befestigung an dessen Südense (1539), am Taschen- und Ohlauer Tor entstanden bzw. umgestaltet worden. Am Nikolaitor beobachten wir wieder die stärkste Ausführung mit zweigeschossigen Galerien und mehreren türmchenartigen Stützfeilern.

Einzelne Abschnitte der inneren Ufermauer sind auf Weiners Stadtbild noch mit Eskarpegalerien ausgestattet, so am Ohleausfluß und an der Taschenbastei.

Eine Bastei als Batterieturm, als mehrgeschossiger vielräumiger Baukörper, in der Art von Albrecht Dürers Modell konstruiert, findet sich 1562 nur an einer Stelle, zwischen Taschen- und Ohlauer Tor, eingetragen. Sie macht einen halbzyylinderförmigen Eindruck, ist zweigeschossig von Ziegeln aufgemauert, hat Geschützscharten in Werksteineinfassung, weicht aber von Dürers Vorschlägen insofern ab, als die Wehrplatte überwölbt und konisch überdacht ist und schlitzförmige Senkscharten in kaffensterartigen Gehäusen hat. Der Zweck der vom oberen Dachteil schräg herunterweisenden, mit Dachziegeln eingedeckten Rohre wird nicht ohne weiteres klar. Es könnten Rauchabzuglöcher ebenso gut wie abwärts gerichtete Schießlöcher von einer kleineren oberen Wehrplatte sein. Der Zeitpunkt der Erbauung dieses einzigartigen Rondells ist noch nicht feststellbar gewesen, er muß zwischen 1520 und 1540 liegen. Die Ausbildung des ältesten Wasserhebewerkes (Wasserkunst) an der Oder (auf Abb. 3 unter W) zu einem basteiartigen Vorposten im Nordwesten mit massiver Brustwehr über den Umfassungswänden des 1538 über einen Rost auf Fundament aus Klostersteinen von St. Vinzenz gemauerten Gebäudes schließt 1551 die Epoche der Umwehrung mit Basteien ab. Vorher noch, 1544, hatte der damalige Stadtbaumeister und Befestigungsarchitekt Lorenz Gunter seine stärkste und umfangreichste Verteidigungsanlage an der Nordwestecke zwischen Oder und Stadtgraben geschaffen, die sogenannte „Schiere“. Studien dazu hatte er in Westdeutschland gemacht, Hanau war eines der Betrachtungsobjekte 1542 gewesen¹³⁾. Jetzt breiten sich Hof und Krankenhaus von Allerheiligen über Bastei und zugeschütteten Graben. Das Bollwerk war ein Mittelding zwischen Bastei und Bastion, eine Aufschüttung ohne Kasematten mit solider Werk- und Ziegelsteinummauerung und massiver Brustwehr. Die Flankeneinziehung charakterisiert sie als Übergangsprodukt zur italienischen Befestigungstechnik¹⁴⁾. Nach Ersetzung der steinernen Brustwehr durch einen Erdwall hat sie sich durch die Jahrhunderte in dieser Gestalt bis zur Auflösung der Festung erhalten.

Torverstärkungen im 16. Jahrhundert

Eine nach Entstehung und Gestaltung abweichende Sorte von Rondellen erwuchs bei Gelegenheit der letzten Umgestaltung der äußeren Haupttore im Westen, Nordosten und Osten. Das Schweidnitzer Tor blieb von diesem Modernisierungsvorgang am Ende des 16. Jahrhunderts ausgeschlossen.

Die erste, chronikalisch gesicherte, 1576 durchgeführte Torturmverstärkung kommt dem Ohlauer Tor zu, dessen äußerer Ausläufer, der Fachwerkturm, dem neuen Wall und seiner Durchfahrt Platz machen mußte. Auf dem wiedergegebenen Torbild figuriert im Hintergrund ein breiter Turmzylinder, der die Funktion des Rondells oder Geschützturmes 1576 erhalten hat.

¹³⁾ Marburger Staatsarchiv, Regierungsprotokolle Hanau.

¹⁴⁾ 1927 an der Wasserseite aufgedeckte Mauerreste auf 1, 62 der Plankammer verzeichnet.

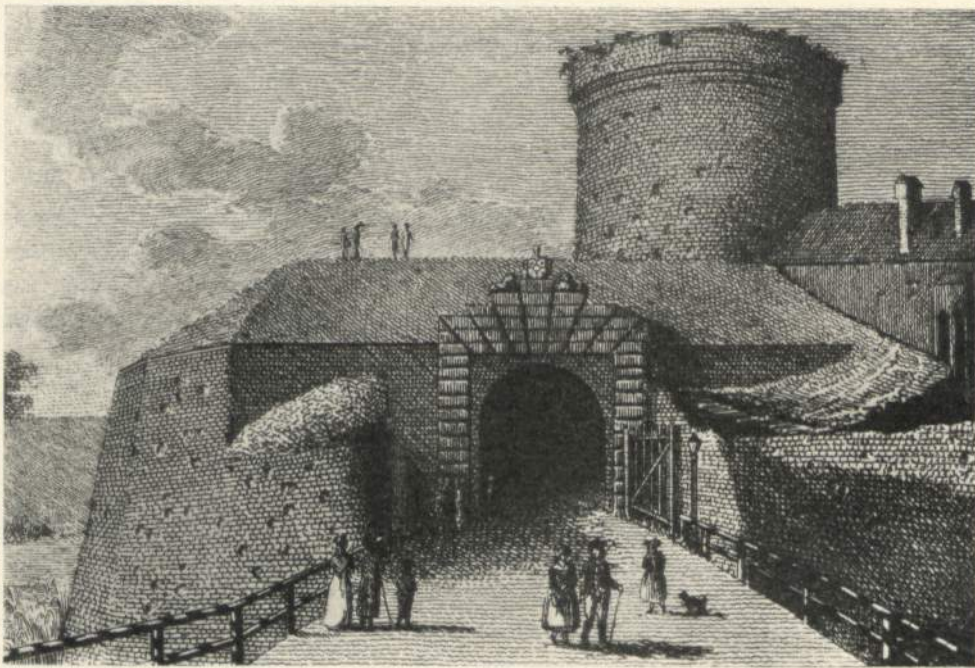


Abb. 9.
Ohlauer Tor IV
(Walltor) nach
Endlers Stich
von 1807

Da F. Groß und Säbisch den Grundriß dieses Turmes, dessen Standort sich mit dem des Torturmes der zweiten Stadtmauer deckt, auf ihren Plänen mit quadratischer Innenfläche zeichnen, so behaupte ich, daß der dicke Zylinder durch Ummantelung des alten Torturmes gewonnen wurde. Die entsprechende Maßnahme bei der zeitlich nicht entfernten Verstärkung des Nikolaitores besteht zweifellos in einer Ummantelung des südlich an das Torhaus um 1500 gebauten Rundturmes. Vgl. Abb. 12. Die erhebliche Verdickung der Ummantelungsschicht an der Front gab ihm im Grundriß die Form einer Dreiviertelellipse. Stilistisch würde dieser Umbau zu dem Befestigungsarchitekten des Brieger Schlosses und der Bolkoburg Jakob Parr passen, so daß als Zeitpunkt der Umarbeitung die Jahre 1540 bis 1550 in Betracht kämen. Vielleicht 1545, wo er mit Dominik Montanini für Breslau „etlich Stadtarbeit“ gemeinsam ausführte¹⁵⁾.

Die Anpassung des Sandtores an die dortigen Wallanlagen geht 1581 ohne Ummantelung vorstatten. Kloses Darstellung des Vorganges: „Ward der Thurm am Sand-Tor abgetragen und Schießlöcher darein gemacht“, ist dahin zu deuten, daß er zur Geschützaufstellung Dach und Oberteil einbüßte und eine Wehrplatte über Wölbung erhielt sowie Schießscharten in den Unterschossen für die flache Bestreichung.

Die Bastionärbefestigung

Dieser Abschnitt der festungsmäßigen Stadtumwallung nimmt den Zeitraum 1576 bis 1700 in Anspruch. Die ernste Notwendigkeit, die Sicherung der Stadt durch leistungsfähige Befestigungen auf die Höhe der Zeit zu bringen, erheischte um 1575 die Aufstellung eines großzügigen, von dem abgelebten System vollständig losgelösten Gesamtprojektes. Der eigene Stadtarchitekt Jakob Groß († 1578) war darin zu unerfahren und zu alt. Bernhard Niuron, der herzogliche Festungsbaumeister aus Brieg, wurde als nächster Fachmann zuerst zu Rate gezogen. Die Unterlage für seine fortifikatorische Planung war die in der Plankammer erhaltene, in maßstäblicher Hinsicht einen Schritt genauere Aufnahme des Stadtgrundrisses, die Jakob Groß' Sohn, der Bildhauer und spätere Stadtbaumeister Friedrich Groß, 1578 als Zeichnung ins reine brachte. Die sofort in Erscheinung tretende Auswirkung von Niurons Tätigkeit war die 1576 bis 78 durch-

¹⁵⁾ Breslauer Stadtarchiv, F. 5, 3 Fol. 264.

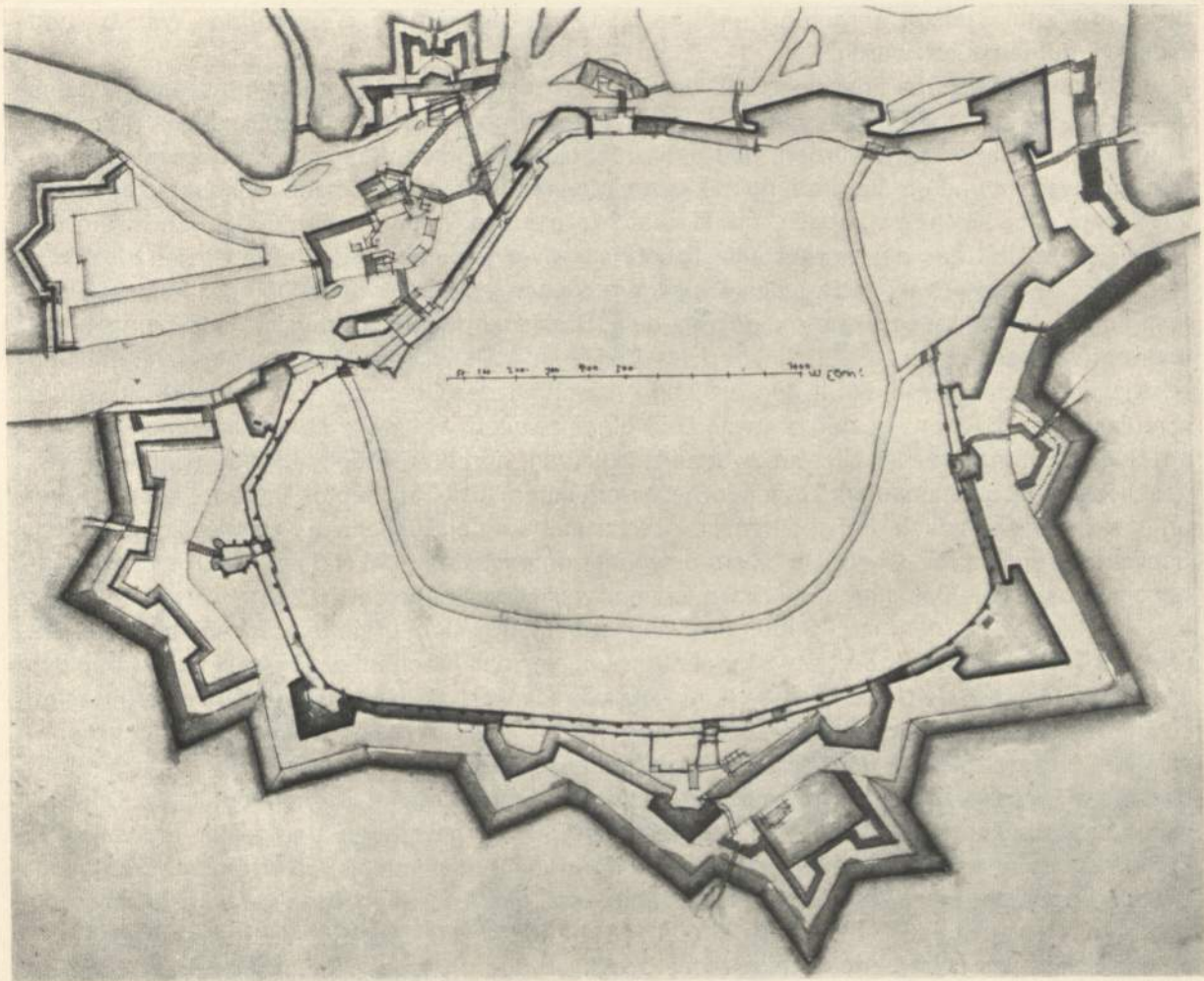


Abb. 10. Befestigungsentwurf von Valentin von Säbisch (1643). Der unangetastete, von Hans Schreier von Lindau ausgeführte Teil in ziegelroten (hier schwarzen) Linien

geführte Errichtung¹⁶⁾ einer kleinen Zwischenbastion (*piatta forma*) an Stelle der Bastei zur Deckung der langen Kurtine und des schwächlichen Ohlauer Tores. Diese Zwergbastion hat mit ihrer zugleich modernisierten Wallnachbarschaft bis zur Festungsdemolierung von 1807 bestanden und samt ihrem erwähnten, auch 1576 ummantelten dicken Torturm der Süd-Ostansicht der Stadt, ihre bekannte derb-plastische Note verliehen.

Friedrich Groß war kein erfahrener Festungsbaumeister. Von Niurons Kenntnissen wurde in den folgenden Jahren öfters Gebrauch gemacht¹⁷⁾, doch borgte Herzog Georg II. ihn z. B. 1584 ungerne und stets nur für wenige Tage weg. Deshalb nahm der Breslauer Rat 1580 Heinrich Muntig aus Groningen als Stadtbaumeister an. Bestimmend für die Wahl eines Niederländers war die Rücksicht auf die bei den Befestigungsarbeiten notwendigen Wasserbauten und die Achtung vor dem hohen Entwicklungsstand der dortigen Befestigungstechnik. Ob Muntigs Anstellung ein Mißgriff war, oder ob der brave Mann ein Opfer des Ehrgeizes von Friedrich Groß wurde, der schon 1584 in dessen Geschäfte eingriff und 1586 tatsächlich sein Nachfolger im Amte wurde, läßt sich schwer entscheiden. Faktisch ist, daß zwischen 1580 und 83 der revetierete, d. h. durch Futter- und Brüstungsmauer gesicherte Wall im Nordwesten an der Oder entlang

¹⁶⁾ Ebenda, F. 8, 4, S. 541.

¹⁷⁾ Breslauer Stadtarchiv, F. 8, 5, S. 546 und 563.

bis zum Matthiaskloster aufgeführt und die beiden dazugehörigen Walltore, das Wasser- und Odertor, aufgemauert wurde.

Im Grunde war auch Friedrich Groß der ihm artfremden Aufgabe nicht gewachsen, seine ziemlich belanglose Tätigkeit wurde durch seinen frühen Tod 1589 abgebrochen. Als sein Verdienst muß anerkannt werden, daß er in rechtzeitiger Erkenntnis seines Unvermögens Belehrung gesucht und die Verbindung mit jenem Manne aufgenommen hatte, der spätestens 1586, wie ich bereits bewiesen habe¹⁸⁾, die Geschichte der Breslauer Fortifikation durch ihn in die Hand bekam und das neu aufgestellte Programm etwa zur Hälfte erledigte. Diesen Ingenieur Hans Schneider von Lindau den Danzigern, denen er nach seiner Elbinger Amtszeit Befestigungen baute, wegzukapern, gelang dem Breslauer Magistrat durch Aussetzung eines enormen Jahresgehaltens. Sein Entwurf ist 1591 vom Maler Georg Hayer umgezeichnet und gestochen worden und umfaßt den östlichen Abschnitt der Oderfront von der der Kaiserburg vorzulegenden Bastion an mit Uferwall und einer zweiten, ebenfalls stumpfwinkligen Bastion am Sandtor, dann die Ostseite mit zwei spitzwinkligen, durch aufgesetzte Reiter (Katzen) zweigeschossige Eckbastionen am Ziegeltor (heut Holteihöhe) und Taschentor¹⁹⁾ (heut Liebichshöhe) und zwei kleinere östlich und südlich von Bernhardin, auf der Südseite nur eine einzige, die dem Schweidnitzer Tor vorgelegte Halbinsel polygonal umgestaltende. Letztere, von Hayer vorweggenommene, ist nicht ausgeführt worden, erstens weil Hans Schneider 1606 starb, als er in stetem Fortarbeiten von Norden nach Süden die Taschenbastion vollendet hatte, und zweitens, weil sie offenbar fehlerhaft konstruiert war. Ihre Entfernung von der Taschenbastion war zu groß und das wichtigste Moment der Facenbestreichung aus den Flanken der Nachbarbastion vernachlässigt.

Die Verschiebung des Stadtgrabens habe ich in meiner Rekonstruktion Abb. 11 gekennzeichnet. An der Lösung der Ufer- und Flutregulierungsaufgaben ist der von der Stadt um 1600 besoldete Wasserbaumeister Thomas von Clausnitz d. J. auf Treschen beteiligt. Die Bewältigung des halben Pensums, zu dem die Aufführung gewaltiger und fester Erdwälle mit Futtermauern und Holzroststeinlagen sowie der Bau von Kasematten, Pulvertürmen, Zeughaus-erweiterungen, Wasserversorgung (Kätzelnkunst) und die Ausgaben für vermehrte Armierung gehörten, hatten bis zu Hans Schneiders Tode die Mittel der Stadt für Jahrzehnte erschöpft, so daß selbst das antreibende Ereignis des Dreißigjährigen Krieges zunächst keinen Gedanken an eine Fortsetzung der Umwehrung aufkommen ließ. Schon die dauernden Instandsetzungsarbeiten an Wällen, Brustwehren und Brücken, die Durchlegung einer Rondestraße an der gesamten Peripherie, die Errichtung von Lazaretten und Wachthäusern, der neuen Pulvermühle, der Brunnen, kleinerer Schanzen z. B. auf dem Mühlberg (1627 bzw. 31), vor dem Matthiastor westlich der Mühle (1627 bzw. 31), vor dem schwachen Nikolaitor in Form eines Halbmondes (1633), auch auf der Sand- und Dominsel, dann die Herrichtung von einigen Türmen der zweiten Stadtmauer für die Aufstellung von Geschützen, schließlich auch die außerordentliche Belastung durch Entschädigungen für Grundstücksabtretungen im Festungsgelände, durch Soldzahlungen usw. beanspruchten restlos die Leistungsfähigkeit der an Einnahmen geschwächten Gemeinde. Für den im Dienste der Stadt stehenden Ingenieurhauptmann Friedrich Jungermann (gest. 4. 9. 1633), der, nach seinen im Stadtarchiv erhaltenen Zeichnungen und theoretischen Erörterungen zu urteilen, kein schöpferisches und großzügiges Talent sein mochte, war das Feld für fortifikatorische Neuanlagen verschlossen.

Die Fortführung des Befestigungswerkes an den immer noch mit spätmittelalterlichen Basteien kümmerlich bewehrten beiden anderen Seiten im Süden und Westen war der gewaltigeren Persönlichkeit des als Architekt schon jahrzehntelang bewährten und als städtischer Festungsbaumeister seit 1634 bestellten Valentin von Säbisch vorbehalten. Sein intensives Studium der Befestigungstechnik des Aus- und Inlandes hat er seit etwa 1600 in zahlreichen geschriebenen

¹⁸⁾ Vgl. meine Monographie Hans Schneider von Lindau in der Zeitschrift für Gesch. Schlesiens 1934.

¹⁹⁾ Über die Ausführung der geböschten Bastionsfuttermauern in gotischem Verbandsbau, vgl. Lutsch, Kunstdenkmäler Breslau (1886), S. 90.

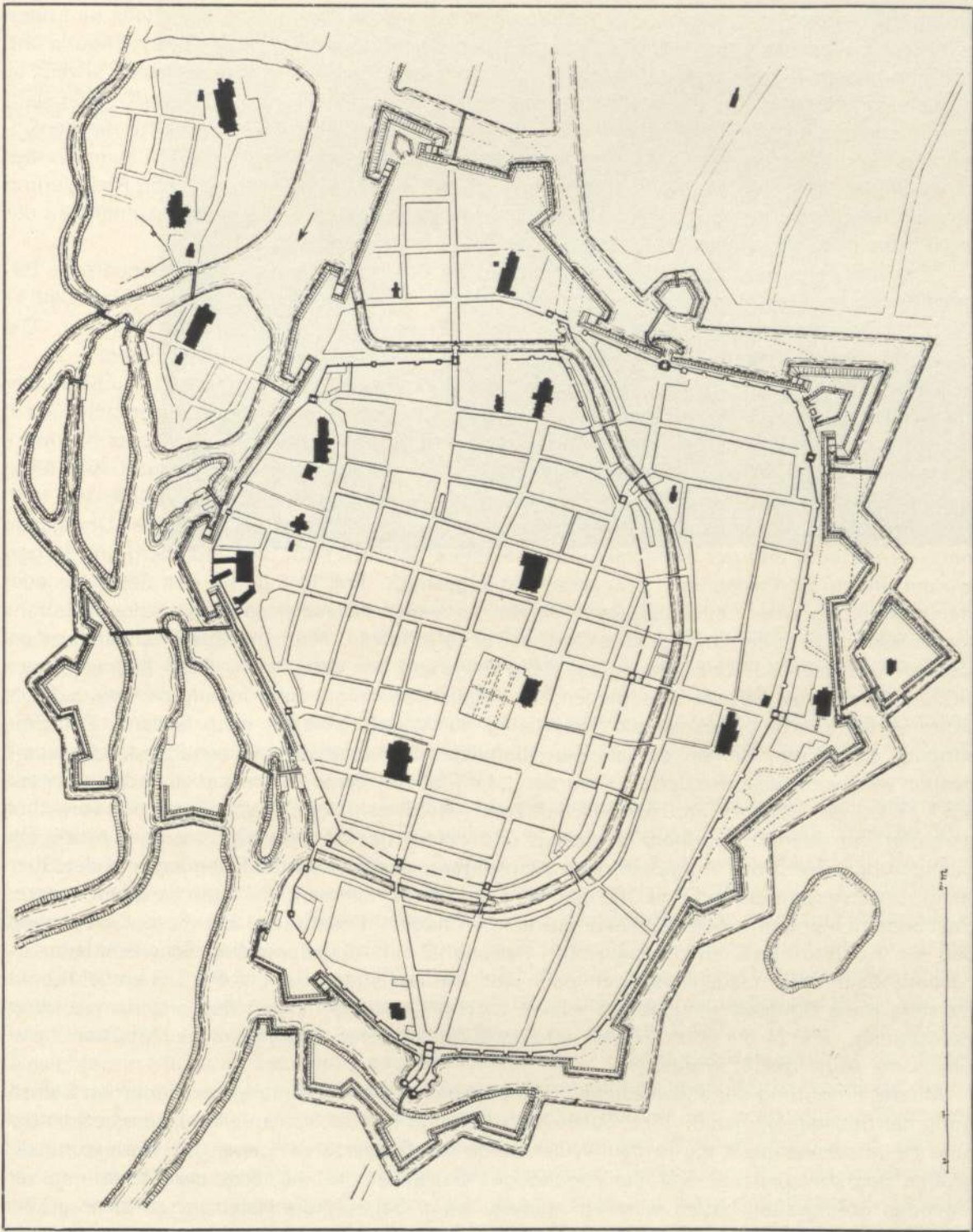


Abb. 11.
Rekonstruktion der
tatsächlich in der
Zeit zwischen 1576
und 1700 ausge-
führten Bastionär-
befestigungen

und sorgfältig gezeichneten Bänden (Stadtbibliothek) aus Studien an Ort und Stelle und nach schriftlich bei Fachleuten eingeholten Informationen niedergelegt. Durch die Beschäftigung und Fortführung des Befestigungsplanes für Schloß Schelitz (Chrzelitz) in Oberschlesien erweist er sich als unmittelbaren Schüler und geistigen Erben Hans Schneiders von Lindau²⁰⁾. Hier steht uns sein immens wichtiger Band von 268 Entwürfen aus den Jahren 1626 bis 51 für die Vervollständigung und Verbesserung des Breslauer Festungsgürtels am nächsten. Dazu kommen drei große Blätter in der städtischen Plankammer (1.68) mit einer von der tatsächlichen Realisierung am meisten abweichenden Fassung und Lagerung der Bastionen. Vorzug aller Aufnahmen der bewehrten Stadtperipherie ist annähernde maßstäbliche Richtigkeit.

Aus dem Breslauer Fortifikationssammelband (R. 943 f.) erweist sich seine periodische Beschäftigung mit den einzelnen Abschnitten. Von den 18 Gesamtdarstellungen kommt Blatt 17 (Abb. 10) dem lange nach seinem Tode (gest. 1657) erreichten Zustande am nächsten. Die Schneiderschen Bastionen sind unversehrte Bestandteile der Umgürtung geblieben.

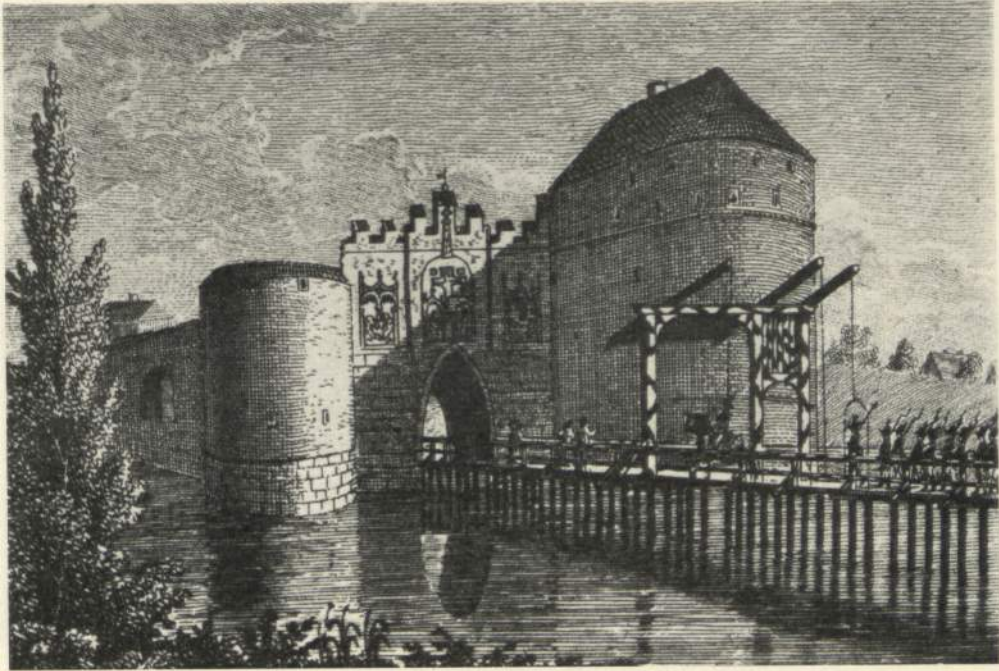
Valentin Säbisch war es vergönnt, 1634 mit der Wehrverstärkung der Westseite zu beginnen. Die Nikolaibastei blieb, anstatt einer an deren Stelle einzufügenden Bastion hatte er sich für ein jenseits des Wassers durch abgezweigten Graben geschütztes dreiteiliges Horn- oder Kronwerk entschlossen, das etwa das Gelände um den heutigen Königsplatz einnahm und 1635 fertig wurde. Ein Halbmond mit Staket zur Sicherung des Anschlusses an die Oder folgte dort 1637. In stetem Zuge wurde in den folgenden Jahren der Schutz der Mühlen und der beiden Übergänge nach dem Elbing und der Sandinsel durch leichtere Schanzen auf dem Mühlberg, im Bürgerwerder und an den jenseitigen Brückenenden angestrebt. Erst 1642 durfte sich Säbisch wieder der Ausführung einer bedeutenderen Aufgabe zuwenden. Diesmal galt es das durch Niurons kleine Bastion zu schwach belassene Ohlauer Tor zu schützen. Nach mancherlei Umänderungsprojekten hatte er sich für Erhaltung der *piatta forma* und ihre Verstärkung durch ein mit nassem Graben umzogenes Ravelin entschieden. Im August 1643 folgte eine umfangreichere, auf fünf Jahre verteilte Arbeit, diesmal als Fortsetzung der Westfortifikation nach Süden. Der Bauvorgang dieser den Namen der als Kern benutzten Südwestbastei beibehaltenden Graupenbastion wird von Klose skizziert: Es wurden „die Pfäl von fornen zu hart aneinander, allewege auf $\frac{1}{4}$ Ellen ein eichener und darzwischen zwei von Tannen Holtz geschlagen, oben verjochet, darhinter mit erlenen Bundholtz ausgelegt und darauf das Schüttweg . . . aufgeföhret“. Die Schilderung erweist das Aufgeben der kostspieligen massiven Randbefestigung und der Übergang zum Eskarpenbau von Holz, mit dem wir schon beim Hornwerk und dann bei allen weiteren Bastionserrichtungen an der Südseite zu rechnen haben. Erwähnt sei bei dieser Gelegenheit, daß die Kontereskarpe an der gesamten Peripherie mit Ausnahme des Schweidnitzer Torbastionsabschnittes unausgebaut geblieben war, wie aus einem Bericht des Generalfeldwachtmeisters Hans Gottfried von Säbisch vom 7. 1. 1704²¹⁾ hervorgeht, und daß erst damals deren Befestigung, die 24 bis 30000 Pfähle erforderte, nebst der Schaffung eines 200 Ellen tiefen Glacis ins Auge gefaßt wurde.

Mit der Errichtung der südwestlichen Graupenbastion war der Anfang zur modernen Befestigung der Südseite gemacht. Ihr Problem hatte Valentin von Säbisch zu allen Zeiten beschäftigt. Eine Hauptschwierigkeit lag in dem Widerstande der Bürgerschaft gegen die Kassierung des großen Begräbnisplatzes samt der zugehörigen Salvatorkirche, die beide dem dorthin zu verlegenden Stadtgraben hätten weichen müssen, wenn Säbisch die Halbinsel zu einer großen Bastion umgeformt hätte, wie er es auf einigen Blättern projektierte. Ein Ausweg war, die kleine Südbastei in polygonaler Umgestaltung zu belassen, die beiden benachbarten Basteien (Zwinger- und Graupenbastei) nebst der Kurtine südwärts vorzuziehen und den Friedhof samt Kirche in einem schräg südöstlich dem Schweidnitzer Tor vorzulegenden Ravelin unangetastet einzubetten.

²⁰⁾ Vgl. meinen Aufsatz über Schloß Schelitz im Oberschlesien, 1935, S. 212.

²¹⁾ Breslauer Staatsarchiv, Rep. 16 VII, 8c.

Abb. 12.
Nikolaitor III mit
ummanteltem
Turm rechts
nach Endlers
Kupferstich von
1807



Valentin von Säbisch erlebte die Verwirklichung seines Entwurfes, an dem im wesentlichen nichts geändert werden konnte und durfte, nicht mehr. Sie blieb seinem Sohne Albrecht von Säbisch († 1688) zum größten Teil vorbehalten. 1643 bis 45 erstand die Graupen-, 1667 bis 70 die Zwinger- und 1678 die Hundebastion. 1693 wurden die Vorbereitungen zum Bau der unverrückbar im Verhältnis zu den Nachbarbastionen einzufügenden Südbastion nebst verstärkendem Ravelin getroffen, das neue, nicht ganz an Stelle des 1535 erbauten vierten Torturmes errichtete Walltor trug an seiner Front die Jahreszahl 1693.

Nachzutragen ist, daß Albrecht von Säbisch die Brückenkopfschanze des Hauptoderüberganges zu einem Kronwerk erweiterte, wie Valentin es bereits vorgezeichnet hatte. Vgl. Abb. 10.

Für den künstlerischen Ausdruck im Gefüge des von Geschützläufen starrenden Bastionsgürtels waren einzig die Wallücken für den Durchgangsverkehr, die Walltore, zur Verfügung geblieben. Von dem Grade künstlerischer Befähigung des Befestigungsingenieurs im jeweiligen Abschnitt hing die ästhetische Durchbildung der Torfronten ab. An der Nordseite, wo gerade der Bildhauer F. Groß leitend beschäftigt war, blieb das 1583 begonnene Odertor (Wallpassage in Richtung vom Kaisertor) nach Zimmermanns Schilderung das „unansehnlichste“²²⁾. Von den der Erhaltung und Darstellung werteren Walltoren haben uns Endler, Rösel und Mützel Ansichten in Stich und Zeichnung beschert. Sand- und Ziegeltor gehören mit ihrer sternförmig bossierten Streifenquaderung stilistisch zusammen und sind nicht als Werke des bisher für sie namhaft gemachten Baumeisters Hans Schneider, sondern des von ihm beschäftigten Bildhauers Gerhard Heinrich aus Amsterdam anzusehen. Von beiden Walldurchgängen ist das mit Voluten und Dreieckgiebelbekrönung über der Attika bereicherte Ziegeltor das stattlichere.

Das nächste nach Süden, das Ohlauer, ist das früheste, mit der ersten Bastion 1576 entstandene und trägt den Stempel einer gewissen Nüchternheit, derjenigen seines Erbauers Bernhard Nuirons, an der Stirn, ähnlich wie das auch von ihm gestaltete Odertor in Brieg. Stadtwappen und zwei lagernde Löwen zu seinen Seiten auf dem Scheitel des gequadrerten Rahmens sind bescheidener Schmuck.

²²⁾ Zimmermann, Beiträge zur Beschreibung von Schlesien, Bd. 11 (1794), S. 21, die Inschriften der anderen Tore ebenfalls dort.

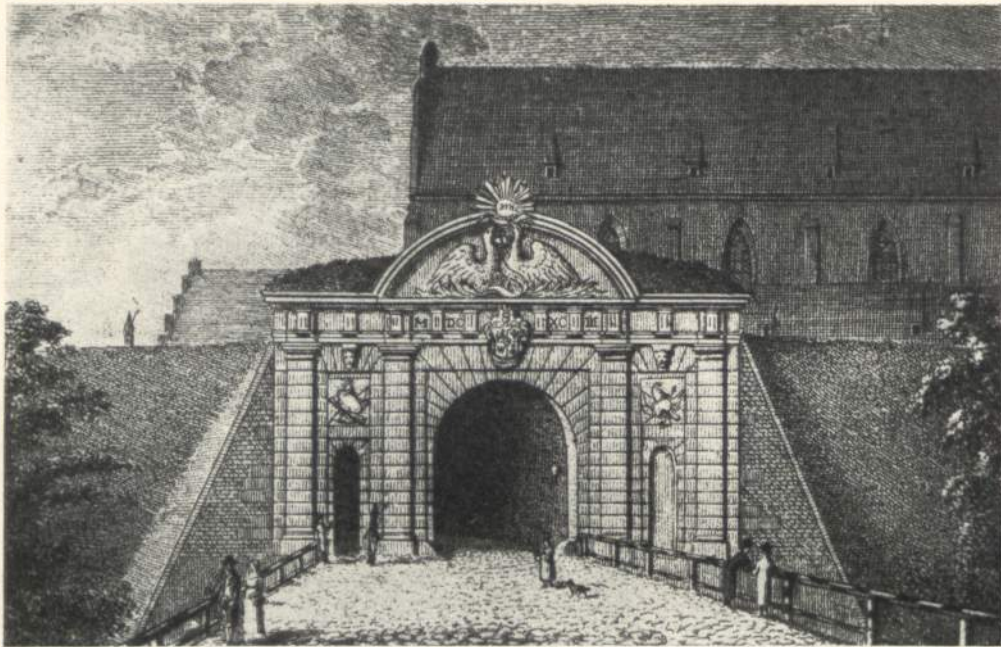


Abb. 13.
Schweidnitzer
Tor V (Walltor)
nach Endlers
Kupferstich
von 1807

Vom Taschentor, das, gemäß Zimmermann, Friedrich der Große bald niederreißen ließ, fehlt uns eine Vorstellung. Als Ersatz können wir die sogenannte Poternenpforte aus dem Mauerabschnitt östlich davon ansehen — wenn diese nicht etwa das hierhin versetzte Taschentor ist —, die jetzt am Eingang zum Wenzel-Hancke-Krankenhaus aufgestellt, uns mit anderen ähnlichen Haustoreinfassungen, z. B. an der Sandkirche 2, ebenfalls die Vorstellung von Gerhard Heinrichs manierterter Gestaltungsart vermittelt. Das Höchstmaß an bildnerischem Aufwand mußte freilich das südliche Haupttor an der Ausfallstraße nach Schweidnitz erhalten. Seiner Haltung und Durchbildung im einzelnen nach kann es nur ein posthumes Werk Albrechts von Säbisch sein, der über die triumphbogenmäßig gegliederte und mit Triglyphenfries abschließende Schauseite ein Bogenfeld mit mächtig rauschendem Doppeladler wie einen Schwanengesang für die unter kaiserlicher Herrschaft blühende Stadtfreiheit setzte. Seine Ausführung stammt vom Steinmetzen David Roch d. J. und im schmückenden Teil wahrscheinlich vom Bildhauer Zacharias Strauß.

Allen anders lautenden Angaben gegenüber muß betont werden, daß die in der Hauptsache von Schneider von Lindau und Valentin von Säbisch geschaffene Festung bis nach dem Siebenjährigen Krieg, eigentlich sogar bis 1807 unangetastet blieb. Was der große preußische König hinzufügte, waren in sparsamer Beschränkung auf das Notwendigste die Kasematten an der Barbarakirche und Graupenbastion und eine weitere Umgürtung mit Ravelins in einfacherer Ausführung. Nur im Nordosten, im vernachlässigten Gebiet der Oderinseln, schuf er eine starke Neuanlage, die auch die bisher vom Kapitel gar nicht oder wenig befestigte Dominsel in das Verteidigungssystem einschloß, und in dem mächtigen Springwerk mit seinem kasmattierten, von Langhans 1773 geformten Friedrichstor ihren gewichtigen Ausdruck erhielt.

Der unglückliche Ausgang von Jena und Auerstedt bereitete dem gesamten Festungswerk bis auf die Ziegel- und Taschenbastion ein unrühmliches Ende. Die Aufnahme, die der Ing.-Leutnant Wenzell damals von den halb ruinierten Anlagen machte (Plankammer 1. 8), ist die einzige zuverlässige Unterlage für die hier von mir gegebene Rekonstruktion. Die Zerstörungsarbeit durch den Breslauer Magistrat war eine gründliche, so daß von den plastisch und malerisch reizvollen mittelalterlichen fortifikatorisch wertlosen Trutzbauten und Mahnmalen einer herrisch und opfervoll gesinnten Zeit nichts geblieben als die verborgene Zeughausecke und die unscheinbare Dorotheenpforte.

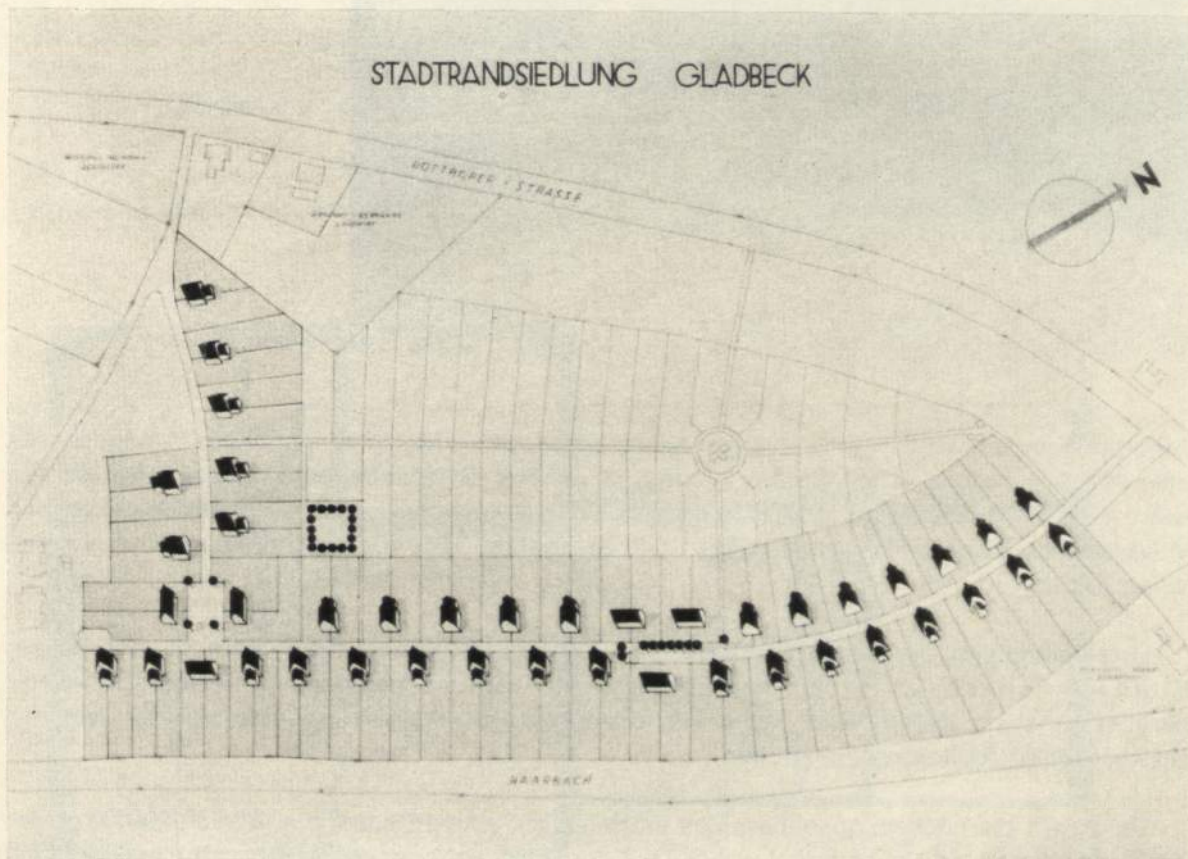
Vorstädtischer Wohnungsbau und Altstadtsanierung

Von Heinrich Blecken in Breslau

Wenn die Arbeitsbeschaffung heute mehr denn je an die Spitze des deutschen Wirtschaftsprogramms zu setzen ist, so interessieren unter den unendlich vielen Möglichkeiten, zu denen jeder einzelne nach Kräften seines Wirkungsbereiches beizutragen hat, und die mit der Beschäftigung des Lehrlings im Betrieb oder der Gehilfin im Haushalt anfangen, naturgemäß am meisten die Maßnahmen großen Umfanges, zu deren Ingangsetzung und -haltung nur eine Verwaltung, deren Steuerhoheit auf absehbare Zeit mit regelmäßigen erheblichen Einkünften rechnen kann, in der Lage ist.

Unter diesen Maßnahmen müssen grundsätzlich solche, deren Finanzierung auf sogenannten verlorenen Zuschüssen beruhen, sich auf die Zeiten der schlimmsten Not beschränken, so daß sie bei uns hoffentlich bald ganz der Zukunft angehören. Gesunde Maßnahmen müssen grundsätzlich zum mindesten die Möglichkeit, normalerweise die Wahrscheinlichkeit einer Rentierlichkeit der ihnen unterbauten Volksvermögensteile voraussetzen.

Die Maßnahmen der öffentlichen Hand zur Arbeitsbeschaffung, die heute in Deutschland auf manchem Gebiet gigantischen Umfang erreicht haben, werden um so mehr ihrem Programm dienen: 1. je größere Ausmaße sie annehmen — um so mehr Volksgenossen können dabei in



Bergmannsiedlung

Bergmannsiedlung Gladbeck
84 Eigenheime

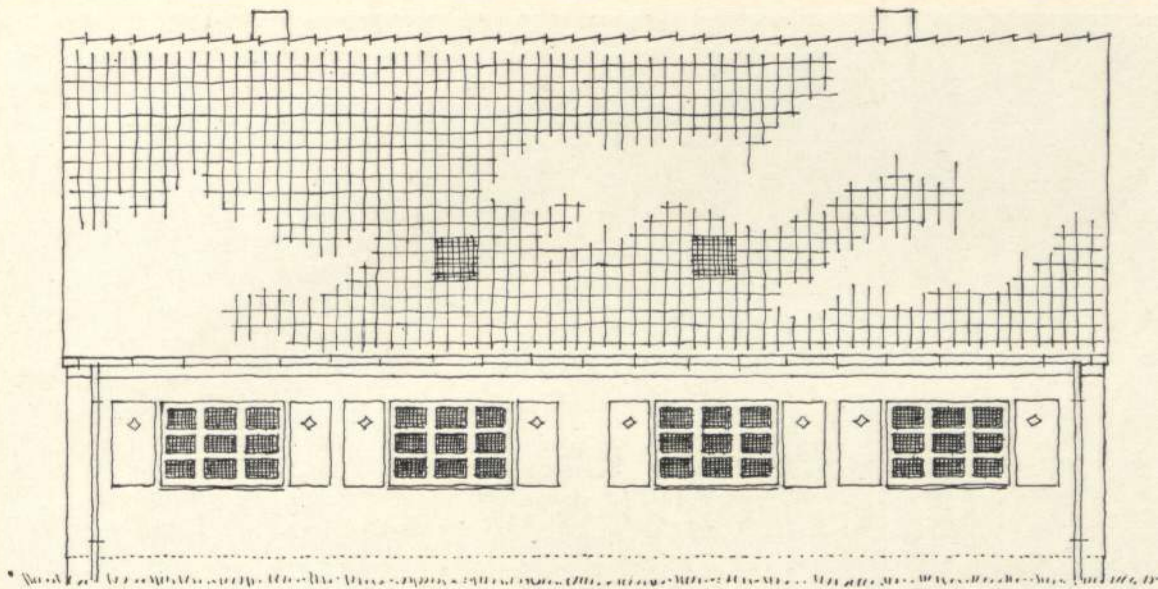


Architekt Blecken

Arbeit genommen werden —, 2. je länger sie dauern — um so länger können diese Volksgenossen oder ihre Ablösung in Arbeit bleiben — und 3. je sicherer und rascher ein Ertrag erwartet werden kann. Ein solcher Ertrag gestattet eine dauernde Wiederverwendung der die Arbeit ankurbelnden Volksvermögensteile und regt auch Geldmittel von anderer Seite zur Beteiligung an einer solchen Veranstaltung an.

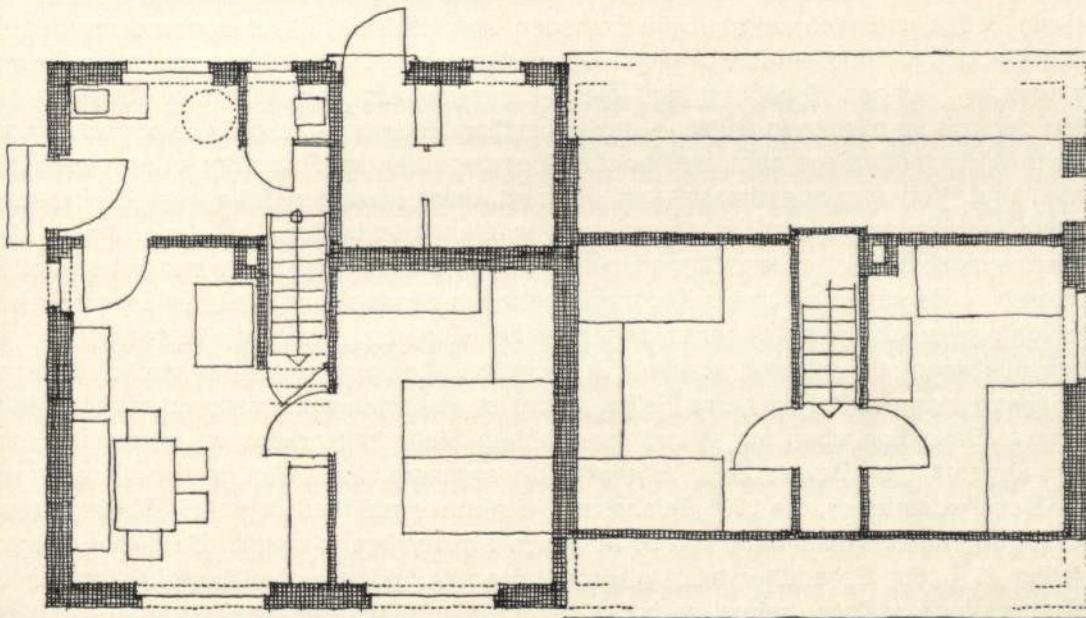
Eine Maßnahme, die diesen Erfordernissen in besonders hohem Grade gerecht wird, ist der Kleinwohnungsbau. Er darf sogar für sich in Anspruch nehmen, in einzigartiger Weise darüber hinaus zugleich eine Reihe der wesentlichsten Programmpunkte unserer nationalsozialistischen Regierung zu erfüllen.

Da wir für die nächste absehbare Zeit im Reich mit einem Bedarf von jährlich 200000 neuen Kleinwohnungen (an Neubedarf einschließlich der Ersatzwohnungen für abbruchreife Altbauten) zu rechnen haben und sich dieser Bedarf über den ganzen Reichsumfang erstreckt, eröffnet



sich hier ein Arbeitsgebiet von ganz außerordentlichem Volumen. Nimmt man für die Kleinwohnung durchschnittlich 3000 Stundenleistungen als erforderliche Arbeit an, so liegt hier im Reichsumfang eine jährliche Arbeitsmöglichkeit von 600 Millionen Stunden vor. Dies würde bei täglich sechsstündiger Arbeit ein Jahresvolumen von 100 Millionen Arbeitstagen bedeuten. Damit können bei jährlich 300 Arbeitstagen 330000 Arbeiter das ganze Jahr durch beschäftigt werden, wobei berücksichtigt ist, daß bei dem Saisoncharakter der Bauarbeiten und der zugehörigen Handwerksbetriebe im Sommer mehr und im Winter weniger bzw. hauptsächlich in der Werkstatt gearbeitet wird.

Am Bedarf gemessen wird auf absehbare Zeit — zum mindesten in den nächsten zwanzig Jahren — mit diesem Arbeitsvolumen zu rechnen sein, es handelt sich also um eine Arbeits-



Kleinsiedlungshaus mit eingebautem Stall

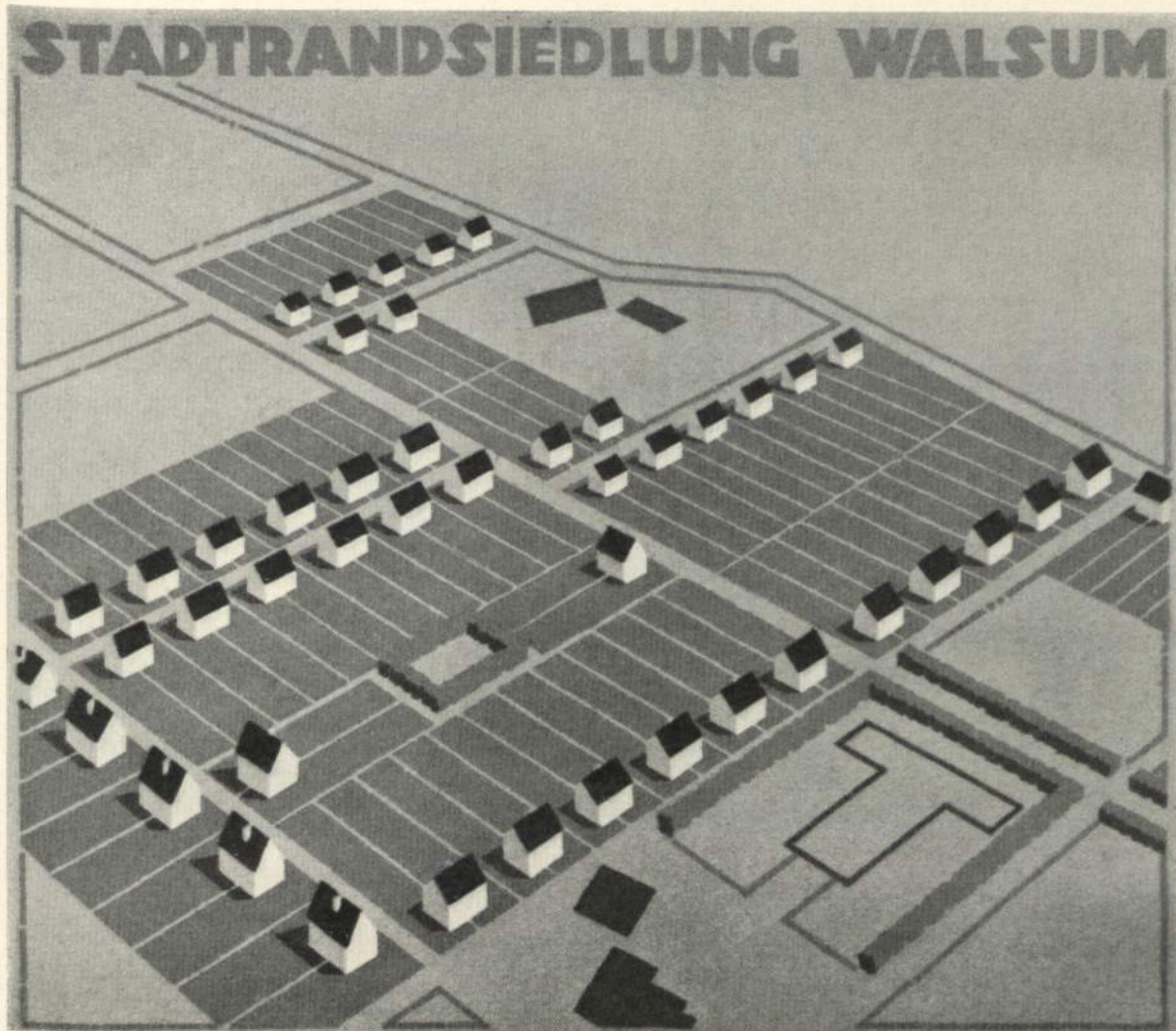


Kleinsiedlung Buchholz. 140 Eigenheime

Architekt Blecken

maßnahme, die wie keine andere auf lange Sicht und dazu auf eine besonders erwünschte Stetigkeit der Beschäftigung abgestimmt werden kann.

Was ihr aber noch eine besondere Note gibt, ist die sicher zu erwartende Rentierlichkeit der in ihr investierten Geldmittel. Es wäre dabei falsch, diese etwa den Methoden gleichzustellen, nach denen Boden und Wohnung zu willkommenen Objekten der Spekulation und der Willkür der Nutznießer aus arbeitslosem Einkommen vergewaltigt wurden. Kraft der eindeutigen Gesetzgebung unserer heutigen Regierung sind diese Elemente aus dem Wirtschaftsbereich des heiligsten der uns verbliebenen Güter — des deutschen Bodens — so gut wie ausgeschaltet. Die gleiche Wirtschaftspflege aber, welche die Überspannung der Forderungen an den Ertrag von Boden und Wohnung abgedrosselt hat, verlangt einen gesunden Ertrag des darin untergebrachten Sparvermögens und der dazu aufgewendeten Arbeit. Dabei zeigt sich heute, daß im Kleinwohnungsbau bei den derzeitigen Einkommensverhältnissen auch der minderbemittelten Kreise diesen Forderungen durchaus Rechnung getragen werden kann, daß der Bewohner des neuen Siedlungshauses meist billiger in diesem seinem Eigentum wohnt als in seiner früheren Stockwerksmietwohnung, und daß das darin investierte Leihgeld mit einem wesentlich höheren Sicherheitsgrad ausgestattet ist. Eine Folge davon ist, daß sich auch sehr erhebliche Mittel Dritter dieser Bauaktion eben auf Grund ihres hohen Sicherheitsgrades anvertrauen. Einen besonders augenfälligen Beweis dafür erbrachte die segensreiche Aktion der Reichsregierung mit den Reichsbaudarlehen, die 1500 Reichsmark je Wohnungseinheit gegen $5\frac{1}{2}\%$ Verzinsung und 1% Tilgung im Gesamtumfang von 50 Millionen zur Verfügung stellte. Da dieses Reichsbaudarlehen 25% der Gesamtherstellungskosten einer Wohnung nicht überschreiten durfte, mußten mindestens weitere dreimal so hohe Beträge von Seiten des Bauherrn oder anderer Darlehnsgeber hierfür flüssig gemacht werden. Der Fonds der Reichsregierung wurde rasch



Kleinsiedlung Walsum. 100 Eigenheime

Architekten Blecken und Beckmann

und vollständig in Anspruch genommen, so daß mindestens 150 Millionen aus anderen Quellen — durch diese Reichsaktion angeregt — in den Wohnungsbau flossen. Es wäre außerordentlich zu begrüßen, wenn sich die Reichsregierung zu einer Fortsetzung dieser Maßnahme entschließen könnte. Hat sie doch den Nachweis erbracht, daß die rasche und sichere Ertragsfähigkeit unserer Kleinwohnungsbauwirtschaft ganz erhebliche Beträge aus dem Sparkapital und der freien Wirtschaft in den Dienst der Arbeitsbeschaffung zu ziehen vermag.

So werden bei der Kleinwohnungsbeschaffung die drei Haupterfordernisse eines groß angelegten Arbeitsbeschaffungsprogramms in idealer Weise erfüllt: ein außerordentlich großes Arbeitsvolumen, eine auf Jahrzehnte hinaus übersehbare Stetigkeit dieses großen Bedarfs und eine Rentierlichkeit der investierten Mittel, wie sie mit solchem frühzeitigem Beginn wohl bei keiner anderen Maßnahme des Arbeitsbeschaffungsprogramms mit gleicher Sicherheit erwartet werden kann.

Über dieser idealen Erfüllung der reinen Programmpunkte der Arbeitsbeschaffung hinaus liegt aber noch der Kleinwohnungsbau in Form des Einfamilienhauses so eindeutig auf der Linie unseres staatspolitischen nationalsozialistischen Gesundungsprogramms, daß er auch schon

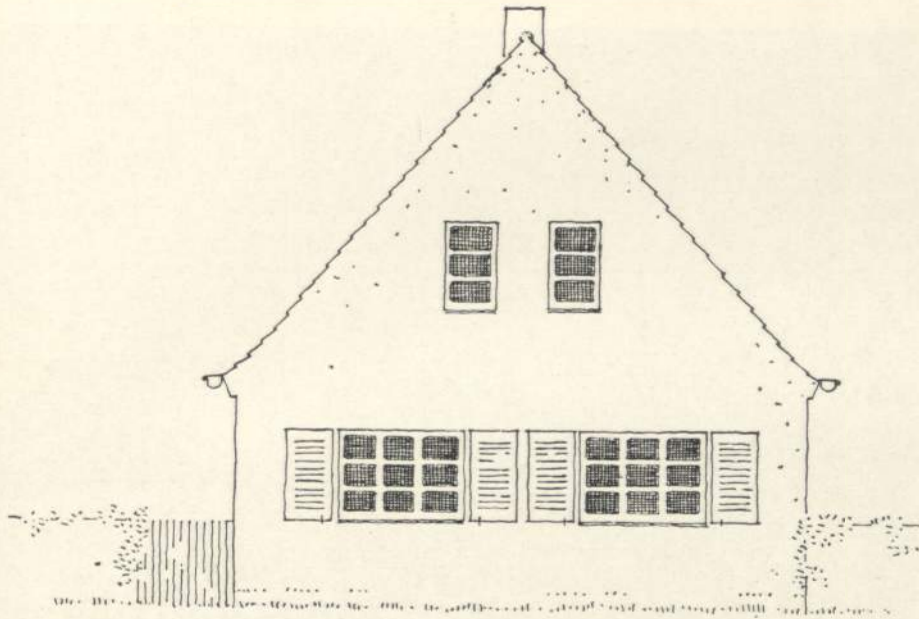


Kleinsiedlung Walsum

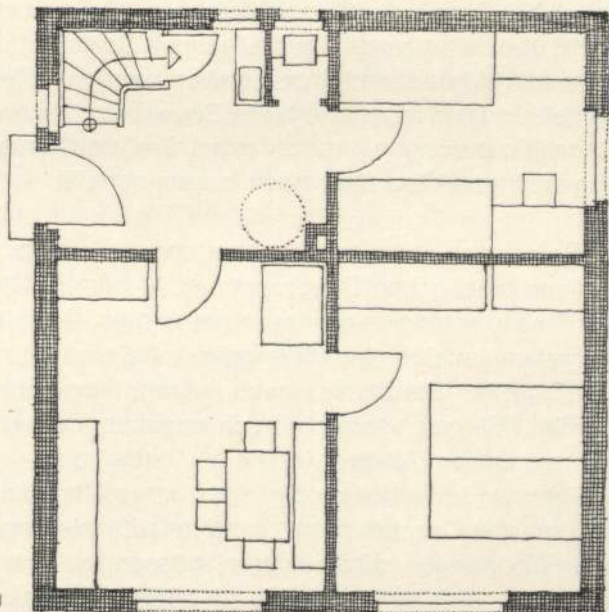
100 Eigenheime

aus diesem Grunde allein die ganz besondere Förderung der Reichsregierung verdient. Die wichtigsten dieser Vorzüge der vorstädtischen Siedlung sind schon so häufig in aller einschlägigen Literatur erörtert worden und im übrigen so selbstverständlich, daß in diesem Zusammenhang ihre Erwähnung genügt. Es sind dies die *Seßhaftmachung* des deutschen Volksgenossen auf deutschem Boden, mit dem er wieder verwurzelt werden soll. Er wird den Mietskasernen und allem, was damit an Volksschädigendem zusammenhängt, den Gefahren der Proletarisierung, der Demoralisierung, des Marxismus usw. entrissen und wieder zum freien deutschen Mann auf eigener Scholle, für die es gilt, jederzeit mit Kopf, Herz und Hand gerade zu stehen. Das eigene Heim im eigenen Garten bringt alle Möglichkeiten für eine glückliche Entfaltung des Familienlebens mit sich, insbesondere Gesundheit und Frohsinn für Eltern und Kinder, deren rote Backen ein beredtes Zeugnis ablegen von den Vorzügen, die sie in Licht und Sonne genießen gegenüber ihren um so viel weniger glücklichen Kameraden mit blassen Wangen in den Mietskasernen der Städte. Wirtschaftspolitisch macht die Siedlerstelle ihren Eigner widerstandsfähiger, krisenfester. Wenn die vorstädtische Siedlung auch nicht in der Lage ist, auf die Dauer eine Familie durch ihren Ertrag allein zu unterhalten, und das auch gar nicht ihr Zweck sein kann, so gibt sie doch ihrem Eigentümer die Möglichkeit, in Zeiten der Kurzarbeit den Verdienstausfall voll und ganz durch die Gartenarbeit zu ersetzen und sogar kurze Zeiten der Arbeitslosigkeit mit eigener Hilfe zu bestehen.

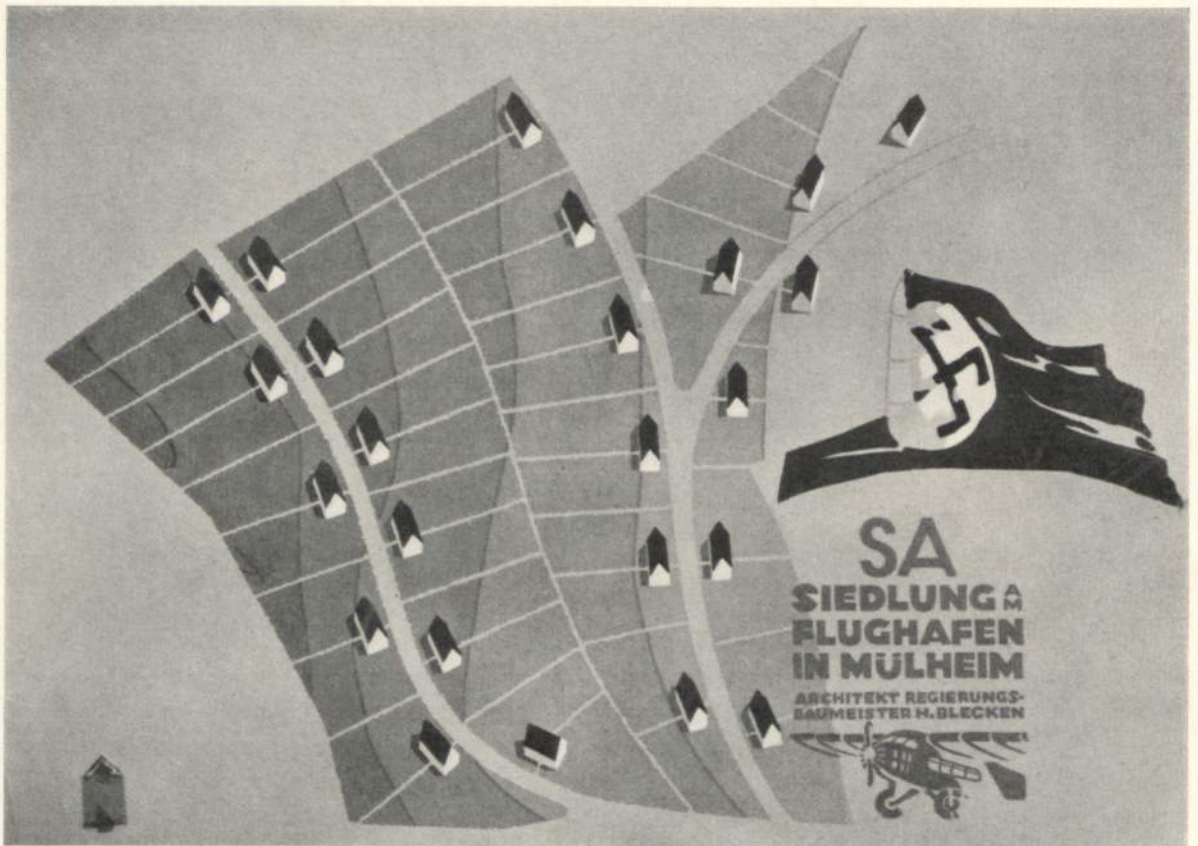
Muß auf der einen Seite der Kleinwohnungsbau in Form der vorstädtischen Siedlung aus staatspolitischen Gründen und aus solchen der Volksgesundheit, der Volkswirtschaft und der Volksmoral in den Vordergrund unseres Arbeitsbeschaffungsprogramms gestellt werden, so führt eine weitere bautechnische Forderung von gleich vordringlicher Wichtigkeit, die diesmal



nicht das Vorgelände der Städte, sondern ihren Kern betrifft: die Altstadtsanierung zu der gleichen zwingenden Schlußfolgerung des Wohnungsneubaus. Die alten auffälligen Stadtviertel mit ihren trostlosen Mietskasernen, mit Wohnungen um trübe Lichtschächte — in die nie ein Sonnenstrahl fällt —, sie haben bestenfalls ihrer Zeit Genüge getan und müssen heute verschwinden. Die in ihnen zusammengepferchten Wohnungen bilden den Krankheitsherd, von wo aus Krankheit, Sterilität und Staatsverneinung sich in verderblicher Infektion fortpflanzen. Zu diesen wohnungspolitischen Gesichtspunkten, die eine Entfernung bzw. Auflockerung dieser ungesunden Stadtviertel verlangen, treten für die heutige Großstadt die immer dringender werdenden Forderungen verkehrstechnischer Art, die eine flüssige Gestaltung der Hauptstraßenzüge durch unsere Städte mit ausreichenden Freiflächen für die Parkplätze verlangen. Das Weiterbestehen eines hochentwickelten Geschäftslebens, wie wir es in unseren Städten und ihren geschäftlichen Mittelpunkten benötigen und wie es dort zur Erwerbsquelle tausender großer



Kleinsiedlungshaus ohne Stalleinbau

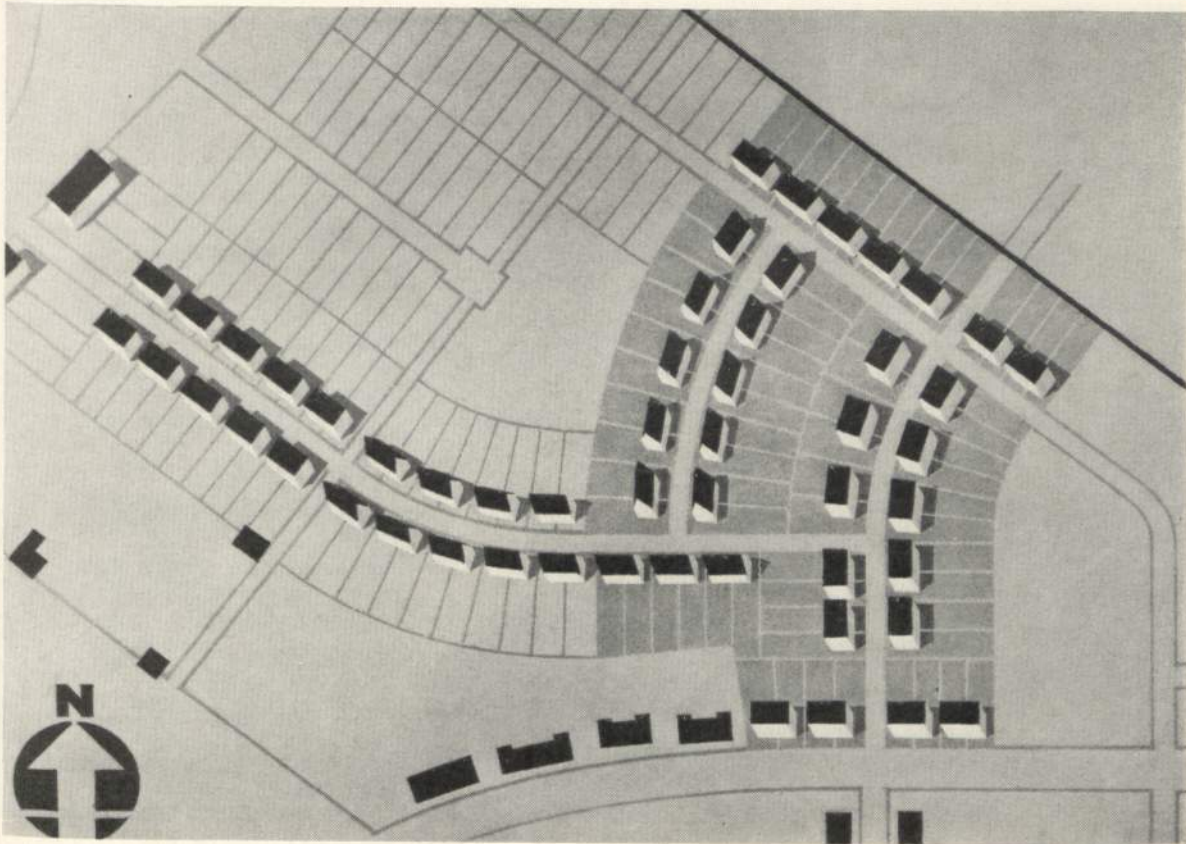


Kleinsiedlung Mülheim/R. Baujahr 1935

Architekt Blecken

und kleiner Geschäftsleute geworden ist, wird ernstlich in Frage gestellt, wenn es nicht gelingt, nach wie vor den Hauptverkehr der motorisierten Fahrzeuge auf dieser Route zu belassen. Schon heute erleben wir an allen Stellen der Altstadt, die infolge zu enger Straßenführung oder wegen vorübergehender Bauarbeiten für den Autoverkehr gesperrt werden, einen sofortigen empfindlichen Rückgang des Geschäftslebens. Bevor sich deshalb der Verkehr von selbst neue Wege sucht und damit ganze Stadtteile ihrem Schicksal überläßt, muß an eine Auflockerung der zu eng bebauten Altstadtviertel geschritten werden. Sie fällt dem Städtebauer — soweit sich künstlerisch und historisch wertvolle Bauwerke dabei erhalten lassen — um so leichter, als eben mit diesen Forderungen des modernen Großstadtverkehrs auch die Forderung nach Beseitigung der ungesunden Altstadtkasernen zusammenfällt.

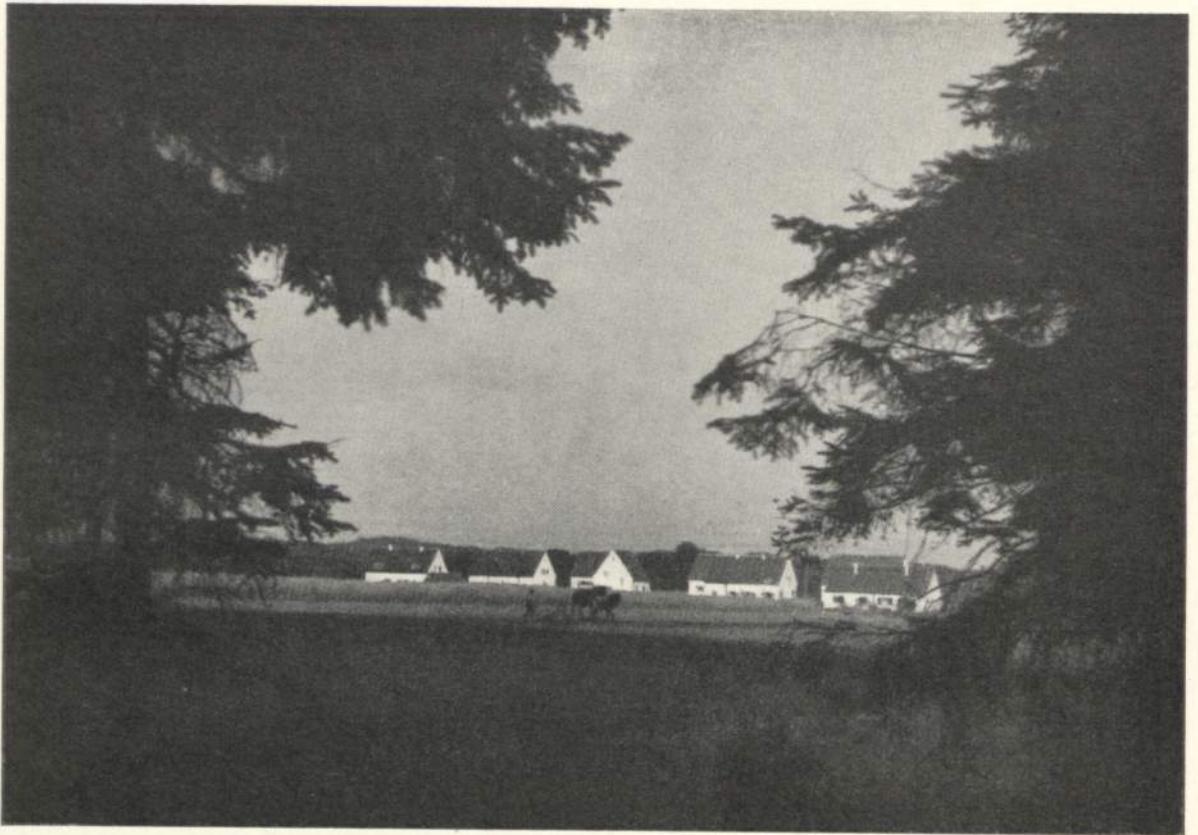
So sehr es nun den Anschein erwecken mag, als lägen diese beiden Hauptpunkte des derzeitigen städtischen Bauprogramms — nämlich die vorstädtische Siedlung und die Altstadtsanierung — auf ganz getrennten Gebieten, so falsch wäre es, wollte man die beiden Aufgaben voneinander völlig getrennt einer Lösung entgegenführen. Mag man dabei innerhalb eines großen Stadtbildes auch getrennt marschieren, geschlagen muß auf jeden Fall vereint werden. Es mag vielleicht noch angehen, die vorstädtische Siedlung ohne Rücksicht auf eine Sanierung von Altstadtvierteln zu betreiben — was selbstverständlich schon überall da geschieht, wo keine Notwendigkeit zu einer Altstadtsanierung vorliegt —, es wird aber nicht richtig sein, an die Durchführung von Altstadtsanierungen, die immer mit einem erheblichen Ausfall alter Wohnungen wird rechnen müssen, zu schreiten, ohne gleichzeitig oder vielmehr schon vorher an eine zweckmäßige Unterbringung der durch den Abbruch obdachlos werdenden



Kleinsiedlung Hamborn. 106 Eigenheime. Bauzeit 1933—1936

Architekt Blecken

Haushaltungen denken zu müssen. Wenn wir ohne weiteres unterstellen dürfen und müssen, daß eben die vorstädtische Eigenheimwohnung mit reichlicher Gelegenheit zur Selbstversorgung in den beigegebenen Grünflächen heute die beste Wohnform ist — wie sie es übrigens auch in der Vergangenheit immer gewesen ist —, so wird folgerichtig bei geplanten Altstadt-sanierungen dafür zu sorgen sein, daß der Teil der Bewohner des Abbruchviertels — der nicht aus beruflichen Gründen im Stadtkern wohnen bleiben muß —, gesunde und ansprechende neue Wohnungen in dieser Form vorfindet. Damit könnte aus der ursprünglich selbständig gedachten Aufgabe der Altstadtsanierung — die ganz erhebliche Mittel der öffentlichen Hand in Anspruch nehmen wird — eine selbstverständliche, automatisch eintretende Folgeerscheinung der vorstädtischen Siedlung werden. Wird letztere in einem Stadtgebiet in großem Umfang energisch betrieben, so werden die dadurch entstehenden neuen Wohnungen mit allen ihren Vorzügen sehr bald den Großteil der Bewohner der Altstadtviertel anziehen und aufnehmen. Gesundheits-, Feuer- und Baupolizei werden eine Weiterbenutzung wesentlicher Teile solcher alter Baublöcke verbieten können. Noch nicht abgeschriebenem Leihgeld kann durch angemessene Fristsetzung Gelegenheit gegeben werden, sich aus den meist längst ausgedienten Bauobjekten zurück-zuziehen, und eine hoffentlich bald im Anmarsch befindliche Gesetzgebung auf diesem Ent-eignungsgebiet wird für Geländeflächen, die sich nicht freiwillig aus besserer Einsicht heraus dem Sanierungsschicksal überlassen, die Ablösungskosten auf Grenzen beschränken, die für die öffentliche Hand tragbar bleiben werden. Die so freigewordenen alten Stadtquartiere werden nur zum Teil wieder von Neubauten, in der Hauptsache aber von Freiflächen für die Verkehrs-verflüssigung in Anspruch genommen werden. Voraussetzung für diese Art der Altstadt-sanierung, die sich also von selbst einleitet und nur in ihrem Tempo vom Veranstalter geschickt



Kleinsiedlung Lintorf

Architekt Blecken

zu fördern wäre, ist die energisch betriebene Schaffung neuer gesunder und billiger Wohnungen, die wir uns in der Form des Eigenheimes mit reichlicher Land- oder Gartenzulage im vorstädtischen Gelände denken müssen.

So steht am Ausgang und am Ende unserer Überlegungen zur bautechnischen Gesundung und Weiterentwicklung unserer Großstädte als vordringlichste Forderung der Bau der Heimstätte, sei es in Form des Eigenheimes mit Garten für den sozial Bessergestellten oder der nebenberuflichen Siedlung für den Minderbemittelten. Im Dritten Reich muß jeder Deutsche wieder in möglichst innige Beziehung zur Natur und zum deutschen Boden gebracht werden. Kein Mittler ist dazu geeigneter als das eigene Heim auf eigener Scholle, für die sich verantwortlich zu fühlen und sich jederzeit ganz einzusetzen der letzte staatspolitische Gedanke jedes einzelnen von uns allen bleiben muß.

Einfache Bemerkungen über Nabelpunktskurven

Von Constantin Carathéodory in München

1. Die Formelsysteme, die man gewöhnlich bei der Begründung der Flächentheorie benutzt, führen zu der Betrachtung von Flächen, auf welchen in der Regel die Nabelpunkte isoliert liegen, wie dies z. B. für das dreiaxige Ellipsoid der Fall ist. Die Sätze dagegen, die man beim Studium der geometrischen Optik fortwährend anwendet, erlauben fast mühelos große Klassen von Flächen aufzustellen, bei welchen in der Regel die Nabelpunkte auf kontinuierlichen Kurven verteilt sind¹⁾.

Diese Flächen mit kontinuierlichen Nabelpunktslinien sind zuerst von G. Monge in seinem berühmten Buche „Application de l'analyse à la Géométrie“ untersucht und auch von Ch. Dupin in seinen „Développements de Géométrie“ betrachtet worden. In der modernen Literatur werden sie kaum noch erwähnt, obgleich ihre Haupteigenschaften heute viel einfacher abgeleitet werden können, als zur Zeit von Monge.

2. Zuerst sollen solche Nabelpunktskurven Γ betrachtet werden, die auf einer Kugel verlaufen. Hier bedarf es keiner besonderen Kunst, um Flächen F zu konstruieren, die nicht notwendig Rotationsflächen zu sein brauchen, und die längs einer beliebig vorgegebenen (analytischen) sphärischen Kurve Γ lauter Nabelpunkte besitzen.

Zu diesem Zweck legen wir durch jeden Punkt P von Γ einen Kreis $\kappa(P)$, der auf der Kugel liegt, die Γ enthält und dessen Ebene im Punkte P zu Γ orthogonal ist. Hierauf zeichnen wir durch jeden Punkt P eine ebene Kurve $\lambda(P)$, deren Krümmungskreis in P mit $\kappa(P)$ zusammenfällt. Der Ort der Kurven $\lambda(P)$ ist dann, bei geeigneter Durchführung dieser Konstruktion eine analytische Fläche F , die in jedem Punkte von Γ einen Nabelpunkt haben muß. Man beweist dies leicht mit Hilfe des Meusnierschen Satzes und der Dupinschen Indikatrix.

3. Wir wollen uns beim Studium der Flächen mit sphärischen Nabelpunktskurven nicht aufhalten und vielmehr zeigen, daß auch jede beliebige nicht sphärische Raumkurve auf gewissen Flächen als Nabelpunktskurve erscheint.

Der Satz, der uns zu dieser Erkenntnis verhelfen wird, ist folgender:

Eine Strahlenkongruenz, die mindestens eine zweidimensionale Brennfläche besitzt, ist dann und nur dann eine Normalenkongruenz, wenn die Strahlen der Kongruenz die Brennfläche längs geodätischer Linien berühren.

Wer diesen Satz zuerst ausgesprochen hat, weiß ich nicht. Der Teil des Satzes, der besagt, daß jede Normalenkongruenz die erwähnte Eigenschaft besitzen muß, ist eine triviale Konsequenz von Tatsachen, die schon zur Zeit von Monge allen Geometern geläufig waren. Für den Nachweis, daß auch die Umkehrung richtig ist, sind allerdings gewisse Überlegungen notwendig, die wohl erst zur Zeit von Lamé entstanden sind. Die Bedeutung des Satzes, den auch Lie wiederholt benutzt hat, wird auch dadurch unterstrichen, daß man ihn auf ganz allgemeine Variationsprobleme übertragen kann²⁾.

4. Wir betrachten nun auf einer krummen Fläche B eine Kurve γ , die weder eine geodätische Linie noch eine Asymptotenlinie von B sein soll. In jedem Punkte P von γ soll also der Winkel θ ,

¹⁾ Dieses Paradoxon ist nur scheinbar. In beiden Fällen handelt es sich um dieselbe Gesamtmenge von Flächen, die nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt werden.

²⁾ C. Carathéodory, Variationsrechnung und partielle Differentialgleichungen erster Ordnung (Leipzig, Teubner, 1935), § 353.

den die Flächennormale mit der Schmiegungeebene von γ einschließt, von Null und $\pi : 2$ verschieden sein.

Wir betrachten zweitens die Schar von geodätischen Linien, die γ zur Enveloppe haben, und bezeichnen mit $c(P)$ diejenige dieser Kurven, die γ in P berührt. Durch die Kurvenschar $c(P)$ wird ein Stück B_1 von B doppelt überdeckt.

Endlich konstruieren wir auf B_1 die Schar von Kurven, die mit $c(P)$ ein konjugiertes Netz bilden. Wir erhalten auf diese Weise Kurven $c'(P)$, die im Punkte P von γ eine Spitze besitzen und die ebenfalls das Flächenstück B_1 doppelt überdecken.

Nach diesen Bezeichnungen treffen sich also die drei Kurven γ , $c(P)$ und $c'(P)$ im Punkte P .

5. Aus dem im § 3 erwähnten Satze folgt nun, daß die Strahlenkongruenz, die durch die Tangenten an die Kurven $c(P)$ gebildet wird, eine Normalenkongruenz ist, von der die eine Brennfläche mit B_1 zusammenfällt. Verfolgt man längs einer der Kurven $c'(P)$ diejenigen Strahlen der Kongruenz, die zu den Tangenten dieser Kurve konjugiert sind, so entsteht eine Torse (abwickelbare Fläche), deren Rückkehrkante auf der zweiten Brennfläche \bar{B} der Kongruenz liegt.

6. Wir betrachten jetzt eine der Flächen F , die die Strahlen der Normalenkongruenz orthogonal schneiden, in der Umgebung des Punktes P^* , in welchem die Tangente an γ im Punkte P (die selbstverständlich auch ein Kongruenzstrahl ist) die Fläche F trifft.

Bezeichnet man mit Γ die Kurve, in der die Torse, deren Rückkehrkante die Kurve γ ist, die Fläche F schneidet, so ist Γ eine Krümmungslinie von F , weil ja die Erzeugenden dieser Torse, als Strahlen der Kongruenz, die Fläche F orthogonal schneiden.

Ebenfalls ist die Kurve $C(P)$, längs welcher die Torse, die $c(P)$ als Rückkehrkante besitzt, die Fläche F schneidet, eine Krümmungslinie von F .

Nun bemerke man, daß der Winkel, den die beiden Kurven $C(P)$ und Γ in ihrem Schnittpunkt P^* miteinander einschließen, gerade der Winkel θ ist, von dem wir angenommen haben, daß er von Null und $\pi : 2$ verschieden ist. Denn die Tangenten an diese beiden Kurven liegen in Ebenen, durch den Strahl PP^* , die mit den Schmiegungeebenen von γ bzw. von $c(P)$ im Punkte P zusammenfallen, und schneiden überdies diesen Strahl in rechten Winkeln.

Da nun jeder Punkt, durch welchen zwei nicht senkrecht aufeinanderstehende Krümmungslinien hindurchgehen, notwendig ein Nabelpunkt sein muß, folgt aus unseren Überlegungen, daß die ganze Kurve Γ aus lauter Nabelpunkten besteht.

Die Strahlen der Kongruenz, die die Punkte einer der Kurven $c'(P)$ enthalten, bilden nun ihrerseits eine Torse, die die Brennfläche B umhüllt, und schneiden auf der Fläche F eine Krümmungslinie $C'(P)$ aus, die im Punkte P^* die Krümmungslinie $C(P)$ senkrecht schneidet.

Die beiden Scharen von Krümmungslinien $C(P)$ und $C'(P)$ bilden also auf F ein gewöhnliches orthogonales System von Krümmungslinien, das von der Nabelpunktkurve Γ schief durchsetzt wird.

Die beiden Brennflächen B und \bar{B} müssen sich längs der Kurve γ senkrecht treffen, ein Umstand, der schon Dupin bekannt war.

7. Die Eigenschaften der Nabelpunktkurve Γ ändern sich wesentlich, wenn man für die auf B gezeichnete Kurve γ eine Asymptotenlinie oder eine Grenzkurve von Asymptotenlinien wählt. In diesem Falle sind bei Durchführung der Konstruktion des § 4 die Schmiegungeebenen der beiden Kurven γ und $c(P)$ im Punkte P zueinander orthogonal. Die Krümmungslinien Γ und $C(P)$ schneiden sich infolgedessen senkrecht im Punkte P^* ; die Krümmungsradien der beiden Kurven Γ und $C(P)$ sind aber in diesem Kreuzungspunkte einander gleich, woraus folgt, daß die Kurve Γ wieder eine Nabelpunktkurve sein muß.

Da aber andererseits die Kurven $C'(P)$ orthogonale Trajektorien der Kurvenschar $C(P)$ sind, kann keine Kurve $C'(P)$ einen Punkt P^* enthalten, der auf Γ liegt. Durch jeden Punkt der

Fläche F gehen also jetzt immer genau zwei sich senkrecht schneidende Krümmungslinien. Durch das Vorhandensein der Nabelpunktskurve I wird keine sichtbare Singularität der Fläche F hervorgerufen.

Um ein Beispiel für diese Verhältnisse zu gewinnen, zeichne man auf einer Ringfläche die geodätischen Linien $c(P)$, die einen Kreis γ berühren, in dem die Ringfläche parabolische Krümmung besitzt. Nach dem Vorhergehenden müssen dann die Kurven $c'(P)$, die mit diesen geodätischen Linien ein konjugiertes Netz bilden, sich dem Kreise in spiralförmigen Windungen asymptotisch nähern.

8. Ist jetzt I eine beliebige Raumkurve, die keine sphärische Kurve ist, so bezeichne man mit γ eine beliebige unter ihren Filarevoluten und lege durch γ eine Fläche B , so daß γ keine geodätische Linie von B sei.

Dann kann man, indem man die Konstruktion der vorigen Paragraphen ausführt, Flächen F erhalten, auf welchen die gegebene Kurve I eine Nabelpunktskurve ist.

Je nachdem die Fläche B so gewählt ist, daß γ eine Asymptotenlinie von B ist oder nicht, wird I das System der Krümmungslinien $C(P)$ orthogonal oder schief durchqueren.

9. Wir wollen noch einige Worte sagen von den Flächen, die Monge im § 25 seines Buches untersucht hat, und bei welchen die Brennfläche B als abwickelbar angenommen wird.

Die Kurven $c'(P)$ müssen in diesem Falle mit den (doppelt gezählten) Erzeugenden dieser Torse zusammenfallen. Betrachtet man die Tangenten an die Kurven der Schar $c(P)$ der geodätischen Linien in den Punkten Q , wo diese Kurven eine der Erzeugenden treffen, so liegen alle diese Geraden in einer Ebene und umhüllen eine geodätische Linie, der zweiten Brennfläche \bar{B} , die wir mit $\bar{c}(P)$ bezeichnen wollen.

Nun bemerke man, daß, wenn man die Torse B auf ihre Tangentialebene längs der Erzeugenden $c'(P)$ so abwickelt, daß die Punkte von $c'(P)$ fest bleiben, die auf B gezeichnete geodätische Linie $c(P)$ in ihre Tangente durch Q transformiert wird. Die Kurve γ , die die Enveloppe der Kurven $c(P)$ ist, geht bei dieser Transformation in die Enveloppe $\bar{c}(P)$ der betrachteten Strahlen der Kongruenz über.

Wir haben also eine sehr einfache Konstruktion gefunden, durch welche die zweite Brennfläche \bar{B} erzeugt wird: man braucht nur die ebene Abwicklung $\bar{c}(P)$ der Kurve γ derart auf die Torse B rollen zu lassen, daß in jedem Augenblick die instantane Drehachse mit einer Erzeugenden $c'(P)$ von B zusammenfällt. Bei dieser Bewegung ist die Geschwindigkeit der Punkte von $\bar{c}(P)$ immer senkrecht zur Ebene dieser Kurve, und jeder Punkt R von $\bar{c}(P)$ beschreibt also eine orthogonale Trajektorie der Tangentialebenen von B .

Die Krümmungslinien $C'(P)$ unserer Fläche F sind als Evolventen von ebenen Kurven selbst eben, und man erhält die Krümmungslinien $C(P)$ der anderen Schar, indem man durch die verschiedenen Punkte von $C'(P)$ wiederum die orthogonalen Trajektorien der Tangentialebenen von B konstruiert.

Auf diese Weise findet man die Resultate von Monge mit sehr anschaulichen Mitteln wieder.

10. Sind umgekehrt die geodätischen Linien $\bar{c}(P)$, längs welcher die Strahlen einer Normalenkongruenz eine ihrer Brennfläche \bar{B} berühren, lauter ebene Kurven, so muß die andere Brennfläche B abwickelbar sein.

Im allgemeinen wird, wenn B eine Torse ist, die zweite Brennfläche \bar{B} längs der Kurve γ eine scharfe Kante besitzen.

Es gibt aber Fälle, wo die beiden Schalen von \bar{B} zusammenfallen. Ist z. B. die Torse B ein Kegel und liegt γ auf einer Kugel, deren Mittelpunkt mit der Spitze des Kegels zusammenfällt, so muß \bar{B} mit einem Teil dieser Kugel identisch sein.

Zur Erleichterung mancher Schwierigkeiten für den kleineren Bauernhof / Erster Teil

Von Paul Ehrenberg in Breslau

Erschöpfendes über die dem kleineren Bauernhof heut wünschenswerten Erleichterungen in solcher Weise zu bieten, daß dabei gleichzeitig ein klarer Überblick über deren mehr oder minder große Dringlichkeit gewonnen wird, und vor allem auch Mittel und Wege zur Hilfe, unter Berücksichtigung der zu erwartenden Hemmungen, zur Darlegung kommen, dürfte ein reichlich schwieriges Unterfangen sein. Andererseits ist der kleinbäuerliche Besitz (den die Statistik etwa mit 5—20 ha Größe erfaßt) in Deutschland derart weit verbreitet und nimmt¹⁾ mit 1 006 094 Betrieben, 9 848 085 ha Gesamt- und 81,9% davon landwirtschaftlich genutzter Fläche (8 262 581 ha) die ausgedehnteste Fläche alles landwirtschaftlich genutzten Bodens der verschiedenen Größenordnungen ein. Er wird zumal auch durch die Siedlung vor allem weiter gefördert, so daß es sich wohl lohnen dürfte, dieser so großen Zahl von darauf tätigen Volksgenossen jede denkbare Unterstützung angedeihen zu lassen. Hat doch auch unsere neue Regierung die grundlegende Bedeutung gerade dieses Standes deutlich hervorgehoben. So mag es auch zulässig sein, durch einen sicherlich unvollkommenen Versuch die Augen so mancher Kreise, denen diese Fragen sonst fernstehen, auf Verhältnisse zu richten, die wichtig genug erscheinen, von mehr als einer Seite beobachtet und geprüft zu werden. Der kleinere Bauernhof von 5—20 ha Ausdehnung und seine Leiter sind auch schon von anderer Seite her als ganz besonders kennzeichnend für den Bauern als solchen angesehen worden²⁾. Ihm gelten diese Darlegungen.

Die Schwierigkeiten, welche sich heutigen Tages dem kleineren Bauernhof und seinen beiden führenden Bewirtschaftern, dem Bauern und seiner Frau, entgegenstellen, möchte ich als solche der Lebenshilfsmittel und solche der Lebensführung selbst unterscheiden. Beide Gruppen begegnen uns immer wieder, wenn wir tiefer in das Bauernleben Einblick zu gewinnen suchen.

Hemmungen oder wenigstens Erschwerungen in der vorteilhaften Verwendung der Lebenshilfsmittel finden wir auf dem Gebiet der Zeit: freiwillige und unfreiwillige Zeitverluste. Sie spielen bei dem kleineren Bauern, dessen Handarbeit ja neben dem Land seiner Väter das wesentliche Mittel zur Erhaltung der Familie ist, eine um so größere Rolle, als man trotz mancher nicht nur in den letzten Jahren nach dieser Richtung hin aufgewendeten Sorgfalt doch leider nur zu oft erst von sehr zurücktretenden Erfolgen der Fürsorge auf diesem Gebiet zu sprechen vermag. Nicht weniger weist uns das Bereich der Kraft Verluste und unzweckmäßige Kraftaufwendungen in der kleinbäuerlichen Wirtschaft auf. Die mit ihnen zusammengehende, nutzlose Ermüdung von Mensch und Tier wirkt nicht nur im Augenblick als Erschwerung der Betriebe, sondern hindert auch weitgehend den Fortschritt in denselben, da sie die dafür maßgebenden Menschen stumpf und unfähig macht, Gedanken an selbst naheliegende Verbesserungen nachzugehen. Von manchem anderen Unterlassen, das gleichfalls sehr bedauerlich sein kann, abgesehen. Schließlich sind drittens auf dem Gebiet der Lebenshilfsmittel Stoffverluste in der kleineren, bäuerlichen Wirtschaft nichts Seltenes, seien es unwichtige oder gar zwecklose Aufwendungen an wertvollem Stoff, seien es Unterlassungen an Vorbeuge, die derartige Verluste nach sich ziehen. Was hier die sprichwörtliche Sparsamkeit der Bauern vermeiden hilft, wird leider oft durch Mangel an Wissen, seltener an Können, wieder wettgemacht. Dazu wirken die hier in Dreizahl hervorgehobenen Schwierigkeiten im Bereich der Lebenshilfsmittel recht oft sich gegenseitig bedingend, steigend und die Abhilfe erschwerend.

¹⁾ Statistik des Deutschen Reichs, 409, Landwirtschaftl. Betriebszählung, 50 und 55 (1928); absichtlich sind die Neubauern (Siedler) der letzten sechs Jahre nicht berücksichtigt.

²⁾ A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 1, 2 (1929).

Nicht anders steht es auf dem zweiten Gebiet, der Lebensführung selbst. Wenn ich auch hier der Einfachheit halber eine Dreiteilung vornehmen darf, ohne damit, wie auch sonst in diesem Aufsatz überhaupt, Vollständigkeit anstreben zu wollen, so ist als erste, sich vielfach sehr nachteilig auswirkende Hemmung der Mangel an Planmäßigkeit, an Überblick über die jeweils zu erledigenden Aufgaben, ferner das Unzureichende ihrer Einteilung je nach ihrer Wichtigkeit, hervorzuheben. Den im Laufe der Zeit auch für den kleineren Bauernhof immer verwickelter und schwieriger gewordenen Anforderungen so des täglichen Lebens, wie der Wirtschaftsführung, sucht der Bauer noch in gar zu vielen Fällen mit den Hilfsmitteln zu entsprechen, die unter den überaus viel einfacheren Bedingungen etwa seiner Großeltern noch ausreichen mochten: mit einem mehr oder weniger guten Gedächtnis und vereinzelt Notizen mit Kreide auf Bodenpfosten und Scheunentor, oft schwer zu enträtselnden Bemerkungen im Kalender oder in alten Schreibheften der Kinder. Kein Wunder, wenn dann wertvolle Erfahrungen verlorengehen, die Organisation der Wirtschaft leidet und herannahende Störungen aller Art nicht früher bemerkt und abgestellt werden, als bis ihre Beseitigung nur zu oft die vorhandenen Möglichkeiten übersteigt. — Zum zweiten sind Unterlassungen und Verluste auf dem Gebiet der Gesundheitspflege zu kennzeichnen, über deren Bedeutung kaum ein Wort zu verlieren ist, die aber bei dem als selbständiger Unternehmer tätigen Kleinbauern und seiner Familie ungleich bedeutungsvoller sein dürften als bei dem heute durch die verschiedenen Kassen sehr viel besser nach dieser Richtung hin geschützten Industriearbeiter oder Angestellten in der Stadt. Es wird nur der Erinnerung an den alten Erfahrungssatz bedürfen: „Der Bauer hat in der Ernte keine Zeit, krank zu sein“, um die hier obwaltenden Verhältnisse deutlicher sichtbar zu machen. Als dritter und letzter sei der gleichfalls die Lebensführung betreffenden Mangel an Wohlbehagen, häuslichem und sozialem Frieden und auch bescheidenem Lebensgenuß gedacht. Sie liegen ja gewiß häufig mehr in der Natur der Menschen begründet, werden aber sicherlich beim kleineren Bauern teils durch die bereits hervorgehobenen Hemmungen mit bedingt, teils sind sie mit seinem Beruf und seiner Lebensstellung, kurz gesagt, mit vielen Schwierigkeiten verbunden, die zwar gewiß nicht unlösbar zu seinem Bauerntum gehören, aber doch jedenfalls zur Zeit noch häufig damit zusammengehen.

Bei den nicht wenigen und gewiß sehr beachtlichen Versuchen, an der Beseitigung der mehr oder weniger schwer wiegenden Hemmungen mitzuhelfen, welche unseren kleineren Bauern in der soeben gekennzeichneten Richtung empfindliche Störungen seiner Berufstätigkeit wie seiner Lebensführung bringen, unterscheide ich zunächst nicht nach der Art der jeweils zu beobachtenden Betätigung, sondern vorher nach den beiden entscheidenden Teilnehmern an dem ganzen Lebenskreis, den der Bauernhof umschließt, nach Bauer und Bauernfrau. Auf sie und auf ihre Aufgaben von Morgen bis zum Abend müssen wir sehen, wenn wir versuchen wollen, die ihnen im Wege liegenden Steine vielleicht um ein geringes zu beseitigen. Dabei mag man nicht selten wohl zu der Ansicht gelangen, daß die Leistungen der Bauernfrau häufig ebenso wichtig oder gar wichtiger für das Bestehen des Hofes und seiner Familie sind als die des Mannes, obwohl darauf gar zu selten ausreichend geachtet wird. Erst in zweiter Linie mögen dann in der Einordnung unserer Erwägungen hier die Betätigungsgebiete zur Erwägung kommen.

Wir beginnen sonach mit dem Bauern, dessen Fürsorge der Hof in erster Linie anvertraut ist. Auch der kleinere Bauer steht auf den Schultern seiner Vorgänger, ist in deren Ansichten und Art aufgewachsen. Er ist durch Sitte und Brauch gebunden, in die er hineingeboren wurde, und zwar gar nicht selten stärker als der Stadtmensch oder der größere Bauer oder Landwirt. Denn häufig, vielleicht gar zu häufig, spielt sein ganzes Leben sich in engem Raum, in Dorf und Hof³⁾ ab. Seit der Heeresdienst den Bauernjungen nicht mehr regelmäßig in die Stadt entführt, seit auch die schwere Krise in der Landwirtschaft gerade dem Sohn des kleineren Bauern auch den Besuch landwirtschaftlicher Schulen nach Abschluß der gesetzlichen Schulpflicht sehr oft unmöglich

³⁾ Vgl. A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 2, 485 (1929).

macht, und ebenso die Arbeitslosigkeit auch weitgehend vorübergehende Betätigung in fremdem Brot erschwerte, ist trotz vieler Ausweitungen im Verkehr und Mitteilungswesen sowie trotz stärkerer Anteilnahme des deutschen Staatsbürgers am öffentlichen Leben eine gewisse Abschließung nicht der schlechtesten Kleinbauernfamilien zu beobachten⁴⁾. Gewiß wirken hier auch mancherlei andere Vorgänge der letzten fünfzehn Jahre mit. Die Erscheinung ist jedenfalls, in einem von mir nicht zu beurteilendem Umfang, häufiger zu beobachten. Das bedingt aber, daß sich Gebräuche und Vorurteile im alteingesessenen, kleineren Bauernstand stärker erhalten haben und auch noch jetzt erhalten⁵⁾, als häufig wünschenswert sein mag. Dazu kommt weiter, daß auch der natürliche Lauf der Dinge gerade dem Bauern manchen tief einschneidenden Zwang auferlegt. Als besonders bedeutsam hebe ich den Erbgang hervor. Seit durch die hervorragende Entwicklung der Heilkunde in den letzten hundert Jahren das Lebensalter der Durchschnittsdeutschen ganz erheblich heraufgesetzt worden ist und sich wohl über das fünfzigste Jahr hinaus erstrecken dürfte, hat auch der Hofbauer an Erhaltung seiner körperlichen Leistungsfähigkeit und Altersdauer wesentlich zugenommen. Das bedeutet aber, daß er fähig und natürlich auch in der Regel geneigt sein wird, seinen Hof länger zu verwalten, als vor Jahrzehnten seine Vorfahren. Für die Thronfolge, wenn wir diesen Ausdruck anwenden dürfen, ergeben sich derart auf dem Bauernhof die beiden Möglichkeiten, daß entweder der Altbauer seinen Hof noch abgibt, wenn er in voller Rüstigkeit noch gut arbeitsfähig ist und entsprechend auch meist noch sehr erheblich dazu neigt, einen eigenen Willen zu haben und durchzusetzen; oder der Hoferbe muß mit Heirat und Hofübernahme, was beides naturgemäß in der Regel zusammengehört, warten, bis vielleicht mit Mitte der sechziger Jahre der Altbauer dem Nachlassen seiner Leistungsfähigkeit entsprechend zur Übergabe geneigt ist oder stirbt. — Ganz sicherlich ist noch vor achtzig Jahren und mehr der Wechsel in der Führung der kleineren Bauernhöfe ein häufigerer gewesen, in einem Umfange, der wirklich allgemeine Bedeutung besitzt. Der Bauer war mit fünfzig Jahren meist ein alter Mann, der aufs Altenteil ging, das oft nicht lange dauerte⁶⁾, wenn er nicht bereits früher verstorben war. Daß Ausnahmen vorkamen, sogar in großer Zahl, besagt nichts gegen die Tatsache. Das Durchschnittsalter lag eben früher wesentlich niedriger. Soll doch bald nach dem Dreißigjährigen Krieg in den immer noch günstigere Lebenshaltung aufweisenden Adelsfamilien damaliger Zeit das Durchschnittsalter nur zwanzig Jahre betragen haben, für alle neugeborenen Kinder solcher Familien veranschlagt. Wenn auch sich bis zum Beginn des neunzehnten Jahrhunderts das Lebensdurchschnittsalter des Mannes auf dem Lande seitdem auch für den Kleinbauern erheblich gesteigert haben wird, so ist doch höchst wahrscheinlich der Anstieg der durchschnittlichen Lebensdauer zumal für den kleineren Bauern während der letzten achtzig bis hundert Jahre ein besonders erheblicher gewesen. Das führt zu der erwähnten Schwierigkeit zwischen dem Hineinwachsen des Hoferben ins Heiratsalter und der durch noch voll ausreichende, körperliche Rüstigkeit des Altbauern bedingten Abneigung, den Hof abzugeben⁷⁾. In manchen Gegenden hat sich daraus eine Bevorzugung des jüngstgeborenen Sohnes für die Anerbenstelle ergeben⁸⁾, doch sind mit diesem Brauch wieder andere Schäden verbunden, die teils bei, wenn auch ausnahmsweise, frühem Todesfall des Hofbauern, sonst aber auch beim Erscheinen eines Spätgeborenen und endlich durch Störungen des Friedens in der Familie große Bedeutung für das Schicksal des Hofes gewinnen können.—Es liegt nahe,

⁴⁾ A. Münzinger, Arbeitsertrag d. bäuerl. Familienwirtsch., 1, 422 (1929). Ebenda, 473.

⁵⁾ Ebenda, 2, 602/3, 609, 611/12. Weiter 2, 622, 651/2, 660/663. Auf Einzelhof vgl. 2, 540.

⁶⁾ Die vielen Streitigkeiten ums Altenteil sind bekannt. Vgl. weiter Münzinger, a. a. O. 2, 694/5.

⁷⁾ Von 14 in einer Veröffentlichung des Schweizer Bauernsekretariats jüngst zu genauen Feststellungen herangezogenen Bauernhöfen wird der eine von einem noch rüstigen Achtzigjährigen, ein anderer von einem Fünfundsiebzigjährigen geleitet! Landwirtschaftl. Jahrb., Schweiz, 47, 1177 und 1178 (1933); A. Münzinger, Arbeitsertrag d. bäuerl. Familienwirtsch., 1, 51 (1929).

⁸⁾ Mir gelegentlich aus Südhannover bekannt. — Vgl. auch A. Münzinger, Arbeitsertrag d. bäuerl. Familienwirtsch., 1, 413 (1929).

daß spätes Übernehmen des Hofes für den Jungbauern spätes Heiraten eines vermutlich ebenfalls älteren Mädchens bedingt, und daß solch „verspätetes“ Bauernpaar nun in der Regel weder reichen Kindersegen noch die für Hinaufwirtschäften des Hofes erforderliche Schwungkraft mehr wird aufweisen können. Dazu kommt, daß die ihm ohne Hilfe wenigstens halberwachsener Kinder verfließenden, schwersten Jahre des Bauern⁹⁾ ihn wie seine Frau schon in vorgeschrittenen Jahren vorfinden und entsprechend mehr belasten. Wenn es in gewissem Umfange möglich wäre, den Anerben schon früher, vielleicht in ähnlicher Gegend, als Neubauern (Siedler) mit ganz verschwindender Anzahlung unter der Bedingung ansässig zu machen, daß er bei Übernahme des eigentlichen Hofes einem seiner nachgeborenen Brüder den neuen Hof abträte, so würde vielleicht damit ein Weg zur Besserung zu finden sein, über dessen wirtschaftliche Durchführbarkeit aber auch noch keine Klarheit geschaffen wäre. Auch fehlt es nicht an sonstigen Bedenken, aber der zu behebende Nachteil ist doch wohl neue Erwägungen wert. — Daß bei Todesfällen, Kindtaufen, Hochzeiten nach alter Sitte des platten Landes die Feiern häufig größer gestaltet werden, als mit den wirtschaftlichen Verhältnissen des Hofes vereinbar scheint, ist bekannt. Gewiß ist jede solche Feier auch ein Band zum Zusammenhalten der Sippe, bietet zugleich zumal bei Patenschaften nicht selten eine Art von Sicherung für den späteren Lebensweg des Täuflings. Hier hängen der natürliche Lauf der Dinge und die alte Sitte eng zusammen. Aber oft wäre z. B. für das junge Bauernehepaar manches an Aufwendungen wichtiger als die unverhältnismäßig kostspielige Hochzeitsfeier, an der allerdings meist jung und alt zähe festhält.

Andere Umstände sind weniger in der natürlichen Entwicklung der Dinge gelegen als vielmehr in Standesanschauungen und Vorurteilen. Ich war vor wenigen Monaten erschüttert, in nächster Nähe einer Großstadt in einem neuen Dorf Geschehnissen gegenüberzustehen, wie sie vor fünfzig und mehr Jahren beliebter Stoff von Dorfromanen waren. Die Tochter des größten Bauern (etwa 150 Morgen) liebt einen Sohn des kleineren Bauern (etwa 40 Morgen), und obwohl der junge Mann zweifellos ebenso tüchtig wie gesund und kräftig und ein ehrenhafter Jungbauer ist, hindert der besitzstolze Vater die Eheschließung und steht dann nachher zu spät vor nicht wieder zu wendendem Unglück. — Wohl ist ein eigener Leistungen bewußter Stolz auf die von alters familieneigene Scholle und ihren Bereich sogar häufig recht nützlich gewesen und soll auch in gewissen Grenzen erhalten bleiben. Aber es gilt, hier und da noch manchen Unverstand zu beseitigen. Hoffentlich wird dies die stärkere Berücksichtigung des Wertes einer guten Vorfahrenlinie und gesunden Blutes von den Ahnen her etwas rascher zuwege bringen. Nicht weniger ist das Pochen auf den Besitz von Pferden oder auf die Zahl der Kühe im Stall häufiger ein schwerer Schaden. Unangebrachte Pferdehaltung vermag gerade beim kleineren Mann auf dem Lande den sonst vielleicht herauszuwirtschaftenden Überschuß, der für die nachgeborenen Kinder und knappe Zeiten eine Rücklage sein könnte, aufzuzehren, oder auch alljährlich eine neue Summe zu den alten Schulden hinzuzufügen. (Sogar bei für Forschungszwecke benutzten, also zweifellos in mehr als einer Hinsicht sich aus der großen Menge der Betriebe heraushebenden Bauernhöfen der Schweiz fand ich unter der geringen Anzahl von Betrieben einen, bei dem bemerkt war, daß das Ergebnis der an sich recht lobenswerten Wirtschaft von 10,84 ha dadurch beeinträchtigt wird, daß anstatt eines Pferdes mit Ergänzung durch Rindviehzug deren zwei gehalten werden¹⁰⁾). Auf die häufigen Äußerungen Münzingers hinsichtlich der zu starken Pferdehaltung kleinerer Bauern genüge hier ein Hinweis¹¹⁾. Mehr Kühe aber, als sie der Hof ausreichend zu ernähren vermag, bringen Minderleistungen, Krankheiten und hemmen den Fortschritt¹²⁾, für den auch an diesem Punkte noch zumeist viel Raum wäre. Daß außerdem mit der Zahl der Tiere auch die von ihnen bedingte Arbeit wächst, ohne daß unter solchen Umständen auch die Leistungen zunähmen, bedarf kaum der Erwähnung. Das so nicht selten

⁹⁾ A. Münzinger, Bäuerliche Wirtschaftsberatung. Berichte über Landwirtschaft 71, 85 (1933).

¹⁰⁾ Landwirtschaftl. Jahrb., Schweiz, 47, 1178 (1933).

¹¹⁾ Bäuerliche Maschinengenossenschaft Häusern, R. K. T. L.-Schriften 54, 25/27 (1934).

¹²⁾ A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft 2, 603 (1929).

stärker hervortretende Hinneigen zu einem „Mehr scheinen als sein“ beim Bauern wird sehr bedenklich in Zeiten niedergehenden Wohlstandes, wo ein derart gepflegter, bäuerlicher Luxus eben nicht mehr tragbar erscheint. Wirtshaus- und Marktbesuch, überhaupt alles, was den Bauern mehr als irgend unvermeidlich oder unmittelbar für seinen Betrieb und seine Familie nützlich aus Haus und Hof hinauslockt, haben nach dieser Richtung hin ihre schweren Bedenken. Das weiß jeder, der mit Bauern zusammen gelebt hat, obwohl der Hauptnachteil solcher Vorgänge auf einem erst später zu behandelnden Gebiet gelegen ist.

Es ist nicht möglich, in dieser als Einleitung zu den für den Bauern in seiner Tätigkeit auf dem Hof erwachsenden Hemmnissen gedachten Darlegung alle die Umstände hervorzuheben, welche durch Verhältnisse, Sitten und Gebräuche für ihn bedeutsam werden und nicht selten gefährlichen Einfluß auf seinen Lebensweg und auf das Gedeihen der Wirtschaft ausüben. Es sollte nur gezeigt werden, daß auf diesem, der Einwirkung von dritter Seite sich nur sehr schwer eröffnenden Gebiet auch nicht Weniges auf Änderung harret, so weit es unserer Zeit gelingt, dieselbe anzubahnen. Je mehr es wieder möglich wird, den kleineren Bauern in leidlich günstige Lebensbedingungen zu bringen, um so stärker sollte man auch versuchen, auf diesem Gebiet je nach den Besonderheiten der einzelnen Gaue den oft zunächst nicht so deutlich hervortretenden Unzulänglichkeiten bessernd nachzuspüren. Nur eines an sich lobenswerten Zuges beim alleingesessenen Bauern sei noch zum Schluß gedacht: Die Arbeit wird, wie in einer Veröffentlichung des Schweizer Bauernsekretariats¹³⁾ die Fassung heißt, „nach alter Väter Sitte besorgt¹⁴⁾ und sehr oft zu langsam und zu exakt ausgeführt“. Das ist auch in Deutschland nicht selten zu bemerken¹⁵⁾. Da wird das Winterholz aufgeschichtet, als sei eine für Jahrtausende bestimmte Pyramide zu erbauen. Bei der Heuernte darf auch nicht ein Halm auf der Wiese liegenbleiben, wobei vielleicht ein anderes Wiesenstück infolge der Verspätung dem Verderben durch Regen anheimfällt; die Getreidebunde werden sorgfältiger als Lein gleichgeordnet und aufgestellt und ähnliches mehr. Wenn von vierzehn Beispielsbetrieben einer genauen Auswertung der wirtschaftlichen Verhältnisse in der Schweiz, die nahezu sämtlich sonst recht gut zu beurteilen sind, sich sieben Bauernhöfe am genannten Ort finden, in denen „die Organisation etwas besser sein könnte . . . die Arbeiten bisweilen etwas zu exakt besorgt . . . die Arbeiten sehr exakt und mit Besonnenheit ausgeführt werden . . . die Betriebsleitung einen etwas altväterischen Zug aufweist“, oder dergleichen, so kann man sich hernach nicht wundern, wenn z. B. „im Heuet und Emdet (Heuernte und Grummeternte)¹⁶⁾ sehr lange und streng gearbeitet werden muß“. Von anderen Übelständen abgesehen, bringt derartiges aber Übermüdung und Mißmut bei mitarbeitenden Kindern und Gesinde hervor¹⁷⁾. Von solcher Überpeinlichkeit ist dann nur noch ein Schritt dazu, daß man, um nur ja den Hofbesitz zusammenzuhalten und dem Nachbar nicht irgendwelche Anteilmöglichkeit zu geben, wohl auch um Streitigkeiten mit ihm zu vermeiden, die oft langen und schmalen Teilstücke nicht bis zur Grenze düngt, beim Pflügen aber das Land stets zusammenpflügt, nie aber auseinander, damit die gute Ackererde nicht in die Grenzfurche fällt. So ergeben sich recht nachteilige, hochgewölbte Beete, und im Württembergischen bis dreiviertel Meter breite, begraste Grenzraine, ein ständiger Unterschlupf für allerlei Ungeziefer¹⁸⁾. — Damit seien die Beispiele abgeschlossen, die jeder mit dem Leben der kleineren Bauern Vertraute noch erheblich zu vermehren vermag.

¹³⁾ Landwirtschaftl. Jahrb., Schweiz, 47, 1179 (1933).

¹⁴⁾ Ebenso K. W. Krämer, in A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 1, 70 (1929); R. Grau, ebenda 412; ferner am gleichen Ort 429, 446/7, 499/502.

¹⁵⁾ A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft 1, 365 (1929).

¹⁶⁾ Vgl. auch A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 1, 63 (1929); ebenda, 103, 136; 2, 475, 668/9, 723.

¹⁷⁾ A. Münzinger, a. a. O., 2, 622/3. Die Kinder bleiben häufig jahrelang ohne Lohn, ebenda 2, 785 (1929).

¹⁸⁾ A. Münzinger, Deutsche Landwirtschaft, 290 (1932).

Nach dem Bauern selbst und naturgemäß für unsere Behandlung mehr Raum beanspruchend, sei der Betätigung der Bauern gedacht. Wir berücksichtigen zunächst die Bewirtschaftungstätigkeit im allgemeinen, dann die Gewinnung pflanzlicher Erzeugnisse mit der besonders wichtigen Düngung, weiter die Erzielung tierischer Nutzgüter mit der dafür vor allem bedeutungsvollen Fütterung, zum Schluß die Verwertung und den damit zusammengehenden Überblick über den Erfolg des ganzen Betriebes.

Der schwerste Nachteil für den kleinen Bauern ist die noch bei weitem nicht in ausreichendem Umfange verbesserte Streulage seines Besitzes. „An ihr läuft sich der ganze Bauernfleiß tot!“¹⁹⁾ Nach Untersuchungen des mit Hilfe der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft eingerichteten Landarbeitsringes Ludwigsburg wurde festgestellt, daß in zerstückelten landwirtschaftlichen Betrieben der durch die übermäßige Zerlegung und ähnliche Schäden bedingte nutzlose Leerlauf der Arbeit bis zu 54% der Arbeitszeit beträgt! Ein im Oberamt Herrenberg von Münzinger in einer bereits der Feldbereinigung unterworfen gewesenen Gemarkung untersuchter Betrieb von 30,21 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche hat 162 Flurstreifen. Die Gesamtentfernung aller dieser Teilstücke vom Hof beträgt 206 km. Wenn es dem Besitzer einfallen würde, einmal von seinem Hof auf jedes Teilstück und wieder zurückzugehen, so hätte er 412 km zurückzulegen. Welche Zeitverschwendungen, welche nutzlosen Anforderungen an die Kraft des einzelnen stellen solche Zersplitterungen des Bauernlandes dar?²⁰⁾ Ein ähnlicher Württembergischer Betrieb von 20 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche bietet uns „nur“ 67 Flurstücke. Bei Besichtigung seines Besitzes würde der Bauer dort daher nur 131 km zurückzulegen haben. Dafür hat er ja auch ein Drittel weniger Land²¹⁾. Am schroffsten zeigen sich aber diese Zusammenhänge an dem Beispiel, das diese ganzen Ermittlungen wohl neuerdings mehr angeregt hat, der Feststellung, daß auf dem Bauernhof Römerkessel in Oberschwaben mit 15,5 ha Fläche die beiden Außenländereien von je 3,27 bzw. 3,63 ha, — es kommt also bei weitem nicht besonders große Zersplitterung des Besitzes in Frage²²⁾, — im Durchschnitt der Jahre für Leerlauf von Mensch und Tier jährlich 216 Mark Kosten bedingen, also 13,9—25,5% des Erntewertes²³⁾! Von den diesen Hof bearbeitenden Menschen müssen in jedem Jahre durchschnittlich 1323 km, von den Pferden 1123 km, die ersteren für die Menschen natürlich zu Fuß, zurückgelegt werden, um diese beiden 6,9 ha großen Außenschläge zu bewirtschaften. Das ist die 24fache Entfernung von dem Hof Römerkessel bis zur Landeshauptstadt München. Auf dem Kreis, der um Römerkessel mit diesem Radius von 1323 km geschlagen wird, liegen Stockholm, Odessa, Madrid! Rund ein Fünftel des Wertes der auf den Außenschlägen gewonnenen Ernte wurde somit lediglich durch die Überwindung der Entfernung der Schläge vom Hof aufgebraucht²⁴⁾. — Weiter sei erwähnt der sehr große Nachteil zu kleiner Feldstücke bei den Bestellungs- und Erntearbeiten. Der jährliche Kostenaufwand je ha landwirtschaftlich genutzter Fläche stellte sich in Hessen, menschliche und tierische Arbeit zusammen:

unter 0,25 ha	0,25—0,50 ha	0,5—1,0 ha	1—2 ha	2—5 ha	über 5 ha	Feldstückgröße ²⁵⁾
auf 768,9	574,2	519,9	499,5	374,4	351,9	Reichsmark,

Ferner die Schwierigkeit, ja Unmöglichkeit einer regelmäßigen vergleichenden Beobachtung der verschiedenen Feldstücke zwecks Beurteilung der jeweils einzuhaltenden Reihenfolge bei der

¹⁹⁾ A. Münzinger, Berichte über Landwirtschaft 71, 88 (1933).

²⁰⁾ A. Münzinger, Bäuerliche Maschinengenossenschaft Häusern, R. K. T. L.-Schriften, 54, 8 (1934).

²¹⁾ A. Münzinger, Deutsche Landwirtschaft, 292 (1932).

²²⁾ Weitere Angaben noch bei A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, z. B. 2, 33, 35 u. f. (1929).

²³⁾ H. Gmelin, Römerkessel. Berichte über Landwirtschaft, neue Folge, 23, 180 (1930).

²⁴⁾ A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 1, 134/5, 211, 335/6, 359, 476, 482, 491, 527, 562, 602/3, 613/5, 653, 827.

²⁵⁾ Württemb. Wochenbl. Landwirtsch. 1929, Nr. 13; vgl. weiter A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 1, 322 (1929).

Bearbeitung, Verhütung von Schäden und dergleichen²⁶⁾. Dazu kommt bei Waldlagen vermehrte Beschattung²⁷⁾. Und die Feldbereinigung, die Verkoppelung? In Niederschlesien ist nach der bisherigen Entwicklung der voraussichtliche Abschluß der Feldbereinigung in einhundertunddreißig Jahren zu erwarten. In den Provinzen Sachsen und Hessen-Nassau, die am weitesten fortgeschritten in diesem Kulturwerk sind, binnen 35 Jahren. In Bayern wird man noch 165 Jahre warten müssen, in Baden 160, in Württemberg 110 Jahre. Nur Sachsen (der bisherige Staat) wird schon in 30 Jahren, Sachsen-Altenburg in 10 Jahren damit zum Ende gelangen. Über manche kleineren Gaue sind mir Zahlen nicht bekannt²⁸⁾. Ein Fachmann wirft bei Erwägung dieser betrüblichen Tatsachen aus der Grundlage des Lebens unserer kleineren Bauern die Frage auf, ob beim Abschluß man nicht vermutlich wieder gleich neu mit der Feldbereinigung würde anfangen können, da dann die bisherigen Erfolge voraussichtlich irgendwie in der Länge der Zeit wieder beeinträchtigt worden sein würden oder an Wert verloren hätten?²⁹⁾ Freilich, der Bauer selbst³⁰⁾ erkennt nur zu oft den Nutzen derartiger Maßnahmen erst dann an, wenn er ihre Wohltat einige Jahre genossen³¹⁾ hat. Von ihm ist wohl meist keine Anregung zur Besserung zu erwarten. Zu sehr tritt dabei sein Hang zum Altererben und zum äußersten Festhalten des nun einmal ihm gehörigen Besitzes hervor. Tugenden, die hier ins Nachteilige umschlagen. Vor etwa 200 Jahren wurde in Süddeutschland eine sehr tiefgreifende Feldbereinigung³²⁾ ziemlich rasch durchgeführt, freilich nur teilweise, und ließ eine ganze Anzahl von Einzelgehöften inmitten ihrer Felder erstehen. Werden wir auch rasch helfen können? — Es bedürfte dieser Darlegungen kaum, um auf einen ganz grundlegenden Nutzen der neuen Erbhofgesetzgebung hinzuweisen. Aber es wird noch erforderlich sein, die alten Schäden der Grundzersplitterung zu beseitigen, um viel schwere Bauernarbeit, besonders des kleineren Besitzers, erst wieder nützlich zu machen. Hier kann, wie der große Friedrich ohne das Blut eines einzigen Soldaten im Warthebruch eine Provinz gewann, so auch die neue Zeit allein aus fortfallenden Grenzfurchen und Feldrainen und deren Nachteilen³³⁾ im Lauf der Jahre eine neue deutsche Provinz erobern, dazu aber für Hunderttausende fleißiger Kleinbauern viele, bis jetzt nutzlos geleistete Stunden einer Zwangsfron für die Streulage beseitigen. — Daneben wird außerdem jeder Versuch zu begrüßen sein, mit zeitgemäßen und an die Möglichkeiten des Bauern angepaßten Mitteln auch vor Durchführung einer wohl-erwogenen und sachgemäßen Feldbereinigung die schlimmsten Nachteile der Grundstückszersplitterung zu bessern. Man darf von diesen Dingen nicht sprechen, ohne der Arbeiten von A. Münzinger in der Gemarkung Häusern zu gedenken³⁴⁾. Auch die mit der Unbefangenheit des Krieges in Belgien über Grenzraine und Wege hinweg betriebene Landwirtschaft kommt uns in Erinnerung, ebenso alte Gemeinbindungen in der Landwirtschaft. Ob man nicht vielleicht gewisse Erfolge erreichen könnte, wenn man einen geeigneten Mann, sagen wir, einen tüchtigen Ortsbauernführer, bevollmächtigen würde, auf zweckmäßigen Austausch leidlich vergleichbarer Teilstücke in stark zerteilt liegenden Dorffluren bedacht zu sein, der dann ohne große Umständlichkeiten etwa

²⁶⁾ Vgl. A. Münzinger, *Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft*, 1, 110, 2, 519 (1929).

²⁷⁾ Ebenda, 148.

²⁸⁾ R. K. T. L.-Schriften, 54, 11 (1934).

²⁹⁾ *Berichte über Landwirtschaft*, 71, 88 (1933).

³⁰⁾ Ebenda, andere Ansichten aber bei O. Sommerer, vgl. A. Münzinger, *Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft*, 2, 533 (1929). Bayern hat übrigens im vergangenen Jahre nach dieser Richtung durch ein Gesetz über die beschleunigte Durchführung von Flurbereinigungen vom 7. 12. 1933 (G. V. Bl. Seite 483) einen beachtlichen Schritt voran getan.

³¹⁾ Gelegentlich haben aber auch offenbar erfolgte Flurbereinigungen das Verfahren in der Umgebung in schlechten Ruf gebracht. Vgl. z. B. ein Beispiel *Zeitschrift Pflanzenernährung, Düng., Bodenkunde*, 37, 339, Anmerk. 53, (1935).

³²⁾ A. Münzinger, *Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft*, 2, 694 (1929).

³³⁾ R. K. T. L.-Schriften, 54 (1934).

³⁴⁾ A. Münzinger, *Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft*, 2, 737 (1929); A. Münzinger, *Deutsch. Landwirtschaft*, 290 (1932).

beim Kreisbauernführer durch wechselseitige Erklärungen der Besitzer vollzogen und durch diese Stelle beim Grundbuchamt beurkundet würde; möchte ich wenigstens hier anregen. Die am günstigsten gelagerten Fälle wären so zu bessern, das Beispiel dürfte Anregungen geben, und derart wäre ziemlich rasch wenigstens ein teilweiser Fortschritt zu erreichen. Soweit man alles ganz praktisch, mit Umgehung jeder sonstigen Amtsstellen, durchführen würde, könnte auch das übliche Mißtrauen der Bauern gegen die Gerichte und Ämter umgangen werden. Jeder Zwang, auch wohlwollender Druck, müßte unterbleiben, nur das Beispiel einsichtiger Dorfgenossen allein hätte zu wirken. Das würde natürlich eine ordnungsmäßige Feldbereinigung durchaus nicht ausschließen oder gar entbehrlich machen, nur ihre Vorteile für einsichtige Bauern zum Teil früher reifen lassen, als die verfügbaren Mittel es sonst erlauben. Selbstverständlich müßte die Erbfolgegesetzgebung für derartigen Grundstückstausch die erforderliche gesetzliche Genehmigung bieten. — Eine zweite, oft recht schwere Hemmung für das Vorwärtkommen des Bauern ist die bald zu geringe, bald zu große Zahl von mit dem Hof zusammengehörigen Arbeitskräften. Wachsen beim kleineren Bauern, wie wir das unseres Volkes halber heiß wünschen, zahlreiche muntere Kinder heran, so ist die dadurch zunächst bedingte Mehrarbeit sehr erheblich; mehr für die Bäuerin, wie wir später sehen werden, aber auch für den Bauern, der doch diese Schar ernähren soll. Für je zwei oder drei Kinder könnte er einen Knecht oder eine Magd halten. Er wird dies häufig unterlassen, weil dafür wegen der Ausgaben für die Kinder die Mittel nicht übrigbleiben. Hier ist also mehr Arbeit bei geringerer Möglichkeit, geeignete Arbeitskräfte zu beschaffen, zu verzeichnen³⁵⁾. Wenn später die Kinder der Schulpflicht entwachsen sind, liegt die Sache umgekehrt. Vielleicht sind ein halbes Dutzend, hoffentlich noch mehr kräftige, arbeitswillige Menschen von 16—26 Jahren da. Der Hof kann, selbst wenn der Bauer durch Verbesserungen und Leistungssteigerung aller Art, auf die sich nicht jeder versteht, erhöhte Arbeitsgelegenheit³⁶⁾ zu schaffen sucht, all diese Hände nur selten das ganze Jahr hindurch ausreichend beschäftigen. Waldbesitz kann hier recht nützlich wirken, da ihm dann mehr Pflege gewidmet werden kann³⁷⁾. Dabei ist ebensowohl eine Intensivierung der Wirtschaft, um dies Fremdwort einmal anzuwenden, mit Bezug auf die Arbeitsgelegenheit unter Umständen durch die Fähigkeit des Bauern selbst begrenzt, wie durch die Lage zum Markt, das Klima und den Boden, durch die zu beschaffenden Geldmittel und anderes. Gehen dann aber, oft nur der Not gehorchend, die Kinder fort, um anderwärts Arbeit zu suchen, so kann sich beim Älterwerden der Bauersleute die Lage mit zu wenig Arbeitskräften wiederholen³⁸⁾, da die günstigenfalls leichteren Verdienst unter angenehmeren Bedingungen gewöhnt gewordenen Kinder nur dann zurückkehren werden, wenn schwierige Verhältnisse sie vielleicht aus ihrem Brotverdienst herauswerfen. Dann aber werden sie nur zu oft nicht mehr zum Knecht oder zur Magd auf dem Lande geeignet sein.—Daß die Abneigung, sich noch als Erwachsene dem älter werdenden und vielleicht nicht immer tüchtigeren Vater dauernd unterzuordnen, für Söhne einen Grund zum Verlassen des Hofes bieten kann, ebenso entsprechend für Mädchen gegenüber der Mutter, ferner zweite Heiraten des Bauern und dergleichen, bedarf nicht der Erwähnung. Bestehen bleibt die Tatsache, daß die durch die Natur der menschlichen Entwicklung bedingte Änderung der auf einem kinderreichen Hof binnen zweier Jahrzehnte zur Verfügung stehenden Arbeitskräfte eine sehr ernsthafte Sache für die Entwicklung der bäuerlichen Wirtschaft ist. In ganz entsprechender Weise sind durch die in den letzten Jahrzehnten angestiegenen Altersmöglichkeiten die Lasten

³⁵⁾ Berichte über Landwirtschaft, 71, Neue Folge, 85 (1932). — R. K. T. L.-Schriften, 54, 74 (1934). — A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 2, 538/9, 610, 624.

³⁶⁾ Vermindert ist dieselbe in Süddeutschland, ja, bis in die Mark hinauf, wo ich noch selbst als Knabe Reste von Weingewinnung und Selbstausschank kennen lernte, durch das auffällige Zurückgehen des Weinbaues in den letzten Jahrhunderten. Vgl. auch A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 1, 237 (1929).

³⁷⁾ A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 1, 435 (1929.)

³⁸⁾ A. Münzinger, Arbeitsertrag d. bäuerl. Familienwirtschaft, 1, 118 (1929). Weiter 190, 227, 338, 340, 435.

für den Hof gewachsen, welche durch die Altenteiler, also die im Ruhestand lebenden Eltern des Bauern, bedingt sind. Dazu kommen gelegentlich unverheiratet gebliebene, wohl auch kränkliche und wenig arbeitsfähige, zumal weibliche Geschwister desselben. Zunächst sind dies, vom wirtschaftlichen Standpunkt betrachtet, häufig willkommene Arbeitskräfte, wenn auch zumeist keine vollwertigen, denn ebenso bleibt die körperliche Leistungsfähigkeit oft zurück, wie nicht selten eine durch die Verhältnisse erklärliche Spannung gegen die von außen in den Hof gekommene Bäuerin eine volle Entwicklung der Arbeitsmöglichkeiten beeinträchtigt. Trotzdem kann der Hof zunächst Nutzen haben. Tritt dann aber mit den Jahren Hinfälligkeit und Pflegebedürftigkeit ein, so wird die schon zuvor durch die Unterhaltsverpflichtung vorhandene Belastung drückend. Das ist alsbald der Fall, wenn Uneinigkeit oder auch schon früh einsetzende Krankheit in Betracht kommen.

Unsere neue Hofgesetzgebung hat einen ganz wesentlichen Vorteil für die Erhaltung des Hofes dadurch geschaffen, daß die Belastung der Jungbauern mit Kapitalanteilen und entsprechend daraus zu zahlenden Zinsen für die Geschwister aufgehört hat. Dafür bleibt aber die ja auch ganz den natürlichen Empfindungen gemäße Verpflichtung der Eltern übrig, für die am Hof nicht beteiligten Kinder das Geld für eine anderweitige Ausbildung zu schaffen, den Mädchen eine angemessene Aussteuer zu sichern und womöglich für jüngere Söhne den Grundstein zu einer Neubauernstelle zu legen. Das wird wieder für viele Verbesserungen und Ausweitungen der Arbeitsmöglichkeit auf dem Hofe hemmend sein, da die derart sich geltend machenden Aufwendungen für die nicht erbenden Kinder selbstverständlich zumeist vom Hof abfließen. Je weniger es gelingt, auf dem Hofe wahres, altes Bauerntum mit seiner frommen und festen Gesinnung zu erhalten, um so bedenklicher werden sich diese an sich in der natürlichen Entwicklung der Familie liegenden Umstände entwickeln können. Auch früher war es schon häufiger schwierig zu erreichen, daß ein jüngerer Bruder als erster Knecht auf dem Hofe des Jungbauern zum Nutzen des Hofes und der Familie tätig war. — Gelegentlich, nämlich beim Neubauern, beim Siedler, tritt zu den Schwierigkeiten des mit der sich entwickelnden Familie wechselnden Bestandes an Arbeitskräften auf dem Hofe die Erscheinung hinzu, daß der Neubauer natürlich für die ersten Jahre nach Übernahme der neuen Wirtschaft Zeit braucht, um sich einzuarbeiten, sich überhaupt in die häufig fremde Umgebung und mit den fremden Nachbarn einzupassen. Man schätzt diese „Anlaufzeit“ für neue Höfe auf sechs Jahre³⁹⁾. Da sie nicht selten mit den ersten, durch Kindersegen erheblicher erschwerten Ehejahren des jungen Bauernpaares zusammentreffen, können sie eine bedenkliche Belastung darstellen, — oder sie führen leider zunächst zu gewollt⁴⁰⁾ geringer Kinderzahl, die dann nur zu leicht auch dauernd bleiben kann. Die hier zur Verhandlung stehende Tatsache des oft in wenigen Jahren stark schwankenden Vorhandenseins von Arbeitskräften auf dem Hof des kleinen Bauern führt sehr häufig dazu, daß fast ungemessenes Streben nach Ausdehnung der landwirtschaftlich genutzten Fläche durch Anpachtung auftritt. Eine andere Form, vermehrte Arbeitskräfte zu beschäftigen, ist nicht selten für den Bauern zu wenig im engeren Vorstellungskreise gelegen, und um Kinder als Gesinde in andere Häuser zu schicken ist er mehr und mehr zu stolz geworden. (Schon Fritz Reuter hebt gelegentlich hervor, daß zu seines Vaters Zeiten noch Töchter von Dorfschulzen Gesindestellen annahmen, also muß das während der eigenen landwirtschaftlichen Erfahrungen dieses deutschen Dichters schon ungewöhnlich gewesen sein.) Bei dem derart nicht seltenen, starken Wettbewerb um nur wenig verfügbares Pachtland kommen dann Zahlungen zustande, die zum Teil auch dem Nichtnachgebenwollen des Bauernstolzes bei Ausbietungen entspringen und weitaus zu hoch gehen⁴¹⁾. Der erhoffte Vorteil wird derart nicht selten zu einem Schaden für Hof und Familie. Dagegen ist ja unzweifelhaft ein gesunder Kern in der Abneigung des nur mit zu wenig Familienarbeitskräften

³⁹⁾ E. Lang, Berichte über Landwirtschaft, 17, H. 4, neue Folge, 583 (1933).

⁴⁰⁾ A. Münzinger, ebenda, 71, Neue Folge, 85 (1933). Derselbe, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 1, 243 (1929).

⁴¹⁾ A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerl. Familienwirtsch., 1, 45 (1929); ebenda, 182, 245; 2, 606/7.

versorgten Bauern gelegen, deshalb doch kein Stück Land auch nur vorübergehend in fremde Hände zu geben. Freilich, der Nachteil überwiegt in solchen Fällen häufig doch, indem Überlastung der vorhandenen Arbeitskräfte mit unzulänglicher Erledigung dringender Aufgaben zusammengehen kann. Den Schaden trägt letzten Endes dann meist die Frau, wie wir noch sehen werden. —

Überaus wichtig ist für den kleineren Bauern in seiner Bewirtschaftungstätigkeit weiterhin eine geeignete Führung. Freilich, geeignet muß sie sein. Von selbst wird sie zum Teil durch das Vorhandensein größerer Bauernhöfe oder auch größerer Güter in näherer Nachbarschaft der kleineren Bauern geboten. Hier erhält er freilich nicht immer die Führung auf dem Gebiet der gesamten Technik der Wirtschaft, wie sie gerade für ihn angepaßt ist, doch vermag sich gesunder Bauernsinn zumeist so viel Nützliches aus den Verfahren eines gut geleiteten, größeren Betriebes anzueignen, daß dieser Vorteil gar nicht zu unterschätzen ist. Aber es ist in der Regel nur eine bedingt nützliche Führung in technischer Hinsicht. Auf wirtschaftlichem Gebiete, also für die Betriebsführung, für rechnerische Ermittlungen, für Kauf und Verkauf, Verbesserungen größeren Umfanges und für alles, wobei nicht der Bauer, sondern die Bauernschaft eines Ortes oder gar eines etwas größeren Bezirkes vereint auftreten muß, kann aus erklärlichen Gründen nur wieder ein Bauer der Gegend der geeignete Führer der Kleinbauern sein oder jemand, der mit dem Kleinbauernstande dort seit langen Jahren eng verwachsen ist. — Nur sehr selten wird ein Bauer selbst diese Führerstellung einnehmen können oder wollen. Zeitmangel, zu erwartende Widerstände, nicht zum wenigsten die schwierige Wirtschaftslage, die auch dem noch leidlich feststehenden Hofeigner eine solche Verwendung seiner Kraft für die Allgemeinheit bedenklich erscheinen läßt und noch manches andere, auch die Aufgaben der Familie, sind hinderlich. Vielleicht könnte der in den Vereinigten Staaten von Nordamerika für die dortigen Farmer, die doch schließlich auch Bauern sind, bewährte Gebrauch, sogenannte „county agents“ als landwirtschaftliche Kreisberater anzustellen, auch für Deutschland von Nutzen sein. Ich habe ebenso wie Herr Professor Dr. K. Maiwald-Hohenheim vor etwa sieben Jahren beobachten können, daß ein Diplomlandwirt in dem landwirtschaftlich gewiß ziemlich ungünstig gelegenen und wesentlich Bauernbesitz geringerer Ausdehnung aufweisenden Waldenburger Land in Mittelschlesien bei leidlichem Verständnis für derartige Dinge und viel gutem Willen, auch ohne selbst aus einem Bauernhof zu stammen, sehr segensreich in einer hauptamtlichen Tätigkeit zu wirken vermochte⁴²⁾. Wir sind beide davon überzeugt, daß nach etwa zwei Jahren des Sicheinarbeitens die Aufwendungen für einen derartigen Wirtschaftsberater für kleinere Bauernhöfe völlig, und im Laufe der Jahre in ihrem Vielfachen, sich durch den Fortschritt der bäuerlichen Wirtschaften vergüten würden. Freilich müßte zugleich mit derartiger Bauernberatung auch eine, wenn auch nur knapp bemessene Möglichkeit der Geldbeschaffung vorhanden sein, denn leider gibt es wohl keinen irgendwie erwähnenswerten Fortschritt, der nicht zunächst mit gewissen Mehraufwendungen verbunden wäre. Wenn Maiwald jetzt für Württemberg einen mit ausreichender Anzahl von Gebietsberatern versehenen Landesberater für Boden- und Düngungsfragen fordert, so dürfte es vielleicht ratsam sein, derart den Aufbau zu beginnen. Das Ziel muß aber sein, den kleinen Bauern durch sich an ihn wohl anpassende, hauptamtliche Wirtschaftsberater, die vielleicht hierzu eine Sonderausbildung nach erledigtem Diplomexamen genießen müßten, ausreichend auf allen Gebieten zu beraten. Dazu eignen sich jüngere, tatkräftige und gegen Witterung und Mühe unempfindliche Männer, die bei gediegener praktischer und akademischer Ausbildung durch das große Ziel einer Förderung unseres Bauernstandes angelockt werden. Später, etwa nach vollendetem 45. Lebensjahr oder noch früher, müßten die besonders bewährten aus der Zahl dieser Berater dann in leitende Stellen aufrücken, die anderen aber irgendwie versorgt werden können, wo ihre Erfahrungen noch Nutzen bringen. Denn in Wind und Wetter stets den Bauern

⁴²⁾ Mitteilungen aus der Landwirtschaft, 49, 994 (1934). Leider findet sich der fragliche Absatz nicht voll in der eigentlichen Zeitschrift, sondern nur in Sonderabdrucken des Aufsatzes, da es an Raum mangelte.

seines Bezirks zur Verfügung zu stehen, ist ein anstrengender Beruf und wird nicht über eine gewisse Altersgrenze hinaus ausgeübt werden können. — Auf diesem Wege, der in Einzelheiten gewiß noch verbesserungsfähig sein wird⁴³⁾, könnte man unseren kleineren Bauern geeignete Führer geben. Männer, die sowohl auf dem Gebiet der Pflanzenerzeugung und Düngung wie auf dem der Tierhaltung und noch sonst mannigfaltigen anderen Nutzen bringen und gleichzeitig die Augen der Regierung sein könnten, um Schäden zu beobachten und über dieselben zu berichten, welche ein irgendwie geartetes Eingreifen der Gesetzgebung als erforderlich zu erweisen scheinen. Das Entscheidende würde indes immer sein, daß ein derartiger Bauernberater im Hauptberuf tätig sein und keine anderen Aufgaben haben muß. Er kann sonst unmöglich so eng mit seinen Bauern zusammenleben, daß er mit ihnen voll verwächst und in jeder Schwierigkeit der gern gerufene, hilfreiche Berater wird. Dazu muß er auch nicht in Stadt oder Amtsstube, sondern in Hof und Stall, auf Feld und Wiese seiner Bauern zu Haus sein. — In manchen Gebirgsgegenden, ferner zumal auch in Süddeutschland⁴⁴⁾, fehlen, wie bereits oben angedeutet, nicht selten mit größeren Gutsverwaltungen auch in technischer Richtung geeignete Beispiele in der landwirtschaftlichen Erzeugung, die dem Betriebe des kleineren Bauern nahe genug kommen, um als nützlich erfaßt zu werden. Große Bedeutung besitzt in dieser Hinsicht ein hervorragend durchgebildetes, landwirtschaftliches Beamtentum der größeren Güter, das sich womöglich wenigstens zu einem Teil aus bäuerlichen Kreisen ergänzt (z. B. nachgeborene Söhne, bzw. an Bauerntöchter verheiratete Beamte). Wo dies fehlt, wären geeignete und genau auf die jeweiligen örtlichen Verhältnisse angepaßte Beispielswirtschaften zu empfehlen, die vielleicht von früheren Bauernberatern geleitet werden könnten, denen die hierfür wieder besonders gearteten Fähigkeiten eignen. Durchaus wünschenswert bliebe indes, daß ein derartiger Musterbetrieb zwar billig überlassen, dann aber auf eigene Rechnung und Gefahr des Leiters geführt würde⁴⁵⁾, damit der im allgemeinen recht mißtrauische, kleinere Bauer auch wirklich Zutrauen zu den Ergebnissen und ihrer Brauchbarkeit für seine eigenen Belange hat⁴⁶⁾.

Es ist nicht möglich, diesen Fragen hier mehr Raum zu widmen, obwohl noch viel zu sagen wäre⁴⁷⁾. Nach der Bewirtschaftung im allgemeinen sei dem Pflanzenbau und zumal der Düngung noch ein wenig nachgegangen: Nötig erscheint Vereinheitlichung des Saatgutes, unter jährlich gemeinsamem Bezug nach Bedarf, um derart ebenso die Erträge zu heben, wie die Güte der gedroschenen Frucht, auch die Reifezeit gleichmäßiger zu gestalten. Dabei wird ebensoviel Vorsicht wegen etwaiger vorhandener Ungunst des Klimas, wie Zielbewußtsein zur Auswahl von Sorten erforderlich sein, die bei angemessener Behandlung und Pflege bessere Erträge in Aussicht stellen als oft nicht mehr recht geeignete Landsorten. Weiterhin ist für den Boden die Entwässerung unerläßlich, wo sie erforderlich erscheint, ohne daß aber das so dem Erdreich entzogene Wasser ungenutzt abfließen darf. Es müßte versucht werden, dasselbe für Wiesenbewässerung oder ähnliche Aufgaben je nach der Geländemöglichkeit weiter zu verwenden, um derart nicht einer in dürrer Jahren gefährlichen Austrocknung des Bodens Vorschub zu leisten. Auch Einbau von Stauen sollte durchgeführt werden. Soweit hierfür öffentliche Unterstützung erhältlich erscheint, ist in hügeligem Gelände und bei ausreichend schwerem Boden, der das Wasser nicht versinken läßt, die Schaffung von Teichen zu erwägen, die einmal überflüssiges Wasser aufzunehmen vermögen, aber auch dasselbe wieder bei Bedarf abgeben können

⁴³⁾ A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerl. Familienwirtsch., 1, 227/8, 265, 280 (1929).

⁴⁴⁾ Deutsche Landwirtschaft, herausgegeben von M. Sering, 289 (1932).

⁴⁵⁾ A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 2, 609 (1929).

⁴⁶⁾ Die hier entgegenstehenden Schwierigkeiten sind nicht zu verkennen. Nur selten wird ein eigentlicher Kleinbauer imstande sein, einen wirklichen Musterbetrieb zu führen. Andererseits ist ein älter gewordener Bauernberater wieder nicht der Mann, auch in Lebenshaltung und Mitarbeit einen Bauern kleineren Besitzes darzustellen. Immerhin dürfte ein erprobter Berater für kleinere Bauern, der vielleicht zwei Jahrzehnte seiner Tätigkeit gewidmet hat, trotz gewisser „Schönheitsfehler“ zumeist noch am meisten geeignet sein.

⁴⁷⁾ Vgl. z. B. K. Maiwald, Journ. f. Landw., 78, 237 (1930); W. Krause, ebenda, 74, 109 (1927).

und daneben noch für Haushalt oder unter Umständen auch zum Verkauf Fische zu liefern imstande sind. Kleinere Teiche sind wenigstens als Viehtränken und zu Bewässerungszwecken zu verwenden. Die Notwendigkeit, vorhandenes Wasser sparsamst und womöglich mehrfach zu nutzen, scheint mir für den kleineren Bauern um so wichtiger zu sein, als die Möglichkeit, wie größere Güter unter Umständen Beregnungsanlagen zu schaffen, wo sie sich bewähren, für ihn schon aus Gründen der Kosten ausgeschlossen⁴⁸⁾ zu sein scheint, falls nicht schon mehr gärtnerischer Gemüsebau in günstiger Marktlage in Frage kommt. — Die Entwässerung wäre zumeist durch Röhrendränge durchzuführen, nur in holzreichen Vorgebirgs- und Gebirgslagen durch Faschinendrängs, in besonderen Fällen vielleicht sogar durch Steindrängs. Maulwurfsdrängs werden für den kleineren Bauern kaum in Betracht kommen. Berücksichtigt man, daß für Württemberg von 26% des Drängens bedürftigem Ackerland in Anteilen der ganzen Ackerfläche und von entsprechend 27% zu drängendem Grünland bisher nur etwa 8 und 9% diese Verbesserung erfahren haben, so erkennt man die auch hier reichlich vorhandenen Besserungsmöglichkeiten⁴⁹⁾.

Dringend zu erwägen scheint in den schwierigen Gebirgs- und Vorgebirgslagen die Herabsetzung des Ackerbaues und noch stärkerer Übergang zur Grünlandnutzung. Bedenkt man, wie weitgehend die Bodenbearbeitung durch Geländeschwierigkeiten erschwert und verteuert wird⁵⁰⁾, wie ferner in Höhenlagen (in der Waldenburger Gegend Mittelschlesiens wurde vor etwa acht Jahren noch in Höhen von 800 m Getreide angebaut, das freilich häufig nicht geerntet werden konnte, und von dessen Ertrag kaum ernsthaft zu reden war⁵¹⁾), alle Maßnahmen sich besonders verteuern, der Ertrag dagegen unsicher bis sicher unzureichend wird⁵²⁾. Bedenkt man zum Schluß, daß dazu noch der Ackerbau die Ursache dafür ist, daß in den regenreichen, höheren Lagen die spärliche Kulturbodenschicht alle zwei Jahre aus tieferen Gründen wieder auf die Höhen gebracht werden muß⁵³⁾, so kann man kaum andere Anschauung hegen, so erwünscht auch für den kleineren Bauern Selbstversorgung mit allen Lebensmitteln stets ist. Es mag zumeist gelingen, besonders günstige Lagen für Kartoffel- und Roggengewinnung noch zu benutzen. Im übrigen ist doch wohl ausgedehnte Grünlandwirtschaft nach Art des Allgäus in schwierigen Gebirgs- und Vorgebirgslagen als Vorbild zu nehmen. Jedenfalls sind alle für Anbau wie Ernte besonders ungünstigen Höhenlagen in Grünland zu überführen⁵⁴⁾ und dafür, wenn es nicht anders geht, ist lieber im Tal Wiese in Acker umzuwandeln. Das wird auch durch noch nicht voll befriedigende Vieh- bzw. Milcherlöse nicht geändert. Ganz für die Landwirtschaft ungeeignete Lagen werden wohl schließlich kaum anders als durch Aufforstung in für die heutige Zeit angemessener Weise zu verwerten sein. Dies scheint mir besser noch zu rechter Zeit zu geschehen, als wenn später der Wald verlassene Flächen von selbst in Besitz nimmt. — Auch die Unkrautbekämpfung ist hier wohl zu beachten. Auf Grünland kann unzureichende Entwässerung, überreiche Stickstoffdüngung (durch alljährliche Jauche- und Stallmistversorgung⁵⁵⁾), mangelnde Pflege und anderes recht unliebsame Verunkrautung hervorrufen. Erinnerung sei auch an die dem Auge freilich sehr schön erscheinenden Herbstzeitlose-Wiesen Süddeutschlands. Nicht anders steht es auf dem Acker, wo häufig die ausdauernden Unkräuter nicht nur die Ernte wesentlich mindern, sondern sie zugleich (Disteln) stark erschweren und zu einer wahren Pein machen können, zumal für Frauen und Kinder. Da man gegen die Samenunkräuter, wie Hederich, Mohn, Kornblume,

⁴⁸⁾ Vgl. W. Krause, 74, 112 u. f., (1927).

⁴⁹⁾ A. Münzinger, in M. Serings Deutscher Landwirtschaft, 288 (1932). — Über die wirtschaftlichen Schwierigkeiten vgl. A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 2, 793. Die Notwendigkeit des Drängens wird auch ebenda 1, 255 (1929) geschildert.

⁵⁰⁾ A. Münzinger, a. a. O., 2, 589, 597 (1929).

⁵¹⁾ Aus eigener Kenntnis, vgl. aber G. Richter, Landw. Jahrb. 65, 491, (1927).

⁵²⁾ Vgl. R. Grau bei A. Münzinger, a. a. O., 443: „Der Ackerbau selbst ist absolut unlohnend“.

⁵³⁾ A. Münzinger, a. a. O., 1, 418, 440, 483 (1929).

⁵⁴⁾ Verfasser hat selbst in der Praxis den Nutzen dieser Maßnahme, freilich auf größeren Gütern, zweimal mit erleben können.

⁵⁵⁾ A. Münzinger, a. a. O., 1, 143, 282, 2, 502 (1929).

durch zweckmäßige Anwendung von Kalkstickstoff und Staubkainit bei gleichzeitiger Düngung doch mancherlei Erfolg zu erzielen vermag, um von zweckmäßigen Beackerungsmaßnahmen oder vom Bespritzen mit Eisenvitriollösungen oder Bestäuben mit entsprechenden Präparaten nicht zu reden, während auch hartnäckige Wurzelunkräuter heut vielfach mit Chemikalien oder sonst angegriffen werden können, so scheint es hier nicht selten an noch nicht ausreichender Belehrung zu liegen, wenn das Unkraut noch immer breit am Tisch des kleinen Bauern mitspeist. — Liegen hier schon Berührungen der Unkrautbekämpfung mit der Düngung vor, die auch zum Beispiel für die Beseitigung des Moores auf Grünland sehr deutlich hervortreten, so ist überhaupt das Gesamtgebiet der Düngung noch stärkster Verbesserung in der kleineren Bauernwirtschaft bedürftig. Das gilt zunächst besonders von der Gewinnung und Verwendung des Wirtschaftsdüngers. Mangel an Platz auf dem Hof kann heut nicht mehr als Entschuldigung für den Bauern gelten, nachdem die verschiedenen Hochstapelungsverfahren des Stalldüngers eine oft sehr wichtige Besserungsmöglichkeit dort ermöglicht haben, wo in keiner Weise mehr Raum zu schaffen ist. Der Vorzüge des bayerischen „Kastl“-verfahrens sei besonders gedacht. Aber auch nach anderer Richtung kann je nach den obwaltenden Verhältnissen in verschiedener Weise wertvollerer Stalldünger gewonnen werden, auf die Gefahr hin, daß in Zeiten sehr dringender Arbeit die sachgemäße Pflege des Stalldüngers unterbleibt, aber alsbald bei günstigerer Arbeitsmöglichkeit wieder aufgenommen wird. Nicht anders steht es mit anderen Wirtschaftsdüngern und ihrer Anwendung, so in regenreichen Lagen mit der dann für Grünland doppelt notwendigen Kompostdüngung. Die kostspielige Anlagen bedingende und heutzutage durch bessere Viehpreise leider wenig unterstützte Güllewirtschaft mag freilich nur mit großer Vorsicht in dem Allgäu ähnlichen Gebirgslagen in Benutzung genommen werden, wo dafür die Mittel ohne zu hohe Zinslast zu beschaffen sind. — Auch die Gründüngung und ihre Vorzüge und Nachteile könnten nicht selten beim kleineren Bauern sachgemäßere Beachtung finden. Zumal ausreichende Schaffung eines erträglichen Saatbetts, befriedigendes Saatgut und Verhütung einer Förderung des Unkrautwachstums dürfen nicht unbeachtet bleiben, daneben die etwa ungünstige Wirkung der Gründüngung auf den Wasserhaushalt der folgenden Frucht, soweit nicht reiche Niederschläge fallen. — Die Handelsdüngemittel und ihre Anwendung sind noch in weitem Umfange leider ein betrübliches Gebiet für den kleineren Bauern. Im Kriege wurde sogar in dem sonst landwirtschaftlich hoch entwickelten Leintal das dort kaum zweckmäßige, ziemlich grob gemahlene Kalksteinmehl in weitem Umfange gekauft, da es gegenüber den sonst knappen, anderweitigen Handelsdüngemitteln für den Sack billig erschien. Ein erheblicher Übelstand war auch in so mancher Gegend der Verkauf von Handelsdünger durch unzuverlässige Reisende oder Hausierer, der zumeist in irgendeiner Weise nicht nur zum unmittelbaren Schaden der dem redengewandten Wanderhändler gegenüber einmal vertrauensseligen kleineren Bauern führte, sondern nur zu leicht den verärgerten Käufer veranlaßte, später auch gegenüber allen wohlmeinenden Ratschlägen zuständiger Stellen wie des einwandfreien Düngerhandels taub zu sein. Nachdem heut der Düngermarkt nahezu in jeder Weise auch für den weniger sachkundigen Landmann empfehlenswerte Hilfsmittel zur Ergänzung der Wirtschaftsdünger und Erhöhung der Erträge bietet, ist die Anwendung derselben nicht mehr so schwierig. Dazu kommt, daß zunächst einmal für die Grundlage des ganzen Düngungswesens, die Regelung des Kalkzustandes im Boden, durch verbilligte Bodenuntersuchung, die seit Jahren in vielen Gegenden sogar kostenlos ist, sowie noch besser durch planmäßige Durchprüfung und Kartierung der Gemeindefluren mit Hilfe des freiwilligen Arbeitsdienstes die Anbahnung übernommen wird. Das sich hoffentlich gut weiterentwickelnde und besonders auch stets mit der erforderlichen Exaktheit betätigte, wichtige Kulturwerk dieser Richtung dürfte dem kleineren Bauern eine nicht unbeachtliche Hilfe bieten, die freilich allein nicht ausreichen kann. Selbst die Ausdehnung dieser Bodenuntersuchungen und Kartierungen, wie man sie Vorbildlich in verschiedenen Gauen des Vaterlandes schon seit Jahren ausübt, auf den Bedarf an den sogenannten Kernnährstoffen Kali und Phosphorsäure, so wertvoll sie sein wird, ist eben nur ein Teil der unserem kleineren Bauern sehr nötigen Hilfe. Aber bei günstigeren Böden und Lagen wird sie doch vermutlich

schöne Erfolge zeitigen. Entscheidend wird hierbei aber, wie auch sonst, die nie genug hervorzuhebende Schaffung sachkundiger Bauernwirtschaftsberater im Hauptamt sein. Hierdurch werden die Erfolge der Feststellung des Düngungsbedürfnisses wie anderer Notwendigkeiten erst fruchtbar gemacht werden können, wie man einem Kinde nicht nur eine Nuß geben kann, sondern sie ihm auch erst aufknacken muß. — Daß der Pflanzenschutz gerade für den kleineren Bauern von überwiegender Bedeutung ist, hat man schon seit Kriegsende in vielen Gauen des Vaterlandes erkannt. Besonders Gebirgslagen und das Vorgebirge, aber auch wieder die Ebene, sind von Schmarotzern aller Art bedroht. Der Weinbauer ist in der Erkenntnis der Notwendigkeiten, die auf diesem Gebiete dem kleineren Landmann vor allem dringlich sind, vorangegangen. Aber auch die durch Schneeschimmel nur zu häufig ihres Brotgetreides beraubten Bauern in so manchem deutschen Oberland⁵⁶⁾ haben mit der Zeit hier schon gelernt. Freilich ist noch die größere Aufgabe zu erledigen, auch z. B. im Obstbau. Und wenn die Technik z. B. durch Trockenbeizapparate und Bekämpfungsmittel für schädliche Nager, wenn der Naturschutz durch Förderung des Gleichgewichts in unserer heimatlichen Tierwelt auf dem Wege der Vermehrung nutzbringender Vögel, von Rebhuhn und Fasan ebenso wie von den geflügelten Sängern und dem legendenumwobenen Kuckuck u. dgl., dem Bauern die Möglichkeiten einer Besserung aufzeigen, so darf man ja auch hoffen, daß hier mit der Zeit mehr erreicht wird. Freilich dürfte es ohne gewisse stärkere Einwirkung nicht gehen, wie sie ja aber schon seit Jahrzehnten in Gestalt von Polizeiverordnungen auf dem Gebiet der Obstbaumpflege ebenso wie im Kampf gegen schadenbringende Nager üblich ist. Es wird nur gelten, solche Maßnahmen durch weise Vereinigung mit besten Bekämpfungsmitteln und womöglich auch staatlicher Förderung wenigstens hinsichtlich eines Teils der Kosten, vielleicht zum Teil genossenschaftlich und damit wirksamer zu gestalten, als sie nur zu häufig bisher waren⁵⁷⁾. Soweit Anbau immuner Sorten in Betracht kommt, wie beim Kartoffelkrebs, sind die erforderlichen Maßregeln bereits im wesentlichen vorgesehen. Aber gegen Steinbrand, Streifenkrankheit der Gerste, Fusarium, von dem bereits hinsichtlich des „Schneeschimmels“ die Rede war, und andere Pflanzenseuchen ist noch viel zu tun, von neu an Bedeutung gewinnenden Schmarotzern nicht zu reden. Dazu kommt als noch ferne, aber bedrohlich näherrückende Gefahr der aus Frankreich sich unseren Grenzen nähernde Kartoffelkäfer, dessen Eindringen für unseren lebenswichtigen Kartoffelbau ein gar nicht abzuschätzendes Unglück wäre. Unterstützung der Forschung sowohl auf dem Gebiet der Immunzüchtung wie der Abwehr, Einordnung der Bekämpfung in möglichst einfacher und wenig störender Weise in den planmäßigen Arbeitsbetrieb des Hofes, Aufsicht über sorgfältige Durchführung auch in Jahren, die nicht verderbliche Schäden bringen und Verhütung solcher Unglückszeiten, wie Aufklärung und Belehrung durch hauptamtliche Wirtschaftsberater für die kleineren Bauern einer nach klimatischen Verhältnissen nicht zu groß bemessenen Gegend⁵⁸⁾ bleiben nötig. Damit wird auch hier um so eher im Laufe der Jahre ein Erfolg zu erzielen sein, als ja schließlich die gute Wirkung

⁵⁶⁾ Nachrichten für Schädlingsbekämpfung, 9, 1, 136 (1934).

⁵⁷⁾ z. B. Nachrichten für Schädlingsbekämpfung, 7, 131 (1932).

⁵⁸⁾ Als im letzten Kriegsjahr 1918 im Kreise Uslar (Hannover) der Steinbrand im Weizen so verheerend aufgetreten war, daß bis zu 80% Ernteverlust und daneben nahezu Unbrauchbarkeit des Ernterestes sich ergab, da keine Mühle mehr den brandigen Weizen verarbeiten wollte, ermöglichte ich es mit Hilfe des dortigen Landratsamtes und der chemischen Industrie, den dort die Mehrzahl der landwirtschaftlichen Bevölkerung darstellenden kleinen Bauern und noch weniger begüterten Landleuten das Saatgut an Ort und Stelle kostenlos einzubeizen. Ich richtete Beiztrupps ein, die im ganzen Kreise umherzogen und das Saatgut nach einigen Stunden gebeizt wieder zurückgaben, damals nur nach dem Naßbeizverfahren arbeitend. Während meine Beiztrupps meist freundlich, zum Teil auch gleichgültig aufgenommen wurden, waren in einigen Dörfern bei ihrer Ankunft alle maßgebenden Persönlichkeiten verschwunden, so daß das Beizgeschäft nur mit großen Schwierigkeiten zu erledigen war. In einigen Fällen mußten meine Leute sogar vor Tötlichkeiten flüchten. — Das starke Auftreten des Steinbrandes im folgenden Jahr dort, wo nicht gebeizt worden war, wirkte aber sehr aufklärend.

auf Menge und Güte der Ernten für sich selbst spricht. Daß beim Pflanzenbau auch die Anwendung zweckmäßiger Maschinen nicht nur die Arbeit beschleunigen und erleichtern, sondern sehr häufig sie vollkommener gestalten und wohl auch erst gewisse Erfolge ermöglichen kann, ist bekannt, und es kann hier nicht auf Einzelheiten eingegangen werden. Doch sei vor allem der Hackmaschinen und der Mähmaschinen gedacht. Obwohl schon stark in Benutzung, werden sie doch in günstigerem Gelände noch immer weitere Verbreitung lohnen; gegebenenfalls unter Anpassung an schwächere Zugtiere durch einen kleinen Betriebsmotor. Freilich steht die Kostenfrage auch hier häufig als nicht überwindbares Hemmnis entgegen. Das ist ja gerade auf dem Gebiet der Landmaschinen so häufig ein tragischer Konflikt, daß oft selbst für kleinere Betriebe unzweifelhaft brauchbare und wünschenswerte Maschinen der Anschaffungs- und unter Umständen auch der Betriebskosten halber dem Bauern nicht nur unerreichbar erscheinen, sondern daß man ihm einstweilen auch von ihrer Anwendung abraten muß. Auch die bereits oben besprochene, in jeder neugegründeten Bauernfamilie sich im Lauf der Jahre einstellende Ebbe und Flut von Arbeitskräften ist hierfür bedeutungsvoll, dann der Wechsel der verfügbaren Zeit mit der Änderung der Jahreszeiten, der Bargeldmangel und noch so mancher andere Umstand. Viel eher scheint es ratsam, die bessernde Hand bei den Geräten anzulegen, wie dies ja auch bereits seit einigen Jahren nicht ohne Erfolg an verschiedenen Stellen Deutschlands der Fall war⁵⁹⁾. Damit ändern sich häufig auch zugleich die Arbeitsverfahren, und die derart erzielbare Aufgeschlossenheit für Änderungen mag dann wohl die Einführung von Maschinen auf Eigenbesitz- oder genossenschaftlicher Grundlage gestatten, wo die entgegenstehenden Bedenken nicht zu große sind. Nicht anders stellt sich die im Zusammenhang mit der Einführung zweckmäßigerer Geräte und gelegentlich auch Maschinen zusammengehende Ermöglichung besserer Arbeitsverteilung über das ganze Jahr, die wieder nur auf Grundlage einer nur zu häufig bislang fehlenden zweckmäßigen Arbeitsplanung erfolgen kann. Es ist durchaus zu verstehen, wenn, wie ich dies noch vor einigen Jahren aus Mitteldeutschland kannte, nach der Ernte die kleineren Bauernhöfe es nicht eilig mit weiterer Arbeit haben und die Stoppel auch in ebenen Lagen zunächst liegen lassen. Die schwere Arbeit in der Ernte, die mit allem sonst auf dem Hofe Unerläßlichen die paar Erwachsenen der Wirtschaft bis an den Rand der Möglichkeit ausgepumpt hat, wird im Rückschlag von Abspannung und Müdigkeit körperlicher und geistiger Art, von einem gewissen „Sichgehenlassen“ gefolgt. Dazu wirkt, wenn die Ernte gut scheint, und ordnungsgemäß eingebracht wurde, das Hochgefühl erfolgreicher Leistung, im andern Fall aber nicht weniger eine gewisse Verzweiflung und die Empfindung, daß doch eigentlich die ganze Mühe umsonst sei. So wird nur zu leicht zunächst unterlassen, was nicht ungetan bleiben sollte. Es ist nicht anders als damals, wo in unserem ganzen Volk nach der Inflation und Verlust aller Spareinlagen und Anleihezeichnungen die Redensart nur zu leicht Beifall fand: „Das Sparen sei doch zwecklos“, womit hauptsächlich der Abneigung weiter Kreise, sich der mühseligen und doch so wichtigen Kunst des Sparens zuzuwenden, eine Begründung gegeben werden sollte.— Es wird somit gelten, die zeitweisen Arbeitsspitzen für den kleineren Bauern minder schwer und erschöpfend zu gestalten, um ihm dann durch zweckmäßigere Gestaltung der Arbeitsverteilung übers Jahr und zugleich durch eine wohlüberlegte Arbeitsplanung — die dann natürlich aber auch sorgfältig innezuhalten ist — tunlichst gleichmäßigere Arbeitsbelastung für einen größeren Teil des Jahres zu ermöglichen. Diese Aufgabe, die immer wieder andere Anforderungen je nach der Örtlichkeit stellen wird, birgt in sich die Möglichkeit, wo dies einigermaßen mit den letzten Zielen des Bauernhofes zusammentrifft, auch Maschinen für den kleineren Hof heranzuziehen, wobei die genossenschaftliche Form der Nutzung natürlich in nicht wenigen Fällen die leichter zu ermöglichende sein wird. Grundlage ist indes auch hier, wie bei anderen bereits besprochenen Möglichkeiten, gediegene Wirtschaftsberatung durch einen hauptamtlich tätigen, ortserfahrenen Fachmann.

⁵⁹⁾ z. B. von Derlitzki-Pommritz, Seedorf-Göttingen, Ries-Bornim.

Tierhaltung und -nutzung sind für den kleineren Bauern vermutlich noch bedeutungsvoller als sonst im großen Durchschnitt des landwirtschaftlichen Betriebes⁶⁰⁾. Beschäftigung der Familienmitglieder, leichtere Anpassung an den Nahrungsbedarf der Familie gegenüber dem Ertrage des Ackerlandes, Arbeitsverteilung, Steigerung des Anfalls an Wirtschaftsdünger und damit Erhaltung und Vermehrung der Felderträge, Möglichkeit einer ertragbringenden Rücklage von gerade verfügbaren Mitteln, uralte Gründe des Standesbewußtseins ebenso wie die leichte Möglichkeit eines Vergleichs der anscheinenden Vermögenslage zu jeder Zeit, kurz, eine ganze Gruppe von Ursachen sind dafür zu nennen und mit diesen Einzelpunkten noch durchaus nicht erschöpft. Andererseits wird auf diesem Gebiet der Tierzüchter von Fach in vielen Fragen allein das Wort haben, zum Teil auch der Tierarzt. Es genüge, wenn ich einzelne Punkte herausgreife, sei es, daß sie besondere und grundlegende Richtigkeit besitzen, sei es, daß ich aus eigener Kenntnis Nützliches beitragen zu können hoffe.

Zunächst ein wichtiger Abschnitt, der sich an das oben über landwirtschaftliche Maschinen Gesagte ziemlich unmittelbar anschließt. Es dreht sich um die Frage: Motor oder Gespann, und des näheren weiter noch: Zugkuh- oder Ochsespann gegen Pferdegespann? — Zweifellos⁶¹⁾ ist für den kleineren Bauern in nicht zu wechselndem Gelände, bei besonders nicht zu schwerem Boden und günstigen Wegeverhältnissen die Zugkuh das am meisten empfehlenswerte Gespann. Sie erlaubt bei mäßiger Inanspruchnahme, die in besonderen Zeiten vorübergehend auch einmal etwas weiter ausgedehnt werden kann, soweit nicht Trächtigkeit oder hoher Milchertrag dem entgegenstehen, die Milchnutzung in beachtlicher Höhe neben der Arbeitsleistung, gestattet am Schluß ihrer Tätigkeit eine gewisse Fleischnutzung und wird durch die Pflege und Führung von seiten der Familienangehörigen vor Überanstrengung und anderen Schäden bewahrt, die ihr gefährlich werden könnten. Die Möglichkeit, Zugkühe nur für halbe Tage anzuspannen, und die Mehrfachanspannung⁶²⁾ geben heut sogar die Aussicht, auch mit Zugkühen bei schwererem Boden den neuzeitlichen Anforderungen eines zweckmäßigen Ackerbaues zu entsprechen. Dazu kommt, daß dabei Mehrleistungen von nahezu der Hälfte gegenüber der Einfachanspannung möglich sind. Freilich kosten die Einrichtungen Geld und bedürfen sorgsamer Pflege und Handhabung. Aber hier zeigt sich doch wohl ein Weg zur Verbindung der Zugkuhhaltung mit den Bedürfnissen eines neuzeitlich anspruchsvolleren Betriebs hinsichtlich der Zugleistungen.

Nicht immer wird Arbeit von Zugkühen ausreichen. Weitere Fuhrstrecken, ungünstiges Gelände und noch manche anderen Umstände werden die Bewältigung der Feld- und Lieferungsarbeiten durch Zugkühe auch ausschließen. Dann sollte zunächst das Ochsespann für den kleineren Bauern die in Frage kommende Zugkraft darstellen. Es ist sehr zu beachten, daß in neuesten Erhebungen aus der Schweiz⁶³⁾ die Ochsenhaltung auf einem stark in Teilen liegenden Gut die Erzeugungskosten niedrig halten und damit wesentlich einen recht guten Betriebserfolg ermöglichen konnte. Dabei hätte sich die Haltung von zwei Pferden recht wohl rechtfertigen lassen, indes freilich auch wesentlich mehr Kosten beansprucht. Und wo eine rasche Lieferungs-möglichkeit unerlässlich scheint, kann das oft durch ein Pferd neben einem Ochsen zu ermöglichen sein. Daß daneben nach Bedarf ein Gespann Zugkühe mit Hilfe der Mehrfachanspannung den Ochsen tiefere Ackerarbeit oder schwerere Führen leisten hilft, bleibt als empfehlenswerter Ausweg stets im Bereich der Möglichkeit. Es ist gefährlich, alsbald den kostspieligen Weg der Pferdeanspannung zu wählen. — Freilich kommt dieser Art der Anspannung der Wunsch zumal der jüngeren Bauern stark entgegen, ebenso der Stolz, ein „Pferdebauer“ zu sein und „Rösser“ zu haben. Das geht ja gelegentlich und nicht selten so weit, daß ein „Kuhbauer“ kein Weib

⁶⁰⁾ Vgl. dazu auch z. B. A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 2, 588 (1929).

⁶¹⁾ A. Münzinger, a. a. O. 2, 798, ebenda 1, 49.

⁶²⁾ E. Golf, Landw. Jahrb., 77, 777 (1933).

⁶³⁾ O. Howald, Landw. Jahrb. d. Schweiz, 47, 1178 (1933).

bekommt, oder jedenfalls nicht das, welches er sich ersehnt⁶⁴). Solche altüberkommenen Standesanschauungen und Vorurteile, die wir bereits in unseren Märchen niedergelegt finden, können nur mit Behutsamkeit beseitigt werden, oder besser, sie sind, wenn es irgend angeht, nur zum Besseren zu verändern. Denn es gibt zunächst einmal nicht wenige Wirtschaften, in denen kaum auf Pferdegespanne oder wenigstens auf ein Pferdegespann verzichtet werden kann. Das wird zumal auf schwerem Boden⁶⁵) vor ausreichender Kalkzufuhr der Fall sein, ebenso aber, wenn Gelände Hindernisse und die damit sehr häufig, besonders in bergiger Gegend, zusammengehenden schlechten Wegeverhältnisse auftreten. Auch wenige, aber stark am Hange belegene Ackerstücke und einzelne schwierige Wegstellen können sich derart auswirken, freilich durch zweckmäßige Wegebesserung beziehungsweise Umlegung solcher Ackerstücke oder auch nur ihrer störenden Teile in Grünland auch ohne hohe Bedürfnisse an Gespannkräften günstiger gestaltet werden. Dagegen ist alles, was erhöhte Wendigkeit und rasche Bewegungen mit Gespannen und Geräten, zumal auch Erntewagen, erfordert, trotz der natürlich sehr vorteilhaften⁶⁶) Wegebesserung ein Umstand, der auf Heranziehung von Pferdegespannen hinwirken muß, ebenso stark abschüssige Fahrnotwendigkeiten. — Indes auch hier kann dann wieder manche Verbesserung und Verbilligung eintreten. Zunächst bei der Fütterung: Zwar achtet der Kleinbauer bereits häufig auf eine Futtergabe, die sich an die geforderte Arbeit anpaßt, und bietet in Ruhezeiten neben Heu nur Häcksel und wenig Körnerfrucht⁶⁷). Zumal in Vorgebirgs- und Gebirgslagen sind es ganz ungewöhnliche Heumengen, welche die Pferde derart ausnutzen⁶⁸). Die neue Forschung auf dem Gebiet der Pferdefütterung lehrt nun weiter, daß nicht nur in Grünlandwirtschaften derart das reichlich verfügbare Heu — auch entgegen manchen noch in der Theorie aus früherer Zeit verbreiteten Anschauungen⁶⁹) — sehr wohl zur Verbilligung der Pferdehaltung herangezogen werden soll. Auch gutes Silofutter, Wurzelfrüchte aller Art, Grünfutter, ja, man kann sagen, nahezu alles nicht gar zu wässerige Futter, das sonst auch an Ochsen und Kühe verabreicht wird, findet jetzt bei der Ernährung im Schritt tätiger Arbeitspferde mit Vorteil Verwendung⁷⁰). Das bedeutet gleichzeitig eine Verbilligung der Pferdehaltung, und zwar eine recht erhebliche, weiterhin die sicherere Ernährung auch des Pferdegespannes aus dem Erzeugnis der Scholle, und die Befreiung von unerfreulichem Haferzukauf bei Nichtausreichen des selbst angebauten. Das im Schritt tätige Arbeitspferd nähert sich in seinen Erhaltungskosten mehr und mehr dem Zugochsen und wird, so weit nicht ein Hoffahrtsbedürfnis für die Fahrt in die Stadt Traberpferde beansprucht, allen Anforderungen des kleineren Hofes gerecht werden können. Zieht man weiterhin die Mehrfachanspannung heran und bedenkt, daß wir heut über ganz vorzügliche Göpeleinrichtungen⁷¹) verfügen, die eine Wiederauferstehung des alten „Roßwerks“ in arbeitsarmen Tagen durchaus als geraten erscheinen lassen, statt daß die kostspieligen Gespanne im Stall stehen und der Arbeit sich entwöhnend Fett ansetzen, während die Rechnung für elektrischen Strom wächst, so kann durchaus auch bei Beibehaltung der Pferdehaltung für den kleineren Bauern manche Möglichkeit erschlossen werden, bevor man zum Motor Zuflucht nehmen muß. Es sei hier auf Versuche hingewiesen⁷²), nach denen es zum mindesten sehr wahrscheinlich sein dürfte, durch weitergehende Ausnutzung der vorhandenen Pferdegespanne in den Zeiten langen Tageslichts mit Vorteil vorhandene Arbeitsspitzen zu brechen und durch

⁶⁴) A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 2, 797 (1929).

⁶⁵) A. Münzinger, a. a. O., 1, 112, 240, 337, 338.

⁶⁶) A. Münzinger, a. a. O., 251.

⁶⁷) A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 1, 292 (1929); ebenda, 2, 509.

⁶⁸) Ebenda, 1, 378, 151 (13 kg Heu, 2 kg Stroh je Tag und Stück); H. Gmelin, Ber. Landwirtschaft, neue Folge 23, 176 (1930) (18,3 kg Heu, 0,66 kg Stroh je Tag und Stück).

⁶⁹) A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft 1, 292 (1929).

⁷⁰) Arbeiten der Deutschen Gesellschaft Züchtungskunde, 52 (1932); Anleitungen der Deutschen Gesellschaft Züchtungskunde, 33 (1934).

⁷¹) Ardeltswerke, Eberswalde bei Berlin.

⁷²) H. Nieschling, Landw. Jahrb., 80, 521 (1934).

Vorarbeit für eine spätere Jahreszeit zu besserem Ausgleich der Gesamtarbeitsanforderungen des Jahres beizutragen. Wir konnten bei nur je 2 kg Trockenschnitzel für Tag und Tier Futtermehrgabe und besserer Verteilung der Futterzeiten täglich je Gespann ohne irgendeine Überanstrengung der Pferde drei Stunden Mehrarbeit ermöglichen, und derart an reiner Arbeitstätigkeit für zwei Gespanne die Leistung eines dritten Gespannes mit leichterer Arbeit mehr erzielen, wobei allerdings die Zeit erklärlicherweise nicht voll gewonnen werden kann⁷³⁾. — Wenn man längst dazu übergegangen ist, Motoren zur besseren Ausnutzung günstigerer Arbeitszeiten auch über Nacht mit Beleuchtung arbeiten zu lassen, so könnte dies vermutlich in gewissen Grenzen auch beim Pferdegespann hin und wieder zumal vom Wirtschaftseigner, dem kleineren Bauern selbst, gleichfalls versucht werden, um schwierigen Zeiten gegenüber ausreichende Gespannarbeit einzusetzen. Außerdem wird der soeben erwähnten Möglichkeit besserer Ausnützung der Arbeit während zureichenden Tageslichtes in verstärktem Maße Rechnung zu tragen sein. Die häufig vorhandene Befürchtung, das wertvolle Arbeitspferd zu benachteiligen, konnten wir als voraussichtlich unbegründet nachweisen⁷⁴⁾.

Erst wenn alle diese hier besprochenen Möglichkeiten, zu denen auch das Zusammenarbeiten von zwei Nachbarn mit je einem Gespann unter Heranziehung der Mehrfachanspannung gehören würde, ohne Erfolg bleiben, wäre des Motors zu gedenken, dessen Vorzüge natürlich nicht geleugnet werden sollen, der aber doch wohl nur ausnahmsweise für den kleineren Bauern nützlich gemacht werden kann, wie dies A. Münzinger für die Gemeinde Häusern durchzuführen vermochte⁷⁵⁾. Es mag aber auch sein, daß wie andere, so auch dieser Weg im großen weiteren Ausbildung und vorteilhafter Anwendung fähig ist. Was mir für den kleineren Bauern dagegen unerwünscht erscheint, ist zu weitgehendes Rechnen auf Lohnfahren. Freilich können diese eine durchaus erwünschte Ergänzung der Wirtschaftsarbeit namentlich für die kalte Jahreszeit bedeuten. Ob nicht aber das Fortführen des Bauern vom Hof, die Gewohnheit, untätig auf die kommende — oder auch nicht kommende — Lohnarbeit für das Gespann zu warten, und die nur zu oft mit Lohnarbeit verbundene, zuerst Gelegenheit, dann Neigung zum Wirtshausbesuch bedenklich wirken, bleibt zu erwägen. Ich würde für den alteingesessenen Herren einer kleineren Bauernwirtschaft gern auf die Abhängigkeit von Lohnarbeit verzichten, wenn es sich nicht um gelegentlich sehr günstig sich gestaltende Fälle und besonders eben um Ausnahmen handelt. Daß übrigens für jede Zugleistung auf Wegen, die mit beladener Fuhre zu leisten ist, gerade für den kleinen Bauern die neuzeitlichen Formen von Ackerwagen ganz besonders notwendig und zweckmäßig erscheinen, übrigens vielleicht auch noch nach besonderen Bedürfnissen des kleineren Bauern einzelner Gegenden und Verhältnisse weiter durchgebildet werden könnten, scheint mir hier des Hinweises wert. Gerade die schwächeren Spanntiere, die ungünstigeren Wegeverhältnisse, die weiteren Wege und der Leerlauf beim kleineren Bauern lassen für ihn Luftgummireifen und die verschiedenen anderen neuen Errungenschaften des neuzeitlichen Ackerwagenbaues als besonders vorteilhaft erscheinen, selbst auf die Gefahr gewisser Sonderaufwendungen hin, die freilich so weit wie irgend möglich zu begrenzen wären. Da ja schon im Kriege der künstlich hergestellte Gummi zu Lastwagenreifen geeignet war, so wird die heut erheblich weiter fortgeschrittene Herstellung synthetischen Gummis, wenn sie sich erst weiter ausgedehnt hat, hoffentlich gerade für den kleineren Bauern aus heimischer Arbeit und mit nicht zu hohem Preise den Gummireifen für die Ackerwagen liefern, der Leistung und Eignung des Wagens wesentlich erhöht, aber die Anstrengung der Tiere wie der Menschen beim Fahren von Massengütern auf dem Land herabmindert.

Altbekannt sind weiter ganz allgemein die Nachteile ungeeigneter und vor allem auch zu junger Vattertiere in der Tierzucht des kleineren Bauern, wie unzureichender Bewegung der

⁷³⁾ a. a. O., 549.

⁷⁴⁾ a. a. O., 543/544.

⁷⁵⁾ R. K. T. L.-Schriften, 54, 1934; Bäuerliche Maschinengenossenschaft Häusern.

heranwachsenden Fohlen, Kälber, Ferkel und dergleichen. Die kleinbäuerliche Ziegenzucht Deutschlands ist in früheren Jahren durch Verwendung von Bockklämmern zum Decken sehr stark geschädigt worden, und es hat nicht geringer Bemühungen bedurft, um dies wiedergutzumachen. Auch auf anderen Zuchtgebieten und noch heute besteht diese Gefahr in gewissem Umfange, und es ist dankenswert, daß verschärfte Körordnungen hoffen lassen, daß sie mehr und mehr auch für den hier in Frage kommenden eigentlichen Bauernhof diese Gefahr beseitigen helfen. Schwerer ist es natürlich, für die jungen Tiere die zu einer gesunden Aufzucht unerläßliche Bewegung in freier Luft und Sonne zu schaffen. Vielleicht wird Einrichtung von Gemeindeweiden oder von Weiden etwas größerer Bezirke möglich sein, auch Begünstigung der Einstellung von Pensionsvieh. Daß zu der gewöhnlichen Bewegung auf der Weide, die nach unseren Beobachtungen zwischen vier und sechs Kilometern je Tag oft noch eine sehr geringfügige ist und höchstens im Gebirge die Tiere ausreichend zu kräftigen vermag, hoffentlich im Laufe der Zeit mehr und mehr planmäßige Durcharbeitung und allmählich sich steigernde Schulung der Körpers hinzutreten wird, um wirklich leistungsfähige Tiere wenigstens beim künftigen Arbeitsvieh zu schaffen, sei empfehlend erwähnt, obwohl noch ein weiter Weg bis zur Erfüllung dieses Wunsches sein dürfte. Nicht weniger ist planmäßige Fütterung nach Leistung bei allen Tieren im Bauernstall und entsprechende Ausschaltung leistungsschwacher Tiere auf allen Gebieten der Viehzucht des kleineren Hofes dringende Aufgabe, wie dazu freilich auch klare Ermittlung der Leistungen durch Messen und Wiegen gehört. Dies bedarf kaum langer Ausführungen. Je knapper der Ertrag wird, den die Tierhaltung abwirft, um so sorgfältiger ist dieser Anforderung zu entsprechen. Dabei mag sicherlich auch die Hoffnung geäußert werden, daß die ersten Grundlagen neuzeitlicher Fütterungslehre ein wenig mehr Beachtung durch unseren kleineren Bauern finden mögen. Ermittlungen, die vor einigen Jahren nach dieser Richtung hin durchgeführt wurden, ergaben jedenfalls noch für Schlesien keine besonders ermutigenden Ergebnisse⁷⁶⁾. Auch hier wird sachkundige und dauernd durchgeführte Beratung das Beste tun müssen und mit der Zeit auch Ergebnisse erzielen. Anschließend ist die Fütterung nach wohlüberlegten, für längere Zeiten, zumal für die kalte Jahreshälfte, aufgestellten Plänen⁷⁷⁾ zu nennen. Gerade, wenn jetzt die Erhaltung der Nutztiere wesentlich auf die Erzeugnisse unserer eigenen Wirtschaft aufgebaut und doch ausreichend ertragreich sein soll, erscheint sorgfältige Aufstellung von Fütterungsplänen und deren gute Innehaltung, kurz und gut ein „Bewirtschaften“ der Wirtschaftsfuttermittel, ganz unerläßlich. Daß es daran aber heutigen Tages im Gegensatz zu den Handelsfuttermitteln und auch selbstgewonnenem Kraftfutter sogar auf sonst neuzeitlich geleiteten größeren Gütern noch sehr mangelt, ist bekannt. Wie soll man es daher von unseren Kleinbauern verlangen? Die Notwendigkeit wird hier vermutlich ebenso eine Lehrmeisterin sein wie für die gleichfalls noch fast überall unzureichende Vorratswirtschaft. Solange man ein Bankkonto und die beliebige Heranziehung des Marktes von Handelsfuttermitteln zur Verfügung hatte, mochte das gehen. In futterknappen Zeiten kaufte man eben so viel Handelsfutter, daß man mit Hilfe des Strohes die schwierige Zeitspanne zu überwinden vermochte⁷⁸⁾. Diese Anschauungen sind verschwunden und werden schwerlich wiederkehren. Daher erscheint es aber nicht nur für den eigenen Vorteil, sondern noch viel mehr auch für die Verpflichtung, unser Volk ausreichend zu ernähren, unumgänglich, daß im voraus jeder Bauer für die nun einmal schwer zu vermeidenden futterknappen Jahre durch angemessene Vorratswirtschaft Vorkehrungen trifft. Wollen wir uns von den Maßregeln Josephs in Ägypten gegenüber den sieben mageren

⁷⁶⁾ K. Miosge, Landwirtschaftl. Jahrbücher, 60, 261 (1924); W. Prassler, Die Zweckmäßigkeit der Futtergaben an Jungrinder in landw. Klein-, Mittel- und Großbetrieben unter besonderer Berücksichtigung der Weideaufzucht. Dissertation Breslau 1929; desgl., Journ. f. Landw., 77, 297 (1930).

⁷⁷⁾ Als Beispiel erwähne ich einen Aufsatz von Jagoda, Schlesischer Bauernstand, 1, 2452 (1934). Die Forderung wird seit langen Jahren von Fütterungslehre wie Wirtschaftslehre vertreten.

⁷⁸⁾ Ich habe selbst in der Praxis ein Jahr erlebt (1894/95), in dem in weiten Gegenden von Hessen-Nassau wenigstens kein Halm Stroh als Einstreu benutzt werden konnte.

Jahren immer wieder beschämen lassen? Da heutzutage die Gärkammer, die Heufeime, dazu natürlich auch noch manche andere Möglichkeit, Futter zu erhalten, uns zu Hilfe kommen, sollte es wirklich im Laufe der Jahre dazu kommen, daß kein Bauernhof ohne ausreichende Rücklagen an selbstgewonnenem Futter dasteht, um nötigen Falles auch ein Jahr der Futternot erträglich aushalten zu können. Wir müssen bedenken, daß es nicht nur unerwünscht ist, in futternot Zeit vielleicht mehr Vieh, als uns zweckmäßig scheint, der Abschachtung preisgeben zu müssen. Daß nicht nur die Verringerung des Milchertrages, verminderte Mastung von Fettschweinen, schlechterer Wollwuchs und was sonst noch an minderer Leistung in Frage kommt, eine solche knappe Zeit schwer erträglich machen. Viel schlimmer ist doch, daß die Jungtiere, welche durch derartige Futternot gehen müssen, vermutlich für ihr ganzes Leben Schäden an sich tragen und später trotz aller Pflege nicht wieder los werden. Kommt nun, wie das ja keine Seltenheit ist, eine derartige Futterklemme alle vier oder fünf Jahre über den Hof, so kann alle Hingabe und Sorgfalt bei der Zucht nichts helfen, wenn die Jungtiere immer und immer wieder durch Hungerzeiten in ihren Eigenschaften herabgemindert, wenn immer wieder alle richtigen Züchtungsmaßnahmen derart zurückgeworfen werden. Es liegt wirklich nach jeder Blickrichtung eine ganz außerordentlich wichtige Maßnahme in einer angemessenen Vorratswirtschaft auf unseren Bauernhöfen vor, die an die Stelle zeitweiser Vergeudung und zeitweiser Knappheit beim Wirtschaftsfutter treten muß. Wenn wir noch einige weitere Aufgaben, etwa ausreichende Bereitstellung von Eiweißfutter zumal für milchgebende und für wachsende Tiere, bessere Stallungen, wenigstens zeitweilige Weide auch für ausgewachsene Nutztiere, Benutzung des Tüdens behufs Zeit- und Futterersparnis, regelmäßig gute Haut- und Klauenpflege, wohlüberlegte Auswahl schon der Jungtiere in zartem Alter für Aufzucht oder Abschachtung und manches andere nennen, wozu der eigentliche Züchter gewiß noch viel dringliche Wünsche zu ergänzen hätte, so wäre auch die für den Bauern auf kleinerem Hof wichtige Tierhaltung und Tierzüchtung besprochen. Dabei sei nicht vergessen zu erwähnen, daß dies Gebiet zum erheblichen Teil beim kleineren Hof bereits im Bereich der Bauernfrau liegt, und daß diese daher bei Vorschlägen zur Besserung hierfür nicht weniger zu beteiligen und heranzuziehen wäre als der Mann. Das gilt nicht etwa nur von Federvieh und Ziegen, sondern auch von Kühen und Schweinen. Ebenso von den oft nur nebenbei gehaltenen Schafen, soweit nicht ein Schäfer dieselben etwa gemeindeweise oder genossenschaftlich betreut. Es wird daher in einem zweiten Teil dieser Ausführungen von der anderen Seite auf diese Dinge noch einmal einzugehen sein.

Die früher ein nicht wenig wichtiges Gebiet der Unzulänglichkeit der Betätigung des Bauern umfassende Verwertung seiner Erzeugnisse ist durch die neue Agrargesetzgebung und viele damit zusammengehende Verordnungen und Regelungen in einen gänzlich neuen und für den Bauern ausgesprochen nützlich gestalteten Zustand getreten. Es würde unrichtig sein, diese Fragen, die dem Schreiber vorliegender Zeilen ohnehin ferner liegen, jetzt zu behandeln. Sie sind zum Teil soeben abgeschlossen, zum Teil haben sie dieses Ziel wohl noch nicht erreicht. Es sei aber gesagt, daß der kleinere Bauer die Leistung nicht nur dem Staat überlassen darf. Durch sorgfältiges Innehalten der Vorschriften, dann aber auch durch dauerndes Verfolgen seiner Verwertung und seiner ganzen Wirtschaftsmaßnahmen mit Hilfe einer angemessenen Buchführung⁷⁹⁾ muß er nicht nur erst am Jahresende vielleicht mit Bedauern feststellen, daß er ohne Überschuß, ja wohl gar mit einem Fehlbetrag gearbeitet hat. Es muß in gemeinsamer Arbeit von Bauer, Wirtschaftsberater und Forschung auf dem Gebiet der Wirtschaftslehre erreichbar werden, daß Mißgriffe im Betriebe durch zweckmäßige Buchführung möglichst rasch zur Kenntnis und zum Verständnis des Bauern gelangen, so daß baldige Abstellung durchgeführt oder wenigstens erwogen werden kann. Hier liegt gewiß noch ein um so längerer und schwieriger Weg vor uns, als die schwere Inanspruchnahme des kleineren Bauern durch körperliche

⁷⁹⁾ Vgl. A. Münzinger, Arbeitsertrag der bäuerlichen Familienwirtschaft, 1, 227, 398 (1929). Ebenda, 2, 795, 884 (1929); E. Laur, Deutsche Landw. Presse, 61, 567 (1934).

Arbeit jedenfalls zeitweise seinen Sinn derartigen Erwägungen verschließt. Doch wird und muß es gelingen, hier so viel Entlastung zu schaffen, daß noch Spannkraft und Frische genug übrig bleibt, um die unerläßlichen Erwägungen und vorher die entsprechenden Aufzeichnungen durchzuführen und wenigstens auf den wichtigsten Gebieten monatliche Abschlüsse zu tätigen. — Ob es weiterhin möglich sein wird, die Schweineversorgung für Deutschland wesentlich in den kartoffelreichen Osten zu verlegen und damit nicht zum letzten dem kleineren Bauern dort eine nützliche Betätigungsvermehrung zu schaffen, wie es W. Volz seinerzeit empfahl, kann hier nicht erwogen werden⁸⁰⁾. Natürlich spräche manches für eine Förderung der bäuerlichen Schweinemastung. Aber gerade hier muß auch daran gedacht werden, daß für jede, ob kleine, ob große Wirtschaft die einzelnen Betriebszweige in engem, gegenseitigem Abhängigkeitsverhältnis stehen, und daß nur innerhalb gewisser Grenzen Ausweitungen oder Einschränkungen mit höchstem Erfolge für den Betrieb durchführbar sind⁸¹⁾. Allgemein derartige Maßnahmen einzuführen wird somit in kürzerer Frist kaum möglich sein, sie können allenfalls in langsamer Arbeit gefördert werden, wo die Bedingungen dafür sich finden. Ebenso muß es dahingestellt bleiben, ob die Faserpflanzengewinnung sich insofern für den Bauernhof dadurch besonders nützlich wird gestalten lassen, daß man die Verarbeitung zu einem erheblichen Anteil so wie früher auf ihn verlegt. Es stehen sich vermutlich hier die Vorteile einer sehr erwünschten Winterbeschäftigung für die Familienmitglieder des kleineren Bauern und die Vorteile einer Röstung und Verarbeitung in der Fabrik unter genau gleichartigen und abzustimmenden Bedingungen gegenüber. Wie die Regelung wird ausfallen müssen, vermag wohl noch nicht beurteilt zu werden. Zu beachten ist natürlich, daß jede nutzbringende Beschäftigung im Winter die wirtschaftliche Sicherheit der Bauernfamilie auf ihrem Hof erhöht, wie auch jede neu entstehende Fabrik uns zu unserem bereits mehr als erwünscht „verarbeiteten“ Volke neue Industriearbeiter schafft. Es genüge uns die jetzt wohl schon in weiten Kreisen vorhandene Überzeugung, daß derartige Fragen bei der Beurteilung wirtschaftlicher Zusammenhänge in der neuen Zeit mehr und mehr vordringlich berücksichtigt werden müssen. Wir wissen es, und viele haben es erst wieder gelernt, daß ein sicher auf seinem Grund und Boden sitzender Bauer die festeste Stütze des Staates, der sicherste Bürge für die Dauer des Volkes ist. Dann aber dürfen wir nicht glauben, daß auf dieser nicht immer ganz vollkommenen Erde dieses Ziel mit noch so vortrefflichen Anordnungen der Behörden und vorgeordneten Stellen in kurzer Zeit erreichbar sei. Es wird harter und wohl überlegter Arbeit langer Jahre bedürfen, um die neu geschaffene Form derart mit Leben zu erfüllen, daß wir uns dem großen Ziel deutlich nähern. Dies weiteren, im allgemeinen unserer Bauernschaft fernstehenden Kreisen etwas näherzubringen, ist ja die Aufgabe dieser Zeilen. — Unvollständig würden indes alle Ausführungen wie die hier gebotenen sein, wenn sie nicht auch den andern Partner bei der Bewirtschaftung des kleineren Bauernhofes, die Bauernfrau, eingehend berücksichtigen würden. Da hier der Raum dazu nicht ausreichen konnte, hoffe ich später an anderer Stelle diese notwendige Ergänzung als zweiten Teil des vorliegenden Aufsatzes bringen zu können. Nicht, weil ich mich besonderer Sachkunde darüber berühmen könnte, sondern weil ich die Behandlung der unserer kleineren Bauernfrau im Wege stehenden Schwierigkeiten für derart grundlegend wichtig für den Bauernstand und somit für unser ganzes Vaterland halte, daß es kein Nachteil ist, wenn dies Wichtige auch noch einmal mehr recht sorgfältig und mit eindringlichem Bestreben mitgeteilt wird.

Breslau, 26. Dezember 1934.

Agrikulturchemisches Institut der Universität, HansasträÙe 25/29.

⁸⁰⁾ Deutsche Allgemeine Zeitung, Nr. 286/287 vom 23. und 24. Juni 1930.

⁸¹⁾ A. Haase, Journal für Landwirtschaft, 81, 31 (1933).

Über das Pektin-Problem

(Aus dem Institut für Biochemie und landw. Technologie der Universität Breslau)

Von Felix Ehrlich in Breslau

Die Zellwände der Pflanzen bestehen hauptsächlich aus Cellulose und Hemicellulosen, d. h. leicht hydrolysierbaren Anhydriden von Hexosen, Pentosen und Methylpentosen. Als ständiger Begleiter dieser Substanzen bildet im frischen Nährgewebe der Pflanzen das Pektin in beträchtlichen Mengen einen wesentlichen Bestandteil des Zellgerüsts und der Stützsubstanz. In dem wasserreichen Pflanzengewebe lagern sich die Pektinstoffe vorwiegend in der Mittellamelle ab und sind hier als Intercellulardsubstanzen in Form eines inkrustierenden Kittmaterials für den Zusammenhang des ganzen Zellgerüsts physiologisch von ähnlicher Bedeutung wie das Lignin in der verholzten Pflanzensubstanz. Dementsprechend findet sich das Pektin besonders in fleischigen Früchten und Wurzeln, aber auch in Blättern und grünen saftigen Stengelteilen, während es in der Holzsubstanz nur in sehr geringen Mengen vorkommt. In der Trockensubstanz mancher Obstfrüchte läßt sich z. B. bis zu 30% Pektin nachweisen, während im Mark von Zuckerrüben und im Albedo von Zitronen- und Orangenschalen sogar etwa die Hälfte der Trockensubstanz aus Pektin besteht.

Außer für den anatomischen Bau der Pflanzen spielen die Pektinstoffe infolge ihrer eigentümlichen kolloidalen Beschaffenheit und infolge ihrer starken Quellbarkeit im Wasserhaushalt der pflanzlichen Organismen eine wichtige Rolle. Ihre große Kapazität für die Wasseraufnahme und -abgabe beeinflußt besonders alle Vorgänge, die mit dem Turgor der Pflanzen in Zusammenhang stehen. Aber auch viele andere biologische Erscheinungen beim Wachsen und Altern der Pflanzen, wie das Reifen der Früchte, das Weichwerden von Obst bei Befall von Pilzen und Bakterien, die Bildung der Holzsubstanz sind zum großen Teil auf physikalische und biochemische Veränderungen der Pektinsubstanz zurückzuführen.

Das natürlich vorkommende Pektin ist kein einheitlicher Körper, sondern setzt sich stets aus einem Gemisch sehr verschieden löslicher, hochmolekularer Substanzen von kompliziertem chemischen Bau zusammen, deren Mengenverhältnisse je nach Art und Alter der Pflanze und je nach der morphologischen Beschaffenheit des Pflanzenteils, in dem sie abgelagert sind, großen Schwankungen unterliegen. Die Urform ist offenbar das in kaltem Wasser unlösliche, wandständige Pektin der Mittellamelle, das während des Wachstums der Pflanze durch fermentative Prozesse je nach den Bedingungen des natürlichen Milieus einen mehr oder minder weitgehenden hydrolytischen Abbau zu leichter löslichen Spaltprodukten erleidet. Auf diese Weise umgewandelte verhältnismäßig leicht lösliche Pektinstoffe von besonderer Eigenart sind vor allem in manchen Obstfrüchten stark angereichert. Außer diesen Hydrolyseprodukten finden sich namentlich in älteren Pflanzenteilen neben dem ursprünglichen Pektin durch tiefer wirkende biochemische Abbauvorgänge daraus entstandene Substanzen vom Typus der Hemicellulosen und des Lignins¹⁾.

Zur Gewinnung des Pektins wird gewöhnlich pektinreiches, zerkleinertes und zuvor von Saftteilen befreites Pflanzenmaterial, z. B. Zuckerrübenwurzeln, Äpfel, Citrus-Früchte, mit heißem Wasser für sich oder unter Zusatz von Säuren wiederholt ausgezogen, die Extrakte werden dann eingeeengt und das Pektin daraus mit Alkohol gefällt. Aus dem Preßsaft wasserreicher Beerenfrüchte, wie Johannisbeeren, Erdbeeren u. a., kann man die reichlich darin gelösten Pektinstoffe auch direkt mit Alkohol niederschlagen. Die erst erhaltenen Pektinniederschläge lassen sich durch Wiederauflösen in Wasser und wiederholtes Umfällen unter Zusatz von Alkohol und Säuren weiter reinigen, und schließlich wird nach dem Trocknen das Pektin in Form amorph, fast farblos, aschehaltiger Pulver gewonnen. Das trockene Pektin quillt mit Wasser stark auf und gibt langsam eigentümliche schleimige, viskose Lösungen.

Besonders charakteristisch für das Pektin ist seine Fähigkeit, sich aus seinen Lösungen in Form von Gelen und Gallerten abzuscheiden. Alkohol bewirkt dabei eine reversibel lösliche Gelfällung, während Metallsalze nur irreversible Gele liefern. Auch durch ein Ferment Pektase, das in manchen Obstsaften und frischen Kräutern vorkommt, kann Pektin aus seinen wäßrigen Lösungen gelartig ausgeflockt werden. Dagegen wird durch andere Fermente wie die Protopektinase und Pektolase, die sich in gewissen Schimmelpilzen und Bakterien, aber auch in Schnecken und Käfern finden, schwerlösliches Pektin unter bestimmten Bedingungen bald vollständig gelöst. Es verliert dabei, ebenso wie durch längeres Kochen mit Wasser und Säuren, seine gelartigen Eigenschaften schließlich gänzlich und geht in leichtlösliche niedermolekulare Verbindungen über.

Infolge seines reichen Vorkommens in vielen Futterpflanzen ist das Pektin für die Nutztiere ein wichtiger Nährstoff, der besonders von Wiederkäuern sehr günstig ausgenutzt wird. Aber auch für die menschliche Ernährung ist das Pektin von nicht zu unterschätzender Bedeutung, da wir in der Pflanzenkost in Form von Gemüse, Salaten und Obstfrüchten nicht unbeträchtliche Mengen davon aufnehmen. Wenn sich auch gezeigt hat, daß die Verdauungsfermente des menschlichen Organismus Pektin nicht angreifen und daß dieses erst durch Darmbakterien einen weitgehenden Abbau erfährt, so ist es wohl möglich, daß hierbei entstehende Spaltprodukte vom Darm aus resorbiert werden und auf diese Weise der menschlichen Ernährung zugute kommen²⁾. Auch wirkt das Pektin infolge seiner großen Quellbarkeit und seines starken Adsorptionsvermögens günstig auf die mechanische Reinigung und auf die Peristaltik des Darmes ein. So erklären sich wohl die guten Erfahrungen, die man neuerdings bei bakteriellen Darm-erkrankungen mit der Verabreichung von Pektinpräparaten gemacht hat. Auch für manche andere medizinische Zwecke kommt das Pektin in Frage, so als Mittel für die Blutgerinnung und Blutstillung. Wegen seiner großen Wasseraufnahme und seiner starken Emulgierungsfähigkeit eignet es sich ferner als Grundlage für viele pharmazeutische Präparate, besonders für Salben und Puder und für Emulsionen von ätherischen und mineralischen Ölen³⁾.

Bei vielen technischen Vorgängen der Pflanzenverarbeitung spielen die Pektinstoffe direkt oder indirekt eine Rolle⁴⁾. So ist in der Zuckerindustrie ihre Entfernung aus den Rübensäften durch die Kalkscheidung zur Erzielung reiner Zuckerprodukte notwendig. Andererseits kann aus den Abfällen dieser Fabrikation, den Rübertrockenschnitzeln, die ein sehr wertvolles Futtermittel bilden, Pektin in beträchtlichen Mengen gewonnen werden. Für die Aufbereitung von Flachs, Hanf und anderen Pflanzenfasern ist die Lockerung und Freilegung der Bastfasern von der pektinhaltigen inkrustierenden Intercellularsubstanz durch den Vorgang der Röste wesentlich, wobei hauptsächlich pektinlösende Fermente bestimmter Bakterien wirksam sind. Durch ähnliche bakterielle Prozesse werden bei der Entschalung der Kaffeebohnen die Kaffee Früchte von dem pektinreichen Fruchtfleisch befreit. Auch bei dem Fermentieren des Tabaks ist die biochemische Umwandlung der Pektinstoffe in den Blättern von gewisser Bedeutung.

Infolge seiner besonders eigentümlichen kolloidchemischen Eigenschaften und Wirkungen hat das Pektin selbst auf den verschiedensten technischen Gebieten mannigfache praktische Nutzenanwendung erfahren. Man kann seine Extrakte aus manchen Pflanzen, wie den Rüben, wegen ihrer starken Viskosität und ihrer beträchtlichen Bindekraft beim Eintrocknen zur Herstellung von Klebstoffen als Ersatz für Dextrin verwenden⁵⁾. Viskose Pektinlösungen sollen sich auch zur Abschreckung von glühendem Eisen bei der Stahlhärtung vorzüglich eignen. Schon sehr geringe Mengen von Pektinverbindungen beeinflussen die Tracht der Kristalle mancher anorganischen Salze in sehr eigenartiger Weise, was man für die technische Herstellung von besonders großen Salmiakkristallen verwertet hat⁶⁾. Sehr aussichtsreich ist die Verwendungsart, die das Pektin neuerdings bei der Verarbeitung der Milch erfährt⁷⁾. Sie beruht auf der interessanten Beobachtung, daß aus der Milch auf bestimmten Zusatz von Pektin (Lattopekt) sich zusammen mit Fett der größte Teil des genuinen Eiweißes abscheidet, das im Gegensatz zu dem durch Hitze, Säuerung oder Labung erhaltenen unlöslichen denaturierten Kasein in Wasser

wieder reversibel leicht löslich ist und seine ursprünglichen chemischen und kolloidchemischen Eigenschaften in hohem Maße beibehalten hat. Das so gewonnene Milcheiweiß ist von hohem Nährwert und eignet sich besonders für die Bereitung von Quark, Käse und anderen Milchprodukten, wobei eine weitere Beimengung von Pektin sehr günstig auf die Form, Haltbarkeit, Geschmack und Verdaulichkeit der Fabrikate wirkt. Falls es gelingt, weitere heimische Rohstoffquellen für die Herstellung des Pektins im Großen zu erschließen, scheinen sich hier für die Milchwirtschaft ganz neue Wege für die Verwertung ihres Ausgangsmaterials zu eröffnen.

Die wichtigste praktische Nutzenanwendung, die das Pektin im größten Maßstabe schon von alters her erfahren hat, ist die für die Bereitung von zuckerreichen Fruchtkonserven wie Marmeladen, Jams und Gelees⁴⁾. Diese Verwertungsart beruht auf der eigentümlichen Fähigkeit schon geringer Pektinmengen, konzentrierte Zuckersirupe unter bestimmten Bedingungen, die von dem Säuregrad der Lösungen und von dem Kochprozeß wesentlich abhängen, in klare feste Geleemassen zu verwandeln. Von dieser besonderen Eigenart des Pektins hat die Hausfrau beim Einkochen der Früchte unbewußt seit langer Zeit trefflichen Gebrauch gemacht und die Zucker verarbeitende Konservenindustrie hat diesen Kochprozeß zu hoher technischer Vollendung geführt. Wesentlich für die Güte der Erzeugnisse ist vor allem der Gehalt der Obstfrüchte an bestimmt zusammengesetztem, leichtlöslichem Pektin. Aus den daran reichen Obstsorten, wie Äpfel, Orangen, Johannisbeeren, Erdbeeren, lassen sich besonders gute Gelees kochen, während das schwer in Lösung gehende, chemisch nur wenig anders zusammengesetzte Pektin der Rübenwurzeln überhaupt kein Gelee ergibt.

Um die Gelierfähigkeit der Obstsaft zu erhöhen und dadurch Zucker zu ersparen, zugleich aber auch um die Erhitzungsdauer wesentlich abzukürzen und dadurch die Aroma- und Bukettstoffe sowie die Vitamine der Früchte besser zu erhalten, werden jetzt beim Einkochen des Obstes Zusätze von Pektinpräparaten gemacht, die von sehr verschiedener Herkunft sind und in fester oder gelöster Form unter Namen wie Citruspektin, Frutapekt, Pomosin, Opekta und anderen in den Handel kommen. Die Pektinindustrie, die sich mit der Herstellung solcher Gelierstoffe beschäftigt, hat in den letzten Jahrzehnten einen bedeutenden Aufschwung genommen und ihre Fabrikate finden heute überall im Haushalt und in vielen Zweigen der Nahrungs- und Genußmittelindustrie mannigfache Anwendung. Die technische Gewinnung des Pektins, die nur aus pektinreichen Früchten, wie Citrus-Arten und Äpfeln, lohnend ist, hat ihren Ursprung in Nordamerika⁵⁾. Dort hat man schon seit langer Zeit namentlich in den obstgesegneten Gefilden von Kalifornien die enormen Überschüsse der Ernte an Citrus-Früchten, wie Zitronen, Lemonen, Orangen, Grapefruits, dadurch günstiger zu verwerten verstanden, daß man in großen Genossenschaftsbetrieben daraus Fruchtsäfte, Fruchtsäuren, aromatische Öle und weiterhin aus den Abfällen besonders Pektinpräparate verschiedenster Art herstellte, die früher auch in Deutschland für Zuckerkonserven und Konditorwaren viel verwendet wurden. Ähnliche Bestrebungen sind in Süditalien und anderen Ländern im Gange zur Ausbeutung der Abfälle der riesigen Ernten des Agrumens (Orangen, Zitronen usw.). In Deutschland, das hinsichtlich der Erträge an pektinreichen Obstfrüchten wegen seiner klimatischen Lage viel ungünstiger gestellt ist, arbeiten seit längerer Zeit in den Obstgegenden des Mains, des Rheins und am Bodensee mehrere zum Teil bedeutende Werke, die aus den getrockneten Preßrestern von der Bereitung des Apfelsaftes und Apfelmestes Pektin in Form von Gelierstoffen und zu anderen technischen Zwecken gewinnen. Da unsere jetzige wirtschaftliche Lage die Einfuhr von amerikanischem Pektin unmöglich macht, muß es künftig das Bestreben sein, die deutsche Obsternte noch ergiebiger zu gestalten, ihre Abfälle noch günstiger auszunutzen und im Inland neue Rohstoffquellen für die Herstellung von Pektin oder von Ersatzstoffen für diese unentbehrliche Substanz ausfindig zu machen, eine Aufgabe, die besonders für den technischen Chemiker sehr reizvoll und lohnend erscheint.

Für die technische Gewinnung des Pektins ist es vor allem wichtig, möglichst leicht und klar lösliche Produkte von hoher Gelierkraft zu erzielen. Hierfür ist nur das bei mäßiger Wärme leicht

in Lösung gehende Pektin von pektinreichen Früchten, wie der Citrus-Arten und Äpfel, brauchbar, während sich das erst bei langem Kochen mit Wasser schwer lösende, wandständige Pektin des Obstmarkes für die Zwecke der Geleebereitung überhaupt nicht eignet. Die Bedingungen, unter denen die Extraktion der Früchte mit günstigster Ausbeute an Pektin und ohne Schädigung seiner natürlichen Gelierkraft vorzunehmen ist, sind namentlich von amerikanischen Chemikern sehr gründlich durchforscht worden⁸⁾. Wesentlich ist dabei vor allem ein bestimmter Säuregrad und eine bestimmte Einwirkungsdauer und Temperatur des Wassers, mit dem das Pektin aus den Früchten ausgezogen wird⁹⁾. Sehr reine, fast farblose und nur wenig aschehaltige Pektinpulver von hoher Gelierkraft erhält man in Amerika neuerdings nach dem Verfahren von C. P. Wilson¹⁰⁾ aus dem Albedo von Citrus-Früchten, indem man dieses zur Abtötung der Enzyme zunächst auf 100° erhitzt, dann mit warmem Wasser unter Zusatz von wenig Schwefelsäure extrahiert und aus den geklärten, mit Ammoniak schwach alkalisch gemachten Extrakten das Pektin mit Aluminiumsalzen ausfällt. Die abgetrennten Pektinmassen werden nach Auswaschen mit Wasser getrocknet und schließlich in Pulverform noch durch Ausziehen mit salzsäurehaltigem Alkohol von Salzen möglichst befreit. Die deutschen Pektinerzeugnisse werden meist nur in Form flüssiger Extrakte (Opeka) in den Handel gebracht. Zu ihrer Bereitung zieht man gewöhnlich getrocknete Apfeltrester zuerst mit kaltem und dann mit heißem Wasser unter Zusatz von wenig organischen Säuren in bestimmter Weise aus und verdampft die gründlich geklärten Auszüge schließlich im Vakuum zur dünnen Sirupkonsistenz. Die wirksamsten flüssigen Pektinpräparate des Handels sind stark viskose Lösungen von gelblicher Farbe, die etwa 10–15 % Trockensubstanz, eigentliches Pektin aber nur in Mengen von 2–5 % enthalten und meist noch einen Zusatz von Weinsäure erfahren haben, um sie für die direkte Geleebereitung im Haushalt noch geeigneter zu machen.

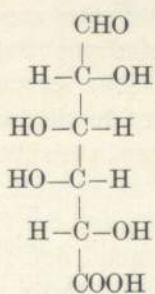
Ebenso wie die direkte Verkochung der Obstsaftes ist auch die Herstellung von Gelees aus Früchten unter Zusatz von technischen Pektinpräparaten von sehr vielen Faktoren abhängig, über die außer den alten empirischen Erfahrungen der Kochkunst bereits zahlreiche eingehende technische und wissenschaftliche Untersuchungen vorliegen. Für das Zustandekommen eines guten festen Gelees sind in erster Linie von Bedeutung die Art, Zusammensetzung und Menge des Pektins, die je nach seiner Gelierkraft 0,2–1 % und mehr betragen kann, die Zuckerkonzentration, die am günstigsten zwischen 60–65 % liegt, die Wasserstoffionenkonzentration, deren Optimum sich etwa bei $p_H = 3,0$ befindet und die häufig darauf durch Zusatz von Weinsäure eingestellt wird, und schließlich die Art und Weise des Einkochens der Obstmasse, die nur kurze Zeit dauern darf, da durch längeres Erhitzen die Gelierfähigkeit des Pektins schnell abnimmt und unter Umständen ganz zerstört wird.

Die Gelierkraft des Pektins ist keine konstante Größe, sondern kann bei den einzelnen Präparaten je nach Herkunft, Darstellungsweise und Reinheit des Pektins und je nach der Behandlung seiner Lösungen und der Art und Menge der Begleitstoffe großen Schwankungen unterliegen. Bei Aufbewahrung von wässrigen Lösungen des Pektins nimmt seine Fähigkeit zur Gelierung bald ab und verschwindet bei längerem Kochen mit Wasser vollständig, ohne daß scheinbar eine weitergehende chemische Veränderung der Substanz eintritt. Auch trocken aufbewahrte Pektinpulver zeigen in verschiedenem Grade Alterungserscheinungen, die zu einer Abnahme des Vermögens der Gelbildung führen. Aus diesem Grunde kann auch die vielfach übliche chemische Pektinbestimmung mittels der sogenannten Calciumpektat-Methode¹⁷⁾ keinen Maßstab für die Gelierfähigkeit eines Pektinpräparates abgeben, da hiermit häufig auch das nichtgelierende Pektin erfaßt wird. Man behilft sich deshalb in der Praxis zur Ermittlung der Gelierkraft der Pektine zumeist mit bestimmten physikalischen Verfahren, bei denen in erster Linie die Kolloidnatur des Pektins und der daraus gewonnenen Gele berücksichtigt wird, woraus sich dann Schlüsse auf die Güte und Festigkeit der erhaltenen Zuckergelees ziehen lassen. Da im allgemeinen die Viskosität von Pektinlösungen ihrem Geliervermögen parallel geht, so hat man vielfach Bestimmungen der relativen inneren Reibung zu Untersuchungen über die Qualität

des Pektins herangezogen¹¹⁾. Doch zeigt sich hier, daß die Viskosität sehr stark von der Wasserstoffionenkonzentration und anderen Faktoren abhängig ist, so daß diese Methode für die Feststellung der Gelierkraft des Pektins nur sehr bedingt zu verwenden ist¹²⁾. Zur Untersuchung auf Festigkeit und Elastizität des Gelees sind auch dynamische Gelmesser konstruiert worden⁴⁾. In deutschen Betrieben mißt man die Gelierfähigkeit eines Pektins gewöhnlich nach Lüers und Lochmüller¹³⁾ mit Hilfe eines besonderen Apparates durch Prüfung der Zerreißfestigkeit eines Pektin-Zucker-Gelees, dessen Lösungen durch Zusatz von Weinsäure zuvor auf $p_H = 3$ eingestellt und dann unter bestimmten Normen verkocht waren. Ähnliche Methoden und Apparate sind in Amerika in Anwendung, um den Geliergrad, die Festigkeit des Gelees und ferner auch die Geliargeschwindigkeit zu messen. Der in Amerika handelsübliche „Geliergrad“ eines Pektins gibt die Gewichtsteile Zucker an, die ein Gewichtsteil Pektin unter normalem Zusatz von Wasser und Säure bei bestimmter Art des Einkochens und der Abkühlung in ein festes 65 % Zucker enthaltendes Gelee verwandelt. Der Geliergrad der amerikanischen trocknen Pektinpräparate schwankt jetzt im allgemeinen zwischen 100—300.

Da letzten Endes die kolloidchemischen Eigenschaften eines Körpers auf die Eigenart des chemischen Baues seines Moleküls zurückzuführen sind, so schien es von großem Interesse, nachzuforschen, welche besonderen Eigentümlichkeiten der chemischen Zusammensetzung und Molekülstruktur des Pektins denn eigentlich sein charakteristisches Geliervermögen bedingen. Um neuere Ergebnisse der zahlreichen Untersuchungen auf diesem Gebiete mitzuteilen, erscheint es nötig, hier in Kürze einen Überblick über die recht komplizierte Chemie des Pektins zu geben.

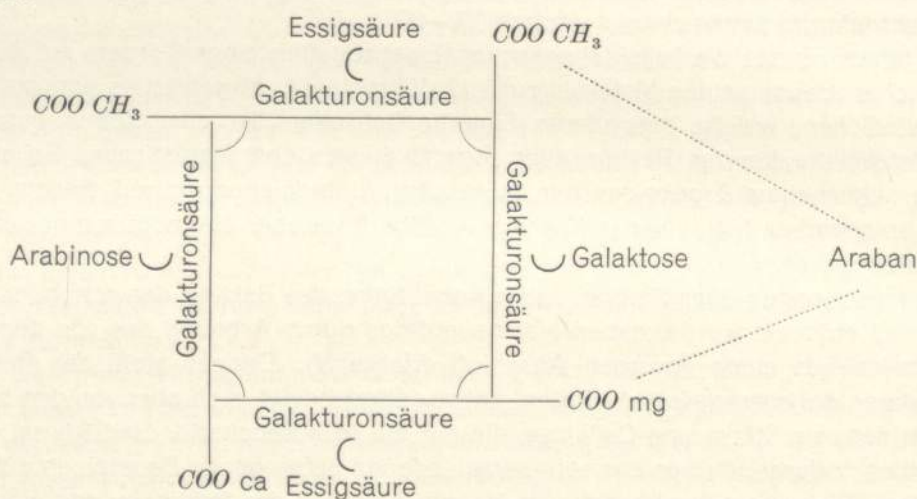
Die Forschungen über die chemische Konstitution des Pektins, das schon im Jahre 1825 von Braconnot entdeckt wurde, haben erst neuerdings durch Arbeiten des von dem Verfasser geleiteten Instituts einen gewissen Abschluß erfahren¹⁴⁾. Danach steht das Pektin den hochmolekularen polymeren Kohlehydraten nahe, unterscheidet sich aber von den bekannten Polysacchariden, wie Stärke und Cellulose, die nur ein Monosaccharid, die Glykose, enthalten, sehr wesentlich dadurch, daß es aus sehr verschiedenen heterogenen Bausteinen aufgebaut ist und außerdem Säurecharakter besitzt. Als Hauptbestandteil des Pektins wurde eine bis dahin unbekannte eigentümliche Verbindung, die d-Galakturonsäure, entdeckt, die aus allen Pektinen gut kristallisiert isoliert werden konnte. Sie vereinigt in sich Eigenschaften eines Kohlehydrates und einer organischen Säure, da sie außer Hydroxylgruppen sowohl eine Aldehyd- wie eine Carboxyl-Gruppe aufweist, dementsprechend reduziert, optisch aktiv und sauer ist. Die d-Galakturonsäure, die außerdem die gleichen Reaktionen wie die Arabinose und Galaktose zeigt und auch synthetisch aus der d-Galaktose zu erhalten ist, besitzt die folgende chemische Konstitutionsformel:



d-Galakturonsäure

Diese d-Galakturonsäure ist nun im Pektin in chemischer Bindung mit *l*-Arabinose, *d*-Galaktose, Methylalkohol¹⁵⁾ und Essigsäure enthalten und durch Calcium und Magnesium neutralisiert. Es zeigte sich, daß in allen bisher untersuchten Pflanzen im wesentlichen Pektin derselben chemischen Zusammensetzung vorkommt. Die verschiedenen löslichen Pektinfraktionen einzelner Pflanzen oder ihrer Teile rühren daher, daß das ursprüngliche Pektin mehr oder minder

weitgehend durch hydrolytische Fermente der Pflanzensäfte abgebaut ist. In dieser Hinsicht erschien besonders wesentlich, daß es gelang, aus dem am schwersten löslichen Zellwand-Pektin so heterogener Pflanzenteile, wie der Zuckerrübenwurzel, Orangenschalen, Zitronen und Äpfel, dieselbe primäre Pektinsäure von der Formel $C_{41}H_{60}O_{36}$ zu isolieren. Sie lag stets als Calcium-Magnesium-Salz einer Dimethylester-Säure vor, die bei der Hydrolyse 4 Mol. Galakturonsäure, 1 Mol. Arabinose, 1 Mol. Galaktose, 2 Mol. Essigsäure und 2 Mol. Methylalkohol lieferte. In dem erst in kochendem Wasser löslichen Pektin der Zellwand befindet sich das Ca-Mg-Salz der Pektinsäure ursprünglich noch in lockerer Bindung mit dem Araban, einem Polysaccharid der *l*-Arabinose. Ein Gemisch dieser beiden Komponenten, das leicht in kaltem Wasser lösliche Hydratopektin, ergibt sich durch Hydrolyse des Zellwandpektins mit heißem Wasser oder mit dem Ferment Protopektinase. Auf Grund dieser Tatsachen ließ sich zunächst das folgende Schema aufstellen, das einen ungefähren Einblick in den chemischen Aufbau des Zellwand-Pektins zu vermitteln sucht:



Schema der chemischen Konstitution des Zellwand-Pektins.

Es ist daraus leicht ersichtlich, daß der Hauptteil des Pektinmoleküls aus einem Komplex von vier untereinander glykosidartig gebundenen Molekülen Galakturonsäure besteht, die ihrerseits wieder an gewissen Stellen und durch Bindungen verknüpft, über die sich vorläufig noch nichts Sicheres aussagen läßt, mit den übrigen Substanzgruppen zusammenhängen. Es ist auch verständlich, daß dieser Galakturon-Komplex zusammen mit den stärker haftenden Methyl-estergruppen durch Absplitterung aller übrigen Substanzreste eine Anreicherung erfahren kann, ein Vorgang, der in der Pflanze in sehr verschiedenem Grade durch Fermenthydrolyse eintritt und der ähnlich auch *in vitro* durch Säurehydrolyse zu erzielen ist. So erklärt sich ferner der natürliche Übergang des schwerlöslichen in leichtlösliches Pektin und das reiche Vorkommen der Methylester der komplexen Galakturonsäure gerade in den leichtlöslichen Pektinfraktionen der gelierenden Obstfrüchte. Hier sind während der Reifung anscheinend noch besondere biochemische Reaktionen tätig, die zur Folge haben, daß der ursprünglich vorhandene Dimethylester der Tetragalakturonsäure sich durch weitere Methoxylierung zum großen Teil in einen Trimethylester und in einzelnen Fällen sogar in den neutralen Tetraester verwandelt.

Die häufig beobachtete Tatsache, daß das besonders gut gelierende Pektin von Obstfrüchten zumeist auch reich war an Methylestern von Pektinverbindungen, hat vielfach zu der Annahme geführt, daß der Methoxylgehalt der Pektine direkt ein Maßstab für ihre Gelierfähigkeit sei, und daß diese außer von dem Säuregrad und von der Zuckerkonzentration in erster Linie von der Stufe der Methoxylierung eines Pektinsäure-Methylesters abhängt. Eine solche Parallelität des Methoxylgehaltes der Pektinstoffe mit ihrer Gelierkraft suchten G. Wendelmuth¹¹⁾ und später

Lüers¹³⁾ und Lochmüller durch eine Reihe von Versuchen besonders am Apfelpektin zu beweisen, indem sie aus verschiedenen Pektinproben bei optimaler Säure- und Zuckerkonzentration eingekochte Gelees auf ihre Viskosität und Zerreißfestigkeit prüften und die erhaltenen Werte mit dem Methoxyl-Gehalt der Pektine verglichen. Es zeigte sich dabei, daß scheinbar unterhalb eines Methoxyl-Gehaltes von 7,3% überhaupt keine Gelierung eintritt, daß oberhalb von 7,3% das Geliervermögen der Pektine annähernd proportional dem Gehalt an Methoxyl rasch zunimmt und daß die bestgeliierenden Pektine einen Methoxyl-Gehalt von 11—12% besaßen. Auch schien hiermit das Schwinden der Geliervkraft bei langer Kochzeit der Gelees und beim Altern von Fruchtsäften durch eine Verseifung der Pektinsäuremethylester und durch eine entsprechende Abspaltung von Methylalkohol daraus erklärt zu sein. Im Gegensatz zu diesen auch von Sucharipa⁴⁾ unterstützten Anschauungen zeigten neuerdings P. B. Myers und G. L. Baker¹⁶⁾ in ausgedehnten Untersuchungen am Citrus-Pektin, daß der Methoxyl-Gehalt der Pektine kein Kriterium für ihre Geliervkraft bilden kann. Es gelang ihnen nämlich, das Geliervermögen von Pektin durch bestimmtes Erhitzen seiner wäßrigen oder sauren Lösungen vollkommen zu vernichten, ohne daß der Methoxyl-Gehalt eine merkbare Erniedrigung erfuhr. Andererseits war es ihnen möglich, Pektine von höchstem bis dahin beobachtetem Geliervgrad (500) herzustellen, deren Methoxyl-Gehalt (8,47%) aber relativ gering war und nur wenig oberhalb der Grenze lag, die Lüers und Lochmüller überhaupt als tiefste Stufe für die Geliervfähigkeit der Pektine bezeichnet hatten.

Eine Bestätigung dieser Befunde erbrachten Untersuchungen, die ich gemeinsam mit Frl. Dr. R. Guttman in letzter Zeit an einer Anzahl Proben von amerikanischem Citrus-Pektin mit verschiedener Geliervkraft ausgeführt habe. Diese Pektine waren uns von dem größten Betriebe der California Fruit Growers Exchange in Ontario zur Verfügung gestellt worden. Die eine Probe davon (A) war nach dem alten Alkoholfällungsverfahren gewonnen, die beiden andern (B und C), die besonders rein und farblos waren, nach dem neuen Verfahren der Tonerdeausflockung. Die folgende Tafel gibt einen Überblick über einige unserer Analysenergebnisse.

Zusammensetzung von Citrus-Pektin verschiedener Geliervgrade

Probe Nr.	Amerik. Geliervgrad	Gelee-Zerreißfestigkeit nach Lüers	Wasser %	Acidität 1 g neutral. $\frac{ccm}{10} NaOH$	Spez. Drehung $[\alpha]_D$	Asche %	% Galakturonsäure $C_6H_{10}O_7$	% Methylalkohol CH_3OH	% Methylalkohol auf Galakturonsäure ber.
A	200	216	12.1	7.7	+ 140°	7.85	65.7	7.9	12.0
B	130	207	14.9	8.1	+ 206.7°	0.63	82.2	8.5	10.3
C	280	443	14.1	12.0	+ 222.4°	0.42	79.5	7.9	9.97

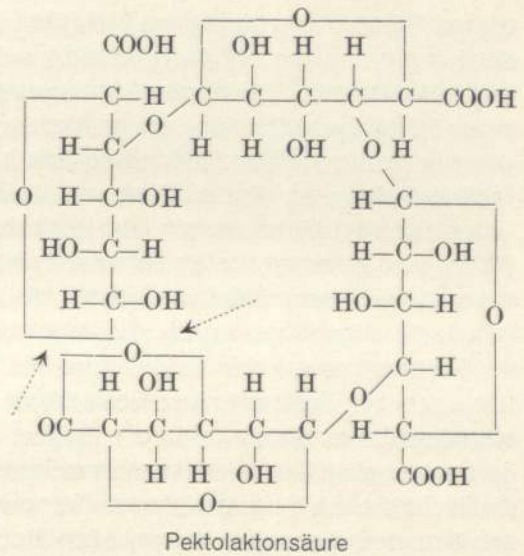
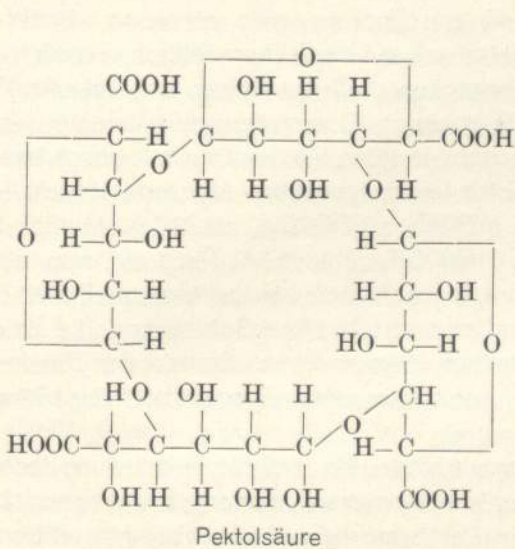
Die erhaltenen Zahlen zeigen, daß der Geliervgrad der Pektine je nach ihrer Herstellung und Reinigung starken Schwankungen unterliegen kann, ebenso wie auch ihre Zusammensetzung, und daß eine direkte Abhängigkeit des Geliervvermögens vom Gehalt an Salzen, an Galakturonsäure und Methylalkohol der betreffenden Pektine in keiner Weise erkennbar ist. Im vorliegenden Falle ist sogar der Methoxyl-Gehalt der einzelnen Proben nur wenig unterschieden (bis 0,6%), und trotzdem weist gerade das bestgeliierende Pektin den niedrigsten und umgekehrt das am schlechtesten gelierende Pektin den höchsten Methoxyl-Gehalt auf. Eine Umrechnung von Methylalkohol im Verhältnis zur Galakturonsäure ergibt auch, daß in dem Pektin mittlerer Qualität (A) eigentümlicherweise der hochmethoxylierte Triester (theor. ber. 12,4%) vorhanden sein müßte, während in dem am besten und am schlechtesten gelierenden Pektin (C und B) gleichmäßig offenbar der Dimethylester (theor. 8,2%) vorwiegt. Daß auch der Salzgehalt nicht von

wesentlicher Bedeutung für die Gelierkraft eines Pektins sein kann, schien daraus hervorzugehen, daß die von Aschebestandteilen in gleicher Weise weitgehend befreiten Pektine B und C zugleich den niedrigsten und höchsten Geliergrad besaßen, während das Pektin A trotz seines hohen Aschegehaltes ein mindestens mittelgutes Gelee ergab.

Die eigentliche Ursache der Gelierfähigkeit des Pektins war also in anderer Richtung zu suchen, und vielfache Ergebnisse meiner früheren Arbeiten deuteten bereits darauf hin, daß sie nur im Zusammenhang stehen konnte mit der eigenartigen polymeren Form, in der der Hauptbestandteil des Pektins, die komplexe Galakturonsäure, ursprünglich vorliegt.

Wie aus dem obigen Schema der chemischen Konstitution des Pektins leicht ersichtlich ist, nimmt der Hauptteil des Pektinmoleküls ein Gebilde aus 4 eng aneinander geketteten Molekülen Galakturonsäure ein, dessen Gesamtkomplex mit verschiedenen anderen Gruppen in teils fester, teils lockerer chemischer Bindung steht. Es gelang nun durch eine bestimmt geleitete Hydrolyse mit verdünnter Salzsäure bei Wasserbadwärme diesen Hauptkern des Pektinmoleküls für sich herauszusprenken, ihn frei von anderen Gruppen, auch von Methoxyl, rein in Form einer farblosen amorphen Substanz in guter Ausbeute darzustellen und als eine nur aus 4 Mol. *d*-Galakturonsäure bestehende, komplex gebundene Tetragalakturonsäure zu kennzeichnen. Diese für das Pektin besonders charakteristische Verbindung, jetzt Pektolsäure genannt, die sich aus jeder Art von Pektin leicht gewinnen läßt, hat die Bruttoformel $C_{24}H_{34}O_{25}$ und ist eine vierbasische Säure mit 4 freien Carboxyl-Gruppen entsprechend der erweiterten Formel $C_{20}H_{30}O_{17}(COOH)_4$. Sie ist in kaltem Wasser nur schwer, in heißem Wasser leichter löslich, löst sich dagegen in Salzsäure gar nicht, reduziert im Gegensatz zur freien Galakturonsäure Fehlingsche Lösung nur sehr schwach und besitzt ein außergewöhnlich hohes spezifisches Drehungsvermögen nach rechts ($[\alpha]_D = +298^\circ$). Während nun die Alkalisalze der Säure leicht in Wasser löslich sind und aus diesen Lösungen sich die Säure selbst auf Zusatz von Salzsäure in schleimigen trüben Flocken ausscheidet, ist es sehr eigentümlich, daß die Pektolsäure durch Erdalkali- und Metallsalze, wie von Calcium, Baryum, Blei und anderen, sofort in Form von dichten klaren Gallerten gefällt wird, die aus den entsprechenden wasserunlöslichen Salzen der Pektolsäure bestehen. Durch Erhitzen mit Säuren unter Druck spaltet sich die Pektolsäure in monomolekulare *d*-Galakturonsäure auf, und diese Zerlegung verläuft noch vollkommener bei Einwirkung des Fermentes Pektolase.

Wenn man nun aber die Pektolsäure längere Zeit nur mit Wasser oder sehr verdünnten Säurelösungen kocht, so vollzieht sich mit ihr eine andere sehr merkwürdige chemische Umwandlung. Es entsteht nämlich daraus eine in Wasser und auch in Salzsäure leicht lösliche Verbindung, die sich aus der salzsauren Lösung nur mit Alkohol ausflocken und durch wiederholtes Umfällen ebenfalls rein in Form eines farblosen amorphen Pulvers gewinnen läßt. Auch diese Verbindung erwies sich als eine komplexe Tetragalakturonsäure aus 4 Mol. *d*-Galakturonsäure bestehend, in die sie ebenso wie die Pektolsäure durch Druckerhitzung mit Säuren oder Fermentwirkung übergeführt werden kann, und stellt offenbar ein Zwischenprodukt des Abbaues der Pektolsäure zur monomolekularen Galakturonsäure dar. Die so erhaltene Substanz besitzt die Bruttoformel $C_{24}H_{32}O_{24}$, die von der der Pektolsäure nur um den Mindergehalt von 1 Mol. H_2O abweicht. Sie ist ebenfalls eine vierbasische Säure, die aber nur 3 Carboxylgruppen frei, die vierte dagegen in Form eines Laktons enthält und deshalb als Pektolaktonsäure bezeichnet wird. Sie zeigt ein etwas geringeres Drehungsvermögen ($[\alpha]_D = +250^\circ$) als die Pektolsäure und reduziert im Gegensatz zu dieser deutlich, enthält also eine freie Aldehyd- oder eine entsprechende Halbacetalgruppe. Besonders beachtenswert war aber, daß sich die Metallsalze der Pektolaktonsäure nur in losen körnigen Flocken und nicht in kompakten Gelen wie die der Pektolsäure abschieden, daß demnach die Heißwasserbehandlung der Pektolsäure allein schon zum vollständigen Verlust des Gelatiniervermögens ihrer Salze führt. Auf Grund eingehender chemischer Untersuchungen war es möglich, die folgenden chemischen Konstitutionsbilder aufzustellen, die trotz Ähnlichkeit in der Zusammensetzung die verschiedene chemische Struktur beider Tetragalakturonsäuren klar erkennen lassen:



Der Hauptunterschied im chemischen Bau beider Verbindungen ist also der, daß die durch glykosidartige Bindungen komplex verknüpften 4 Moleküle Galakturonsäure im Molekül der Pektolsäure in Form eines geschlossenen Ringes aneinander hängen, während sie in der Pektolaktonsäure hintereinander geschaltet in Form einer offenen Kette auftreten. Längeres Kochen mit Wasser genügt schon, um an der durch die Pfeile gekennzeichneten Stelle den Ring der Pektolsäure zu der offenen Kette der Pektolaktonsäure aufzusprengen, wobei unter Anlagerung von 1 Mol. H_2O eine freie Aldehyd- bzw. Halbacetalgruppe entsteht und gleichzeitig durch Abspaltung von 2 Mol. H_2O eine Sauerstoffbrücke und eine Laktongruppe in dem einen der 4 Mol. Galakturonsäure sich neu bilden. Die hier beobachtete Tatsache, daß durch kochendes Wasser allein eine Verbindung, die typisch gelförmige Salze liefert, in eine solche verwandelt werden kann, die diese Fähigkeit ganz verloren hat, erinnerte an die längst bekannte Erscheinung, daß bei zu weit getriebenem Einkochen das Gelierungsvermögen von Obstsäften oder Pektin-Zucker-Gelees unter Umständen vollkommen irreversibel zerstört wird. Andererseits hatte sich gezeigt, daß bei der Extraktion der Obstfrüchte ein gutgelierendes Pektin sich nur bei kurzdauerndem Kochen mit Säurelösungen von relativ hoher Wasserstoffionenkonzentration ergab, ebenso wie auch beim Einkochen von Gelees die Einhaltung eines bestimmten günstigen niederen p_H für die Güte und Festigkeit der Endprodukte entscheidend ist, während in beiden Fällen Erhitzen in Lösungen von zu geringer Wasserstoffionenkonzentration in der Nähe des Neutralpunkts stark schädigend wirkt. Auch dieses Verhalten steht in vollkommener Analogie zu dem der Pektolsäure, die auch in Lösungen von Mineralsäuren erhitzt relativ große Beständigkeit aufweist, aber mit Wasser gekocht sich bald in die Pektolaktonsäure aufspaltet, die keine gelbildenden Eigenschaften mehr besitzt und sich auch auf keine Weise mehr in die Pektolsäure zurückverwandeln läßt.

Da die Pektolsäure den Hauptteil des Pektinmoleküls bildet, so mußte es nach alledem als sehr wahrscheinlich betrachtet werden, daß das Geliervermögen des Pektins chemisch im wesentlichen mit der eigenartigen ringförmigen Anordnung und Bindung der 4 Moleküle Galakturonsäure in dem Pektolsäure-Komplex im engsten Zusammenhange steht. Jede Behandlung der Pektinlösungen, die chemisch zur Erhaltung dieses Ringsystems beiträgt, schont offenbar auch die Geliervkraft des Pektins, und jeder Eingriff, der zur Sprengung des Ringes führt, muß auch die Gelbildung des Pektins vernichten. Nun liegt die Pektolsäure angereichert gerade in den besonders gut gelierenden Anteilen des Obstpektins vor, und zwar nicht in freier Form, sondern in Form von Methylestern. Da die Pektolsäure selbst nur in amorphen Flocken und nicht gelartig sich abscheidet, aber stark gelbildende Salze bildet, so entstand die Frage, ob etwa den Methylestern

dieser Säure eine besondere Fähigkeit zur Gelierung von Zuckersirupen zukommt. Untersuchungen in dieser Richtung mußten namentlich im Hinblick auf die früher vielfach vertretene und oben bereits widerlegte Anschauung Interesse erwecken, daß die Stärke der Geliervkraft eines Pektins von der Höhe seiner Methoxylierungsstufe abhängt. Eine stufenweise Veresterung der vier Carboxyle der Pektolsäure durch Kochen der getrockneten Verbindung mit absolutem Methylalkohol und Mineralsäuren als Katalysator ließ sich leicht erreichen. Man erhielt hierbei unter anderem einen sauren Dimethylester $C_{20}H_{30}O_{17} \cdot (COOH)_2 \cdot (COOCH_3)_2$ mit 8,3% Methoxyl (OCH_3) und einen neutralen Tetramethylester $C_{20}H_{30}O_{17} \cdot (COOCH_3)_4$ mit 15,9% Methoxyl, also mit einem viel höheren Methoxylgehalt als er früher für die angeblich bestgelierenden Pektine (11–12%) angegeben wurde. Beide Verbindungen sind amorphe farblose Substanzen, die sich im Gegensatz zur freien Pektolsäure leicht schon in kaltem Wasser lösen. Sowohl der Diester wie auch der Tetraester der Pektolsäure bilden aber, mit Zucker unter Zusatz von Weinsäure eingekocht, nur Sirupe und kein Gelee.

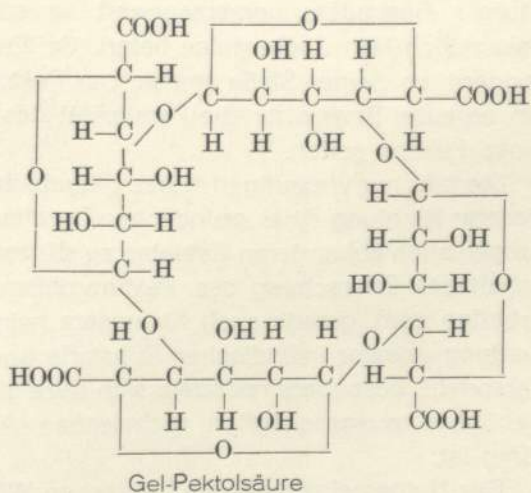
Der negative Ausfall dieser Versuche konnte nun darauf hindeuten, daß die Pektolsäure doch vielleicht nicht als der gelierende Komplex des Pektins in seiner Ursprungsform anzusehen ist, sondern daß dieser bei seiner Absplitterung aus dem Pektin gewisse Veränderungen erlitten hat, die ihn seiner gelierenden Kraft beraubten. Da zur Darstellung der Pektolsäure das Pektin längere Zeit mit verdünnter Salzsäure bei 70–80° erhitzt werden muß, so schien es immerhin möglich, daß selbst unter diesen schonenden Bedingungen etwa ein höher molekularer Körper, an dem das eigentliche Geliervermögen hängen konnte, sich bereits in die Pektolsäure verwandelte, die dann diese Eigenschaften nicht mehr zeigt. Nun liegt offenbar in den gut gelierenden Anteilen der Obstfrüchte ebenso wie in hochwertigem Pektin, das daraus gewonnen ist, der Galakturonsäurekomplex schon weitgehend von allen übrigen Gruppen befreit in Esterform vor, und es war sehr wahrscheinlich, daß es auch durch Anwendung milderer Verseifungsverfahren gelingen mußte, die daran noch haftenden Methoxylreste abzusprengen, ohne an dem übrigen Teil des Moleküls chemisch das geringste zu ändern. Das war in der Tat der Fall. Durch eine in der Kälte durchgeführte alkalische Hydrolyse von Citrus- und Äpfelpektin gelang es unter Abspaltung von Methylalkohol aus den ursprünglich vorhandenen Estern eine bis dahin nicht bekannte typisch gallertartige Gel-Pektolsäure zu gewinnen, die allgemein als das eigentümliche gelbildende Prinzip der Pektine zu betrachten ist. Ich will hier kurz vorläufig über die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen berichten, die genauer späterhin in den Berichten des Deutschen Chemischen Gesellschaft und in der Biochemischen Zeitschrift veröffentlicht werden.

Wenn man wäßrige Lösungen von Citrus- oder Äpfelpektin mit überschüssiger Natronlauge in der Kälte einige Zeit stehen läßt, bis die Verseifung der darin vorhandenen Methylester vollständig ist, und dann die noch alkalische Flüssigkeit mit Salzsäure stark ansäuert, so scheiden sich kompakte Mengen dichter Gallertflocken ab, die sich leicht filtrieren und mit Salzsäure und Alkohol gut auswaschen lassen. Sie schrumpfen dabei zu einer bröckligen Masse zusammen, die durch weiteres Waschen mit Alkohol vollständig von der Salzsäure befreit werden kann und die schließlich durch Behandeln mit Äther und Verreiben an der Luft ein lockeres weißes Pulver ergibt. Diese Substanz ist nun nicht einheitlich, sondern enthält stets, bei Citruspektin nur in Mengen von 12–15%, bei Äpfelpektin bis zu einem Drittel, die gewöhnliche Pektolsäure, die aus dem Gemisch leicht mit mäßig warmem Wasser herausgelöst werden kann. Es hinterbleibt nun nach nochmaliger Behandlung mit Alkohol und Äther getrocknet eine schneeweiße, fast aschenfreie Verbindung, die in kaltem Wasser praktisch unlöslich ist. Sie ist vollkommen einheitlich und ließ sich mit identischen Eigenschaften sowohl aus Citrus- wie aus Äpfelpektin isolieren, aus hochwertigem Citruspektin sogar in Mengen, die etwa 80% des im Pektin enthaltenen Galakturonsäurekomplexes entsprachen.

Diese neue Verbindung ist eine Säure, die in vieler Hinsicht der Pektolsäure sehr ähnlich ist, aber in einzelnen Eigenschaften sich sehr wesentlich von dieser unterscheidet. Die in kaltem

Wasser unlösliche Säure, die fast dieselbe Acidität besitzt wie die Pektolsäure, löst sich in verdünnten Laugen und zeigt in diesen Lösungen fast dieselbe hohe spezifische Drehung wie die Pektolsäure, reduziert aber im Gegensatz zu dieser Fehlingsche Lösung auch nicht spurenweise. Ganz abweichend hiervon und sehr eigentümlich ist nun aber das Verhalten der neuen Substanz, wenn man versucht, aus den Lösungen ihrer Alkalisalze mittels Salzsäure die Säure in Freiheit zu setzen. Während in diesem Falle aus pektolsaurem Natrium sich die Pektolsäure nur schleimig in losen Flocken ausscheidet, erstarrt beim Ansäuern nur mäßig konzentrierter Lösungen des Natriumsalzes infolge des Freiwerdens der neuen Säure das ganze Volumen der Flüssigkeit zu einer wasserklaren, durchsichtigen Gallerte, die meist so fest ist, daß man das betreffende Gefäß umstürzen kann, ohne daß die Masse zum Ausfließen kommt. Auch Ansäuern mit Weinsäure ruft dieselbe Wirkung hervor. Auffallend ist auch die starke Viskosität der wäßrigen Lösungen der Alkalisalze der neuen Säure, die bei stärkerer Konzentration sich wie dickflüssige Sirupe verhalten. Wie genaue Messungen zeigten, ist noch in 0,3proz. Lösung ihres Natriumsalzes die relative innere Reibung um ein Drittel höher als bei einer gleichkonzentrierten Lösung des Natriumsalzes der Pektolsäure. Besonders bemerkenswert war aber, daß schon relativ geringe Mengen des Natriumsalzes dieser „Gallertsäure“ mit Zuckersirup und Weinsäure auf dem Wasserbad kurze Zeit bis zur Lösung erwärmt, ein klares ziemlich festes Gelee ergeben. Es kann also kaum noch einem Zweifel unterliegen, daß diese neue Gel-Pektolsäure genannte Verbindung der gesuchte Substansteil des Pektins in seiner ursprünglichen Form ist, mit dem das Gelierungsvermögen des Pektins in unmittelbarem Zusammenhange steht.

Die weitere eingehende Untersuchung hat nun als sehr wahrscheinlich erwiesen, daß der für die neue Verbindung gewählte Name durchaus zu recht besteht, da tatsächlich die neue Gel-Pektolsäure zu der bisher bekannten Pektolsäure chemisch in nächsten Beziehungen steht und sich von ihrer Konstitution nur sehr wenig, aber in sehr charakteristischer Weise unterscheidet. Wie diese ist sie aus 4 Molekülen *d*-Galakturonsäure zusammengesetzt, in die sie ebenso wie die Pektolsäure durch Erhitzung mit Säuren unter Druck oder durch das Ferment Pektolase zerfällt, wobei ebenfalls die Pektolaktonsäure Zwischenprodukt bildet. Man hätte meinen können, daß die ungemein starken kolloidalen Eigenschaften der Gel-Pektolsäure für ein ganz bedeutend höheres Molekulargewicht der neuen Verbindung sprechen und daß etwa eine noch weit höhere Zahl von Molen der Galakturonsäure in ihrem Komplex vereinigt ist. Daß dies nicht der Fall sein kann, zeigen mit großer Wahrscheinlichkeit Messungen der Acidität der freien Säure und des Molekulargewichts des Natriumsalzes unter Berücksichtigung seiner Dissoziation in wäßriger Lösung sowie die Werte der Elementaranalysen und anderer Bestimmungen, die dem übrigen chemischen Verhalten der Gel-Pektolsäure durchaus entsprechen. Auf Grund der bisherigen noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen muß der Gel-Pektolsäure mit ziemlicher Sicherheit die Bruttoformel $C_{24}H_{32}O_{24}$ zugesprochen werden, die 1 Mol. H_2O weniger wie die bis dahin bekannte Pektolsäure enthält, woraus sich dann das folgende Konstitutionsbild folgerichtig ergeben würde:



Ein Vergleich dieses Formelbildes mit dem früher mitgeteilten zeigt ohne weiteres die große Ähnlichkeit, aber auch den sehr charakteristischen Unterschied in der Konstitution der Gel-Pektolsäure gegenüber der Pektolsäure. Auch die Gel-Pektolsäure ist eine vierbasische Säure mit 4 freien Carboxylen der vier Moleküle *d*-Galakturonsäure, die ebenso wie in der Pektolsäure in

glykosidartiger Bindung zu einem Ringe zusammengeslossen sind. Während aber das Gesamtmolekül der Pektolsäure dadurch einen unsymmetrischen Bau aufweist, daß innerhalb eines Moleküls Galakturonsäure infolge Anlagerung von 1 Mol. H_2O eine Sauerstoffbrücke in Wegfall gekommen ist, zeigt der Komplex der Gel-Pektolsäure mit seinen gleichartig verteilten vier Glykosidbindungen und vier Sauerstoffbrücken eine vollkommen symmetrische Konstitution. Vielleicht liegt in diesem symmetrischen Ringbau der Gel-Pektolsäure, der sich offenbar in dem ursprünglichen Pektin befunden haben muß und hier auf die beschriebene Art unversehrt abgespalten werden konnte, das Geheimnis der Gelierfähigkeit des Pektins begründet. Mit der großen Spannung, die scheinbar in diesem Ringsystem liegt, und mit der Unmöglichkeit seiner Regenerierung, wenn einmal durch Wasseranlagerung daraus Pektolsäure oder gar durch Ringsprengung weiterhin Pektolaktensäure entstanden ist, wäre wohl auch die ungemein große Empfindlichkeit der Gelierkraft des Pektins und die Schwierigkeit ihrer Erhaltung sowohl bei der Herstellung gutgelierenden Pektins wie bei der Bereitung der Gelees zu erklären. Hierüber und über andere wichtige, die Wissenschaft und Technik in gleicher Weise berührende Fragen, besonders die, ob tatsächlich der Gehalt an Gel-Pektolsäure einen Maßstab für die Qualität eines gelierenden Pektins und für seinen Geliergrad selbst bilden kann, wird es erst möglich sein, durch weitere eingehende chemische und physikalische Untersuchungen Klarheit zu schaffen.

Jedenfalls zeigen schon unsere bisherigen Versuche deutlich, daß bei längerem Kochen mit Wasser die freie Gel-Pektolsäure glatt in die Pektolsäure übergeht, und daß sich dieser Übergang ebenfalls, wenn auch langsamer, vollzieht, wenn man unter den Bedingungen der Darstellung der Pektolsäure aus Pektin die Gel-Pektolsäure mit verdünnter Salzsäure einige Stunden bei Wasserbadwärme erhitzt. Das ist auch der Grund, warum sie früher der Aufmerksamkeit entgangen ist, da bei der Säurespaltung des Pektins die Ursprungssubstanz immer gleich weiter bis zur Pektolsäure und Pektolaktensäure abgebaut wird. Die Erscheinung, daß offenbar die Gel-Pektolsäure in den Pektinen verschiedener Pflanzen in sehr ungleichen Mengen auftritt, wäre in analoger Weise so zu deuten, daß es hier Fermente gibt, die ursprünglich entstandene Gel-Pektolsäure durch Hydrolyse in Pektolsäure und weitere Abbaustufen verwandeln können, und daß diese Fermente in den verschiedenen Organen und je nach dem Stadium des Wachstums der Pflanzen in stark wechselnden Mengen auftreten. Damit scheint auch eine Erklärung dafür gegeben zu sein, daß das Albedo der Citrusfrüchte sehr reich ist an Gel-Pektolsäure, während Äpfelpektin davon deutlich weniger enthält, dafür aber entsprechend mehr Pektolsäure. Besonders bemerkenswert ist schließlich noch, daß im Zuckerrübenpektin, das bekanntlich kein Zuckergelee liefert, Gel-Pektolsäure bisher überhaupt nicht aufzufinden war, sondern an seiner Stelle immer nur Pektolsäure. Gerade dieser negative Befund kann als ein erneuter Beweis für die Parallelität des Auftretens der Gel-Pektolsäure und der Gelierkraft eines Pektins gelten.

Die hier nur vorläufig in Kürze mitgeteilten Befunde bedürfen naturgemäß noch in verschiedenster Richtung einer gründlichen Durcharbeitung, um ihre Ergebnisse durch neue Beobachtungen auch auf anderen Gebieten zu stützen. Ich möchte aber glauben, daß die weitere wissenschaftliche Erforschung des Pektinproblems, wenn sie auch viel mit ausländischem Material arbeiten muß, gerade auch für unsere heimische Industrie und für die Ausnutzung und Verwertung unserer inländischen Rohstoffe und Materialabfälle von großer Bedeutung zu werden verspricht, besonders nachdem sich gezeigt hat, welcher ungemein großen und noch gar nicht genügend ausgeschöpften technischen Anwendungsfähigkeit die Gruppe der Pektinstoffe fähig ist.

Der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, die mich bei meinen Arbeiten vielfach mit Mitteln unterstützt hat, sage ich auch an dieser Stelle hierfür ergebensten Dank.

Zum Schluß danke ich noch bestens den Assistentinnen Fräulein Dr. Renate Guttmann und Fräulein Dr. Ruth Haensel für ihre eifrige Mitarbeit bei dem analytischen Teil dieser Untersuchungen.

Einschlägige Arbeiten.

- ¹⁾ F. Ehrlich, Cellulosechemie 11, 140, 161 (1930).
- ²⁾ F. Ehrlich, Jahresber. Schles. Ges. vaterl. Cultur, Biolog. Sekt. 1930, 57. — K. Imhäuser, Archiv experiment. Patholog. und Pharmakol. 167, 702 (1932). — K. Voit, Verh. Gesellsch. Verdauungs- und Stoffwechselkrankheiten, 12. Tagung Wiesbaden 1934, Ber. S. 122. — G. Malyoth, Klin. Wochenschr. 10, 1159, 1255 (1931).
- ³⁾ W. Peyer und H. Imhof, Apotheker-Ztg. 1928, Nr. 41.
- ⁴⁾ R. Sucharipa, Die Pektinstoffe, Braunschweig 1925.
- ⁵⁾ F. Ehrlich-Kutzner, DRP. 384772 (1923).
- ⁶⁾ P. Seidler, DRP. 463184 (1925); 467184 (1926); 467788 (1927). — F. Ehrlich, Ztschr. anorgan. Chemie, 203, 26 (1931).
- ⁷⁾ Lattopekt-Verfahren der Pomosin-Werke, Frankfurt a. M.
- ⁸⁾ C. P. Wilson, Ind. engin. Chem. 17, 1065 (1925); 20, 1302 (1928).
- ⁹⁾ Ph. B. Myers und G. L. Baker, Delaware Agricult. Exper. Stat. Bull. Nr. 160, Techn. 10 (1929); Bull. 168, Techn. 12 (1931).
- ¹⁰⁾ E. Jameson, F. N. Taylor und C. P. Wilson, Amerik. Patent Nr. 1497884 (1924).
- ¹¹⁾ G. Wendelmuth, Kolloidchem. Beihefte 19, 115 (1924).
- ¹²⁾ Ph. B. Myers und G. L. Baker, Delaw. Agric. Exp. Stat. Bull. 149, Techn. 8 (1927).
- ¹³⁾ H. Lüers und K. Lochmüller, Kolloid-Zeitschr. 42, 154 (1927).
- ¹⁴⁾ F. Ehrlich, Chem. Ztg. 41, 197 (1917); Dtsch. Zuckerind. 49, 1046 (1924); Ztschr. angew. Chem. 40, 1305 (1927); Cellulosechemie 11, 140, 161 (1930); in Kleins Handbuch der Pflanzenanalyse Bd. 3, 80 (1932); Biochem. Ztschr. 250, 525; 251, 204 (1932). — F. Ehrlich und R. v. Sommerfeld, Biochem. Ztschr. 168, 263 (1926). — F. Ehrlich und F. Schubert, Biochem. Ztschr. 169, 13 (1926); Ber. Deutsch. Chem. Ges. 62, 1974 (1929). — F. Ehrlich und A. Kosmahly, Biochem. Ztschr. 212, 162 (1929). — F. Ehrlich, Ber. Dtsch. Chem. Ges. 65, 352 (1932). — F. Ehrlich und R. Guttman, Biochem. Ztschr. 259, 100 (1933); Ber. Dtsch. Chem. Ges. 66, 220 (1933); 67, 573 (1934). — R. Haensel, Dr. Ing.-Dissertation Breslau T. H. 1935.
- ¹⁵⁾ Th. v. Fellenberg, Biochem. Ztschr. 85, 45, 118 (1918.)
- ¹⁶⁾ Ph. B. Myers und G. L. Baker, Delaware Agric. Exp. Stat. Bull. 187 Techn. 15 (1934).
- ¹⁷⁾ M. H. Carré und D. Haynes, Biochem. Journal 16, 60 (1922). — C. Griebel, Ztschr. Unters. Lebensmittel 54, 175 (1927). — H. Eckart, Konserven-Ind. 12, 119, 487 (1925); Ztschr. medicin. Chem. 5, 17 (1927).

Ein neues Verfahren zur Unterdrückung der Oberwellen bei Gleichstrom-Maschinen mit Nutenankern

Von Karl Euler in Breslau

Einleitung

Die Gleichstrommaschine üblicher Bauart mit Nutenanker liefert keine reine, sondern eine pulsierende Gleichspannung, d. h. der Gleichspannung ist eine Wechselspannung überlagert. Diese Wechselspannung, deren Entstehungsursachen hier nebensächlich sind, besitzt je nach der verwendeten Maschine eine mehr oder weniger regelmäßige Kurvenform, die bei jeder einzelnen Maschine verschieden und ihr daher eigentümlich ist. Die Amplitude der Wechselspannung ist meist klein und beträgt bei größeren Maschinen einige Prozent der Gleichspannung, bei kleinen Maschinen mit wenigen Nuten pro Polpaar kann sie aber auch recht hohe Werte bis zu $\pm 25\%$ der Gleichspannung und mehr erreichen.

Wie sich aus oszillographischen Aufnahmen ergibt, setzt sich die überlagerte Wechselspannung aus periodischen und nicht periodischen Wechselwellen zusammen.

Die nicht periodischen Wechselwellen können verursacht werden durch mechanische Erschütterungen des Ankers und der Bürsten, durch vorstehende Kollektorlamellen oder Isolation und der damit verbundenen unregelmäßigen Funkenbildung an den Bürsten, ferner durch starkes Bürstenfeuer infolge schlechter Kommutation bzw. falscher Bürstenstellung oder schließlich durch seitliches Ankerspiel. Auf diese nicht periodischen Spannungsschwankungen soll jedoch nicht näher eingegangen werden, da sie durch geeignete Maßnahmen meist ohne Schwierigkeit beseitigt werden können.

Die periodisch verlaufende Wechselwelle, deren Kurvenform nach jeder Ankerumdrehung wiederkehrt, denkt man sich am zweckmäßigsten in zwei nicht sinusförmige Wechselwellen verschiedener Frequenz zerlegt, in eine Wechselwelle niederer Frequenz, die „Grundwelle“ genannt werden soll, Abb. 1 und die in der Regel mit doppelter Drehzahlfrequenz pulsiert und in eine Wechselwelle höherer Frequenz, die „Nutenoberwelle“ oder kurz „Oberwelle“ genannt werden soll, die mit einfacher oder doppelter Nutenfrequenz pulsiert, je nachdem die Ankeranzahl pro Polpaar gerade oder ungerade ist.

Diese Grundwelle von meist kleiner Amplitude darf nicht mit der ersten oder Grundharmonischen der überlagerten Wechselwelle verwechselt werden. Sie ist vielmehr diejenige nicht sinusförmige Wechselwelle, die übrigbleiben würde, wenn die Nutenoberwellen zum Ver-

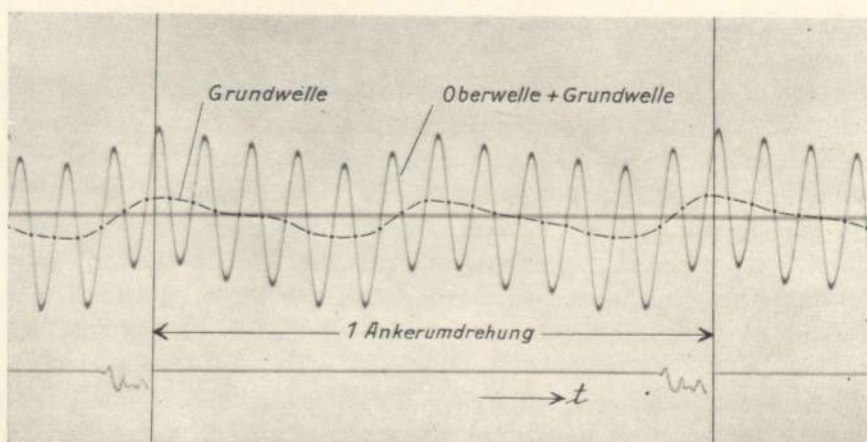


Abb. 1. Die überlagerte Wechselspannung (Oberwellen + Grundwellenspannung) einer zweipoligen Gleichstrommaschine mit 12 Ankerntuten. Grundwellenspannung punktiert.

schwinden gebracht würden, was z. B. durch Ersatz des genuteten Ankers durch einen sonst gleichwertigen ungenuteten Anker mit unendlich fein verteilter Wicklung und ebensolchem Kollektor mit unendlich schmalen Bürsten denkbar wäre.

Im allgemeinen ist die überlagerte Wechselspannung praktisch ohne Bedeutung, da sie im Betrieb keinerlei nachteilige Folgen mit sich bringt. Bei manchen Verwendungszwecken jedoch würde die Wechselspannung, selbst wenn sie vielleicht nur Bruchteile eines Prozent der Gleichspannung und weniger beträgt, so starke und unangenehme Störwirkungen hervorrufen, daß eine unmittelbare Verwendung von Maschinenstrom unmöglich ist. Derartige Sonderzwecke, bei denen oberwellenfreier Maschinengleichstrom erforderlich ist, liegen z. B. vor in der Drahttelephonie zum Laden der Batterie, in der Radiotechnik zur Lieferung des Heizstromes oder der Anoden- bzw. der Gittervorspannung ferner in der Meßtechnik bei Isolationsmessungen an Kabeln oder bei Messungen von Drehzahlen oder von Drehbeschleunigungen nach der Ytterbergschen Kondensatormethode¹⁾ mittels des Oszillographen.

Hinsichtlich der Oberwellenfreiheit des in Sendebetrieben verwendeten Maschinengleichstromes stellt z. B. die Reichspost die Bedingung, daß die Amplitude der überlagerten Wechselspannung hinter der Glättungseinrichtung den Betrag von ± 1 pro Mille der Gleichspannung nicht überschreiten soll.

Mit Maschinen normaler Bauart ist es nicht möglich, einen derart reinen Gleichstrom unmittelbar zu erzeugen; es sind daher besondere Maßnahmen zur Unterdrückung der überlagerten Wechselspannung notwendig.

Diese beruhen darauf, die Wechselspannung entweder innerhalb der Maschine zum Verschwinden zu bringen oder sie außerhalb der Maschine unschädlich zu machen bzw. ihr Eindringen in den Nutzstromkreis zu verhindern.

Zu diesem Zweck können z. B. Glättungseinrichtungen in Form von Drosseln, die zwischen Maschine und Nutzkreis geschaltet sind oder von parallel zu den Maschinenklemmen liegenden Kondensatoren oder von Kombinationen beider in Form von Sperrkreisen verwendet werden.

Eine andere Möglichkeit besteht in der Verwendung eines Zusatztransformators mit Hilfsbatterie nach K. Schmidt²⁾.

Diese Mittel stellen nur unvollkommene Lösungen dar, da ihre Bestwirkung an eine ganz bestimmte Wechselwellenfrequenz bzw. eine bestimmte Gleichspannung und damit an eine bestimmte Maschinendrehzahl gebunden ist. Ändert sich die Drehzahl, oder soll die Maschine mit beliebig veränderlicher Drehzahl betrieben werden, so kann von einer befriedigenden Wirkung nicht mehr die Rede sein.

Die zweite Möglichkeit, die Wechselspannung bereits innerhalb der Maschine zum Verschwinden zu bringen, kann sich nur auf entsprechende konstruktive Maßnahmen erstrecken, wie z. B. Verwendung von Dämpferwicklungen, Vergrößerung des Luftspaltes, Vergrößerung der Ankernutzahl pro Polpaar, Verwendung eines ungenuteten Ankers, Schrägstellen der Ankernten oder der Polschuhkanten oder Verwendung eines besonderen Hilfspolpaares außerhalb der Wendezone nach W. Rogowski³⁾.

Ihrer Wirkungsweise nach gestatten auch diese Hilfsmittel nur eine entsprechende Verkleinerung der Oberwellenspannung aber keine vollständige Unterdrückung.

Es gibt zwar eine Maschinenart, die vollkommen reinen Gleichstrom liefert, das ist die Unipolarmaschine mit feststehendem Ankereisen und rotierendem Kupferzylinder oder Kupferstäben als Ankerwicklung. Wegen des erforderlichen großen Luftspaltes und der geringen Anzahl der induzierten Ankerleiter sind derartige Maschinen aber wirtschaftlich nur für ganz

¹⁾ A. Ytterberg, Eine neue Methode zur Bestimmung der Leerlaufverluste einer Maschine, E. T. Z. 1912, S. 1158. Vgl. auch G. Keinath, Die Technik der elektrischen Meßgeräte, Verlag R. Oldenbourg, München und Berlin 1921, S. 391.

²⁾ K. Schmidt, Die Stromversorgung großer Telephonzentralen, E. T. Z. 1924, S. 708.

³⁾ Vgl. K. Hammers, Oberwellenfreier Gleichstromgenerator, Archiv für Elektrotechnik 1926, Bd. 17, S. 262.

niedrige Spannungen ausführbar und daher nur für einige wenige Sonderzwecke in der Meßtechnik verwendbar.

Im Gegensatz zu diesen bekannten Anordnungen läßt sich bei Maschinen üblicher Bauart mit Nutenanker nach folgendem neuen Verfahren eine vollständige Aufhebung der gesamten überlagerten Wechselfeldspannung innerhalb der Maschine erreichen. Das Verfahren hat den Vorteil, nicht nur bei jeder beliebigen gleichbleibenden, sondern auch bei beliebig veränderlicher Maschinendrehzahl also Gleichspannung selbsttätig in vollem Maße wirksam zu sein.

I. Verfahren zur Unterdrückung der Oberwellen.

Das Verfahren⁴⁾ geht von folgenden Überlegungen aus:

Werden alle geometrischen und magnetischen Unsymmetrien des genutzten Ankereisens einer Gleichstrommaschine auf irgendeine Weise, z. B. nach einem früher beschriebenen Verfahren⁵⁾, durch Versetzen der entsprechend ausgestanzten Ankerblechscheiben vollständig ausgeglichen, so verschwindet dadurch nicht nur die Grundwellenspannung der Maschine⁶⁾, sondern es wird gleichzeitig auch erreicht, daß die außer der Gleichspannung übrigbleibende Oberwellenspannung zeitlich genau periodisch mit Oberwellenfrequenz pulsiert, da sowohl alle Ankerzähne wie auch alle Ankernuten untereinander magnetisch vollständig gleichwertig sind, d. h. die Kurvenform der Oberwellenspannung muß sich von Periode zu Periode genau wiederholen.

Da außerdem aus Symmetriegründen sowohl bei Rechts- wie auch bei Linkslauf des Ankers genau die gleiche Kurvenform auftritt, so muß die Form der Oberwellenspannung zu den Mittelsenkrechten, die zwischen je zwei benachbarten Nulldurchgängen errichtet sind, spiegelbildlich gleich sein, d. h. der aufsteigende Ast der Oberwellenspannung muß spiegelbildlich gleich dem absteigenden sein und umgekehrt. Positive und negative Halbwellen brauchen aber spiegelbildlich zur Zeitachse einander nicht gleich zu sein, ebenso brauchen deren Nulldurchgänge zeitlich nicht gleichweit voneinander entfernt zu liegen. Die Oberwellenspannung kann also außer ihrer ersten Harmonischen auch gerade und ungerade Harmonische höherer Ordnung in bestimmten Phasenlagen gegenüber der ersten Harmonischen enthalten. Mathematisch ausgedrückt, würde dies heißen, daß in der Fourierschen Reihe für die Kurve der Oberwellenspannung sämtliche Sinusglieder fortfallen, während die Kosinusglieder von ungeraden und geraden Harmonischen vorhanden sein können.

Das Vorhandensein dieser höheren Harmonischen ist abhängig von der Form der Ankerzähne, der Nuten und der Polschuhe, von der Größe des Polbogens und der Größe des Luftspaltes sowie von der Höhe der Eisensättigung.

Soll nun die Oberwellenspannung vollständig aufgehoben werden, so ist dazu die Kompensation aller ihrer Harmonischen erforderlich, aus denen sie zusammengesetzt ist. Das ist möglich, wenn von der bekannten Tatsache Gebrauch gemacht wird, daß mehrere sinusförmige Wechselfeldspannungen gleicher Größe und Frequenz, also Harmonische gleicher Ordnung, sich in jedem Augenblick gegenseitig aufheben, wenn n derartige Wechselfeldspannungen um je $\frac{360}{n}$ elektrische Grade gegeneinander phasenverschoben sind.

Ebenso wie beim Ankereisen lassen sich auch beim Feldmagneteisen alle geometrischen und magnetischen Unsymmetrien ausgleichen, z. B. wenn das Feldmagneteisen unterteilt ist, durch Versetzen der entsprechend ausgestanzten Blechscheiben nach dem im oben erwähnten Patent 502809 angegebenen Verfahren.

⁴⁾ DRP. 609424.

⁵⁾ DRP. 502809.

⁶⁾ Archiv für Elektrotechnik 1930, Bd. 24, S. 230.

Es macht nun keine Schwierigkeit, mehrere derartige Anker und Feldmagnetsysteme von gleichen Abmessungen nach diesem Verfahren mit versetzten Blechen herzustellen, bei denen alle geometrischen und magnetischen Unsymmetrien ausgeglichen sind, so daß sie untereinander magnetisch vollständig gleichwertig sind. Diese Anker und Feldmagnetsysteme außerdem mit gleichen Wicklungen versehen, weisen die besondere Eigenschaft auf, nicht nur magnetisch, sondern auch elektrisch untereinander vollständig gleichwertig zu sein. Damit ist die Möglichkeit gegeben, Maschinen in der erforderlichen Anzahl herzustellen, deren Grundwellenspannungen verschwunden sind und deren Oberwellenspannungen bei gleicher Ankerdrehzahl und Felderregung genau übereinstimmende Kurvenform, Amplitude und Frequenz besitzen.

Da, wie bereits erwähnt, die Oberwellenspannung mit einfacher oder doppelter Nutenfrequenz pulsiert, je nachdem die Ankernutzahl pro Polpaar gerade oder ungerade ist, so entsprechen einem räumlichen Drehwinkel des Ankers um eine Nut- oder Zahnteilung 360 bzw. $2 \cdot 360$ elektrische Grade für die erste Oberwellenharmonische und für die höheren Harmonischen ein deren Ordnungszahl entsprechendes Vielfaches von 360 bzw. $2 \cdot 360$ elektrischen Graden. Für einen beliebigen Drehwinkel α des Ankers, in Nutteilungen gemessen, und eine Harmonische beliebiger Ordnungszahl x wird also der Phasenunterschied zwischen Anfangs- und Endstellung des Ankers bei einer geraden Anzahl von Ankernuten pro Polpaar den Betrag $x \cdot \alpha \cdot 360$ elektrische Grade und bei ungerader Ankernutzahl pro Polpaar den Betrag $2 \cdot x \cdot \alpha \cdot 360$ elektrische Grade aufweisen. Dasselbe gilt auch, wenn statt des Ankers die magnetische Achse des Feldmagneten um den Winkel α auf dem Ankerumfang verschoben wird.

Auf Grund dieser Überlegungen lassen sich alle Harmonischen einer Oberwellenspannung, deren periodischer Verlauf auf die angegebene Weise erreicht ist, folgendermaßen kompensieren:

Enthält die ihrer Gleichspannung überlagerte Oberwellenspannung z. B. alle ungeraden und geraden Harmonischen bis zur $x = m$ ten Harmonischen einschließlich, so werden durch $(m + 1)$ entsprechend angeordnete eigen- oder fremderregte Feldmagnetsysteme gleichzeitig $(m + 1)$ derartige ihren Gleichspannungen überlagerte Oberwellenspannungen von untereinander gleicher Frequenz, Amplitude und Kurvenform, deren erste Harmonischen fortlaufend um je $\frac{360}{m+1}$ elektrische Grade gegeneinander phasenverschoben sind, in den Ankerwicklungen der den Feldmagnetsystemen zugeordneten $(m + 1)$ Anker erzeugt. Bei Hintereinanderschaltung der Ankerwicklungen heben sich dann alle Harmonischen gleicher Ordnung bis zur m ten Harmonischen einschließlich und damit die vorhandenen Oberwellenspannungen in jedem Augenblick gegenseitig auf, während die Gleichspannungen sich addieren.

Außer den genannten Harmonischen (erste bis m te einschließlich) würden, falls vorhanden, auch alle höheren Harmonischen kompensiert werden, mit Ausnahme derjenigen, deren Ordnungszahl durch $(m + 1)$ ohne Rest teilbar ist.

Hieraus folgt, daß unter bestimmten Voraussetzungen auch weniger als $(m + 1)$ z. B. $(m' + 1)$ Oberwellenspannungen von untereinander gleicher Frequenz, Amplitude und Kurvenform zur gegenseitigen Aufhebung genügen, wenn eine oder mehrere Oberwellenharmonische bestimmter Ordnung fehlen und wenn die ersten Harmonischen der sich aufhebenden Oberwellenharmonischen fortlaufend um je $\frac{360}{m'+1}$ elektrische Grade gegeneinander phasenverschoben sind.

II. Verschiedene Ausführungsarten des Verfahrens.

In Abb. 2 ist eine nach dem beschriebenen Verfahren gebaute zweipolige fremderregte Maschine mit 12 Nuten im Ankereisen schematisch für den Fall dargestellt, daß die aufzuhebende Oberwellenspannung außer der ersten noch eine zweite, dritte und vierte Harmonische enthält. Da hier $m = 4$ ist, so sind nach dem vorigen $(m + 1) = 5$ magnetisch und elektrisch gleichwertige Maschinen I bis V von gleicher Größe erforderlich, deren Anker starr miteinander gekuppelt

sind. Die magnetischen Achsen der fünf Feldmagnetsysteme mit ihren zugeordneten Bürsten sind der Reihe nach fortlaufend um je $\frac{360}{m+1} = 72$ elektrische Grade bezogen auf die erste Oberwellenharmonische gegeneinander auf dem Ankerumfang verschoben, entsprechend einer räumlichen Verschiebung von $\alpha = \frac{1}{m+1} = \frac{1}{5}$ Nutteilung bzw. von $\frac{360}{12 \cdot 5} = 6$ Winkelgraden.

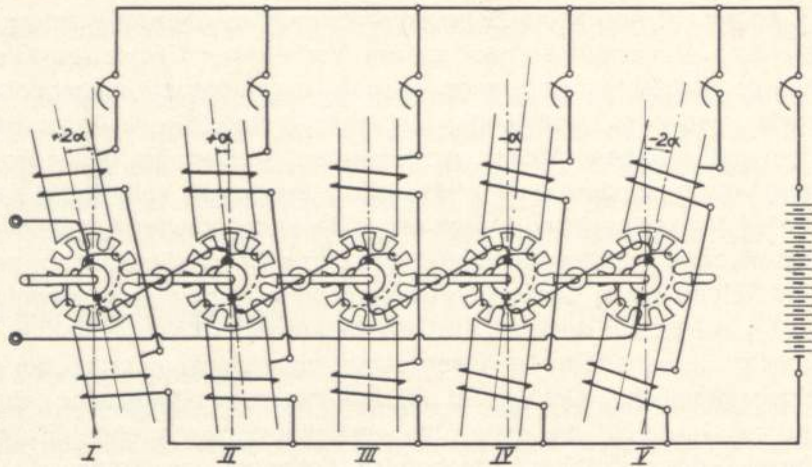


Abb. 2. Schematische Darstellung von 5 gekuppelten zweipoligen Maschinen mit 12 Nuten im Ankereisen, deren Feldmagnetsysteme fortlaufend um den Winkel $\alpha = \frac{1}{5}$ Nutteilung = 6 räumliche Winkelgrade gegeneinander auf dem Ankerumfang verschoben sind.

In den fünf hintereinander geschalteten Ankerwicklungen werden dann fünf sich addierende Gleichspannungen gleicher Größe induziert, denen Oberwellenspannungen von gleicher Frequenz, Amplitude und Kurvenform aber verschiedener Phasenlage überlagert sind. Sämtliche Harmonischen dieser Oberwellenspannungen sind ihren Ordnungszahlen nach getrennt in Abb. 3 vektoriell dargestellt. Dabei sind die Vektoren mit denselben Nummern I—V bezeichnet wie die Maschinen, denen sie nach Abb. 2 zugeordnet sind.

Die Diagramme zeigen, daß sich jeweils die fünf Harmonischen der gleichen Ordnung gegenseitig aufheben, da ihre geometrische Summe gleich Null ist.

Damit sind alle vorhandenen Oberwellenharmonischen bis zur 4. Harmonischen einschließlich innerhalb der Maschine kompensiert, so daß sie eine reine Gleichspannung an ihren Klemmen liefert.

Außer den genannten Harmonischen würden mit dieser Maschinenanordnung, auch noch, falls vorhanden, alle höheren ungeraden und geraden Harmonischen kompensiert werden, mit Ausnahme derjenigen, deren Ordnungszahl gleich $(m+1) = 5$ oder einem ganzen Vielfachen davon ist. Nicht kompensiert würden also die 5., 10., 15., 20. usw. Harmonischen, während alle zwischenliegenden Harmonischen sich gegenseitig aufheben würden.

Statt der Hintereinanderschaltung der Ankerwicklungen können diese auch nebeneinander geschaltet werden, ohne daß dabei Wechselspannungen an den Klemmen der Maschine auftreten. Die Gleichspannung der Maschine ist dann natürlich entsprechend kleiner.

Um die Baulänge des Maschinensatzes in Achsrichtung zu verkürzen, läßt sich auch folgende Anordnung ausführen.

1. Harmonische 2. Harmonische 3. Harmonische 4. Harmonische

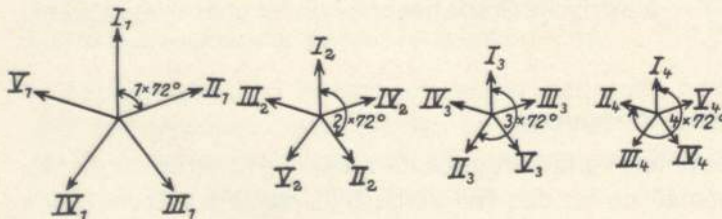


Abb. 3. Gegenseitige Phasenlage der fünf 1. bis 4. Oberwellenharmonischen der fünf Maschinen I bis V nach Ordnungszahlen getrennt.

Die bei der vorigen Maschinenanordnung erforderlichen $(m+1)$ Ankerwicklungen mit ihren Kollektoren werden durch eine oder zwei Ankerwicklungen, auf die alle $(m+1)$ Feldmagnetsysteme gleichzeitig induzierend wirken, und durch einen oder zwei Kollektoren ersetzt. Zu diesem Zwecke sind die auf einer gemeinsamen Welle in entsprechendem

Abstand von einander befestigten $(m + 1)$ Ankerkörper mit einer oder zwei allen Ankern gemeinsamen Ankerwicklung versehen, die an einen bzw. zwei Kollektoren angeschlossen sind. Die den Ankerkörpern zugeordneten $(m + 1)$ eigen- oder fremderregten Feldmagnetsysteme sind in Achsrichtung in denselben Abständen wie die Anker nebeneinander in einem gemeinsamen oder gruppenweise in mehreren Gehäusen angeordnet. Ihre magnetischen Achsen werden ebenso wie bei der früheren Anordnung der Reihe nach fortlaufend um je $\frac{360}{m+1}$ elektrische Grade bezogen auf die erste Oberwellenharmonische gegeneinander auf dem Ankerumfang verschoben. Die Bürsten stehen in der neutralen Zone.

Die Erregung der einzelnen Feldmagnetsysteme kann entweder durch getrennt auf deren Polen angeordnete Erregerwicklungen oder durch eine allen Feldmagnetsystemen gemeinsame Erregerwicklung erfolgen.

In der gemeinsamen Ankerwicklung werden dann gleichzeitig $(m + 1)$ Gleichspannungen gleicher Größe induziert, denen Oberwellenspannungen von gleicher Frequenz, Amplitude und Kurvenform überlagert sind. Da deren 1. Harmonischen fortlaufend um je $\frac{360}{m+1}$ elektrische Grade gegeneinander phasenverschoben sind, heben sich auch hier alle Oberwellenharmonischen gleicher Ordnung gegenseitig auf, mit Ausnahme derjenigen, deren Ordnungszahl durch $(m + 1)$ ohne Rest teilbar ist, während die Gleichspannungen sich addieren.

Um bei beiden Maschinenanordnungen die einzelnen Oberwellenspannungen im Bedarfsfalle getrennt der Phase und Größe nach leichter einstellen zu können, können die Feldmagnetsysteme in ihren Gehäusen nebst den Bürsten einzeln um die Ankerachse drehbar und von außen mittels geeigneter Vorrichtungen, z. B. Schnecken und Schneckenrädern, einstellbar angeordnet und ihre magnetischen Flüsse durch Änderung der Erregerströme mit Hilfe von Vor- bzw. Nebenerregern getrennt regelbar sein. Statt der Feldmagnetsysteme können auch die Anker fortlaufend um dieselben Winkel gegeneinander versetzt werden, während die Feldmagnetsysteme feststehend angeordnet sind. In diesem Falle können bei Verwendung von Kupplungen zwischen den einzelnen Ankern die Kupplungen so eingerichtet sein, daß ihre beiden Kupplungshälften gegeneinander um die Drehachse verdrehbar und im Stillstand oder beim Lauf von außen einstellbar sind.

Wie bereits erwähnt, kann statt der Fremderregung der Feldmagnetsysteme auch Eigen-erregung angewendet werden. Dabei können die Erregerwicklungen als Nebenschluß- oder Hauptschluß- oder als Doppelschlußwicklungen geschaltet sein.

Bei all diesen Erregerschaltungen heben sich die in den Wicklungen der einzelnen Feldmagnetsysteme transformatorisch induzierten Wechselspannungen gegenseitig auf, so daß keine Beeinflussung der Feldmagnetsysteme untereinander stattfindet. Diese Wechselspannungen werden durch Flußschwankungen hervorgerufen, die durch die Ankernutung verursacht sind.

III. Nachprüfung des Verfahrens durch den Versuch und vorläufige Versuchsergebnisse

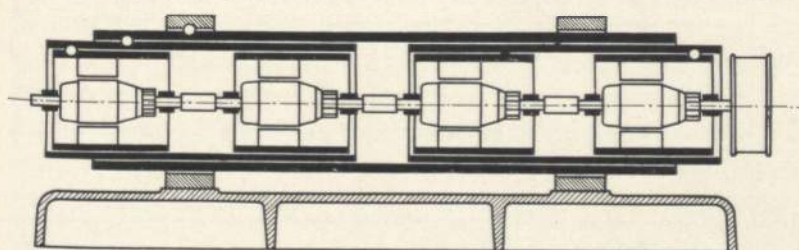


Abb. 4. Längsschnitt durch die Versuchsmaschine.

Nach dem beschriebenen Verfahren wurden zwei aus je vier gleichen Generatoren zusammengesetzte Versuchsmaschinen gebaut, deren Anker starr gekuppelt waren. Die zweipoligen fremderregten Feldmagnetsysteme konnten mittels

Schnecken und Schneckenrädern beliebig gegeneinander verdreht werden. Abb. 4 zeigt die schematische Darstellung einer solchen Versuchsmaschine.

Mit Rücksicht auf die leichtere Herstellung und die Verringerung der Kosten wurde eine kleine Maschinentype mit 44 mm Ankerdurchmesser und 94 mm äußerem Statordurchmesser gewählt. Da das Ankereisen nur 12 Nuten besaß und der Luftspalt nur rund 0,6 mm betrug, waren die überlagerten Oberwellenspannungen verhältnismäßig groß und ihre vollständige Aufhebung daher erschwert.

Bei den Vorversuchen wurden beide Maschinenaggregate starr miteinander gekuppelt und mittels Riemen angetrieben. Um die Oberwellen in vergrößertem Maßstabe zu erhalten, wurde statt der Oberwellenspannung der Ladestrom eines an die Maschinenklemmen gelegten Kondensators von $14 \mu F$ oszillographisch aufgenommen. Die Gleichspannung des Aggregates betrug rund 1000 Volt bei 3000 Umdrehungen pro Minute und Hintereinanderschaltung der Ankerwicklungen.

Oszillogramm Abb. 5 zeigt den Ladestrom i_c des Kondensators bei Phasengleichheit aller Oberwellenspannungen. Die während der Aufnahme aufgetretene Grundwelle rührt nicht von einer durch das Ankereisen verursachten Grundwellenspannung der Maschine her, da sie nur eine statt zwei Perioden pro Ankerumdrehung aufweist; außerdem änderte sich ihre Amplitude und Kurvenform dauernd. Diese Grundwelle ist vielmehr durch äußere Einflüsse verursacht, die periodische Änderungen der Ankerumfangsgeschwindigkeit infolge geringer Exzentrizitäten einzelner Lagerbohrungen oder nicht genauer Übereinstimmung der Achsrichtungen der Maschinenwellen hervorriefen. Nach Behebung dieser Mängel war der Lauf der Maschine einwandfrei, so daß, wie das nächste Oszillogramm zeigt, die Grundwelle verschwunden war.

Oszillogramm Abb. 6 stellt den unter denselben Versuchsbedingungen und mit derselben Oszillographenschleife aufgenommenen Ladestrom i_c bei Verdrehung der Feldmagnetsysteme fortlaufend um je 45 elektrische Grade bezogen auf die erste Oberwellenharmonische dar.

Das Oszillogramm zeigt, daß der durch den Kondensator fließende Oberwellenstrom ange-nähert Null geworden ist, daß also die Oberwellenspannung praktisch zum Verschwinden gebracht ist und die Versuchsmaschine daher eine reine Gleichspannung liefert.

Die Versuche werden fortgesetzt.

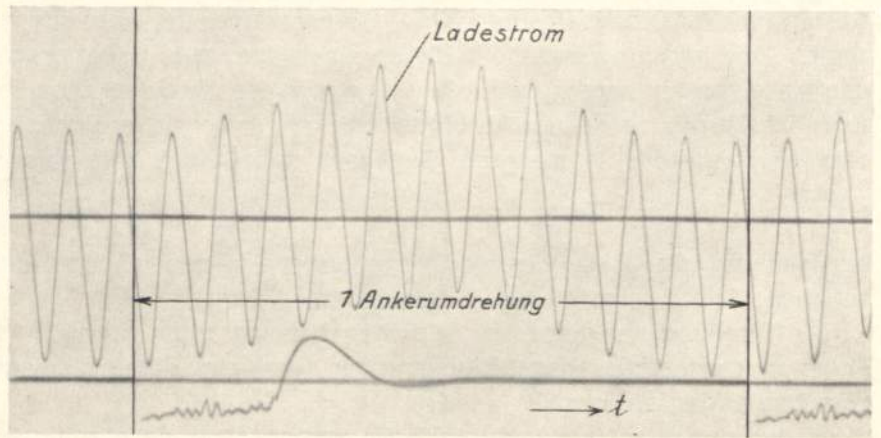


Abb. 5. Der durch einen Kondensator von $14 \mu F$ fließende Oberwellenstrom bei Phasengleichheit aller 8 Oberwellenspannungen.

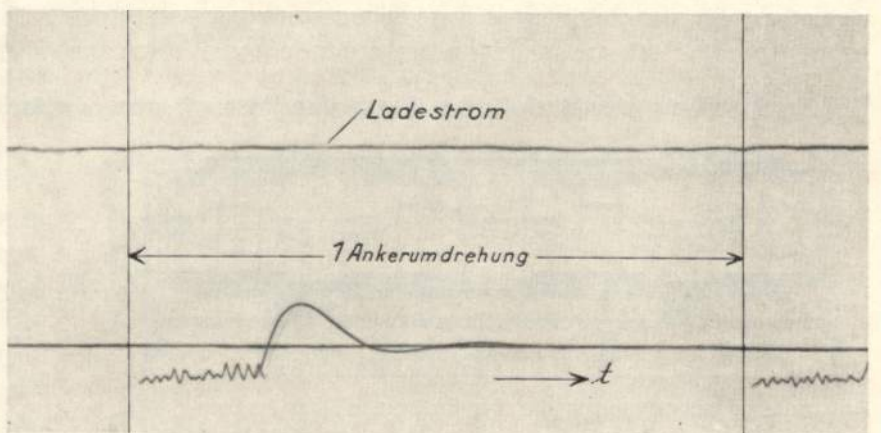


Abb. 6. Der durch einen Kondensator von $14 \mu F$ fließende Oberwellenstrom bei 45° Phasenverschiebung der 8 Oberwellenspannungen gegeneinander.

Über den perspektivischen Charakter von Meßbildern

Von Edwin Feyer in Breslau.

Einleitung

Man begegnet in der Photogrammetrie dem eigenartigen Gegensatz, daß am Anfang das Dogma steht: „Das Meßbild ist eine Perspektive“, daß aber perspektivische Auswertungsmethoden im allgemeinen als zu ungenau abgelehnt werden. Es erhebt sich demnach die Frage: Wenn die perspektivischen Methoden zu ungenauen Ergebnissen führen, ist das Meßbild dann überhaupt eine Perspektive? Oder: Wenn das Meßbild eine Perspektive ist, woran liegt es, daß die perspektivischen Methoden zu unbefriedigenden Ergebnissen führen?

Im folgenden soll diesen Fragen nähergetreten werden. Und zwar wird nach Voranstellung der notwendigen theoretischen Grundlagen die Auswertung eines praktischen Beispiels erfolgen, dessen äußere Aufnahmeanordnung mittels Winkelmessung bestimmt wurde, und es wird untersucht werden, in welchem Verhältnis die rein perspektivische Auswertung zu der durch Winkelmessung erzielten Bestimmung steht.

Als Aufnahmeobjekt diente der Breslauer Messehof, der sich durch lange, ebene Fronten, die zueinander einen rechten Winkel bilden, für perspektivische Fragen als besonders geeignet erweist.

Die im folgenden abgeleitete Theorie ermöglicht es, die rein perspektivische Auswertung durch Bestimmung horizontaler Bildpunktabstände am Negativ mittels Komparatormessung durchzuführen und auf Winkelmessung oder zeichnerische Hilfsmittel zu verzichten. Es wurde der große Hugershoff-Heydesche Komparator benutzt, der mir von der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft für meine Untersuchungen dankenswerterweise zur Verfügung gestellt wurde. Die Aufnahme wurde etwa viermal in Abständen von einem halben Jahre wiederholt, ehe befriedigende Ergebnisse erzielt werden konnten. Einerseits war die Meßgenauigkeit des Komparators ursprünglich nicht groß genug, ein Mangel, der aus freundlichem Entgegenkommen der Fa. Heyde durch Auswechslung des Betrachtungsmikroskops in eins von stärkerer Vergrößerung und durch Anbringung eines geeigneten Fadenkreuzes im Gesichtsfelde behoben wurde, so daß die Meßgenauigkeit zuverlässig auf ein Hundertstel Millimeter stieg. Andererseits mußte die Anordnung der Signa und ihre Gestalt an den Hausfronten erst auf den günstigsten Stand gebracht werden, um auch von dieser Seite her die günstigste Grundlage für die Genauigkeit der Messung zu erreichen. Die Öffentlichkeit des Gebäudes und der dort herrschende große Straßenverkehr gestatteten es nicht, die Aufnahmearbeiten länger als einen Tag auszudehnen, weil die an den Fronten angebrachten Signa über Nacht wieder entfernt werden mußten, wobei irgend eine Beschädigung des Putzes vermieden werden mußte. Ferner mußte die Aufnahme selbst bei schönem Wetter und relativ hohem Sonnenstande erfolgen, weil sonst die Sichtbarkeit der Signa an der einen Front durch lange Baumschatten gefährdet gewesen wäre. Auch der dort häufig stattfindende Ausstellungsverkehr mit den die Sicht beeinträchtigenden Reklamebauten läßt keine freie Verfügbarkeit über die für die Aufnahme günstigste Zeit zu. So erklärt es sich, daß ein paar Jahre¹⁾ dahingingen, ehe die Untersuchung zum Abschluß gebracht werden konnte, zumal da auch die vorangegangenen, in gewissem Sinne mißglückten Aufnahmen

¹⁾ Über diese Untersuchung wurde nach ihrem jeweiligen Stande wiederholt referiert: September 1930 auf der Tagung der Internat. Ges. f. Photogrammetrie in Zürich, Januar 1934 in der Mathem. Sektion der Schles. Ges. f. Vaterl. Kultur, September 1934 bei der geodät. Abtlg. der Tagung der Naturforscher und Ärzte in Hannover. Sie kann als Weiterführung der Arbeit „Axonometrische Photogrammetrie“ gelten, die in der Festschrift der Technischen Hochschule Breslau 1928 erschien.

erst eine große Rechenarbeit verursachten, ehe sich die wahren Fehlerquellen herausstellten. Die Fa. Aerotopograph hatte mir für die Aufnahme den großen Hugershoffschen Phototheodoliten für eine gewisse Zeit freundlichst zur Verfügung gestellt. Die letzte Aufnahme im Juni 1933 erfolgte jedoch nicht mit diesem Phototheodoliten, sondern mit einer Hugershoffschen Flugzeugkammer, die mir vom Aerokartographischen Institut Breslau entgegenkommenderweise zur Verfügung gestellt wurde, und die mittels eines Zwischenstückes auf ein Stativ aufgesetzt werden konnte. Allen, die mir beim Zustandekommen meiner Untersuchung Hilfe geleistet haben, gebührt mein Dank, nicht zuletzt auch meinen Assistenten Dipl.-Ing. Schartmann, Dipl.-Ing. Fliegner und Dipl.-Ing. Zugehör, die mir bei der Anordnung der verschiedenen Aufnahmen wichtige Dienste geleistet haben.

Die Einzelheiten des Versuches werden im folgenden an den maßgebenden Stellen zur Besprechung gelangen.

Es wird der Nachweis erbracht werden, daß man mit perspektivischen Methoden sogar die Konstanten der Aufnahme, nämlich Bildweite und Hauptpunktslage erheblich genauer zu ermitteln vermag als mit der Winkelmeßmethode, daß darüber hinaus die äußere Orientierung, insonderheit die Lage des Aufnahmestandpunktes mit außerordentlich hoher Genauigkeit bestimmbar ist. Ferner stellte es sich heraus, daß die perspektivische Methode überaus empfindlich ist, so daß die Unregelmäßigkeiten des Putzes und des Mörtels als Fehlerquellen wirksam sind.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß unter Voraussetzung einer fehlerfreien Aufnahmeanordnung und eines wirklich perspektivisch zeichnenden Objektivs die perspektivische Auswertung zu Ergebnissen führt, deren Genauigkeit einer beliebigen Steigerung fähig ist. Diese Feststellung ist u. a. auch für die Fragen der praktischen Architekturphotogrammetrie von beachtlicher Bedeutung. Denn es entspringt hieraus die Möglichkeit, die Aufnahme von gewissen Bauten, insbesondere die Wiederherstellung des Grundrisses auf photogrammetrischem Wege mit den einfachsten Mitteln erreichen zu können, nämlich nur auf Grund des Aufnahmeapparates selbst unter Verwendung von einigen horizontalen Längenmessungen am Objekt selbst. Die Komparatorausmessung der entsprechenden Bildpunktsabstände vermittelt dann nach den im folgenden entwickelten einfachen Formeln alle für die Rekonstruktion notwendigen Grundelemente.

I. Der perspektivische Zusammenhang

§ 1. Die perspektivischen Fundamentalgrößen.

Zwei vertikale ebene Wände bilden miteinander einen Winkel, dessen Abweichung von einem Rechten wir mit Δ bezeichnen wollen. In der Regel wird Δ verschwinden oder annähernd Null sein, jedoch gelten die nachfolgenden Betrachtungen zunächst auch für beliebige Werte von Δ . Es sei nur vorausgesetzt, daß dieser Wert bekannt ist. Auf jeder Wand sei im Abstande \bar{p} bzw. \bar{q} von der gemeinsamen Eckkante E eine Vertikale markiert. Die Grundschnitte, nämlich der Schnitt der horizontalen Grundebene mit den beiden Wänden, bilden sich in der perspektivischen Darstellung als ein Geradenpaar ab, das sich auf der Bildvertikalen der Eckkante im Punkte E' schneidet und nach den Fluchtpunkten F_l und F_r der Grundschnitte fluchtet. Den Grundschnitten \bar{p} bzw. \bar{q} entsprechen dann im Bilde die Bildgrundschnitte μ' und ν' , deren horizontale Bildkomponenten mit μ und ν bezeichnet seien. Die Verbindungsgerade $F_l F_r$ ist der Horizont der Perspektive. Wir bezeichnen ferner den horizontalen Abstand der Bildvertikalen E von den Fluchtpunkten F_l, F_r mit s, t . Durch E' ziehen wir eine Horizontale und tragen auf ihr nach beiden Seiten von E' aus die Abstände $\bar{p} \cdot M = p$ bzw. $\bar{q} \cdot M = q$ bis G_r bzw. G_l ab, wo M das Maßstabsverhältnis bezeichnet. Wenn man nun die Endpunkte D_r und D_l der Strecken μ' und ν' mit den Punkten G_r, G_l geradlinig verbindet bis zum Schnitt mit dem Horizont in den Punkten \bar{C}_r, \bar{C}_l , so sind diese Schnittpunkte sogenannte freie Teilpunkte, d. h. irgendeine auf die

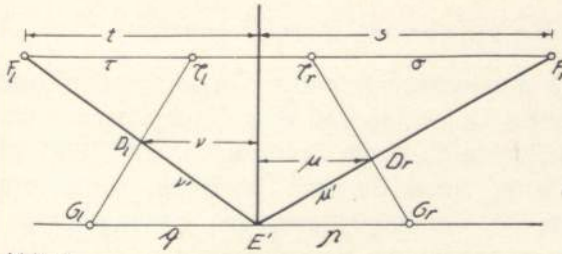


Abb. 1

Hauskante E bezogene Originalskala des Grund-
schnittes, die im Maßstab M auf der Horizont-
alen durch E' im Bilde entsprechend aufge-
tragen wird, projiziert vom zugehörigen Teil-
punkte aus die perspektivische Bildskala auf
dem Bildgrundschnitt. Je nach dem gewählten
Maßstabe M wechselt der Teilpunkt seine Lage
auf dem Horizonte (Abb. 1).

Wir bezeichnen die Entfernung der Teilpunkte von den Fluchtpunkten mit

$$\sigma = \overline{G_r F_r} \text{ bzw. } \tau = \overline{G_l F_l}$$

Hiernach ergeben sich folgende Proportionen:

$$\sigma : p = D_r F_r : \mu' = (s - \mu) : \mu$$

$$\tau : q = D_l F_l : \nu' = (t - \nu) : \nu$$

oder

$$\frac{s}{\mu} - \frac{\sigma}{p} = 1 \quad (1a)$$

$$\frac{t}{\nu} - \frac{\tau}{q} = 1 \quad (1b)$$

Setzen wir an Stelle von je einer Vertikalen auf jeder Wand je zwei voraus, die durch die
Indizes i und k gekennzeichnet seien, so ergeben sich aus (1a) und (1b) die Relationen:

$$\frac{s}{\mu_i} - \frac{\sigma}{p_i} = \frac{s}{\mu_k} - \frac{\sigma}{p_k} = 1$$

$$\frac{t}{\nu_i} - \frac{\tau}{q_i} = \frac{t}{\nu_k} - \frac{\tau}{q_k} = 1$$

woraus folgt

$$\sigma = \left(\frac{s}{\mu_i} - 1 \right) \cdot p_i = \left(\frac{s}{\mu_k} - 1 \right) \cdot p_k$$

$$s = \left(1 + \frac{\sigma}{p_i} \right) \cdot \mu_i = \left(1 + \frac{\sigma}{p_k} \right) \cdot \mu_k$$

So ergeben sich unter entsprechender Isolierung von τ und t folgende vier Definitionsgleichungen:

$$s = \frac{p_i - p_k}{\frac{p_i}{\mu_i} - \frac{p_k}{\mu_k}} \quad (2a)$$

$$t = \frac{q_i - q_k}{\frac{q_i}{\nu_i} - \frac{q_k}{\nu_k}} \quad (2b)$$

$$\sigma = - \frac{\mu_i - \mu_k}{\frac{p_i}{\mu_i} - \frac{p_k}{\mu_k}} \quad (3a)$$

$$\tau = - \frac{\nu_i - \nu_k}{\frac{q_i}{\nu_i} - \frac{q_k}{\nu_k}} \quad (3b)$$

Die Größen s, t, σ, τ wollen wir perspektivische Fundamentalgößen nennen, weil sich
aus ihnen alle für die innere und äußere Orientierung wichtigen Bestimmungsgrößen her-
leiten lassen, wie im folgenden gezeigt werden soll.

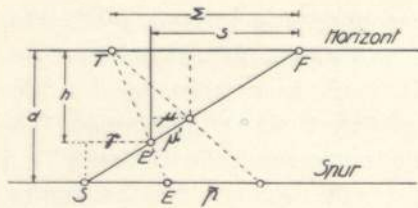


Abb. 2

§ 2. Beziehung zu den Hauptteilpunkten.

Bringen wir die vertikale Bildebene in perspektive Lage zum dargestellten Objekt, so daß eine Originalgerade die Bildebene im Punkte S , ihrem Spurpunkte, trifft, und ist F der Fluchtpunkt dieser Geraden im Bilde, so ist die Gerade FS das Bild der Originalgeraden. Bekanntlich gelangt man zu sogenannten Hauptteilpunkten einer Perspektive, wenn man die Entfernung des Perspektivzentrums O von dem Fluchtpunkte F auf einem Strahle durch F in der Bildebene von F bis T abträgt. In der Regel wählt man als diesen Strahl den Horizont. Zieht man durch S eine gegenläufige Parallele hierzu und trägt man von S aus auf ihm die Originallänge $SE + \bar{p}$ ab, so schneidet die Verbindungsgerade ihres Endpunktes mit T aus der Bildgeraden FS den Punkt aus, der perspektivisch dem Endpunkt der Strecke \bar{p} auf dem Originalgrundschnitt entspricht. Im Gegensatz zu den freien Teilpunkten ist man also bei den Hauptteilpunkten zwangsmäßig auf die Spur der Originalgrundebene im Bilde angewiesen. Mit der aus obenstehender Abbildung 2 sich ergebenden Bezeichnung folgen demnach die Verhältnisse:

$$SE : \Sigma = SE' : E'F = \mathcal{C} : s$$

$$(SE + \bar{p}) : \Sigma = (SE' + \mu') : (E'F - \mu') = (\mathcal{C} + \mu) : (s - \mu)$$

oder:

$$\frac{\bar{p}}{\Sigma} + \frac{SE}{\Sigma} = \frac{\mathcal{C} + \mu}{s - \mu} ; \quad \frac{SE}{\Sigma} = \frac{\mathcal{C}}{s}$$

oder:

$$\frac{\bar{p}}{\Sigma} = \frac{\mathcal{C} + \mu}{s - \mu} - \frac{\mathcal{C}}{s} = \frac{\mu(s + \mathcal{C})}{s(s - \mu)} = \frac{1 + \frac{\mathcal{C}}{s}}{\frac{s}{\mu} - 1}$$

Wegen (1a) folgt:

$$\frac{\bar{p}}{\Sigma} = \frac{1 + \frac{\mathcal{C}}{s}}{\frac{\sigma}{p}} = p \frac{1 + \frac{\mathcal{C}}{s}}{\sigma}$$

Nun ist $\bar{p} = p : M$, also folgt:

$$\Sigma = \frac{\sigma}{M \left(1 + \frac{\mathcal{C}}{s}\right)}$$

Bezeichnen wir den Abstand der Bildecke E' vom Horizont mit h , den Abstand der Spur vom Horizont mit d , so ist:

$$\mathcal{C} : s = (d - h) : h$$

und

$$\Sigma = \frac{\sigma}{M \left(1 + \frac{d - h}{h}\right)} = \frac{h}{Md} \cdot \sigma$$

Mit der Konstanten

$$C = \frac{h}{Md} \quad (4)$$

ergeben sich also die Beziehungsgleichungen für Haupt- und freie Teilpunkte:

$$\Sigma = C \cdot \sigma \quad (5a)$$

$$T = C \cdot \tau \quad (5b)$$

wo Σ und T die Entfernungen des Perspektivzentrums von den Fluchtpunkten F_r und F_l bedeuten.

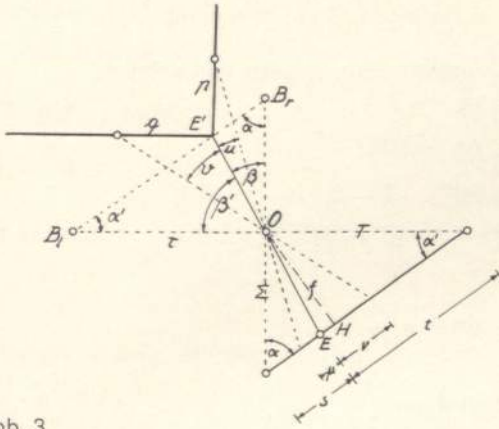


Abb. 3

§ 3. Zusammenhang mit der Aufnahmeanordnung.

Wir bringen den Aufnahmeapparat mit vertikaler Bildebene in Beziehung zu dem aufzunehmenden Objekt. Es ergeben sich auf Grund nebenstehender Abbildung 3 folgende Formeln:

$$\alpha + \alpha' + \beta + \beta' = 180^\circ \quad (6)$$

$$\Sigma : T = \sigma : \tau = \sin \alpha' : \sin \alpha$$

$$\frac{\sigma}{\tau} = \frac{\sin \alpha'}{\sin \alpha} \quad (7)$$

$$\Sigma : s = \sin(\alpha + \beta) : \sin \beta$$

$$T : t = \sin(\alpha + \beta) : \sin \beta'$$

$$\frac{\sigma}{\tau} \cdot \frac{t}{s} = \frac{\sin \beta'}{\sin \beta} \quad (8)$$

$$\frac{t}{s} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cdot \frac{\sin \beta'}{\sin \alpha'} \quad (9)$$

$$OE = s \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = t \frac{\sin \alpha'}{\sin \beta'} \quad (10)$$

$$f = OE \sin(\alpha + \beta) \quad (11)$$

$$EH = f \cotg \alpha - s = t - f \cotg \alpha' \quad (12)$$

Ferner verhält sich:

$$D : OE = OB_r : \Sigma = OB_t : T$$

$$D = p \frac{\sin(\beta - u)}{\sin u} = q \frac{\sin(\beta' - v)}{\sin v}$$

$$OE = \mu \frac{\sin(\alpha + \beta - u)}{\sin u} = \nu \frac{\sin(\alpha + \beta + v)}{\sin v}$$

also

$$D : OE = \frac{p}{\mu} \frac{\sin(\beta - u)}{\sin(\alpha + \beta - u)} = \frac{q}{\nu} \frac{\sin(\beta' - v)}{\sin(\alpha + \beta + v)}$$

Wegen

$$\frac{\sin(\beta - u)}{\sin(\alpha + \beta - u)} = \frac{s - \mu}{\Sigma} \quad \text{und} \quad \frac{\sin(\beta' - v)}{\sin(\alpha + \beta + v)} = \frac{t - \nu}{T}$$

folgt

$$OB_r = \Sigma \cdot \frac{p}{\mu} \cdot \frac{s - \mu}{\Sigma} = p \left(\frac{s}{\mu} - 1 \right)$$

$$OB_t = T \cdot \frac{q}{\nu} \cdot \frac{t - \nu}{T} = q \left(\frac{t}{\nu} - 1 \right)$$

Wegen (1a) und (1b) folgt:

$$OB_r = \sigma$$

$$OB_t = \tau$$

Wegen (5) folgt:

$$OE : D = \Sigma : \sigma = T : \tau = C \quad (13)$$

$$D = \sigma \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} = \tau \frac{\sin \alpha'}{\sin(\alpha + \beta')} \quad (14)$$

§ 4. Umwandlung der Formeln.

Wir wollen die Formeln des vorigen Paragraphen umwandeln, indem wir setzen:

$$\beta + \beta' = 90^\circ - \Delta \quad (15)$$

Dann folgt:

$$\alpha + \alpha' = 90^\circ + \Delta$$

und

$$\begin{aligned} \alpha' &= 90^\circ + \Delta - \alpha ; \beta' = 90^\circ - \Delta - \beta \\ \sin \alpha' &= \cos(\alpha - \Delta) ; \sin \beta' = \cos(\beta + \Delta) \end{aligned}$$

Mithin wegen (7) und (9):

$$\frac{\sin \alpha'}{\sin \alpha} = \cotg \alpha \cos \Delta + \sin \Delta = \frac{\sigma}{\tau}$$

$$\frac{\sin \beta'}{\sin \beta} = \cotg \beta \cos \Delta - \sin \Delta = \frac{\sigma t}{\tau s}$$

oder:

$$\cotg \alpha = \left(\frac{\sigma}{\tau} - \sin \Delta \right) \frac{1}{\cos \Delta} \quad (16a)$$

$$\cotg \beta = \left(\frac{\sigma}{\tau} \cdot \frac{t}{s} + \sin \Delta \right) \frac{1}{\cos \Delta} \quad (16b)$$

Mithin ergibt sich aus (10):

$$\begin{aligned} OE &= s \cdot \sqrt{\frac{1 + \cotg^2 \beta}{1 + \cotg^2 \alpha}} \\ &= s \cdot \sqrt{\frac{\cos^2 \Delta + \frac{\sigma^2}{\tau^2} \cdot \frac{t^2}{s^2} + \sin^2 \Delta + 2 \frac{\sigma}{\tau} \cdot \frac{t}{s} \sin \Delta}{\cos^2 \Delta + \frac{\sigma^2}{\tau^2} + \sin^2 \Delta - 2 \frac{\sigma}{\tau} \sin \Delta}} \\ &= \sqrt{\frac{s^2 \tau^2 + t^2 \sigma^2 + 2 st \sigma \tau \sin \Delta}{\sigma^2 + \tau^2 - 2 \sigma \tau \sin \Delta}} \end{aligned}$$

Nun folgt wegen (13):

$$OE = C \cdot D \quad (10')$$

also auch:

$$s + t = C \cdot \sqrt{\sigma^2 + \tau^2 - 2 \sigma \tau \sin \Delta}$$

mithin

$$\sqrt{s^2 \tau^2 + t^2 \sigma^2 + 2 st \sigma \tau \sin \Delta} = \frac{s+t}{C} \cdot C \cdot D = D(s+t)$$

So ergeben sich die beiden wichtigen Formeln:

$$C = \frac{s+t}{\sqrt{\sigma^2 + \tau^2 - 2 \sigma \tau \sin \Delta}} \quad (13')$$

$$D = \frac{\sqrt{s^2 \tau^2 + t^2 \sigma^2 + 2 st \sigma \tau \sin \Delta}}{s+t} \quad (14')$$

Die Bildweite f unterscheidet sich von OE nur durch den Faktor

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \sin \beta (\cotg \alpha + \cotg \beta)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\sigma}{\tau} \left(1 + \frac{t}{s} \right) \\ &= \frac{\cos \Delta \sqrt{\left[1 + \frac{1}{\cos^2 \Delta} \left(\frac{\sigma}{\tau} - \sin \Delta \right)^2 \right] \cdot \left[1 + \frac{1}{\cos^2 \Delta} \left(\frac{\sigma}{\tau} \cdot \frac{t}{s} + \sin \Delta \right)^2 \right]}{\frac{\sigma \tau \cos \Delta}{s+t} \cdot \frac{C}{D}} \end{aligned}$$

Formel (11) geht also über in:

$$f = C^2 \frac{\sigma \tau \cos \Delta}{s+t} \quad (11')$$

Aus (12) folgt:

$$\begin{aligned} 2 EH &= t - s + f (\cotg \alpha - \cotg \alpha') \\ &= t - s + f [\cotg \alpha - \tg (\alpha - \Delta)] \end{aligned}$$

Für $\cotg \alpha - \tg (\alpha - \Delta)$ erhält man durch eine leichte Umrechnung den Wert:

$$\frac{\tau}{\sigma} \cdot \frac{1}{\cos \Delta} \left[\frac{\sigma^2}{\tau^2} - 1 \right]$$

Folglich wird mit Beachtung von (11'):

$$EH = \frac{t-s}{2} - \frac{C^2}{s+t} \cdot \frac{\tau^2 - \sigma^2}{2} \quad (12')$$

Die Formeln (10) bis (14) vereinfachen sich noch erheblich, wenn man voraussetzt, daß die Winkel α und β sich nur wenig von 45 Grad unterscheiden und Δ nur wenig von Null verschieden ist. Sind diese drei Abweichungen so klein, daß ihre höheren Potenzen vernachlässigt werden dürfen, so folgt wegen (16a und b):

$$\frac{\sigma}{\tau} = 1 + \delta + \Delta$$

$$\frac{\sigma}{\tau} \cdot \frac{t}{s} = 1 + \varepsilon - \Delta$$

Mithin bis auf kleine Größen höherer Ordnung:

$$\frac{\sigma}{\tau} + \frac{\tau}{\sigma} = \frac{\sigma}{\tau} \cdot \frac{t}{s} + \frac{\tau}{\sigma} \cdot \frac{s}{t} = \frac{s}{t} + \frac{t}{s} = 2 \quad (17)$$

Daraus folgt auch, daß man setzen darf:

$$\frac{s+t}{2} = \sqrt{st} \quad ; \quad \frac{\sigma+\tau}{2} = \sqrt{\sigma\tau} \quad (18)$$

Dann geht (13') über in:

$$C = \frac{s+t}{\sqrt{\sigma\tau} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\tau} + \frac{\tau}{\sigma} - 2\Delta}} = \frac{s+t}{\sqrt{2\sigma\tau}} \left(1 + \frac{\Delta}{2}\right)$$

$$D = \frac{\sqrt{st\sigma\tau}}{s+t} \cdot \sqrt{\frac{s\tau}{t\sigma} + \frac{t\sigma}{s\tau} + 2\Delta} = \frac{\sqrt{2 \cdot st\sigma\tau}}{s+t} \left(1 + \frac{\Delta}{2}\right)$$

$$OE = CD = \sqrt{st} (1 + \Delta)$$

So ergeben sich die Formeln:

$$OE = \frac{s+t}{2} (1 + \Delta) \quad (10'')$$

$$f = \frac{s+t}{2} (1 + \Delta) \quad (11'')$$

$$EH = \frac{t-s}{2} - \frac{\tau - \sigma}{\tau + \sigma} (s+t) (1 + \Delta) \quad (12'')$$

$$C = \frac{s+t}{\sigma+\tau} \cdot \sqrt{2} \left(1 + \frac{\Delta}{2}\right) \quad (13'')$$

$$D = \frac{\sigma+\tau}{2\sqrt{2}} \left(1 + \frac{\Delta}{2}\right) \quad (14'')$$

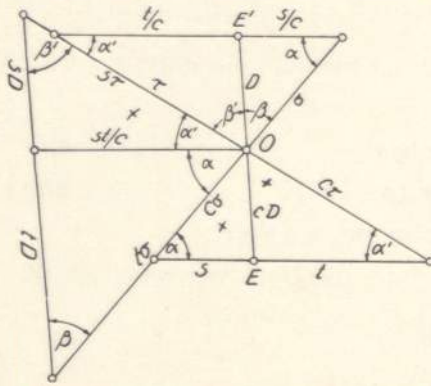


Abb. 4

bei einer Aufnahmeanordnung, bei der sich der Objektivmittelpunkt annähernd in der den Frontwinkel halbierenden Vertikalebene befindet, und die vertikale Bildebene dazu annähernd normal steht; die kleine Winkelabweichung Δ ist hierbei als bekannt vorausgesetzt.

Durch diese Formeln ist die gesamte Aufnahmeanordnung im Grundriß bestimmt. Zunächst ergeben sich aus den Formeln (2) und (3) die Fundamentalgrößen s, t, σ, τ ; durch (10) der Abstand des Objektivmittelpunkts von der Eckkante E des Bildes; durch (11) die Bildweite f ; durch (12) die Bildvertikale, die den Hauptpunkt H enthält; durch (13) das Ähnlichkeitsverhältnis C ; durch (14) die Entfernung D des Objektivmittelpunkts von der Hauskante E . Die Formeln (16) a und b bestimmen die Winkel α und β .

Der Horizont der Aufnahme, dessen Bestimmung im Rahmen dieser Untersuchung keine Rolle spielt, kann prinzipiell in gleicher Weise gefunden werden, wenn man die Kammer um 90° dreht. Man könnte diese Bestimmung auch dadurch erreichen, daß man durch eine horizontale Visur, deren vertikaler Abstand d vom Objektivmittelpunkt gemessen werden müßte, auf der Eckkante E einen Punkt festlegte, dessen Abstand h vom Horizont sich im Bilde mittels der

Formeln (4) und (13) aus $C = \frac{h}{d}$ für $M = 1$ ergeben würde.

Damit ist der grundlegende Charakter der Größen s, t, σ, τ erwiesen. Die obenstehende Abbildung 4 erläutert den perspektivischen Zusammenhang in Verbindung mit dem aufgestellten Formelsystem.

Für die rechnerische Anwendung muß die Maßeinheit beachtet werden, in der die Fundamentalgrößen bestimmt werden. Die Längen p, q werden in der Regel in Metern, die Längen μ, ν in Millimetern gemessen werden. Demgemäß ergibt sich für alle übrigen Größen die geltende Maßeinheit.

§ 5. Genauigkeitsfragen.

Zwei wichtige Voraussetzungen beherrschen die in den vorangehenden Paragraphen entwickelte Methode:

1. daß an beiden Hausfronten die Eckvertikale mit je zwei anderen Vertikalen im Abstände p_i, p_k bzw. q_i, q_k in einer Ebene liege,
2. daß die beiden so definierten Vertikalebene einen Winkel bilden, dessen Abweichung Δ von einem Rechten bekannt ist.

Wegen der Unregelmäßigkeit des Putzes wird sich in praxi die erste Forderung ebensowenig wie die zweite Forderung streng verwirklichen lassen, wenn man darauf verzichtet, eine zweckmäßige Anordnung erst zu schaffen, sondern die Anwendung der Methode an vorhandenen Objekten zu erproben sucht. Es sei aber schon hier betont, daß die erste Forderung überwunden werden kann, während die zweite einen merkbaren Einfluß auf die Ergebnisse nicht hat, wenn die Winkelabweichung Δ nur klein genug bleibt, was bei dem später behandelten Anwendungsbeispiel der Fall ist. Im übrigen wollen wir uns bei unserer Genauigkeitsbetrachtung auf den Aufnahmefall beschränken, daß sich der Objektivmittelpunkt annähernd in der den Frontwinkel halbierenden Vertikalebene befindet, und die vertikale Bildebene dazu annähernd normal steht. Alsdann werden sich die Fundamentalgrößen s, t bzw. σ, τ nur wenig voneinander unterscheiden. Da die Formeln (10) bis (14) sich auf diese Fundamentalgrößen stützen, so müssen wir ihre mittleren Fehler bestimmen, wobei die Kenntnis der mittleren Fehler der gemessenen Größen p, q, μ, ν vorausgesetzt wird, da sie sich ja aus der Messung selbst ergeben

Die Bestimmung der mittleren Fehler der übrigen Größen erfolgt sodann auch nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz. Hierbei wollen wir $\Delta = \text{Null}$ setzen. Aus den Formeln (2) und (3) auf Seite 91 ergibt sich demnach:

$$\frac{m_s^2}{s^2} = \frac{p_i^2}{(p_i - p_k)^2} \left[\left(\frac{\sigma}{p_i} \right)^2 \left\{ \left(\frac{m_{pi}}{p_i} \right)^2 + \left(\frac{m_{pk}}{p_k} \right)^2 \right\} + \left(\frac{s}{\mu_i} \right)^2 \left\{ \left(\frac{m_{\mu i}}{\mu_i} \right)^2 + \left(\frac{p_k}{p_i} \cdot \frac{m_{\mu k}}{\mu_k} \right)^2 \right\} \right]$$

$$\frac{m_\sigma^2}{\sigma^2} = \frac{\mu_i^2}{(\mu_i - \mu_k)^2} \left[\left(\frac{s}{\mu_i} \right)^2 \left\{ \left(\frac{m_{\mu i}}{\mu_i} \right)^2 + \left(\frac{m_{\mu k}}{\mu_k} \right)^2 \right\} + \left(\frac{\sigma}{p_i} \right)^2 \left\{ \left(\frac{m_{pi}}{p_i} \right)^2 + \left(\frac{\mu_k}{\mu_i} \cdot \frac{m_{pk}}{p_k} \right)^2 \right\} \right]$$

Tafel 1

	$s = 182 \text{ mm}$			$\sigma = 70 \text{ m}$
$\Delta = 0$	1. Bereich	2. Bereich	3. Bereich	Gesamt-Bereich
p_i	44 m	20 m	10 m	42 m
$p_i - p_k$	5 m	3 m	2 m	24 m
μ_i	70 mm	39 mm	23 mm	68 mm
$\mu_i - \mu_k$	5 mm	5 mm	4 mm	30 mm
m_p	$\pm 0.0035 \text{ m}$	$\pm 0.0023 \text{ m}$	$\pm 0.0016 \text{ m}$	$\pm 0.0035 \text{ m}$ $\pm 0.0023 \text{ m}$
m_μ	$\pm 0.004 \text{ mm}$	$\pm 0.004 \text{ mm}$	$\pm 0.004 \text{ mm}$	$\pm 0.004 \text{ mm}$
m_s	$\pm 0.45 \text{ mm}$	$\pm 1.1 \text{ mm}$	$\pm 2.3 \text{ mm}$	$\pm 0.12 \text{ mm}$
m_σ	$\pm 0.27 \text{ m}$	$\pm 0.48 \text{ m}$	$\pm 1.1 \text{ m}$	$\pm 0.07 \text{ m}$
m_f	$\pm 0.32 \text{ mm}$	$\pm 0.76 \text{ mm}$	$\pm 1.6 \text{ mm}$	$\pm 0.08 \text{ mm}$
m_D	$\pm 0.14 \text{ m}$	$\pm 0.24 \text{ m}$	$\pm 0.53 \text{ m}$	$\pm 0.035 \text{ m}$
$m_C \cdot 10^3$	± 0.02	± 0.03	± 0.06	± 0.004
m_{EH}	$\pm 0.9 \text{ mm}$	$\pm 1.5 \text{ mm}$	$\pm 3.4 \text{ mm}$	$\pm 0.210 \text{ mm}$

Wir haben dieser Tafel zunächst die drei Bereiche zugrunde gelegt, die durch gewisse Punktgruppen gekennzeichnet sind, wie das auf Seite 163 wiedergegebene Bild und die dazugehörige Tafel näher erläutert. Es kommt dies auf eine Einteilung der Platte in gewisse Ringbereiche heraus, deren perspektivische Eigenschaften untersucht werden sollen, weil die Abbildung in ihrer Gänze eventuell nicht als einheitliche Perspektive betrachtet werden darf. Man erkennt, daß die Fehlerwirkung in jedem der Einzelbereiche außerordentlich ungünstig ist, so daß die Methode jedenfalls nicht für Konstantenbestimmung als tauglich erscheint. Und zwar ist die Fehlerwirkung im ersten, äußersten Bereich am wenigsten ungünstig, im dritten, inneren Bereich am ungünstigsten. Hier ist die Fehlerwirkung etwa viermal so schlecht wie im ersten. Man würde also selbst in dem Falle, daß die vorangestellten zwei Forderungen streng erfüllt wären, was keineswegs zutrifft, keine Aussicht auf eine Besserung der Ergebnisse haben, da die mittleren Fehler der p , q - und μ , v -Bestimmung schon sehr klein sind. Immerhin ergibt sich im ersten

Man erkennt, daß sich diese Formeln im Falle kleiner Beträge

$\frac{p_i - p_k}{p_i}, \frac{\mu_i - \mu_k}{\mu_i}$ vereinfachen:

$$\frac{m_s}{s} = \frac{p_i}{p_i - p_k} \cdot W$$

$$\frac{m_\sigma}{\sigma} = \frac{\mu_i}{\mu_i - \mu_k} \cdot W$$

$$W^2 = 2 \left[\left(\frac{\sigma}{p} \cdot \frac{m_p}{p} \right)^2 + \left(\frac{s}{\mu} \cdot \frac{m_\mu}{\mu} \right)^2 \right]$$

Aus den Formeln (10'') bis (14'') folgt dann:

$$m_f = \frac{1}{2} \sqrt{2} m_s$$

$$m_D = \frac{1}{2} m_\sigma$$

$$m_C = \frac{1}{\sigma} \sqrt{m_s^2 + (C m_\sigma)^2}$$

$$m_{EH} = \frac{1}{2} \sqrt{2 (\sigma m_C)^2 + m_s^2}$$

Um dieser Betrachtung eine konkretere Form zu geben, entnehmen wir dem später behandelten Anwendungsbeispiel einige Werte, die in der Tafel 1 zusammengestellt sind.

Falle noch eine erträgliche Bestimmung der Abstandsweite D mit einem mittleren Fehler von $\pm 0,28$ m pro 100 m, was der topographischen Genauigkeit entspricht.

Betrachtet man die Abbildung als einheitliche Perspektive, so ergeben sich bei der in Spalte „Gesamt-Bereich“ angeführten Punktauswahl mittlere Fehler, die eine durchaus befriedigende Genauigkeit verbürgen würden, wenn man von der Hauptpunktsbestimmung EH absähe, die auch in diesem Falle noch nicht ausreicht. Man erkennt, daß die Hauptschwäche der Methode in der Definition der Fundamentalgrößen s , t , σ , τ liegt, die als Quotienten von Differenzen nur dann eine Aussicht auf ausreichende Bestimmtheit erlangen, wenn die relativen Punktabstände $p_i - p_k$, $q_i - q_k$ groß genug sind im Vergleich zu p_i und q_i .

Es lohnt sich, auf Grund der günstigen Fehlerwirkung die Ausrechnung in einem der letzten Tafelspalte entsprechenden Falle durchzuführen, um eine Vergleichsmöglichkeit mit der späteren endgültigen Lösung zu bekommen. Wir wählen aus Tafel 4 auf Seite 165 die beiden Wertepaare 3/32 und 8/27, wo Δ ca. 80 Sek. beträgt. Wir stellen die Ergebnisse in der folgenden Tafel 2 zusammen.

Tafel 2

$\Delta = 80''$ $= 0.0004$	1. Methode		2. Methode	
	Gesamt-Bereich		1. Bereich: 3/32	2. Bereich: 8/27
s	181.76	± 0.12	182.268	± 0.030
t	184.38		184.058	
σ	69.99	± 0.07	70.318	± 0.008
τ	70.72		70.521	
f	183.14	± 0.08	183.236	± 0.027
D	49.76	± 0.035	49.804	± 0.005 direkt gemessen
$C \cdot 10^3$	3.687	± 0.004	3.6791	± 0.0004
EH	0.584	± 0.210	0.366	± 0.005
			0.293	± 0.009

Die Tafel zeigt eine beachtliche Übereinstimmung innerhalb der durch die mittleren Fehler gezogenen Grenzen für die Bestimmung der Konstanten, was besonders auffällig die rein perspektivische Bestimmung der Abstandsweite D beweist, die von dem direkt gemessenen Werte nur um 4,4 cm differiert, was mit dem mittleren Fehler $\pm 0,035$ gut zusammenpaßt. Trotzdem ist die Bestimmung für die Hauptpunktslage EH noch zu ungenau. Aber der Beweis ist erbracht, daß die Methode für Zwecke der Architekturphotogrammetrie in gewissen Fällen durchaus brauchbar ist, besonders wenn es sich

darum handelt, die äußere Orientierung und den Grundriß aufzufinden, auch wenn die Entfernung zwischen Haus und Objektiv unzugänglich ist.

Aus der Tafel geht auch hervor, daß die Fundamentalgrößen Abweichungen zeigen in Rücksicht auf die jeweilige Methode ihrer Bestimmung, die aus den durch die mittleren Fehler gegebenen Grenzen herausfallen. Diese Verschiedenheit der Bestimmung hängt mit der Unebenheit des Hausputzes zusammen, die der vorangestellten ersten Forderung entgegensteht und die auch die mangelhafte Bestimmung der Hauptpunktslage verursacht. Um uns von dieser Forderung zu befreien, ändern wir die Methode im folgenden ab.

§ 6. Abänderung der Methode.

Wir setzen nunmehr die durch direkte Messung erhaltene Kenntnis der Abstandsweite D von der Hausecke bis zum Objektiv des Aufnahmeapparates voraus. Im übrigen halten wir uns

an die Aufnahmeanordnung gebunden, die zu den Formeln (10'') bis (14'') auf Seite 155 führte. Wir führen folgende Substitutionen ein:

$$\begin{aligned}\sigma &= \Sigma(1 - \xi) \\ \tau &= \Sigma(1 + \xi) \\ s &= S(1 - \zeta) \\ t &= S(1 + \zeta)\end{aligned}\tag{19}$$

wo die Größen ξ , ζ sehr klein sind, so daß ihre höheren Potenzen vernachlässigt werden dürfen. Wegen (14') auf Seite 154 folgt:

$$\begin{aligned}\frac{D}{\Sigma} &= \frac{1 - \xi}{\left(\frac{1 + \zeta}{1 - \zeta} + 1\right)} \sqrt{\left(\frac{1 + \zeta}{1 - \zeta}\right)^2 + \left(\frac{1 + \xi}{1 - \xi}\right)^2 + 2\left(\frac{1 + \zeta}{1 - \zeta}\right)\left(\frac{1 + \xi}{1 - \xi}\right)\Delta} \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{1 - 2\xi + 2\zeta + 1 + 2\xi - 2\zeta + 2\Delta}\end{aligned}$$

oder
$$\Sigma = D\sqrt{2}\left(1 - \frac{\Delta}{2}\right)\tag{20}$$

Die Größe Σ ist also unabhängig von ξ und ζ .

Für die Berechnung der kleinen Größen ξ und ζ ergibt sich folgender Weg: Wegen (1) auf Seite 151 wird

$$\frac{t}{s} = \frac{\nu\left(1 + \frac{\tau}{q}\right)}{\mu\left(1 + \frac{\sigma}{p}\right)} = A(1 + B\xi)$$

wo
$$A = \frac{\nu\left(1 + \frac{\Sigma}{q}\right)}{\mu\left(1 + \frac{\Sigma}{p}\right)} \quad \text{und} \quad B = \frac{1}{1 + \frac{p}{\Sigma}} + \frac{1}{1 + \frac{q}{\Sigma}}$$

Führt man den Wert für $\frac{t}{s}$ in der Formel (14') ein, so folgt:

$$A^2(1 + 2B\xi) + 2A(1 + B\xi)(1 + 2\xi)\Delta + 1 + 4\xi = \frac{D^2}{\Sigma^2}(A + 1 + AB\xi)^2(1 + 2\xi)$$

Mit Beachtung von (20) ergibt sich hieraus

$$A^2(1 + 2B\xi) + 2A\Delta + 1 + 4\xi = \frac{1}{2}\left((A + 1)^2(1 + \Delta) + 2(A + 1)AB\xi + 2(A + 1)^2\xi\right)$$

oder
$$\xi = \frac{1}{2} \frac{(A - 1)(1 - \Delta)}{3 + A - AB} = \frac{1}{2} \frac{(A - 1)(1 - \Delta)}{2 + 2A - AB}\tag{21}$$

Mit ξ ist auch ζ bestimmt, nämlich

$$\frac{t}{s} = 1 + 2\zeta = A + AB\xi$$

oder
$$\zeta = \frac{1}{2}(A - 1 + AB\xi)\tag{22}$$

Hieraus folgt:
$$\zeta - 2\xi = \frac{A - 1}{4}\tag{23}$$

Die Gleichungen (1) führen auch zur Ermittlung des Verhältnisses $S : \Sigma$. Aus

$$S \frac{1 - \zeta}{\mu} - \Sigma \frac{1 - \xi}{p} = 1$$

$$S \frac{1 + \zeta}{\nu} - \Sigma \frac{1 + \xi}{q} = 1$$

folgt nämlich

$$\frac{S}{\Sigma} = \frac{\mu \nu}{p q} \cdot \frac{p - q + \xi(p + q)}{\mu - \nu + \zeta(u + \nu)} \quad (24)$$

Dieser Ausdruck ist noch in eine für die numerische Rechnung präzisere Form zu verwandeln. Aus den Gleichungen (1) ergibt sich auch

$$\Sigma = \frac{\mu - \nu + \zeta(u + \nu)}{\frac{\nu}{q} - \frac{\mu}{p} - (\zeta - \xi) \left(\frac{\nu}{q} + \frac{\mu}{p} \right)}$$

woraus folgt:

$$\zeta = \frac{\frac{\nu}{q} - \frac{\mu}{p} + \frac{\nu - \mu}{\Sigma} + \xi \left(\frac{\nu}{q} + \frac{\mu}{p} \right)}{\frac{\nu + \mu}{\Sigma} + \frac{\nu}{q} + \frac{\mu}{p}} \quad (25)$$

Setzt man diesen Wert in dem vorher erhaltenen Ausdruck (24) für $S : \Sigma$ ein, so wird

$$\frac{S}{\Sigma} = \left[\frac{\nu + \mu}{\Sigma} + \frac{\nu}{q} + \frac{\mu}{p} \right] \frac{p - q + \xi(p + q)}{2(p - q) + \xi(\nu + \mu) \left(\frac{p}{\mu} + \frac{q}{\nu} \right)}$$

Hierin ist

$$(\nu + \mu) \left(\frac{p}{\mu} + \frac{q}{\nu} \right) = 2(p + q) + \frac{\varepsilon}{\mu}(p - q)$$

wenn man $\nu = \mu + \varepsilon$ setzt. Der Ausdruck $\frac{\varepsilon}{\mu}(p - q)$ ist dann so klein, daß er vernachlässigt werden darf, da ja nach unseren Voraussetzungen sich p von q und μ von ν nur wenig unterscheiden.

Daher folgt

$$\frac{S}{\Sigma} = \frac{1}{2} \left[\frac{\nu + \mu}{\Sigma} + \frac{\nu}{q} + \frac{\mu}{p} \right] \quad (24)$$

Dieses Verhältnis ist also auch unabhängig von ξ und ζ .

Aus (13') auf Seite 154 folgt in Übereinstimmung mit (13'')

$$C = \frac{2S}{\sqrt{4\Sigma^2 - 2(1 + \Delta)\Sigma^2(1 - \xi^2)}} = \sqrt{2} \frac{S}{\Sigma} \left(1 + \frac{\Delta}{2} \right)$$

oder

$$C = \frac{\sqrt{2}}{2} \left[\frac{\nu + \mu}{\Sigma} + \frac{\nu}{q} + \frac{\mu}{p} \right] \left(1 + \frac{\Delta}{2} \right)$$

Folglich wird mit Beachtung von (25) und der Formeln (11') und (12'):

$$S = C D (1 - \Delta)$$

$$f = S (1 + \Delta) = C D$$

$$E H = S (\zeta - 2\xi) = S \cdot \frac{A - 1}{4}$$

Für $\Delta = 0$ wird $C = C_0$, $S = f_0$, $\Sigma = \sqrt{2} \cdot D$.

Mithin kann man die Formeln in folgender Weise darstellen:

$$C_0 = \frac{1}{2} \left[\frac{\nu + \mu}{D} + \sqrt{2} \left(\frac{\nu}{q} + \frac{\mu}{p} \right) \right] \quad (26a)$$

$$C = C_0 + \frac{\Delta}{2} \left[C_0 + \frac{\mu}{D} \right] \quad (26b)$$

$$f_0 = C_0 D \quad (27a)$$

$$f = f_0 + \frac{\Delta}{2} [f_0 + \mu] = C D \quad (27b)$$

$$EH = f_0 \cdot \frac{A - 1}{4} \quad (28)$$

$$A = \frac{\nu}{\mu} \frac{1 + \frac{D\sqrt{2}}{q}}{1 + \frac{D\sqrt{2}}{p}} \quad (29)$$

$$B = \frac{1}{1 + \frac{p}{D\sqrt{2}}} + \frac{1}{1 + \frac{q}{D\sqrt{2}}} \quad (30)$$

$$\Sigma = D\sqrt{2} \left(1 - \frac{\Delta}{2} \right) \quad (20)$$

$$S = f_0 - \frac{\Delta}{2} [f_0 - \mu] \quad (31)$$

$$\xi = \frac{1}{2} \frac{A - 1}{3 + A - AB} \quad (21)$$

$$\zeta = \frac{1}{2} (A - 1 + AB\xi) \quad (22)$$

Bei dieser Darstellung kommt der Einfluß der Winkelabweichung Δ zur Geltung. Man kann sich leicht davon überzeugen, daß die Größe A auch in ihrer ursprünglichen Definition nicht von Δ abhängig ist. Die Größe B ist in ihrer ursprünglichen Definition zwar von Δ abhängig, da aber $(A-1)$ von der Größenordnung ξ ist, so bleibt dieser Einfluß von Δ ohne Wirkung, man darf daher B in der obigen Form definieren. Die Größen ξ und ζ sind also auch von Δ frei, desgleichen die Hauptpunktsbestimmung EH . Der Einfluß von Δ macht sich nur bei C und f bemerkbar. Da aber der Wert von Δ den Betrag von 0,001 bei unserem nachfolgenden Beispiel nicht erreicht, so ist auch bei diesen Konstanten der Einfluß von Δ nicht erheblich. Er bleibt durchschnittlich unter 0,05%, d. i. bei f etwa 0,09 mm. Wenn man also die Winkelabweichung Δ nicht beachtete, so würde die Unsicherheit bei der Bildweitenbestimmung dadurch nicht größer, als man sie bei den bisherigen Konstantenbestimmungen im allgemeinen erwartet.

Bei der Anwendung der dargestellten Methode ist jedoch auf eine nähere Bestimmung der Winkelabweichung Δ geachtet worden, um den Einfluß der Unebenheit der Hauswände und die Körnung des Mörtels auszuschalten bzw. zu erfassen.

Im Gegensatz zu der im § 5 charakterisierten rein perspektivischen Methode, die sich für die Konstantenbestimmung als nicht geeignet erwies, zeigt diese Methode außerordentlich große Vorteile, auch im Hinblick auf die Konstantenbestimmung. Der scheinbare Nachteil, der in der Notwendigkeit der Abstandsbestimmung D zwischen Hausecke und Objektiv erblickt werden könnte, ist in Wirklichkeit ein Vorteil, insofern als man außer dieser Länge ja nur noch je eine Länge p bzw. q an den beiden Hausfronten zu ermitteln braucht, um die ganze Auswertung nach erfolgter Komparatorausmessung der beiden Bildlängen μ , ν durchführen zu können. Bei der früheren Methode brauchte man die Messung von mindestens vier Längen p_i , p_k , q_i , q_k am aufgenommenen Objekt und vier Komparatorbestimmungen μ_i , μ_k , ν_i , ν_k .

Der Hauptvorteil der soeben behandelten Methode liegt aber darin, daß man bei Beachtung der zugrundegelegten Voraussetzungen in der Lage ist, die Aufnahme nach ihrem perspektivischen

Charakter zu untersuchen, selbst wenn sie nicht als einheitliche Perspektive angesehen werden kann. Denn man kann wegen der nahezu symmetrisch gestalteten Aufnahmeanordnung an den beiden Hausfronten die abzubildenden Signa so verteilen, daß ihre Bilder auch auf der Platte zum Hauptpunkte nahezu symmetrisch liegen, daß sich also die q von den p und die v von den μ nur wenig unterscheiden. Wenn man sich die Platte dann in konzentrische Ringbereiche um den Hauptpunkt aufgeteilt denkt, so können für jeden dieser Bereiche die Konstanten bestimmt werden, und es kann gezeigt werden, wie sich die einzelnen Bereiche voneinander perspektivisch unterscheiden.

Diese Aufgabe wird im folgenden gelöst.

Bevor wir aber auf die Einzelheiten eingehen, wollen wir die Fehlerwirkung der maßgebenden Formeln angeben. Hierbei werden die mittleren Fehler der Größen D , p , q , μ , v als bekannt vorausgesetzt, weil sie sich aus der Messung selbst ergeben. Dementsprechend wird die Fehlerwirkung auf diese Größen und ihre mittleren Fehler $m_p = m_q$, $m_\mu = m_\nu$ und m_D zurückgeführt.

Es ergeben sich folgende Fehlerformeln:

$$m_{C_0}^2 = \left(\frac{\mu}{D} \cdot \frac{m_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\mu}{p} \cdot \frac{m_p}{p}\right)^2 + 2 \left[\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{2}D}{p}\right]^2 \left(\frac{m_p}{D}\right)^2$$

$$m_C = m_{C_0}, \text{ da } \frac{m_s}{2} \left[C_0 + \frac{\mu}{D}\right] \text{ sehr klein bleibt.}$$

$$m_f^2 = D^2 m_C^2 + C^2 m_D^2$$

$$m_{EH} = \frac{f}{4} m_A, \text{ da } \frac{A-1}{4} m_f \text{ wirkungslos bleibt.}$$

$$m_A^2 = 2 \left[\left(\frac{1}{1 + \frac{p}{\sqrt{2}D}} \cdot \frac{m_p}{p} \right)^2 + \left(\frac{m_\mu}{\mu} \right)^2 \right], \text{ da } \frac{\partial A}{\partial D} \text{ nahezu verschwindet.}$$

Diese Formeln wurden für die Aufstellung der mittleren Fehler in der Tafel 4 verwendet. Die übrigen 5 Formeln (20), (21), (22), (30), (31) dienen zur Bestimmung der perspektivischen Fundamentalgrößen σ , τ , s , t ; sie sind für die Auffindung der sogenannten äußeren Orientierung verwendbar, worauf hier nicht weiter eingegangen wird (Abb. 4).

II. Anwendung

§ 7. Äußere Anordnung und Ausmessung.

Als praktisches Beispiel wurde, wie bereits in der Einleitung erwähnt, der Messehof zu Breslau gewählt. Die beiden, den Anfuhrstraßen zugewandten Hausfronten wurden in einer Länge von je 46 Metern benutzt. An jeder Front wurden in Augenhöhe je drei Gruppen von Meßmarken angebracht; desgleichen wurde die Eckkante des Gebäudes markiert. Die Form der Meßmarke



Abb. 5

ist aus nebenstehender Abbildung 5 zu ersehen. Sie hat sich im Hinblick auf die nachfolgende Komparatorvermessung sehr gut bewährt, da sich der Beobachtungsfaden im Gesichtsfelde des Mikroskops auf dem Negativ sehr deutlich von der hellen Marke abhob und eine scharfe Einstellung ermöglichte. Wie aus Abb. 6 zu ersehen, wurden im ganzen 35 Signa angebracht, eins an der Ecke, je fünf in einer Entfernung von rund 10 m von der Ecke in Abständen von einem halben Meter, je fünf in einer Entfernung von rund 20 m von der Ecke in Abständen von dreiviertel Meter, je eins in einer Entfernung von 30 m und je sechs in einer Entfernung von rund 40 m mit Abständen von einem Meter. Die Signa sind von links nach rechts fortlaufend von 1 bis 34 numeriert. Die Ecke trägt die Bezeichnung E .

Der Aufnahmeapparat wurde in rund 50 Meter Entfernung von der Ecke auf der Winkelhalbierenden zum Frontenwinkel aufgestellt. Es wurde mit kleinster Blendenöffnung belichtet,



Abb. 6

und zwar so, daß im Bild der Hauskante ungefähr der Plattenhauptpunkt liegt. Dadurch sind die Bedingungen erfüllt, welche die Gültigkeit der Formeln (10'') bis (14'') herbeiführen. Durch diese Anordnung sind die Bilder der Hausmarken über die ganze Plattenlänge verteilt und charakterisieren in ihren drei Gruppen drei konzentrische Ringbereiche der Platte, deren perspektivischer Charakter untersucht und verglichen werden soll. Die Markenabstände wurden mehrfach mit Stahlmeßband genau gemessen, nachdem die Hauptentfernungen 10, 20, 30 und 40 Meter mit Meßstangen festgelegt worden waren, die mittels Normalmeter auf eine zuverlässige Länge von je 5 Meter gebracht waren und mit dem Stahlband verglichen wurden. Die Abstände p , q sind in der Tafel 4 mit ihren mittleren Fehlern aufgeführt. Die horizontale Entfernung von der Hauskante bis zum Objektivmittelpunkt wurde viermal sorgfältig mit dem gleichen Meßgerät gemessen und ergab sich zu

$$D = 49,804 \text{ m} \pm 0,002 \text{ m.}$$

Da aber die Lage des Objektivmittelpunkts an sich nicht ganz sicher zu erkennen ist, wurde mit einem mittleren Fehler von $\pm 0,005 \text{ m}$ für D gerechnet. Ferner wurden mittels Zeiß-Theodolit I vom Zentrum der Aufnahme aus die Richtungen nach den 35 Punkten wiederholt gemessen, nach 9 die vier Ringbereiche kennzeichnenden Punkten sogar in vier vollständigen Richtungsätzen. Obwohl man den mittleren Fehler für diese letztere Winkelmessung erheblich kleiner findet, ist der mittlere Fehler einheitlich für alle Winkel mit 5 Sekunden zugrunde gelegt worden. Die Winkelwerte sind in der Tafel 6, Spalte 3 aufgeführt.

Die Messungsergebnisse am Komparator waren sehr gut. Die Platte wurde in vier verschiedenen Lagen ausgemessen: Schicht oben und unten, Kopf oben und unten, und zwar in jeder Lage dreimal, so daß 12 Messungen vorliegen. Der mittlere Fehler einer μ , ν -Beobachtung ergab sich zu $\pm 0,011 \text{ mm}$. Der mittlere Fehler der gemittelten μ - und ν -Werte ist hiernach $\pm 0,003 \text{ mm}$. Gerechnet wurde jedoch mit einem mittleren Fehler von $\pm 0,004 \text{ mm}$ für jeden der erhaltenen μ - und ν -Werte, die in der Tafel 4 aufgeführt sind.

§ 8. Berechnung der Winkelabweichung Δ .

Um für die Konstantenberechnung eine möglichst gute Genauigkeitsgrundlage zu erhalten, ist es notwendig, die Abweichung Δ des Frontenwinkels von einem Rechten für jedes Punktepaar p, q zu berechnen. Es ist $90^\circ - \Delta = \beta + \beta'$. Folgende Formeln, die sich aus dem Zusammenhang ohne weiteres ergeben, finden Verwendung:

$$\sin(\beta - u) = \frac{D}{p} \sin u$$

$$\sin(\beta' - v) = \frac{D}{q} \sin v$$

Hieran schließen sich demnach folgende Fehlerformeln:

$$\left(\frac{m_\beta}{\rho''}\right)^2 = \operatorname{tg}^2(\beta - u) \left[\left(\operatorname{cotg} u \frac{m_u}{\rho''}\right)^2 + \left(\frac{m_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{m_p}{p}\right)^2 \right] - \left(\frac{m_u}{\rho''}\right)^2$$

$$m_\Delta = \sqrt{2} m_\beta$$

Die Δ -Werte sind in Spalte 7 der Tafel 4 mit den mittleren Fehlern aufgeführt. Die p, q -Werte enthält die gleiche Tafel in Spalte 1, die u, v -Werte die Tafel 6 in Spalte 3.

Für die Winkel β und β' ergeben sich folgende Werte:

Tafel 3

	β			β'			m_β
	o	'	"	o	'	"	
1—34	44	53	41	45	5	28	$\pm 14''$
2—33	44	54	11	45	5	4	
3—32	44	53	40	45	5	10	
4—31	44	53	46	45	5	15	
5—30	44	53	49	45	5	46	
6—29	44	54	7	45	5	38	
7—28	44	52	51	45	6	54	$\pm 21''$
8—27	44	53	7	45	5	27	$\pm 28''$
9—26	44	52	45	45	4	50	
10—25	44	52	8	45	5	32	
11—24	44	51	2	45	5	29	
12—23	44	52	16	45	3	18	
13—22	44	51	50	45	9	9	$\pm 42''$
14—21	44	53	16	45	10	34	
15—20	44	53	30	45	10	56	
16—19	44	54	59	45	9	23	
17—18	44	54	35	45	8	12	

§ 9. Auswertung.

Die nachfolgende Tafel enthält außer den Meßergebnissen auch die aus ihnen auf Grund der Formeln des § 6 folgenden Konstantenbestimmungen mit ihren mittleren Fehlern, die sich aus der Fehlerfortpflanzung ergeben, also theoretisch zu erwarten sind. Außerdem sind in Spalte 7 die Δ -Werte aufgeführt, wie sie sich entsprechend der Herleitung im vorigen Paragraphen mit ihren mittleren Fehlern ergaben.

Tafel 4

Nr.	1		2		3		4		5		6		7	
	p		μ		A		$C \cdot 10^3$		f		EH		Δ	
	m	m	mm	mm					mm	mm	mm	mm	"	"
1 34	46.001 45.989		72.081 72.645		1.00 799		3·6786		183.207		0.367		+ 51	
2 33	45.000 44.988		71.134 71.685		1.00 791		3·6789		183.222		0.363		+ 45	
3 32	44.000 43.988	±	70.158 70.706	±	1.00 797	±	3 6791	±	183.236	±	0.366	±	+ 71	±
4 31	42.999 42.986	0.0035	69.170 69.702	0.004	1.00 788	0.00 010	3·6790	0.0004	183.229	0.027	0.362	0.005	+ 59	± 20
5 30	41.998 41.987		68.165 68.689		1.00 786		3 6787		183.214		0.361		+ 25	
6 29	40.996 40.986		67.149 67.654		1.00 767		3·6789		183.224		0.352		+ 15	
7 28	29.995 30.987	± 0.0028	54.519 56.198	± 0.004	1.00 766	± 0.00014	3·6793	± 0.0005	183.246	± 0.031	0.352	± 0.007	+ 15	± 30
8 27	20.750 21.488		41.563 42.968		1.00 638		3·6798		183.271		0.293		+ 86	
9 26	19.999 20.738		40.394 41.800		1.00 610		3·6802		183.291		0.280		+145	
10 25	19.250 19.989	± 0.0023	39.204 40.626	± 0.004	1.00 620	± 0.00 019	3 6802	± 0.0007	183.287	± 0.040	0.284	± 0.009	+140	± 40
11 24	18.497 19.240		37.982 39.433		1.00 643		3 6807		183.311		0.295		+209	
12 23	17.747 18.492		36.758 38.211		1.00 606		3·6812		183.339		0.278		+266	
13 22	10.995 10.991		24.685 24.809		1.00 533		3 6799		183.273		0.245		— 59	
14 21	10.497 10.492		23.716 23.836		1.00 548		3·6790		183.231		0.252		—230	
15 20	9.995 9.992	± 0.0016	22.728 22.842	± 0.004	1.00 529	± 0.00 032	3·6792	± 0.0010	183.239	± 0.053	0.243	± 0.015	—266	± 60
16 19	9.495 9.489		21.735 21.828		1.00 484		3 6799		183.273		0.222		—262	
17 18	8.993 8.994		20.702 20.810		1.00 515		3 6789		183.226		0.237		—167	

Alle 17 Wertegruppen sind voneinander unabhängig zur Auswertung benutzt worden, so daß die Schwankungen der Werte je eines Ringbereiches mit den beigegebenen theoretischen mittleren Fehlern verglichen werden können. Man findet eine gute Übereinstimmung, was beweist, daß die mittleren Fehler der Ausgangswerte nicht zu klein angesetzt worden sind. Die folgende Zusammenstellung beleuchtet diesen Sachverhalt. In jedem Ringbereich wurden die mittleren Fehler der gemittelten Ergebnisse aus den Ergebnissen selbst berechnet und den theoretischen mittleren Fehlern gegenübergestellt. Man erkennt, daß die letzteren durchweg größer sind als die anderen bis auf einen Fall, wo sie einander gleichen.

Tafel 5

	Mittel $\pm m$	theor.	Bereich
<i>EH</i>	0.362 ± 0.0022	± 0.0020	$1/34 - 6/29$
	0.286 ± 0.0036	± 0.0040	$8/27 - 12/23$
	0.240 ± 0.0051	± 0.0067	$13/22 - 17/18$
<i>f</i>	183.222 ± 0.004	± 0.011	$1/34 - 6/29$
	183.300 ± 0.012	± 0.018	$8/27 - 12/23$
	183.248 ± 0.011	± 0.024	$13/22 - 17/18$
$C \cdot 10^3$	3.6789 ± 0.00008	± 0.00016	$1/34 - 6/29$
	3.6804 ± 0.00024	± 0.00031	$8/27 - 12/23$
	3.6794 ± 0.00022	± 0.00045	$13/22 - 17/18$

Ferner geht aus dieser Zusammenstellung hervor, daß die Abweichungen der Konstantenwerte in den drei Bereichen nicht innerhalb der durch die mittleren Fehler gegebenen Grenzen verbleiben, sondern erheblich größer sind, als diese es zulassen würden. Unzweifelhaft sind also diese Veränderungen vorhanden, wenn sie auch in geringem Umfange auftreten. Die größte Abweichung von *EH* im ganzen Bereich ist absolut 0,145 mm, im Mittel 0,122 mm; die entsprechenden Werte für *f* sind 0,132 mm und 0,078 mm; die entsprechenden Werte für *C* sind $0,0025 \cdot 10^{-3}$ und $0,0015 \cdot 10^{-3}$. Man erkennt weiter, daß die Fehlerwirkung in den drei Bereichen sich etwa im Verhältnis 1 : 2 : 3 verschlechtert, daß man also im äußersten Bereiche die günstigste Fehlerwirkung erwarten darf, wie es sich schon für die erste rein perspektivische Methode herausgestellt hatte, und wie es sich für die Methode der Winkelmessung herausstellen wird, die im nächsten Paragraph zu Vergleichszwecken behandelt wird.

§ 10. Konstantenbestimmung durch Winkelmessung.

Wie schon früher erwähnt, wurde eine Winkelmessung vom Objektivstandpunkte aus nach allen 35 Markenpunkten durchgeführt. Es ergaben sich die in Spalte 3 der Tafel 6 aufgeführten Winkelwerte *u*, *v*. Wir wollen nun unter Außerachtlassung der gemessenen Entfernungen *D*, *p*, *q* die Konstantenbestimmung auf Grund dieser Winkelmessung und der μ -, ν -Bestimmung betrachten. Aus nebenstehender Abbildung 7 ergibt sich:

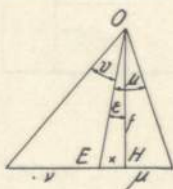


Abb. 7

$$\operatorname{tg}(u - \varepsilon) = \frac{\mu - x}{f}$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{x}{f}$$

Eine kleine Umrechnung führt zu

$$\operatorname{cotg} u = \frac{f}{\mu} \left(1 + \frac{x^2}{f^2} \right) - \frac{x}{f}$$

$$\operatorname{cotg} v = \frac{f}{\nu} \left(1 + \frac{x^2}{f^2} \right) + \frac{x}{f}$$

Hiernach ist, wenn man die Ausdrücke

$$f' = \frac{\cotg u + \cotg v}{\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu}}$$

bildet:

$$x' = \frac{f'}{\mu} - \cotg u = \cotg v - \frac{f'}{\nu}$$

$$f = \frac{f'}{1 + x'^2}$$

$$x = f x'$$

Mit diesen Formeln kann man sowohl f und x aus den gegebenen Größen u, v, μ, ν bilden als auch umgekehrt die Winkel u, v berechnen, wenn außer $\mu, \nu, x = EH$ und f gegeben sind. Wichtig ist die Beurteilung der Fehlerwirkung dieser Formeln. Es ergibt sich

$$m_{f'}^2 = 2 \left[\left(\frac{f}{2} \cdot \frac{m_{\mu}}{\mu} \right)^2 + \left(\frac{\mu}{2} m_{\cotg u} \right)^2 \right] = m_f^2$$

$$m_x^2 = m_{\cotg u}^2 + \left(\frac{m_{f'}}{\mu} \right)^2 + \left(\frac{f}{\mu^2} m_{\mu} \right)^2$$

$$m_x^2 = (f m_{\cotg u})^2 + \left(\frac{f}{\mu} \cdot m_f \right)^2 + \left(\frac{f^2}{\mu^2} m_{\mu} \right)^2$$

Diese letztere Formel beherrscht die Fehlerwirkung der Hauptpunktsbestimmung. Man erkennt, daß das letzte Glied unabhängig ist von Winkel Fehlern, daß es nur von der Güte der Komparatormessung abhängt. Es verhindert mindestens im inneren Plattenbereich eine Herabdrückung des mittleren Fehlers m_x auf ein erträgliches Maß. Nehmen wir einmal an, daß die beiden ersten Glieder keine Fehlerbeiträge lieferten, so würde für m_x im dritten Bereich doch noch ein Wert von $\pm \left(\frac{183}{23} \right)^2 \cdot 0,004 = \pm 0,256$ mm herauskommen, obwohl der mittlere Fehler der Komparatormessung mit $m_{\mu} = \pm 0,004$ mm schon sehr klein ist. Wollte man den Fehler in diesem Falle auf den 10. Teil herabdrücken, so würde dazu eine Komparatormessgenauigkeit von $\pm 0,0004$ mm erforderlich sein, die schwer zu verwirklichen sein dürfte, weil bei dieser Angabe schon wieder Fehlerquellen anderer Art zur Wirkung kommen, die die Sicherheit des Resultats gefährden. Der Einfluß der Winkelfehler ist gar nicht so groß, wie man zunächst vermuten möchte. Nimmt man den mittleren Fehler für u anstatt $\pm 5''$ mit $\pm 1''$ an, so verkleinern sich die in Spalte 6 der Tafel 6 angegebenen mittleren Fehler m_f und m_x nur um ein Drittel ihres Wertes; das macht für m_x im inneren Bereich noch einen Wert von $\pm 0,33$ mm aus! Im mittleren Bereich ist die zu erwartende Genauigkeit noch erträglich, im ersten Bereich gut. Für f ist im ganzen Bildbereich eine gute Genauigkeit zu erwarten. Die Berechnung der Konstanten in Spalte 6 der Tafel bestätigt diese Erwartung. Die Bildweitenbestimmung ist überall gut und liefert zu den Ergebnissen des § 9 praktisch identische Werte. Die Hauptpunktsbestimmung ist im äußeren Bereich in sich gut, im mittleren Bereich nicht mehr gut, im inneren Bereich so schlecht, wie man es erwarten mußte.

Nun tritt aber ein Phänomen auf, das eingehender Beachtung würdig ist. Wenn man nämlich auf Grund der Ergebnisse des § 9 aus den Konstanten EH und f die Winkel u, v berechnet, so ergeben sich die in Spalten 1 und 2 der Tafel aufgeführten Werte mit den aus der Fehlerwirkung der maßgebenden Formeln beigefügten mittleren Fehlern. Man erkennt im inneren Bereich eine gute Übereinstimmung der Winkelwerte mit den gemessenen innerhalb der durch ihre mittleren Fehler gezogenen Grenzen. Dagegen treten im mittleren und äußeren Bereich systematisch ansteigende Abweichungen ein, die nicht mehr innerhalb der erlaubten Grenzen liegen. So

ergibt sich auch die Abweichung der Hauptpunktsbestimmung im äußeren Bereich, die nach der Methode des § 9 zu dem Wert

$$0,362 \pm 0,002 \text{ mm}$$

fürte, nach der Methode der Winkelmessung jedoch zu dem Werte

$$0,772 \pm 0,012 \text{ mm.}$$

Wie sind diese Abweichungen zu erklären?

Zunächst ist hervorzuheben, daß die Winkelsummen ($u + v$) sowohl als gemessene wie als berechnete Größen im ganzen Meßbereich zu identischen Werten führen. Die Abweichung kann

Tafel 6

Nr.	1		2			3			4		5		6	
	$\cotg \bar{u}$	$\cotg \bar{v}$	$\frac{\bar{u}}{\bar{v}}$ berechnet			u gemessen			$u - \bar{u}$	$v - \bar{v}$	$\cotg u - \cotg \bar{u}$	$\cotg v - \cotg \bar{v}$	f	x
			o	r	''	o	r	''	''		$\cdot 10^5$			
1	2. 53 968	± 0.00038	21 29 31	$\pm 10''$	21 30 28	$\pm 5''$	+ 57	- 204	183.202	m_f		183.202	$= \pm 0.012$	
34	2. 52 394		21 36 50		21 35 54		- 56	+ 199	0.74					
2	2. 57 375		21 13 59		21 15 7		+ 68	- 251	183.216					
33	2. 55 792		21 21 10		21 20 3		- 67	+ 243	0.81					
3	2. 60 977		20 57 56		20 58 58		+ 62	- 234	183.230					
32	2. 59 353		21 5 7		21 4 7		- 60	+ 226	0.79					
4	2. 64 699	± 0.00055	20 41 45	$\pm 10''$	20 42 46	$\pm 5''$	+ 61	- 236	183.222	m_x		183.222	$= \pm 0.06$	
31	2. 63 071		20 48 47		20 47 48		- 59	+ 227	0.78					
5	2. 68 585		20 25 17		20 26 11		+ 54	- 215	183.209					
30	2. 66 926		20 32 16		20 31 23		- 53	+ 208	0.75					
6	2. 72 670		20 8 25		20 9 20		+ 55	- 226	183.220					
29	2. 71 019		20 15 10		20 14 16		- 54	+ 221	0.76					
7	3. 35 926	± 0.00092	16 34 39	$\pm 10''$	16 35 13	$\pm 5''$	+ 34	- 193	183.238	m_f		183.238	$= \pm 0.013$	
28	3. 26 265		17 2 25		17 1 53		- 32	+ 180	0.70		± 0.08			
8	4. 40 794		12 46 55		12 47 23		+ 28	- 277	183.265					
27	4. 26 695		13 11 23		13 10 56		- 27	+ 253	0.78					
9	4. 53 609		12 25 56		12 26 21		+ 25	- 260	183.283					
26	4. 38 645		12 50 33		12 50 9		- 24	+ 235	0.73					
10	4. 67 370	± 0.00214	12 4 38	$\pm 9''$	12 4 54	$\pm 5''$	+ 16	- 182	183.282	m_x		183.282	$= \pm 0.15$	
25	4. 51 310		12 29 37		12 29 21		- 16	+ 165	0.60					
11	4. 82 465		11 42 35		11 42 49		+ 14	- 160	183.308					
24	4. 65 035		12 8 9		12 7 56		- 13	+ 147	0.58					
12	4. 98 618		11 20 26		11 20 57		+ 31	- 392	183.328					
23	4. 79 962		11 46 9		11 45 38		- 31	+ 362	0.97					
13	7. 42 315	± 0.00214	7 40 20	$\pm 6''$	7 40 10	$\pm 5''$	- 10	+ 283	183.273	m_f		183.273	$= \pm 0.038$	
22	7. 38 878		7 42 27		7 42 38		+ 11	- 287	- 0.27					
14	7. 72 475		7 22 34		7 22 26		- 8	+ 225	183.234					
21	7. 68 859		7 24 38		7 24 45		+ 7	- 215	- 0.15					
15	8. 06 098		7 4 18		7 4 9		- 9	+ 304	183.238					
20	8. 02 333		7 6 17		7 6 26		+ 9	- 309	- 0.32					
16	8. 43 112	± 0.00214	6 45 51	$\pm 6''$	6 45 49	$\pm 5''$	- 2	+ 68	183.277	m_x		183.277	$= \pm 0.51$	
19	8. 39 765		6 47 27		6 47 29		+ 2	- 66	0.10					
17	8. 84 951		6 26 50		6 26 55		+ 5	- 208	183.221					
18	8. 80 584		6 28 44		6 28 39		- 5	+ 180	0.56					

daher nicht durch eine falsche Abstandsbestimmung D erklärt werden, weil dann eine Verkleinerung oder Vergrößerung der Summen $(\bar{u} + \bar{v})$ eintreten müßte gegenüber den Summen $(u + v)$. Wegen der symmetrischen Anordnung der Aufnahme wäre eine falsche Zentrierung denkbar, um die Widersprüche zu erklären. Dieser Zentrierungsfehler müßte etwa 3 cm betragen! ein Wert, der im Widerspruch zu der angewandten Sorgfalt der Messung steht und der, wenn man ihn für eine Korrektur zugrunde legte, die Konstantenbestimmung noch erheblich verschlechtern würde, was besonders im dritten Bereiche sich dadurch kennzeichnen würde, daß sich dort die Vorzeichen umkehren würden. Vielleicht wirken sich gewisse optische Fehler so aus, oder ist diese Erscheinung auf ein gewisses Absacken der Emulsionsschicht zurückzuführen?

Die Erscheinung kann nicht als eine zufällige angesehen werden, die sich aus irgendeinem groben Fehler bei der Aufnahme herleiten ließe. Das wurde besonders dadurch klar, daß eine anderthalb Jahre vorher mit einer anderen Kammer, nämlich dem Hugershoffschen Phototheodolit, gemachte Aufnahme ähnliche Ergebnisse zutage brachte. Diese Aufnahme wurde damals als unzureichend angesehen, weil die erste perspektivische Methode nicht befriedigende Ergebnisse lieferte. Die Anwendung der Methode des § 9 erwies die völlige Brauchbarkeit der Aufnahme und führte zu durchaus befriedigenden Ergebnissen. Ich führe diese Ergebnisse in der folgenden Tafel 7 an. Hier ist die Übereinstimmung sogar im inneren und mittleren Bereich vorhanden, dagegen zeigt sich im äußeren Bereich die gleiche Erscheinung wie im soeben behandelten Beispiel, nämlich eine Winkelabweichung von ca. 40 Sekunden. Hier ist infolgedessen auch die Hauptpunktsbestimmung im mittleren Bereich nach beiden Methoden gut übereinstimmend.

Damit kann als erwiesen gelten, daß Zentrierungsfehler nicht die Ursache zu der angegebenen Erscheinung bilden.

Die Deviationswirkung im äußeren Bereich ist so gering, daß sie auf der Platte eine Punktverlagerung von nur wenigen Hundertstel Millimetern verursacht, so daß sie nur durch äußerst exakt arbeitende Meßmethoden bemerkt werden kann. Diese Exaktheit ist auf Grund dieser Untersuchung der perspektivischen Methode der §§ 6 und 9 zuzusprechen. Dagegen hat es sich herausgestellt, daß die Winkelmeßmethode für die Hauptpunktsbestimmung abgelehnt werden muß, weil in dem Bereiche, wo ihre Anwendung ihrer inneren Struktur nach zu guten Resultaten führen müßte, die Sicherheit dieser Resultate durch andere Fehlerursachen beeinträchtigt wird, während in den inneren Bereichen, wo diese fremden Fehlerursachen nicht zur Wirkung kommen, die Winkelmeßmethode an ihrer eigenen großen Ungenauigkeit scheitert. Die perspektivische Methode in ihrer zweiten Form erfreut sich dagegen innerhalb des gesamten Bildbereiches ausreichender Genauigkeit, vor allem im inneren Bereiche, so daß die fremden Fehlerursachen des äußeren Bereiches die Konstantenbestimmung nicht gefährden können. Man erkennt das ohne weiteres an der außerordentlich exakt laufenden Wertefolge in beiden Beispielen, zu der im ersten Beispiel 17 voneinander unabhängige Berechnungen führen, im zweiten 15.

Schlußwort.

Eine Zusammenstellung über ausgeführte Konstantenbestimmungen findet sich in dem Buche über Photogrammetrie von Gast, der auf Seite 183 bemerkt, daß die ihm bekannt gewordene Literatur nur wenig Genauigkeitsangaben über wirklich ausgeführte Konstantenbestimmungen genauer Art enthält. An diesen Genauigkeitsbestimmungen könnte man m. E. bemängeln, daß sie sich auf den gesamten Plattenbereich beziehen. Durch vorliegende Untersuchung ist für drei verschiedene Methoden gezeigt worden, daß die Genauigkeit der Bestimmung in den verschiedenen Ringbereichen der Platte schwankt, daß im Kernbereich die Genauigkeitsbedingungen vornehmlich für die Hauptpunktsbestimmung am schwersten zu erfüllen sind, was sich ganz besonders auf die Winkelmeßmethode bezieht, während die perspektivische Methode der Paragraphen 6 und 9 sich einer ziemlich gleichförmigen und guten Genauigkeitsbestimmung in sämt-

Tafel 7

Nr.	f mm	EH mm	x mm	$\frac{u}{v}$	$\frac{u}{v}$	Diff. "
				berechnet o' "	gemessen o' "	
1 30	181.925	0.288	0.602	20 56 12	20 55 26	- 46
				21 4 4	21 4 50	+ 46
2 29	181.880	0.277	0.566	20 23 44	20 23 4	- 40
				20 31 7	20 31 47	+ 40
3 28	181.879	0.290	0.542	20 6 31	20 5 57	- 34
				20 14 6	20 14 40	+ 34
4 27	181.894	0.281	0.507	19 49 21	19 48 51	- 30
				19 56 33	19 57 3	+ 30
5 26	181.903	0.301	0.529	19 31 24	19 30 55	- 29
				19 38 58	19 39 27	+ 29
6 25	181.709	0.354	0.278	12 44 48	12 44 52	+ 4
				13 10 59	13 10 55	- 4
7 24	181.737	0.344	0.282	12 23 57	12 24 0	+ 3
				12 50 10	12 50 6	- 4
8 23	181.701	0.346	0.314	12 2 36	12 2 38	+ 2
				12 29 9	12 29 7	- 2
9 22	181.701	0.352	0.458	11 40 45	11 40 40	- 5
				12 7 41	12 7 46	+ 5
10 21	181.683	0.347	0.247	11 18 42	11 18 46	+ 4
				11 45 45	11 45 40	- 5
11 20	181.550	0.369	0.507	7 38 54	7 38 51	- 3
				7 42 19	7 42 22	+ 3
12 19	181.594	0.365	0.356	7 20 56	7 20 56	0
				7 24 48	7 24 48	0
13 18	181.578	0.373	0.009	7 2 55	7 3 1	+ 6
				7 5 56	7 5 50	- 6
14 17	181.637	0.370	-0.236	6 44 20	6 44 29	+ 9
				6 47 4	6 46 55	- 9
15 16	181.647	0.404	-0.153	6 25 22	6 25 30	+ 8
				6 28 18	6 28 10	- 8

lichen Plattenbereichen erfreut. Auf Schwankungen in der Bestimmung der Konstanten, besonders der Bildweite, wurde bereits durch Lehmann²⁾ aufmerksam gemacht, der eine Differenz der Bildweiten zwischen Mitte und Rand von $182,082 - 182,290 = 0,21$ mm findet. Bei einem Apparat gleichen Typs, nämlich dem Hegershoffschen Phototheodoliten mit Zeiß-Tessar 1 : 6.3, finden sich nach unserer perspektivischen Methode gemäß Tafel 7 für die Bildweite in den drei Bereichen die Mittelwerte $181,896 - 181,706 - 181,601$, so daß hier eine gute Übereinstimmung in bezug auf die Differenzen zu erkennen ist, was zu erwarten war, weil die Winkelmeßmethode für die Bildweitenbestimmung durchaus brauchbar ist. Auf die Abweichungen in der Hauptpunktslage geht Lehmann nicht weiter ein. Sie sind durchaus systematischer Natur, wie die Tafeln 4 und 7 bezeugen. Ob die Ursache für die Schwankungen nur als Verzeichnungsfehler gewertet werden dürfen, ist m. E. noch zu untersuchen. Merkwürdig bleibt es, daß die Winkelsummen ($u + v$) unverändert bleiben beim Vergleich der gemessenen und der berechneten Winkelwerte u, v , während sich in den äußeren Bereichen für die Einzelwinkel u, v bei diesem Vergleich entgegengesetzt gleiche Abweichungen ergeben. Man könnte diese Erscheinung auf eine gewisse Anisotropie des Glases zurückführen, aber auch auf eine Emulsionsschichtbewegung bei der Entwicklung der Platte. Hierüber müssen weitere Untersuchungen noch Aufklärung bringen.

²⁾ Bildmessung und Luftbildwesen 1931, Heft 3, S. 104: Lehmann, Zur Bestimmung der inneren Orientierung von photographischen Kammern.

Die Dampfdruckkurve des Thalliums

Messungen und vergleichende Untersuchungen

Von Joseph Fischer in Breslau.

Nur wenige Metalle sind mit einer für die Berechnung der Dampfdruckkonstanten erforderlichen Genauigkeit bekannt. Meist weichen die Ergebnisse verschiedener Forscher und Verfahren beträchtlich mehr voneinander ab, als dies auf Grund der an sich schon sehr geringen Meßgenauigkeit zu erwarten wäre. Bei der Ermittlung der Dampfdruckkurve des Thalliums waren deshalb nicht nur neue genaue Messungen in einem möglichst großen Temperaturgebiet auszuführen und die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der angewandten Verfahren und Anordnungen zu prüfen, sondern es war auch nach Möglichkeit festzustellen, aus welchen Gründen andere Methoden zu abweichenden Ergebnissen geführt hatten. Schließlich war zu untersuchen, wie weit die erhaltenen Zahlen mit rein theoretischen Forderungen im Einklang sind.

An Thallium sind bis jetzt Dampfdruckmessungen von Gibson¹⁾ mit Hilfe eines Quarzmembranmanometers und von v. Wartenberg²⁾ nach dem Fortführungsverfahren ausgeführt worden. Ferner hat Leitgeb³⁾ nach einem Siedeverfahren den Siedepunkt bei Atmosphärendruck direkt bestimmt. Die Übereinstimmung der Ergebnisse der drei Autoren ist durchaus unbefriedigend. Es mußten deshalb zunächst weitere Messungen ausgeführt werden, für die einmal das Knudsen'sche Effusionsverfahren⁴⁾, sodann ein Verfahren, bei dem die Kondensationstemperatur bestimmt wird⁵⁾, gewählt wurden. Die experimentelle Ausgestaltung und Vervollkommnung dieser an sich bekannten Meßverfahren sollen, da sie für die Beurteilung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse nicht ohne Bedeutung sind, zunächst etwas näher beschrieben werden.

A. Eigene Messungen an Thallium

1. Nach dem Knudsen'schen Effusionsverfahren.

Bei diesem Verfahren bestimmt man die Ausströmungsgeschwindigkeit des Metaldampfes aus einer feinen Öffnung in ein Vakuum und berechnet daraus seinen Druck, der bei geeigneter Versuchsanordnung gleich dem Sättigungsdruck ist. Der Anwendungsbereich dieses Verfahrens liegt bei Drucken von etwa 10^{-5} bis 10^{-2} mm Quecksilber.

Die bei den hiesigen Messungen gewählte Versuchsanordnung ist in Abb. 1 wiedergegeben. Das verdampfende Metall befand sich in zwei Tiegelchen aus reinem Aluminiumoxyd (*A*). Sie wurden übereinander in ein mit einem eingeschliffenen Deckel verschließbares Quarztiegelchen (*Q*) eingesetzt. Der Deckel war oben plan geschliffen und hatte ein zentrales Loch. Es fanden vier Tiegel mit verschiedener Lochweite Verwendung. Die Löcher waren von einer Ziehsteinfabrik genau kreisrund eingeschliffen worden. Die Quarztiegel wurden nach ihrer genauen Wägung (Mikrowaage von Bunge) in einen Kupferblock (*K*), der eine gleichmäßige Temperatur gewährleistete, eingesetzt, und der Kupferblock in ein Quarzrohr (*R*) eingeschoben, das sich in einem elektrischen Ofen befand. Zur Temperaturmessung

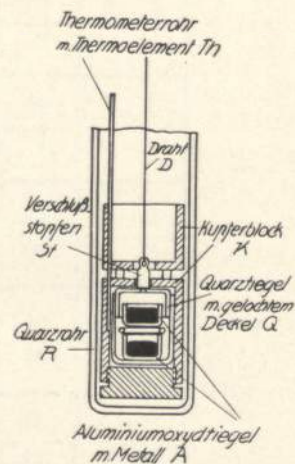


Abb. 1. Apparat für die Messungen nach dem Effusionsverfahren.

¹⁾ G. E. Gibson, Dissertation, Breslau 1911.

²⁾ H. v. Wartenberg, Z. Elektrochem. 19, 482 (1913).

³⁾ W. Leitgeb, Z. anorg. u. allgem. Chem. 202, 305 (1931).

⁴⁾ M. Knudsen, Ann. d. Phys. 29, 179 (1909).

⁵⁾ H. Braune, Z. anorg. u. allgem. Chem. 111, 119 (1920).

wurde von oben her zwischen Quarzriegel und Kupferblock eine dünnwandige Quarzkapillare (Th), in der sich ein Platin/Platin-Rhodium-Thermoelement befand (Drahtstärke 0,05 mm), eingeschoben. Die E. M. K. des Thermoelements wurde mit Hilfe eines Kompensationsapparates der Firma O. Wolff, Berlin, gemessen (Genauigkeit $\frac{1}{10}^{\circ}$). Das Quarzrohr, das den Kupferblock enthielt, wurde mit einem Pumpenaggregat (Ölpumpe und zweistufige Quecksilberpumpe aus Quarz) evakuiert, die Quecksilberdämpfe mit flüssiger Luft ausgefroren und die Gasfreiheit mit Hilfe eines elektrischen Entladungrohres kontrolliert.

Die Temperatur des Verdampfungsgefäßes wurde von Hand auf $\pm \frac{1}{10}^{\circ}$ konstant gehalten. Während der Anheizperiode war das Deckelloch durch einen aufgeschliffenen Quarzstopfen (St) verschlossen, der bei Versuchsbeginn mit Hilfe einer einfachen über den Draht (D) wirkenden Vorrichtung auf magnetischem Wege entfernt wurde. Nach einer angemessenen Versuchszeit (2–10 Stunden) wurde Wasserstoff in die Apparatur eingelassen und damit die Verdampfung momentan unterbrochen. Die bei einem Versuch verdampfte Thalliummenge schwankte zwischen 5 und 180 mg.

Die Dampfdrucke (p) wurden nach der Formel:

$$p = \frac{G \cdot t}{O} \sqrt{\frac{2 \pi R T}{M}} \quad \text{berechnet.}$$

Es ist dafür außer der Kenntnis der verdampften Menge (G), der Versuchsdauer (t), der Temperatur (T) und des Molekulargewichtes des Dampfes (M) die Kenntnis der Lochweite (O) erforderlich, deren genaue Bestimmung einige Schwierigkeiten bereitet. Als das genaueste Verfahren erwies sich das Ausmessen auf dem Abbeschen Komparator. Die Längen zweier senkrecht aufeinander stehender Durchmesser stimmten innerhalb von $\frac{1}{1000}$ mm untereinander überein, so daß die Öffnung als Kreisfläche rein formelmäßig berechnet werden konnte. Die Lochdurchmesser betragen: 1,046, 1,083, 1,411 und 1,548 mm.

Die Ergebnisse der Messungen sind in Tafel 1 zusammengestellt (siehe auch Abb. 3). Es sei noch darauf hingewiesen, daß, da in obige Formel das Molekulargewicht des Dampfes eingeht, die Auswertung der Messungen nur soweit richtig ist, wie die vorausgesetzte Einatomigkeit des Thalliumdampfes erfüllt ist. Die geringe Linienverbreiterung, die mit steigender Temperatur im Absorptionsspektrum des Thalliumdampfes zu beobachten ist, wird durch das Auftreten von Tl_2 -Molekülen gedeutet⁶⁾, doch kann ihr Anteil höchstens einige Prozente ausmachen. Sie dürften — ähnlich wie dies Ladenburg⁷⁾ beim Natrium gezeigt hat — wohl bei der Aufstellung einer sehr genauen Dampfdruckformel zu berücksichtigen, jedoch auf die Berechnung der Verdampfungswärme und der Dampfdruckkonstanten ohne Einfluß sein.

Tafel 1 **Dampfdrucke des Thalliums nach der Effusionsmethode**

p. 10^3 mm	T° abs.	p. 10^3 mm	T° abs.	p. 10^3 mm	T° abs.
0.612	801.1	2.71	841.8	13.55	906.4
0.630	800.3	11.0	903.6	21.0	926.6
0.67	800.3	11.18	901.3	21.7	926.3
2.19	841.3	11.2	903.3	22.1	926.4
2.23	841.3	11.9	903.3	22.2	926.3
2.44	841.8	12.68	904.1	23.1	926.7
2.48	841.8				

⁶⁾ W. Grotrian, Z. f. Phys. 12, 226 (1923).

⁷⁾ R. Ladenburg und E. Thiele, Z. phys. Chem., B 7, 161 (1930).

2. Nach dem Kondensationsverfahren.

Bei diesem Verfahren⁸⁾ ragt ein Thermometerrohr von oben her in den Dampf einer in einem zylindrischen Gefäß unter einem vorgegebenen Druck siedenden Substanz. Die Temperatur des Thermometerrohres fällt dann nicht stetig von unten nach oben ab, sondern zeigt in der Kondensationszone ein Gebiet konstanter Temperatur, die der Siedetemperatur bei dem herrschenden Druck gleichzusetzen ist.

Bei den hiesigen Messungen wurden zunächst unbefriedigende Ergebnisse erzielt. Trotz der Verwendung eines dünnadrätigen Thermoelements (Drähte 0,05 mm \varnothing) in einer dünnwandigen Quarzkapillare (Th in Abb.2) als Thermometerrohr, war bei seiner Verschiebung in dem Rührchen keine temperaturkonstante Zone zu beobachten. Das Anbringen eines dünnwandigen (0,2 mm) Eisenrohres (R) zwischen Gefäßwand und Thermometerrohr, das einen störenden Einfluß der Ofenwand ausschalten sollte, brachte ebensowenig eine Verbesserung wie alle Variationen in der Heizung des oberen und unteren Teiles des elektrischen Ofens. Erst das Umwickeln des Thermometerrohres mit einer dichten Lage von dünnem (0,3 mm) Eisendraht (B) — aus sehr reinem, weichem schwedischem Holzkohleneisen — führte zu dem gewünschten Erfolg: bei geeignet gewählter Heizstromstärke des Ofens zeigte der Temperaturverlauf sehr ausgeprägt ein Gebiet konstanter Temperatur. In diesem Gebiet, das je nach dem Druck 2—8 cm lang war, änderte sich die Temperatur innerhalb der Meßgenauigkeit der Anordnung ($1/10^{\circ}$) nicht.

Die Wirksamkeit der Umwicklung des Thermometerrohres dürfte einmal auf eine Verbesserung der Benetzbarkeit des Rohres für das sich kondensierende Metall und die Verhinderung seines sofortigen Ablaufens, sodann auf eine bessere Abführung der Kondensationswärme zurückzuführen sein. Die Verwendung von Eisen ist bei seiner völligen Unlöslichkeit in flüssigem Thallium durchaus unbedenklich.

Das Siedegefäß war aus Quarz hergestellt und durch einen mit Klebwachs gedichteten Glasschliff (G) verschließbar. Temperaturmeßeinrichtung und Vakuumapparatur waren dieselben wie die oben beschriebenen. Die Anordnung war nur durch ein Puffervolumen, zwei Gasvorratsballons und ein Quecksilbermanometer ergänzt worden, ferner hatte der elektrische Ofen in seinem unteren Teil eine gesondert regulierbare Heizwicklung (W_2) erhalten.

Das für die Messungen verwendete Metall wurde aus reinem Thalliumsulfat nach den Angaben von F. Foerster⁹⁾ elektrolytisch gewonnen und einmal im Wasserstoff, danach im Vakuum durch eine enge Quarzkapillare filtriert. Verschiedene Proben des Metalls lieferten identische Dampfdruckwerte. Die Messungen nach dem Kondensationsverfahren wurden teils in Wasserstoff, teils in Argon ausgeführt. Das Argon (97,1 %ig, 0,5 % Sauerstoff, Rest Stickstoff) war von der Lindegesellschaft Höllriegelskreuth kostenlos zur Verfügung gestellt worden, wofür ihr auch an dieser Stelle bestens gedankt sei. Der Wasserstoff wurde durch Diffusion durch ein elektrisch geheiztes Palladiumröhrchen in die Apparatur eingebracht.

Die Ergebnisse der Messungen sind in Tafel 2 zusammengestellt (siehe auch Abb. 3). Irgend ein Einfluß der Art des Füllgases ist nicht erkennbar, vielmehr sind die in Wasserstoff und Argon gemessenen Werte innerhalb der Meßgenauigkeit identisch.

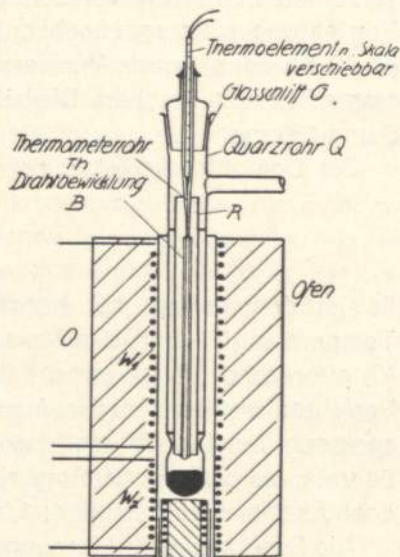


Abb. 2. Apparatur für die Messungen nach dem Kondensationsverfahren

⁸⁾ Es findet sich dafür in der Literatur auch mehrfach die Bezeichnung Siedeverfahren, doch erscheint es zweckmäßig, diesen Namen den Verfahren vorzubehalten, bei denen die Temperatur der siedenden Substanz selbst gemessen wird (so z. B. Leitgeb, loc. cit. oder Fischer, Z. anorg. u. allgem. Chem. 219, 1 (1934).

⁹⁾ F. Foerster, Z. anorg. u. allgem. Chem. 15, 71 (1897).

Tafel 2

Dampfdrucke des Thalliums nach der Kondensationsmethode

p. mm	T° abs.	p. mm	T° abs.	p. mm	T° abs.
6.62	1247 W	19.86	1322 A	35.16	1374 A
8.54	1253 A	20.04	1324 W	36.76	1376 A
11.34	1274 A	22.30	1333 W	38.14	1381 A
11.56	1281 W	28.52	1355 A	44.96	1401 A
14.26	1289 A	30.44	1360 A	47.34	1400 W
16.94	1308 W	33.36	1369 W		
W = in Wasserstoff A = in Argon gemessen					

B. Prüfung der Methoden durch Messungen an Blei

1. nach dem Effusionsverfahren.

Die Zuverlässigkeit der Methoden und Anordnungen in dem untersuchten Temperaturgebiet wurde durch Kontrollmessungen an Blei geprüft. Der Dampfdruck dieses Metalls ist — wie an anderer Stelle näher ausgeführt worden ist¹⁰⁾ — heute mit genügender Genauigkeit bekannt. Die Ergebnisse der nach der Effusionsmethode an reinstem Blei von Kahlbaum ausgeführten Messungen ist in Tafel 3 wiedergegeben. Die Streuung der einzelnen Meßpunkte ist von derselben Größe wie die der Messungen Egertons¹¹⁾, der erstmalig die Knudsen'sche Methode bei höheren Temperaturen verwendet hat, dagegen ergeben seine Mittelwerte bei denselben Drucken eine um 3° niedrigere Temperatur. Diese Übereinstimmung ist in Anbetracht der durch die hohen Temperaturen gegebenen experimentellen Schwierigkeiten als durchaus befriedigend zu bezeichnen. Sie ist bei Berücksichtigung der bemerkenswerten Unterschiede in der apparativen Ausgestaltung und Versuchsführung bei den Messungen in Oxford und hier als ein neuer Beweis für die Brauchbarkeit und Zuverlässigkeit der Methode anzusehen. Dies Ergebnis ist einerseits im Hinblick auf die kürzlich von Baur und Brunner¹²⁾ an der Methode geübten Kritik, andererseits auf die von diesen Forschern erhaltenen abweichenden Dampfdruckwerte des Bleis von Interesse.

Tafel 3

Dampfdrucke des Bleis nach der Effusionsmethode

p. 10 ³ mm	T° abs.	p. 10 ³ mm	T° abs.	p. 10 ³ mm	T° abs.
2.06	943	4.81	974	12.00	1014
2.08	947	4.89	973	13.9	1023
2.09	946	8.17	998	14.4	1021
2.22	945	8.29	997	15.2	1023
2.79	946	9.06	1002	16.1	1026
4.64	974	11.06	1007	16.25	1023

¹⁰⁾ J. Fischer, Z. anorg. u. allgem. Chem., 219, 1 (1934).

¹¹⁾ A. C. Egerton, Proc. Roy. Soc. A. 103, 469 (1923).

¹²⁾ E. Baur und R. Brunner, Helv. Chim. Act. 17, 958 (1934).

2. dem Kondensationsverfahren.

Das Kondensationsverfahren ist auch bei höheren Temperaturen mehrfach mit Erfolg angewendet worden. Allerdings sind gelegentlich Schwierigkeiten aufgetreten, die vermuten ließen, daß noch nicht alle wesentlichen Faktoren des an sich so einfachen Verfahrens erkannt waren. So konnten Rodebush und Dixon¹³⁾ bei ihren Messungen an Blei zeigen, daß infolge der Wärmeableitung durch die Thermolementdrähte die gemessenen Temperaturen leicht um 30° zu niedrig sein können und daß durch schlechten Wärmekontakt zwischen Thermometerrohr und Lötstelle des Thermolements ein weiterer Fehler von 20—30° hinzukommen kann. Sie vermuten danach, daß die stark abweichenden Ergebnisse, die Ingold¹⁴⁾ bei seinen — sonst anscheinend mit großer Sorgfalt ausgeführten — Bleimessungen erhalten hat, auf dieselben Fehler zurückzuführen sind. Diese Deutung ist um so wahrscheinlicher, als Rodebush und Dixon¹⁵⁾, wie auch Harteck¹⁶⁾ und der Verfasser bei ihren Messungen nach demselben Verfahren bei denselben Drucken wesentlich höhere Temperaturen erhalten haben.

Die Ergebnisse der hier ausgeführten Messungen, die in Tafel 4 wiedergegeben sind, weichen im Durchschnitt um 1° von der wahrscheinlichsten Dampfdruckkurve und den genau auf dieser Kurve liegenden Werten ab, die Rodebush und Dixon¹⁷⁾ nach einer — offensichtlich sehr genauen — halbstatistischen Methode ermittelt haben. Dies beweist, daß die Kondensationsmethode bei geeigneter Anordnung — wie sie hier Verwendung fand — auch bei 1200° C noch brauchbare Ergebnisse zu liefern vermag.

Tafel 4

Dampfdrucke des Bleis nach der Kondensationsmethode

p. mm	T° abs.	p. mm	T° abs.	p. mm	T° abs.
4.4	1398	7.4	1415	12.4	1456
6.4	1409	10.3	1439	14.2	1470

C. Prüfung der Ergebnisse

1. Übereinstimmende Literaturwerte.

Die hier gemessenen Thalliumdampfdrucke sollten, ebenso wie auch alle von anderen Autoren bestimmten, in einem $\log p \cdot 1/T$ -Diagramm annähernd auf einer Geraden liegen. Dies ist für die verschiedenen Messungen des Verfassers und für den Wert Leitgebels tatsächlich der Fall. Die Werte Gibsons werden für sich zwar besser durch eine andere gerade Linie wiedergegeben, die einen höheren Siedepunkt und eine geringere Verdampfungswärme liefert, doch liegt ein Teil seiner Meßpunkte sehr gut mit den hier gemessenen zusammen. Da zudem der größte Unterschied zwischen seinen Werten und den hiesigen kaum größer ist als die Streuung seiner Werte untereinander, finden die Abweichungen der Gibsonschen Werte in ihrer geringeren Meßgenauigkeit — die vor allem durch eine geringere Genauigkeit der optischen Temperaturmessung bedingt sein dürfte — eine ausreichende Erklärung.

2. Untersuchung abweichender Literaturwerte.

Im Gegensatz dazu zeigen die Messungen v. Wartenbergs nach der Fortführungsmethode beträchtliche Abweichungen. Nimmt man — was sehr wahrscheinlich ist¹⁸⁾ — an, daß dabei die

¹³⁾ W. H. Rodebush und A. C. Dixon, Journ. Am. Chem. Soc. 47, 1036 (1925).

¹⁴⁾ Ch. K. Ingold, Journ. Chem. Soc. 121, 2419 (1922).

¹⁵⁾ W. H. Rodebush und A. C. Dixon, l. c.

¹⁶⁾ P. Harteck, Z. phys. Chem. 134, 1 (1928).

¹⁷⁾ W. H. Rodebush und A. C. Dixon, Phys. Rev. II 26, 851 (1925).

¹⁸⁾ Die Temperaturen müßten sonst um 20—100° falsch gemessen sein.

gemessenen Temperaturen gleich den tatsächlichen waren, so sind die Drucke beim Thallium um den Faktor 3,5—4 zu hoch. Beim Blei beträgt dieser Faktor 1,6—1,45, beim Silber 2,7—1,2. Eine ins Gewicht fallende Mehratomigkeit der Metaldämpfe, die die zu hohen Meßergebnisse ohne

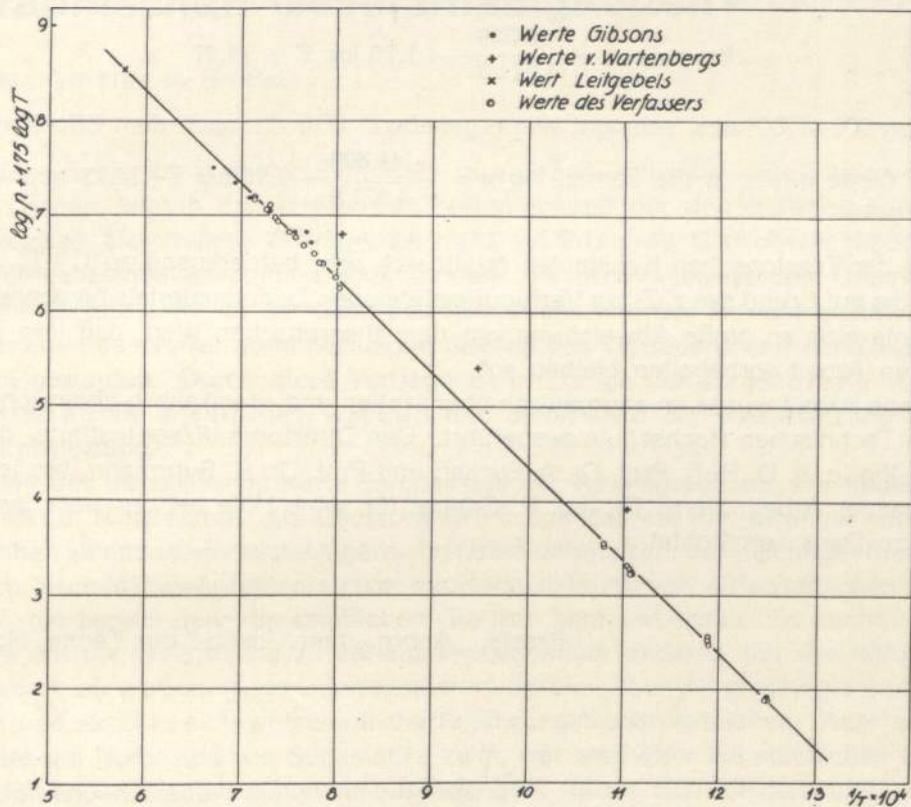


Abb. 3. Die Dampfdruckkurve des Thalliums.

weiteres erklären würde, ist auf Grund spektroskopischer Untersuchungen und direkter Dampfdruckbestimmungen¹⁹⁾ nicht anzunehmen. Da die Methode andererseits bei einer Reihe von Metallen (*Na*, *Cd*, *Zn*) genaue Werte geliefert hat, liegt die Vermutung nahe, daß, ähnlich wie bei der erhöhten Silberverdampfung in Sauerstoff²⁰⁾, beim Thallium, Blei und Silber Bindungskräfte zwischen dem Metaldampf und den Molekülen des strömenden Gases wirksam sind, die einen erhöhten Dampfdruck vortäuschen. Eine nähere Untersuchung dieser Möglichkeit ist in Aussicht genommen. Es wäre allerdings auch denkbar, daß das von v. Wartenberg beschriebene Aufsaugen von Metall durch das keramische Rohr, in dem die Verdampfung stattfand, einen zu großen Gewichtsverlust des Verdampfungsschiffchens verursacht und dadurch einen zu hohen Dampfdruck vorgetäuscht hat.

3. Übereinstimmung mit theoretischen Forderungen.

Bei der Darstellung des Dampfdrucks in einem größeren Temperaturintervall ist die durch den Unterschied der spezifischen Wärmen von Gas und Kondensat bedingte Änderung der Verdampfungswärme zu berücksichtigen. Dies geschieht unter der vereinfachenden Annahme, daß die spezifische Wärme der Flüssigkeit in dem betreffenden Temperaturintervall konstant ist, durch das Glied: $\frac{C_p \text{ Gas} - C_p \text{ Fl}}{R} \log T$, das sich für Thallium auf Grund der Seekampschen²¹⁾ Messungen

¹⁹⁾ H. v. Wartenberg, Z. anorg. u. allgem. Chem., 56, 320 (1908).

²⁰⁾ H. v. Wartenberg, Z. Elektrochem., 19, 489 (1913).

²¹⁾ H. Seekamp, Z. anorg. u. allgem. Chem., 195, 345 (1931).

der spezifischen Wärmen des flüssigen Metalls zu $\frac{4,96-8,43}{1,98} \log T = -1,75 \log T$ ergibt. Im $\log(p \cdot T^{1,75}) - 1/T$ Diagramm sollten danach alle Meßpunkte auf einer Geraden liegen. Wie Abbildung 3 erkennen läßt, ist dies weitgehend der Fall. Der Dampfdruck wird durch die Formel:

$$\log p_{mm} = -\frac{45\,320}{4,571 T} - 1,75 \log T + 14,27$$

im Gebiet von 900—1700° abs. sehr gut wiedergegeben. (Für die nach dem Effusionsverfahren bestimmten Werte allein ist die Formel $\log p = -\frac{44\,800}{4,571 T} - 1,75 \log T + 14,13$ noch etwas genauer.

Der Wert der Troutonschen Konstanten ergibt sich sehr befriedigend zu $1_s / T_s = 22,6$, dagegen zeigt die auf Grund des z. Z. zur Verfügung stehenden Zahlenmaterials berechnete Dampfdruckkonstante eine so große Abweichung von dem theoretischen Wert, daß ihre Diskussion einer weiteren Arbeit vorbehalten bleiben soll.

Vorstehende Arbeit wurde im anorganisch-chemischen und physikalisch-chemischen Institut der hiesigen Technischen Hochschule ausgeführt. Den Direktoren dieser Institute, den Herren Prof. Dr. Dr.-Ing. e. h. O. Ruff, Prof. Dr. A. Eucken und Prof. Dr. R. Suhrmann, bin ich für ihre Förderung meiner Arbeit, Herrn Dr.-Ing. P. Grieger für seine Hilfe bei den sehr langwierigen Messungen zu Dank verpflichtet.

Breslau, Anorg.-chem. Institut der Techn. Hochschule.

Unterliegen die Wirtschaftsbeziehungen der mitteleuropäischen Staaten geographischen Gesetzmäßigkeiten?

Von Walter Geisler in Breslau.

Einer der Gründe der Weltwirtschaftskrise unserer Zeit, unter der alle Staaten der Erde zu leiden haben, liegt in den territorialen Bestimmungen der den Weltkrieg abschließenden Friedensverträge. Durch diese Verträge, die nicht auf Grund der Gleichberechtigung zwischen den Partnern zustande gekommen sind, sondern die in Wirklichkeit dem Unterlegenen aufgezwungene Diktate sind, ist der Geist des Mißtrauens und der Abwehr anstatt des für das Wirtschaftsleben der Völker so notwendigen Geistes des Vertrauens und der Zusammenarbeit herrschend geworden. Durch diese Verträge ist in Europa der strukturelle Aufbau der Wirtschaftsräume vernichtet worden und damit auch die Voraussetzung für eine ge-
dehliche Entwicklung.

Sehen wir uns die politische Karte Europas aus der Vorkriegszeit an. Wir finden außer den Westmächten in Mitteleuropa das Deutsche Reich und das mit ihm in enger wirtschaftlicher Verbundenheit lebende Österreich-Ungarn. Im Osten dehnte sich das mächtige Russische Reich aus. Durch diese Mächtegruppierung war die Herausbildung von wirtschaftlichen Großräumen angebahnt, die bereits über die staatlichen Grenzen herauswuchsen. So suchte sich Europa im Kampfe um die Weltgeltung zu behaupten gegenüber anderen von der Natur besonders günstig bedachten großräumigen Überseestaaten, die sich über die gemäßigte und heiße Zone erstrecken und somit in sich wirtschaftliche Ergänzungsländer enthielten. Aber auch da, wie das Beispiel von Nord- und von Südamerika zeigt, war man über die staatlichen Grenzen des oder der führenden Staaten schon hinausgegangen, indem sich kleinere und wirtschaftlich schwächere Staaten mit ihnen zu einem wirtschaftlichen Großraum mehr oder weniger freiwillig zusammenschlossen.

Hand in Hand mit dieser Entwicklung ging eine Strukturwandlung der einzelnen Wirtschaftsorganismen, als welche wir die Staaten ansehen können, vor sich. Insbesondere haben sich unter dem Druck der Kriegsjahre die jungen überseeischen Staaten bezüglich der industriellen Erzeugnisse mehr und mehr von Europa unabhängig gemacht. Der alte Grundsatz, nach dem die Kolonien die Rohprodukte lieferten und von Europa die Fertigwaren bezogen, ist von Übersee gebrochen worden, nachdem aus den britischen Kolonien selbständige Dominien geworden waren, Japan sich zu einem Industriestaat entwickelt hatte und Amerika aus dem kolonialen Zeitalter herausgewachsen war¹⁾.

Gerade in diesem für ganz Europa so kritischen Zeitpunkt wurde die Grundlage für die Herausbildung eines Großraumes in Mitteleuropa durch die Friedensverträge vernichtet. Mitteleuropa sollte balkanisiert werden, d. h. wie der Balkan in eine Reihe von einzelnen Mittel- und Kleinstaaten zerfallen, ohne daß ein starkes Kraftfeld vorhanden sei, an das sich die peripher gelegenen Gebiete zu gegenseitigem Nutzen anschließen konnten. Diese Absicht ist nicht erreicht worden, weil sich das Deutsche Reich trotz schwerster territorialer Verluste namentlich im Osten als eine der vier wirtschaftlichen Großmächte erhalten hat. Wenn Frankreich versucht haben sollte, die Stellung des Deutschen Reiches in Mitteleuropa einzunehmen, so mußte dieser Versuch zum Scheitern verurteilt sein, weil er gegen die Grundgesetze, nach denen das Leben der Völker sich abspielt, verstößt.

¹⁾ Über diese allgemeinen Fragen unterrichtet Kjellén-Haushofer, Die Großmächte vor und nach dem Weltkriege, Leipzig und Berlin 1930. Dort auch Literaturangaben.

Zwei Grundgesetze sind es, die sich immer wieder zur Geltung bringen, wenn der Mensch gegen sie verstößt, das ist die Verbundenheit von Blut und Boden zu einer unlöslichen Vereinigung von Raum und Volk, wodurch sich die Wirtschaftsstruktur der Staaten als Raum- und Wirtschaftsorganismen ergibt, und die Wirksamkeit der Lagebeziehungen, die uns immer wieder vor Augen führt, daß sich alles Geschehen im Raume abspielt. In vieler Hinsicht bedeutet daher die geographische Lage das Schicksal eines Landes. Diese beiden Gesichtspunkte, der Wirtschaftsstruktur und der Lagebeziehungen, sind in ihrer Wirkung auf das Leben der Völker eng miteinander verbunden, es ist aber nach den einleitenden Erörterungen über die Herausbildung von wirtschaftlichen Großräumen zweifellos, daß letzten Endes die Lagebeziehungen ausschlaggebend sind.

Das Prinzip der Lage ist ungewöhnlich einfach und doch im Leben der Völker so ungemein schwer zu verstehen. Oft scheint es in Anbetracht von Scheinerfolgen, die, am Leben einer Generation gemessen, recht lange Wirkung haben können, als ob man sich über diese Raumgebundenheit hinwegsetzen könnte. So ist es unmöglich, daß sich ein westeuropäisches Kraftfeld bis an die Grenzen Osteuropas erstrecken könnte. Wie das zu Zeiten Napoleons unter ganz andersartigen Voraussetzungen nicht möglich war, so ist es auch heute. Man hat dem Raume Mitteleuropa, so verschieden man ihn auch begrenzen mag, wohl in Anbetracht der großen Übergangsräume nach Westen und Osten, ein eigenes geopolitisches Kraftfeld und eine eigene Raumindividualität überhaupt absprechen und nur West- und Osteuropa gelten lassen wollen, wobei auf Osteuropa die Staaten der Sowjet-Union entfallen würden.

Eine solche Auffassung kann nur durch eine Deutschland feindliche Einstellung entstanden sein. Sie leugnet die nun einmal vorhandene Individualität Mitteleuropas und das geopolitische Kraftfeld, das wir im Deutschen Reiche verkörpert finden. Dieses Mitteleuropa schiebt sich zwischen den Osten und den Westen; es trennt auch den Norden vom Süden; denn man wird nicht gut den Fennoskandischen Schild und das Mittelmeergebiet ohne weiteres zu einer Raumeinheit verbinden wollen, obgleich manche durch den Raum bedingte Beziehungen sich von Norden nach Süden über Mitteleuropa durch den Kontinent ziehen. Das Leben dieser Wirtschaftsorganismen ist aber nicht in dem gleichen Maße schicksalverbunden wie das der Staaten Mitteleuropas untereinander.

Die Großräume sind überstaatliche Gebilde; also ist der Begriff Mitteleuropa nicht identisch mit dem Länderbegriff Deutschland. Insofern sind ängstliche Gemüter von vornherein zu beruhigen, die in diesem Begriff Mitteleuropa eine politische Tendenz vermuten und in ihm das Gebiet der deutschen Expansion sehen²⁾. Nur die Länder sind Raumindividualitäten im eigentlichen Sinne des Wortes. Das Gleichgewicht eines politischen Zustandes ist dann vorhanden, wenn die Begriffe Raum, Volk und Staat in ihrem Umfange übereinstimmen. Dieser Idealzustand ist jedoch nirgends erreicht. Für Deutschland ist seit langem das Land des Dreiklängs von Hochgebirge, Mittelgebirge und Flachland als der Raum des deutschen Volkes erkannt worden³⁾. Weder nimmt jedoch das deutsche Volk diesen Raum vollständig ein, noch wird er von den Grenzen des Deutschen Reiches umfaßt. Wenn wir aber von dem Kraftfeld sprechen, können wir nur das Gebiet des Deutschen Reichs meinen. Obgleich Deutschland die natürliche Einheit ist, aus Blut und Boden erwachsen, so kann sich doch die Organisation der Wirtschaft nicht ohne weiteres über die Staatsgrenzen hinaus erstrecken. Die Deutschen jenseits der Reichsgrenzen gehören anderen Wirtschaftsorganisationen an und können sich nur innerhalb dieser betätigen. Ihre Leistungen kommen demnach anderen Staaten zugute, und in ihren Entscheidungen sind sie von anderen Faktoren, insbesondere von dem Staatsvolke, abhängig.

Die Wirtschaftsorganismen im Raume Mitteleuropa sind also selbständige politische Gebilde ohne irgendwelche machtmäßige Bindungen. Wir behaupten, daß die Lagebeziehungen der

²⁾ H. Bagiński, *Zagadnienie dostępu Polski do morza*. Warschau 1927.

³⁾ Joseph Partsch, *Mitteleuropa*, Gotha 1904.

Räume zueinander eine schicksalhafte Verknüpfung herbeiführen müssen, wenn die Staaten sich gedeihlich entwickeln sollen. Die Voraussetzungen dafür sind eine eindeutig bestimmbare Raumeinheit und das Vorhandensein nur eines überragenden geopolitischen und wirtschaftlichen Kraftfeldes. Sehr günstig werden sich verschiedene natürliche Ausstattungen der Räume und verschiedene Wirtschaftsformen auswirken, da diese Faktoren eine belebende Verkehrsspannung zwischen den einzelnen Wirtschaftsorganismen hervorrufen werden. Wir hätten zunächst festzustellen, ob diese Voraussetzungen im Raume Mitteleuropa wirklich gegeben sind.

Fragen wir uns zunächst, ob außer dem Deutschen Reiche noch ein anderes Kraftzentrum vorhanden ist, das sich mit denen im Westen und Osten messen könnte. Die einfachste, wenn auch nicht völlig befriedigende Methode zur Feststellung des Kraftverhältnisses zwischen den einzelnen Wirtschaftsorganismen bilden die Werte für den Außenhandel. Zum Vergleich wählen wir den Anteil des Umsatzes in Hundertteilen des Welthandels. Trotz der schweren Einbußen durch den Weltkrieg gehört das Deutsche Reich nach wie vor zu den vier weltwirtschaftlichen Großmächten, und zwar nimmt es vor Frankreich die dritte Stelle ein. Großbritannien steht wieder an erster Stelle, die Vereinigten Staaten an zweiter. Erst in weitem Abstände folgt Japan. In den letzten Jahren ist der Anteil des Reiches etwas zurückgegangen, nämlich von 9,95 im Jahre 1931 auf 9,09 v. H. im Jahre 1933, während die anderen Großmächte sich etwas besser stellten⁴⁾.

Staaten	Zeitpunkt der Zählung	Fläche in 1000 qkm	Bevölkerung in Millionen	Dichte auf 1 qkm	in v. H. des Welthandels 1933
Deutsches Reich	1933	471	66,0	140	9,09
Österreich	1934	84	6,8	81	0,92
Tschechoslowakei	1930	140	14,7	57	1,46
Polen	1931	389	32,1	83	0,84
Litauen	1923	53	2,0	38	0,13
Lettland	1930	66	1,9	29	0,13
Estland	1934	48	1,1	24	0,08
Ungarn	1930	93	8,7	93	0,37
Jugoslawien	1931	249	13,9	56	0,33
Rumänien	1930	295	18,0	61	0,64
Bulgarien	1926	103	5,5	53	0,15

Gegenüber allen anderen Staaten Mitteleuropas steht das Deutsche Reich durchaus an erster Stelle. Sie alle zusammen machen nur 5,05 v. H. des Welthandels aus, also nur wenig mehr als die Hälfte des Reiches. Nehmen wir Österreich und die Tschechoslowakei mit 2,38 v. H. gesondert, weil diese Staaten in ihrer Wirtschaftsstruktur eine Übergangstellung einnehmen, so entfallen auf die großen Räume der übrigen Staaten nur 2,67 v. H. Von diesen kommen auf den Donaauraum 1,49 v. H., auf Polen 0,84 und auf die drei Ostseestaaten 0,34 v. H. Damit ist das gegenseitige Kräfteverhältnis zum Ausdruck gebracht.

Das Wichtige ist nun, daß diese Staaten in ihrer Wirtschaftsstruktur sich gegenseitig ergänzen und sich dank der Lagebeziehungen aufeinander einstellen müssen. Die östlichen Staaten können als Agrarstaaten schon aus rein wirtschaftlichen Gründen keinen Handel mit Rußland treiben. Überdies drängt Rußland nach Westen und erzeugt einen geopolitischen Druck, der eine Gefahr für diese Staaten Zwischeneuropas bedeutet. So ist denn das Antlitz dieser Staaten nach Westen gekehrt.

⁴⁾ Sämtliche statistische Angaben sind dem Statistischen Jahrbuch für das Deutsche Reich entnommen.

Bei Polen⁵⁾ zeichnet sich die westliche Einstellung sehr klar in der Bevölkerungsverteilung ab. Legen wir eine Achse von Plock über Warschau und Lublin nach Tarnopol, so hat der südwestlich dieser Achse gelegene Teil dichte Bevölkerung und die gesamte Industrie, während der nordöstlich gelegene Teil sehr dünn bevölkert ist und teilweise eine unwirtliche Sperrlandschaft bildet. Solche Sperrlandschaften trennen den Raum Mitteleuropa auch von den Mittelmeerländern, namentlich von Italien. Im Norden sind es die Alpen und im Nordosten die unwirtlichen Karstgebirge längs des Adriatischen Meeres. Das jugoslawische Küstenland⁶⁾, das stellenweise geradezu durch das Herantreten des Karstes völlig verschwindet oder zu einem ganz schmalen Streifen wird oder nur oasenhaft vorhanden ist, zeigt deutlich die Abschließung des Inneren von der Küste.

Die abschließende Wirkung der Sperrlandschaften ist durch die Mittel der modernen Technik ganz zweifellos stark herabgemindert. Eisenbahnlinien und Autostraßen überwinden fast alle topographischen Hindernisse. Das aber ist nicht das Wesentliche. Die Sperrlandschaften, die infolge ihrer natürlichen Ausstattung unbewohnt oder fast unbewohnt sind oder, wie die Pripetsümpfe, noch nicht in Kulturland umgewandelt worden sind, behalten in hohem Grade ihren völkertrennenden Charakter. Bezüglich der Mittelmeerländer kommt noch der völlig andere Klimacharakter gegenüber Mitteleuropa hinzu, um diesseits und jenseits der Sperrlandschaften geistig völlig verschieden eingestellte Völker herausgebildet zu haben.

Gerade wegen der klimatischen Verschiedenheit bilden die Mittelmeerländer in vieler Hinsicht wichtige wirtschaftliche Ergänzungsräume; die besonderen Aufgaben aber, die Italien zu lösen hat, das ganz dem Mittelmeer und Afrika zugewandt ist, lassen das Mittelmeergebiet als außerhalb des engeren Mitteleuropa liegend erkennen. Allerdings haben sich im Mittelmeergebiet, das im Altertum, als es im Mittelpunkt des abendländischen Kulturkreises stand, einen einheitlichen Großraum bilden konnte, die Einflüsse verschiedener geopolitischer Kraftfelder bemerkbar gemacht. Die starke Zerschneidung des Raumes in die drei europäischen Halbinseln verhindert eine geopolitisch straffe Zusammenfassung. Überdies ist das Mittelländische Meer ein Mittelmeer und Verkehrsraum, dessen Bedeutung nur im großen Zusammenhange erfaßt werden kann.

Viel einheitlicher ist im Gegensatz dazu der mitteleuropäische Raum. Die Raumgemeinschaft der Staaten Mitteleuropas ist durch die Verzahnung der Ströme des mitteleuropäischen Flachlandes, das an Nord- und Ostsee grenzt, mit der zum Schwarzen Meere fließenden Donau gekennzeichnet. Somit gehören die Donaustaaten einschließlich Jugoslawien und Bulgarien zu Mitteleuropa, nicht aber Griechenland. Die immer wiederkehrenden Kanalprojekte, die Donau mit der Oder, der Elbe und durch den Main auch mit dem Rhein zu verbinden, Projekte, die in unserer Zeit der Verwirklichung nähergebracht werden, bezeugen die engen wirtschaftlichen Beziehungen zwischen diesen Teilräumen, wie sie letzten Endes auch in der Existenz der österreichisch-ungarischen Monarchie und ihrem engen wirtschaftlichen und kulturellen Anschluß an das Reich zum Ausdruck gekommen waren. Das gewaltige Ereignis des Weltkrieges mit seinen politischen Veränderungen hat nicht verhindern können, daß sich jetzt unter gänzlich veränderten politischen Verhältnissen die gleichen wirtschaftlichen Beziehungen wieder anzubahnen beginnen.

Die alten Grenzen des Russischen Reiches waren viel zu weit nach Westen in den mitteleuropäischen Raum vorgeschoben gewesen; denn Polen gehört zweifellos zu Mitteleuropa. Einen Übergang zu den nordischen Ostseestaaten bilden die drei Republiken Estland, Livland und Litauen, die den starken Druck des gewaltigen, nach der Ostsee drängenden russischen Raumes stets auf sich fühlen.

⁵⁾ Über die Stellung Polens zum Reich vgl. Walter Geisler, Die deutsch-polnische Raumgemeinschaft im Gesamt-Ostraum. Heft 1 der Ostraum-Berichte Breslau 1935, herausgegeben vom Osteuropa-Institut, Breslau.

⁶⁾ Hermine Goll, Das jugoslawische Küstenland als Wirtschaftsraum. Wirtschaftsgeographie, 1. Heft, Wien 1932.

Die schicksalhafte Raumverbundenheit ist keineswegs so aufzufassen, als ob die durch sie verbundenen Staaten nicht auch starke wirtschaftliche Beziehungen zu Staaten in anderen Wirtschaftsräumen pflegen sollten oder gar könnten. Sie ist aber so zu verstehen, daß eine Nichtachtung dieser gesetzmäßigen Verbundenheit sich unbedingt nachteilig auswirken muß und die Staaten daran hindert, die eigene Kraft zu entwickeln.

Wie Italien und Griechenland als Bedarfsländer der landwirtschaftlichen Überschüsse der mitteleuropäischen Länder in Frage kommen, so auch die Länder Nordeuropas. Schweden liefert dafür die für die mitteleuropäische Industrie wichtigen Eisenerze. Die Wirtschaftsbeziehungen Mitteleuropas nach dem Westen sind besonders stark, es treten die randlichen Staaten Belgien und Holland vielfach als Vermittler auf, wodurch sich ihr unerhört hoher Anteil von 3,39 und 3,29 v. H. am Welthandel erklärt. Wegen dieser besonderen Stellung dieser Staaten muß auf eine nähere Erörterung verzichtet werden.

Wenden wir uns der Wirtschaftsstruktur der mitteleuropäischen Staaten zu. Die Tafel der Erwerbspersonen nach Wirtschaftsabteilungen gibt einen klaren Überblick über die Wirtschaftsstruktur der Länder. Die drei zentralen Staaten Deutsches Reich, Österreich und die Tschechoslowakei stehen den anderen Staaten als besondere Gruppe gegenüber. Sie sind jedoch nicht gleich in ihrer Struktur wie die peripheren Staaten, die sämtlich als Rohstoffstaaten mit Maschinenkultur zu bezeichnen sind. Im Deutschen Reich ist der Anteil der in Industrie und Bergbau, in Handel und Verkehr beschäftigten Personen nicht nur absolut, sondern auch relativ größer als in den beiden anderen Staaten. Wir müssen daher das Deutsche Reich unbeschadet seiner hoch entwickelten Landwirtschaft, die in der Lage ist, uns mit Getreide vollständig zu versorgen, als einen Industriestaat bezeichnen. Österreich und die Tschechoslowakei sind Rohstoffindustriestaaten. Für diese Staaten wird als entscheidend für ihre Einordnung in diese Gruppe der Umstand angesehen, daß neben der Herstellung von Industriewaren auch in dem Lande gewonnene Rohstoffe ausgeführt werden, und zwar in erheblichem Umfang.

Die Erwerbspersonen nach Wirtschaftsabteilungen

in Tausend Personen

Staaten	Zeitpunkt der Zählung	Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	Industrie und Bergbau	Handel und Verkehr	Öffentlicher Dienst und freie Berufe	Häusliche und persönliche Dienste
Deutsches Reich	1933	9 343	13 051	5 931	2 601	1 270
Österreich	1923	1 438	1 211	554	195	180
Tschechoslowakei	1930	2 683	2 618	849	397	289
Polen	1921	10 270	1 506	763	340	244
Litauen	1923	1 089	119	45	22	74
Lettland	1925	767	166	82	41	29
Estland	1922	410	123	57	26	15
Ungarn	1920	2 127	732	348	195	171
Jugoslawien	—	} etwa 80% in Land- und Forstwirtschaft tätig. Eine Statistik besteht nicht				
Rumänien	—					
Bulgarien	1926	2 464	303	126	110	19

Bei den Rohstoffstaaten mit Maschinenkultur kommt gegenüber den Rohstoffindustriestaaten der eigenen Industrie keine große Bedeutung zu. „Sie ist oft gleichsam eine aufgepflanzte Fremdkultur. Dieser Wirtschaftscharakter kommt in der starken Einfuhr fremder Industriewaren zum Ausdruck und ferner in der überwiegenden Ausfuhr von Rohstoffen“⁷⁾. Die landwirtschaftlichen

⁷⁾ Siegfried Passarge. Die Erde und ihr Wirtschaftsleben. Hamburg und Berlin, 1926.

Wesenszüge sind bei diesen Staaten überaus verschieden. Die klimatischen Unterschiede machen sich selbst in dem verhältnismäßig kleinen Raum Mitteleuropa geltend. Während die nördlichen Staaten einschließlich Polen den Mischwaldländern angehören, sind die südlichen, also die Donauländer, den Waldsteppen und Steppen zuzurechnen. Daraus ergibt sich die sehr wichtige Tatsache, daß diese peripheren Staaten sich bezüglich ihrer Erzeugnisse in ganz erfreulicher Weise ergänzen. Bringt Polen namentlich Roggen hervor, so liefern die Donaustaaten Weizen und Mais. Nehmen in den Ostseestaaten die Wiesen und Weiden einen großen Raum ein, so in Ungarn und Rumänien das Ackerland. Dazu kommt die Verschiedenheit der Ausstattung an Bergbauprodukten. Polen kann — außer Steinkohlen — noch Erdöl ausführen, bedeutend größere Mengen an Erdöl liefert Rumänien; Jugoslawien hat Überschuß an Eisenerzen und Rohkupfer. Das für uns so notwendige Bauxit kommt aus Ungarn und Jugoslawien.

Zur Charakterisierung der drei wirtschaftlichen Typen seien drei Staaten herausgegriffen.

		Deutsches Reich	Tschechoslowakei	Polen
Werte in Millionen Reichsmark				
Einfuhr:				
Lebende Tiere	1929	149,7	118,3	2,3
	1933	30,8	13,1	0,4
Lebensmittel und Getränke . . .	1929	3 822,7	362,9	178,9
	1933	1 082,3	139,6	50,2
Rohstoffe und halbfertige Waren	1929	7 205,1	1 215,8	611,9
	1933	2 420,5	363,4	193,4
Fertigwaren	1929	2 269,3	782,6	671,5
	1933	670,0	208,7	146,4
Insgesamt	1929	13 446,8	2 479,6	1 464,6
	1933	4 203,6	724,8	390,4
Ausfuhr:				
Lebende Tiere	1929	22,0	4,4	105,9
	1933	9,0	0,2	11,2
Lebensmittel und Getränke . . .	1929	701,5	291,1	336,8
	1933	172,2	56,8	116,3
Rohstoffe und halbfertige Waren	1929	2 926,3	426,9	622,0
	1933	903,4	167,9	217,9
Fertigwaren	1929	9 832,9	1 824,7	259,8
	1933	3 786,8	505,4	107,6
Insgesamt	1929	13 482,7	2 547,1	1 324,5
	1933	4 871,4	730,3	453,0

Es besteht infolge der verschiedenen Wirtschaftsstruktur eine Verkehrsspannung zwischen den Ländern untereinander. Das ist nicht so zu verstehen, daß das Deutsche Reich seinen sämtlichen Überschuß an Industrieerzeugnissen an die übrigen Staaten Mitteleuropas abgeben könne und wolle, und diese ihre landwirtschaftlichen Erzeugnisse an die Industriegebiete des Reiches absetzen müssen.

Meist wird die Lage des Reiches so dargestellt, daß es wohl seine Industrieerzeugnisse zu einem großen Teile in Mitteleuropa absetzen könne, dafür aber so viel landwirtschaftliche Erzeugnisse abnehmen müsse, daß dies eine Gefahr für die eigene Landwirtschaft darstelle. Diese Verallgemeinerung trifft nicht den Kern der Sache. Die Überschüsse der Agrarstaaten sind gegenwärtig gar nicht so sehr groß, weil infolge der geringeren Entwicklung der Landwirtschaft die Ernten nicht so groß sind. Wohl würde, wenn wir Belgien und die Niederlande ausließen, ein Überschuß an pflanzlichen Nahrungsmitteln vorhanden sein, er verschwände aber, wenn wir Italien und Griechenland einschlossen, die verkehrsgeographisch günstiger zu den Überschußgebieten Mitteleuropas liegen.

Wie stehen die Dinge in Wirklichkeit? Wenn wir immer noch aus den Vereinigten Staaten, Kanada, Argentinien und Brasilien große Mengen von Weizen, Ölfrüchten und Rinderhäuten einführen, warum dann nicht lieber aus den benachbarten Staaten, die überdies tierische Fette und Eier, ferner Sämereien und Rohtabak liefern, damit diese von uns Industrieerzeugnisse kaufen können? Warum müssen wir aus der Mandschurei 1 Million Tonnen Sojabohnen beziehen, wofür uns die Mandschurei keinerlei Waren abnimmt?

Bisher wurde es der Initiative der einzelnen Kaufleute überlassen, Geschäftsverbindungen irgendwo zu suchen. Es war gewissermaßen von Zufälligkeiten abhängig, wo wir Handelsbeziehungen anknüpften. Die Folge dieser liberalistischen Einstellung konnte nicht ausbleiben, und nur der Tüchtigkeit der deutschen Arbeiter und ihrer Führer ist es zu danken, wenn das Deutsche Reich noch heute zu den vier ersten Welthandelsmächten gehört. Diese Stellung zu behaupten, ist neben anderen deshalb so schwierig, weil es infolge dieser falschen Wirtschaftspolitik der Vorkriegszeit dem Reiche im Gegensatz zu den anderen drei Welthandelsmächten an Staaten fehlt, die einen hohen Handelsverkehr mit ihm tätigen, die also in engem wirtschaftlichen Austausch mit ihm stehen.

Die Struktur der auswärtigen Güter- und Handelsprovinzen eines Staates ist sehr schwierig zu erfassen und zu deuten⁸⁾. Einander widerstehende Kräfte sind hierbei in Einklang zu bringen, und namentlich verlangt die unbedingt notwendige Einfuhr von Rohstoffen höchste Rücksichtnahme. Die Handelspolitik der vergangenen Epochen hat dabei die Bedeutung der räumlichen Beziehungen und der Notwendigkeit der Verstärkung und Verbreiterung der Basis durch intensiven Handel mit den Nachbarstaaten vollkommen verkannt. Während die anderen Großmächte Handelsprovinzen haben, die mit ihnen mehr als 60 v. H. und zwischen 40 und 60 v. H. ihres Handels mit diesen Großmächten trieben, hat das Deutsche Reich keine einzige solche Handelsprovinz. Die Folge ist eine außerordentliche labile Lage des deutschen Außenhandels; er ist nirgends stark genug verankert. Die Schwankungen sind daher sehr groß.

Der Grenze von 40 v. H. am nächsten kommt 1933 Bulgarien mit 38,2 v. H. seiner Einfuhr und 36,0 v. H. seiner Ausfuhr. Aber noch 1932 lauteten die Zahlen 25,9 und 26,0. Umgekehrt hat sich das Verhältnis bei Litauen entwickelt, wo der Anteil der deutschen Einfuhr 1933 noch 36,0 v. H. betrug, 1932 aber 40,2 und 1931 sogar 47,0 v. H. Der Anteil der Ausfuhr betrug in den gleichen Jahren 32,7—39,1—45,9 v. H. Wenn wir von einigen vorübergehenden Erscheinungen absehen, so gibt es keinen Staat, dessen Handel mit dem Reich einen so hohen Prozentsatz ausmacht.

Immerhin läßt die Statistik erkennen, daß sich trotz der ungünstigen wirtschaftlichen Beziehungen zum Reiche, die sich nicht auf vernünftige Überlegungen zurückführen lassen, doch die von Natur durch die Lagebeziehungen und die verschiedene Wirtschaftsstruktur der Länder zu erwartende Verkehrsspannung allmählich anzubahnen beginnt. Das läßt sich bei dem Handelsverkehr mit den Ostseeländern Estland, Lettland und auch Finnland feststellen, ferner bei Polen, Österreich, der Tschechoslowakei, in etwas abgeschwächtem Maße auch bei Jugoslawien und Rumänien sowie Ungarn. Es schließen sich Griechenland und Italien an. Eine besondere Stellung nimmt unter den westlichen Nachbarn Holland ein. Nicht unerwähnt soll bleiben, daß der

⁸⁾ Karl Sapper, Allgemeine Wirtschafts- und Verkehrsgeographie, Leipzig und Berlin, 2. Auflage, 1930.

Handelsverkehr der ehemaligen deutschen Kolonien Kamerun, Togo und Südwestafrika besonders groß ist. Wir erkennen darin die Bedeutung der wirtschaftlichen Ergänzungsräume in anderen Klimazonen.

Ganz anders liegen die Dinge bei solchen Staaten, von denen wir notwendigerweise Rohstoffe einführen müssen, ohne daß irgendwelche räumliche und andere Bindungen bestehen. Der Anteil des deutschen Handels dieser Länder ist trotz großer absoluter Umsätze verhältnismäßig sehr klein, so bei den Vereinigten Staaten und dem Australischen Staatenbund. Besonders hoch ist auch die absolute Ziffer für Großbritannien und für Frankreich, doch wird der prozentuale Anteil des deutschen Handels für diese Staaten keinen hohen Wert erreichen können. Damit ist der Gedanke eines Paneuropa⁹⁾, der eine Zeitlang die Gemüter beschäftigte, als unmöglich erkannt. Diese Mächte sind vollkommen anders orientiert als das Deutsche Reich; sie haben ganz andere Verkehrsprovinzen als dieses oder Italien. Osteuropa steht ganz abseits. Man würde zweifellos den Grundsatz der Lagebeziehungen überspannen, wenn man ihn ohne Rücksicht auf die vorhandenen Kraftfelder sich in konzentrischen Kreisen erweitert denken wollte. Da müßte man einen absoluten Mittelpunkt für Europa als Voraussetzung annehmen, und ein solcher ist nicht vorhanden. Überdies erkennen wir, daß auch andere als wirtschaftliche Momente im Leben der Völker wirksam sind. Die Verschiedenheiten des Klimas, der Umwelt, der Rasse, der Lagebeziehungen und der historischen und kulturellen Entwicklung werden schließlich so groß und bringen so vielgestaltige Interessen hervor, daß ein Zusammenschluß im eigentlichen Sinne nicht möglich ist.

Auch im mitteleuropäischen Raume sind solche Unterschiede vorhanden, das Wesentliche ist aber, daß sie durch die gemeinsamen Interessen aufgewogen werden. Die Staaten Mitteleuropas sind durch die Raumbeziehungen unter sich und zu der übrigen Welt zu einer Schicksalsgemeinschaft zusammengefügt. Daß eine so große Verschiedenheit der Sprache und der Kultur besteht, erschwert in hohem Maße die Verständigung und hat den labilen Zustand herbeigeführt, unter dem alle in gleicher Weise zu leiden haben. Das Mißtrauen, das durch die fehlerhaften Grenzziehungen und Staatenbildungen infolge der Friedensverträge gesät worden ist, hindert noch heute die Verständigung unter den Staaten Mitteleuropas.

Man darf gewiß nicht glauben, daß im Leben der Völker theoretische Auseinandersetzungen irgendwelchen Einfluß haben. Es kann sich vielmehr nur darum handeln, die von Natur wirkenden Kräfte zu erkennen und diese Erkenntnis durch geeignete politische Methoden den Völkern zu übermitteln. Das letztere zu tun ist nicht mehr Aufgabe der Wissenschaft, sondern der Politik. Der Abschluß des Zehnjahrespaktes des Reiches mit Polen zeigt, daß nicht große internationale Konferenzen zum Ziele führen, sondern die Verständigung unter den Völkern selbst.

Die Tatsache, daß überall in den Staaten Mitteleuropas deutsche Menschen leben, führt uns auf die Frage der Minderheitsvölker überhaupt, die nicht einfach zu beantworten ist. In den neun Staaten der Schütterzone — Österreich ist ein Nationalstaat und scheidet daher aus — leben 59 434 000 Angehörige der Staatsvölker neben 28 059 000 Angehörigen der Minderheitsvölker¹⁰⁾. Wir haben dabei zu unterscheiden, ob die Minderheitsvölker an der Grenze leben oder in Gemengelage. In letzterem Falle kann kein Vorwurf ungerechter Grenzziehung erhoben werden. Wir ersehen daraus, daß in der Schütterzone die Möglichkeit des Nebeneinanderlebens verschiedener Nationalitäten innerhalb eines Staates geschaffen werden muß. In diesen Staaten leben auch 7 Millionen Deutsche, teilweise in Grenzlage zum Reiche, teilweise in Gemengelage. Die Bedeutung der Deutschen ist aber weit größer, als ihre Zahl es auszudrücken vermag, und den Auslandsdeutschen ist es in erster Linie zu danken, wenn sich die deutsche Sprache als Verständigungsmittel namentlich der Kaufmannskreise in so weitgehendem Maße

⁹⁾ Karl C. v. Loesch, Paneuropa, in Karl Haushofer, Jenseits der Großmächte, Leipzig und Berlin 1932.

¹⁰⁾ Winkler, Statistisches Handbuch der europäischen Nationalitäten, Wien 1931.

hat halten können. Die Auslandsdeutschen müssen die Vermittler abgeben zwischen dem Reich und den östlichen und südöstlichen Staaten Mitteleuropas. Andererseits sollen wir Reichsdeutsche uns in Anbetracht der Tatsache des Vorhandenseins des Streudeutschtums verpflichtet fühlen und bestrebt sein, Verständnis für die Lage in den betreffenden Staaten zu erlangen.

Gegenseitiges Verständnis ist auch notwendig, um die wirtschaftlichen Beziehungen zur Zufriedenheit aller Teile zu gestalten, wie sie durch die verschiedenen Wirtschaftsformen und Wirtschaftsstufen fruchtbringend ausgebaut werden können. Die zwischen dem Reich und den übrigen Staaten bestehende Verkehrsspannung ist nicht nur auf den Gegensatz von Industrie- und Agrarland zurückzuführen. Der polnische Geograph Romer¹¹⁾ hat selbst darauf hingewiesen, daß die Gebiete extensiver Landwirtschaft den Gebieten intensiver Landwirtschaft gewisse Erzeugnisse für die Veredlungsindustrie liefern können, wie Kleie und Stroh. Andererseits gilt es, die Landwirtschaft der auf niedrigerer Entwicklungsstufe stehenden Gebiete zu heben. Dafür könnten die Industriestaaten Düngemittel und Maschinen liefern. Wie sehr die Landwirtschaft durch wissenschaftliche Arbeit noch zu heben ist, wird nicht nur aus den verhältnismäßig geringeren Ernteerträgen in den betreffenden Ländern ersichtlich, die auch auf ungünstigere Wachstumsbedingungen zurückgeführt werden können, sondern namentlich durch die Schwankungen in den Erträgen von Jahr zu Jahr. Wurden im Reiche im Durchschnitt der Jahre 1927—1931 auf den Hektar 21 dz Weizen geerntet, so in Polen 13 und in Rumänien 10. Wurden im Reiche durchschnittlich 16 dz Roggen geerntet, so in Jugoslawien 8. Dort wurden im Jahre 1932 nur 7,5 dz Weizen geerntet, im Jahre 1933 aber 12,6, im Durchschnitt der Jahre 1927—1931 dagegen 11,7. Rumänien erntete 1927—1931 durchschnittlich 10,3 dz Mais, 1932 waren es 12,5 und 1933 nur 9,4 dz.

Die Anbaumethoden sind noch sehr primitiv, wird doch im Südosten noch meist der Holzpflug benutzt, und die Düngung unterbleibt — auch in Polen — infolge der Armut der Bauern. Zum Teil sind die wirtschaftlichen Verhältnisse so schlecht, daß die Marktwirtschaft aufhört und der Bauer zur Eigenwirtschaft mit Spinnrocken und Webstuhl zurückkehrt, weil er kein Geld hat.

In diesen Verhältnissen liegt für das Deutsche Reich eine große Schwierigkeit, aber auch eine große Verpflichtung. Infolge der finanziellen Schwäche der Staaten wird es sehr schwer sein, die nötigen Kredite für die Durchführung der Hebung des Lebenshaltung zu verschaffen, zum anderen erwächst aber dem Reich die unabweisbare Verpflichtung, die vor seinen Toren liegenden entwicklungsfähigen Gebiete in ihrem Bestreben nach höheren Wirtschaftsformen zu unterstützen und sich dadurch ein geradezu unerschöpfliches Absatzgebiet für alle Zweige der Industrie zu verschaffen. Denn wenn wir dieser Verpflichtung nicht nachkommen, werden andere es tun, die nicht von vornherein dazu bestimmt sind. Die Vorsehung hat uns in nächster Nähe Länder beschert, die entwicklungsfähig sind, und es liegt an uns, ob wir diese Gelegenheit zu nutzen wissen.

Diese Entwicklungsmöglichkeiten liegen nicht nur in der Steigerung der Erträge der Landwirtschaft, sondern in der Möglichkeit des schnellen und billigen Transportes der Waren. Es liegt zugleich ein wichtiges Verkehrsproblem vor¹²⁾. Durch die Zerstückelung des Ostraumes ist das Verkehrsnetz der Eisenbahnen in völlige Unordnung geraten, dazu kommt die Notwendigkeit der Verbesserung und Neuanlage der Fahrstraßen infolge der Motorisierung des Verkehrs. Man hat ausgerechnet, daß im Donauraume zur Lösung des Transportproblems etwa 500 000 km Straßen- und Wegebau notwendig seien; dazu sind gewaltige Mengen Materialien und Beförderungsmittel notwendig. Dazu tritt der große Plan des Donau-Oder-Kanals, der Wasserstraße von Hamburg bis zur Donaumündung.

¹¹⁾ J. Romer, Die Grundprobleme der Wirtschaftsgeographie Polens. Vortrag gehalten auf dem Internationalen Geographenkongreß in Warschau 1934.

¹²⁾ Der Donauraum und seine Probleme. Heft 7 der Auslandkundlichen Vorträge der Technischen Hochschule Stuttgart, Stuttgart 1932.

Mit dem Verkehrsproblem sind wir wieder an dem Ausgangspunkt unserer Betrachtung angelangt. Deutlich tritt wieder der Gedanke der Raumgebundenheit in den Vordergrund. Die Verzahnung der zur Nord- und Ostsee fließenden mitteleuropäischen Flüsse mit der Donau schafft die Möglichkeit billiger Verkehrsverbindungen auch für Massengüter. Die Länder Österreich und Tschechoslowakei bilden in jeder Hinsicht die Bindeglieder zwischen Deutschland und dem Donaoraum.

Diese Raumbeziehungen hatten sich schon im Mittelalter bis zur Zeit der überseeischen Entdeckungen bemerkbar gemacht. In dem kolonialen Zeitalter, wo die Blicke erst nach Amerika und dann nach Afrika gerichtet waren, gingen diese Beziehungen teilweise verloren. Jetzt, wo infolge des Weltkrieges die Wirtschaftsgebiete in Übersee eine viel selbständigere Stellung errangen und überstaatliche Wirtschaftsräume entstanden, bahnen sich die von Natur vorgezeichneten, aber lange Zeit unterdrückten Wirtschaftsbeziehungen zwischen den Staaten Mitteleuropas wieder an. Die Zeiten des Kolonialfiebers sind dahin, die Europäisierung der Wirtschaft der Erde ist fast vollendet. Die Erweiterung des Weltbildes hatte ungeheure Umwälzungen mit sich gebracht, die so stark waren, daß sie alte Bindungen vollständig sprengten. Diese werden nun wieder in ihre alten Rechte eintreten.

Wenn dies eintritt, dann müssen auch diejenigen Länder, die einst eine vorzügliche Verkehrslage hatten, diese wiedergewinnen. Das ist vor allem von Schlesien und seinem Handelsmittelpunkt Breslau zu erhoffen¹³⁾. Vor der Eröffnung der Weltmeere lag Schlesien an dem Schnittpunkt der großen Verkehrsbahnen des Kontinentes, die einmal am Rande der Gebirge in westöstlicher Richtung verliefen und zum anderen vom Mittelmeer zur Ostsee führten. Diese natürliche Verkehrslage konnte sich in der Zeit der Zollschränken bis in die Gegenwart hinein nicht auswirken. Der menschliche Wille widersetzte sich den Gesetzen der Raumbeziehungen. Schlesien kam aus einer Mittellage durch die Auswirkungen des Weltkrieges in eine gefährliche Endlage. Jedem ist es heute klar, daß die Wirtschaft Schlesiens infolge der Abdrosselung jeglichen Wirtschaftsaustausches mit den Nachbarstaaten nicht gedeihen kann. Schlesien ist außerstande, seine Vermittlerrolle, die es dank seiner Lage spielen sollte, zu übernehmen.

Eins ist gewiß: wenn erst eine Befriedung der Gemüter eingetreten sein wird, werden auch die Völker die Segnungen der natürlichen Ausstattung ihrer Räume und der gegenseitigen Ergänzung erfahren. Erst wenn die Gesetzmäßigkeiten der Lagebeziehungen sich voll auswirken können, wird der wirtschaftliche Aufstieg kommen.

¹³⁾ Walter Geisler, Schlesien als Raumorganismus. Heft 1 zu Wirtschaftsgeographie des deutschen Ostens. Breslau 1932.

Die Standortsbedingtheit der schlesischen Industrien

Von Günther v. Geldern-Crispendorf in Breslau.

A.

Die geographische Lagerung der schlesischen Industrien in ihrer Vielseitigkeit bietet manch interessante Fragestellung, der nachzugehen für den Wirtschaftsgeographen wie für den Techniker und Volkswirt gleich reizvoll ist. Die folgenden Betrachtungen, die sich auf die vom Verfasser bearbeiteten Standortskarten des schlesischen Wirtschaftsatlases¹⁾, auf eine schon verhältnismäßig reichhaltige schlesische Standortsliteratur²⁾ und auf eigene Vorarbeiten zu einer in Kürze erscheinenden industriegeographischen Bearbeitung Schlesiens³⁾ stützen, setzen die gegenwärtige Verbreitung der Industrien sowie die Haupttatsachen der industriellen Standortlehre⁴⁾ als bekannt voraus und beschränken sich lediglich auf den Versuch einer Begründung der derzeitigen Industrielokalisation. Des knappen Raumes wegen können nur die wichtigsten Industrien in aller Kürze behandelt werden.

B.

I. Die oberschlesische Eisenindustrie.

Die oberschlesische Eisenindustrie⁵⁾⁶⁾ ist nicht an ihrem heutigen Standort, im Steinkohlenrevier, sondern im nördlich davon gelegenen oberschlesischen Waldgebiet entstanden. Den früheren anders gearteten technischen Verhältnissen entsprechend (Luppenfeuer mit Holzkohlenfeuerung)⁷⁾ war die alte Eisenindustrie standortlich gebunden an das Vorhandensein der Materiallager: Eisenerze und Holz. Ein etwaiger Transport dieser Materialien an einen von ihrer Gewinnungsstätte entfernteren Standort war bei der damaligen Verkehrstechnik und bei den in Oberschlesien besonders schlechten Verkehrswegen nicht möglich. Die oberschlesischen Wälder boten mit ihren riesigen Forstbeständen und ihren ausgedehnten (wenn auch für heutige Ansprüche minderwertigen) Erzlager eine ausreichende Materialbasis. Wesentlich ist, daß das Standortsgebiet ein sehr ausgedehntes war, innerhalb desselben waren die kleinen primitiven Produktionsanlagen natürlich sehr weitmaschig verteilt. Das Verbreitungsgebiet erstreckte sich bis in das Falkenberger Land westlich der Oder und bis in die Militzcher Gegend in Niederschlesien, während das heutige Kohlenrevier fast industrieleer war. Wie auch sonst in Deutschland, so waren wohl auch in Oberschlesien die Standorte

¹⁾ Wirtschafts- und verkehrsgeographischer Atlas von Schlesien. Herausgegeben von Walter Geisler. Breslau 1932. Bl. 33—38. Die Grundlagen der Standortskarten bilden die aus den handschriftlichen Kartotheken der schlesischen Gewerbeaufsichts- und Bergämter ersichtlichen Arbeiterzahlen.

²⁾ Außer den zahlreichen Schriften über einzelne schlesische Industrien, die bei den betreffenden Abschnitten zitiert werden, seien hier nur folgende beiden, die Industrien größerer Teilgebiete Schlesiens behandelnden Arbeiten genannt: Hermann Baier, Die Industrie des Riesengebirges (ihre Basis, Entstehung und Entwicklung). Ungedr. Diss. Breslau 1922, sowie Friedrich Wilhelm v. Ferentheil und Gruppenberg, Die Industrie der Grafschaft Glatz (ihre Grundlage und ihre Entwicklung). Ungedr. Diss. Breslau 1922.

³⁾ Demnächst unter dem Titel: „Die wirtschaftsgeographische Struktur der Industrie Schlesiens“ als Heft 8 der Schriftenreihe „Zur Wirtschaftsgeographie des deutschen Ostens“ erscheinend. — Vgl. auch mein Buch: Die deutschen Industriegebiete, ihr Werden und ihre Struktur. Karlsruhe 1933 (Deutsche Sammlung, Reihe: Geographie, Bd. 4).

⁴⁾ Alfred Weber, Über den Standort der Industrien. Bd. 1: Reine Theorie des Standorts. 2. Aufl., Tübingen 1922.

⁵⁾ Bl. 35 des obigen Wirtschaftsatlases.

⁶⁾ Siehe u. a. Hellmuth Kugler, Der Standort der oberschlesischen Eisenindustrie (Oberschlesische Wirtschaft, Bd. 3, S. 562—70, Oppeln 1928).

⁷⁾ Das älteste oberschlesische Luppenfeuer ist 1335 in Kutschau (Kr. Lublinitz) bezeugt.

ursprünglich noch keine festliegenden. Der starke Holzverbrauch hatte stets eine schnelle Abholzung großer Forstflächen zur Folge; die primitiven Anlagen wurden dann abgebrochen und an anderer Stelle, wo der Wald noch ungelichtet war, wieder aufgerichtet. Erst das Aufkommen der Holzkohlehochöfen⁸⁾ und der zugehörigen Frischfeuer an Stelle der bisherigen Luppenfeuer hatte eine Seßhaftwerdung der Eisenindustrie zur Folge, und zwar an den Wasserläufen, deren Kraft zum Antrieb der Blasebälge und der Hammerwerke benötigt wurde. Das Standortsgebiet an sich aber blieb auch weiterhin dasselbe, da ja kein Wechsel im verarbeiteten Material eintrat⁹⁾. — Trotz der völlig ausreichenden Materialbasis spielte die oberschlesische Eisenindustrie (die eigentlich gar keine „Industrie“, sondern ein land- bzw. forstwirtschaftliches Nebengewerbe war) bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts nur eine sehr bescheidene Rolle, da infolge der weiten Entfernung von größeren Absatzmärkten und der mangelhaften Verkehrswege nur Nahabsatz an örtliche Schmieden bestand, soweit das Roh- bzw. Spateisen nicht im eigenen Betrieb zu Haus- und Ackergeräten zum Selbstverbrauch verarbeitet wurde. Der große Aufschwung unter Friedrich dem Großen, der zu einer riesigen Produktionserweiterung führte, veränderte die Standorte zunächst noch nicht; die neuen modernen staatlichen Anlagen¹⁰⁾ und die ihnen bald folgenden privaten Großanlagen wurden noch durchaus im alten Standortsgebiet errichtet.

Erst die Einführung der Steinkohlenkoksfeuerungs¹¹⁾ hatte eine Veränderung der Standortsfrage zur Folge. Da der Verbrauch an Steinkohlenkoks (wie schon vorher an Holzkohlenkoks) den Erzverbrauch bei weitem überstieg, die Brennstoffe zudem ein hundertprozentiges Gewichtsverlustmaterial darstellen und somit der Produktionsstandort mehr von den Kohlen- als von den Erzlagern angezogen wurde, mußte eine Standortsverlagerung der Eisenindustrie aus den Waldgebieten in das oberschlesische Steinkohlenrevier erfolgen. Diese Standortsverlagerung vollzog sich indessen nur sehr allmählich, der Vorgang erstreckte sich auf einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten, da sich die alten Werke nicht sofort der neuen Verhüttungsmethode anpaßten, sondern weiterhin mit Holzkohle feuerten. So wurden im Steinkohlenrevier zunächst nur die neuen (zuerst staatlichen) Werke¹²⁾, die von Anfang an auf der Kohlenbasis begründet worden waren, errichtet. Bis in die fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts befindet sich die Mehrzahl der Werke, noch immer Holzkohle verwendend, in den Waldgebieten (allerdings wiesen sie eine geringere Produktion auf als die wenigen, aber größeren auf der Steinkohle basierten Werke des Kohlenreviers¹³⁾). Daß sich die alten Werke im Waldgebiet so lange halten

⁸⁾ Der älteste oberschlesische Holzkohlehochofen ist 1703 in Althammer, Kr. Tost-Gleiwitz, bezeugt. — Zwischen 1796 und 1800 verschwanden die letzten Luppenfeuer aus Oberschlesien.

⁹⁾ 1740 waren im oberschlesischen Waldgebiet 34 Luppenfeuer, 13 Holzkohlehochöfen und 28 Frischfeuer vorhanden, die 1750 25000 Zentner Roh- und 32000 Zentner Stabeisen lieferten. 1783 bestanden nur noch 8 Luppenfeuer, aber 41 Holzkohlehochöfen mit 129 Frischfeuern; die Produktion betrug 164000 Zentner Roh- und 105000 Zentner Stabeisen. Vgl. Walter Piontek, Die Eisenhüttenindustrie und ihr Brennstoffmaterial beim Übergange vom Holzkohle- zum Koksverfahren mit besonderer Berücksichtigung Oberschlesiens. Ungedr. Diss. Frankfurt 1925, sowie Hermann Fechner, Wirtschaftsgeschichte der preußischen Provinz Schlesien in der Zeit ihrer provinziellen Selbständigkeit 1741—1806, Breslau 1907.

¹⁰⁾ Die wichtigsten waren 1754 Malapane und 1755 Creutzburger Hütte, beide Kreis Oppeln.

¹¹⁾ Der erste oberschlesische (und kontinentaleuropäische) Kokshochofen wurde 1796 in Gleiwitz angeblasen.

¹²⁾ 1796 die Gleiwitzer Hütte, 1802 die Königshütte.

¹³⁾ 1847 waren in Oberschlesien 19 Koks- und 62 Holzkohlehochöfen, 235 Frischfeuer und 9 Puddelöfen vorhanden mit einer Produktion von 1377007 Zentnern Roh- und 766000 Zentnern Stabeisen. Davon kamen auf die am Steinkohlenbezirk beteiligten Kreise (von denen aber, besonders beim Kreise Tost-Gleiwitz, auch Teile im Waldgebiet lagen) außer allen Kokshochöfen nur 22 Holzkohlehochöfen, 70 Frischfeuer und 7 Puddelöfen; die Produktion belief sich hier aber schon auf 822007 Zentner Roh- und 411000 Zentner Stabeisen, also auf mehr als die Hälfte. Vgl. Ludwig Wachler, Die Eisenerzeugung Oberschlesiens, 6 Bde., Oppeln 1847—51 (hier Bd. 2, S. 60—63). — 1867 überstieg die Zahl der Kokshochöfen die der Holzkohlehochöfen mit 39:20; das bedeutete den endgültigen Sieg des Steinkohlenreviers über das Waldgebiet. An Frischfeuern waren nur noch 28 vorhanden, dagegen war die Zahl der Puddelöfen auf 20 gestiegen. Die Produktion betrug nunmehr 3754000 Zentner Roh- und 2007000 Zentner Stabeisen. Vgl. Walter Piontek, a. a. O. S. 114.

konnten, ist wohl auf den damaligen dortigen Überfluß an Holz zurückzuführen, für den es angesichts der rückständigen Transportverhältnisse keine andere Verwendungsmöglichkeit gab als die Verfeuerung in den Hochöfen. Erst der Aufschwung der Eisenindustrie in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts, hervorgerufen u. a. durch den Anschluß Oberschlesiens an das Eisenbahnnetz¹⁴⁾ und durch zollpolitische Einwirkungen, hatte eine solche Produktionserhöhung der immer größer werdenden und sich nun rasch vermehrenden Werke des Kohlenreviers zur Folge, daß die vielen kleinen Werke im Waldgebiet mit ihren veralteten technischen Einrichtungen nicht mehr konkurrieren konnten und in verhältnismäßig kurzer Zeit eins nach dem andern ihren Betrieb einstellten. Bald war die gesamte, einst auf eine weite Fläche zerstreute ober-schlesische Eisenindustrie auf engem Raum im Steinkohlenrevier konzentriert¹⁵⁾¹⁶⁾. Dieser Vorgang der Standortsverlagerung verlief im Grunde ganz ähnlich wie in Rheinland-Westfalen und an der Saar.

Bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts hatte die ober-schlesische Eisenindustrie von ihrer Entstehung an durchaus die Standorte, die nach Maßgabe der Produktionsbedingungen unter Berücksichtigung der Materialbeschaffung die günstigsten waren. Die Absatzlage war zwar schon immer eine schlechte gewesen infolge der geographischen Lage Oberschlesiens im äußersten Südostzipfel der preußischen Monarchie und später des Reiches. Indes trat sie durchaus zurück hinter der Materialbezugs-lage, ist doch die Schwereisenindustrie mit ihrem Massenverbrauch von Gewichtsverlustmaterialien rein materialorientiert, und zwar waren es, wie oben dargelegt, besonders die Kohlenlager, die die größte Anziehungskraft auf die Produktionsstätten ausübten. Nun aber traten vier Umstände ein, von denen an sich eine starke standortsverändernde Wirkung zu erwarten gewesen wäre. Als erstes ist hier die allmähliche Erschöpfung der ober-schlesischen Erz-lager zu nennen. In zunehmendem Maße traten fremde Erze an Stelle der eigenen, so daß die Erzbasis der ober-schlesischen Eisenindustrie immer mehr verloren ging¹⁷⁾. Dies wäre an sich noch nicht allzu schlimm gewesen, da ja der bisherige Standort vor allem durch die Lage der Kohlengruben bestimmt war; auch das Ruhrgebiet hat ja keine eigene Erzbasis. Der zweite in gleicher Richtung wirkende Umstand beruhte auf einer technischen Veränderung der Weiterverarbeitung; der Stahlindustrie. An Stelle der alten Puddelöfen der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts¹⁸⁾ waren die Bessemerbirne, die Thomasbirne und der Siemens-Martin-Ofen getreten¹⁹⁾. In Oberschlesien konnte sich von diesen nur der letztere in größerem Umfange durchsetzen. Gerade der Siemens-Martin-Prozeß erfordert neben dem bisher allein verarbeiteten Roheisen große Mengen von Schrott, den die anderen deutschen Reviere aus nahegelegenen Bezugsquellen erhalten, die ober-schlesische Eisenindustrie aber

¹⁴⁾ 1843—1846.

¹⁵⁾ Der letzte Holzkohlehochofen wurde erst 1911 außer Betrieb gesetzt.

¹⁶⁾ Kurz vor der Teilung des Industriebezirks waren vorhanden: 8 Hochofenwerke mit 37 Hochöfen (davon 25 im Betrieb), 12 Stahlwerke (davon 2 mit Puddelbetrieb) und 11 Walzwerke. Vgl. Statistik der Oberschlesischen Berg- und Hüttenwerke für das Jahr 1921. Herausgegeben vom Oberschlesischen Berg- und Hüttenmännischen Verein E. V., Kattowitz 1922. Siehe auch Bruno Dietrich, Karte des Oberschlesischen Industriedreiecks. Breslau, o. J.

¹⁷⁾ Vgl. hierzu: Fritz Jüngst, Über den Einfluß des Bezuges ausländischer Eisenerze auf die Roheisenerzeugung in Oberschlesien (Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preußischen Staate. Bd. 48, S. 519—36, Berlin 1900); Sigmund Graf v. Brockdorff, Die Deckung des Erzbedarfes der ober-schlesischen Hochöfen. Diss. Breslau 1914; Jarysek, Die Erzversorgung der ober-schlesischen Eisenhütten (Oberschlesische Wirtschaft, Bd. 3, S. 448—54, Oppeln 1928). — Die Einfuhr fremder Erze begann schon in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts. Die Förderung der ober-schlesischen Eisenerzgruben erreichte 1889 mit 798000 t ihr Maximum; vor der Abtretung der Gruben 1921 wurden nur noch 64000 t gefördert. 1891 deckte die Eigenförderung den Bedarf noch zu 85%, 1921 nur noch zu 4%.

¹⁸⁾ Der erste ober-schlesische Puddelofen war 1817 in Betrieb genommen worden. Die Frischfeuer verschwanden endgültig erst Ende der fünfziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts.

¹⁹⁾ Der Bessemerprozeß wurde in Oberschlesien zuerst 1865 auf der Königshütte eingeführt, der Thomasprozeß 1884 auf der Friedenshütte, das Siemens-Martin-Verfahren 1872 im Borsigwerk.

aus weiter Entfernung heranzuführen muß²⁰⁾. Hierzu aber trat noch ein Drittes : Die immer mehr zunehmende Größe der Hochöfen ließ die schlechte Eignung des oberschlesischen Steinkohlenkokes für die Eisenverhüttung zur Auswirkung kommen. Entweder mußten die Ausmaße der Hochöfen beschränkt bleiben oder aber fremde Koke eingeführt werden²¹⁾. Alle drei Fälle bedeuteten eine Verschlechterung der Produktionsbedingungen gegenüber den Konkurrenzgebieten Westdeutschlands, die durch eine bessere Absatzlage ohnehin begünstigt waren. Als letztes kam dann noch die für die Eisenindustrie allgemein zu beobachtende Tatsache hinzu, daß infolge Verbesserungen der Feuerungstechnik und der Verwendung reichhaltigerer Erze der Kohlenverbrauch derart eingeschränkt wurde, daß der optimale Standort der Eisenverhüttung nicht mehr durchaus an den Kohlenlagern liegt, sondern eher von den Erzlagern angezogen wird.

Abgesehen davon, daß einige Neuanlagen nicht mehr in Oberschlesien, sondern an der deutschen Seeküste angelegt wurden²²⁾, ist trotz der außerordentlichen Verschlechterung der Lage keine Standortsveränderung eingetreten, und zwar wohl nur deshalb, weil eine moderne Industrie mit ihren riesigen investierten Kapitalien und mit ihrer Sorge für die Existenz großer auf sie angewiesener Menschenmassen sich nicht ohne weiteres verlegen läßt, wie dies früher unter primitiveren Verhältnissen möglich war. Doch kann dann die Industrie nur lebensfähig bleiben, wenn für die im Verhältnis zu den Konkurrenzgebieten höheren Produktionskosten, die daraus entstehen müssen, daß die Produktionsanlagen sich nicht am optimalen Standort befinden, irgendein Ersatz geschaffen wird, sei es durch unmittelbare staatliche Subventionen, sei es durch mittelbare, wie Ausnahmetarife oder Kanalbauten, welche letztere beide gewissermaßen als Entfernungsverkürzung zu den Material- oder Absatzgebieten wirken. Bis zum Weltkrieg hat die oberschlesische Eisenindustrie tatsächlich auch durch mehrere Ausnahmetarife eine gewisse staatliche Unterstützung erhalten. Trotzdem befand sie sich seit der Jahrhundertwende in einer schleichenden Krise, die nur deshalb so leicht überwunden werden konnte, weil sich Kohlenzechen und Eisenhütten meist in einer Hand befanden, und die Verluste der Eisenindustrie durch die Gewinne des blühenden Steinkohlenbergbaus ausgeglichen wurden²³⁾. — Mit dem Versailler Friedensvertrag fielen bekanntlich sämtliche deutschen Ausnahmetarife, und die Ungunst des Standorts hat sich seitdem grauevoll ausgewirkt, wozu dann noch die sich aus der Teilung des Industriereviere ergebenden katastrophalen Folgen traten. Es war damals der Vorschlag gemacht worden, die ganze oberschlesische Eisenindustrie in die Oderniederung zwischen Breslau und Maltsch zu verlagern, womit der Standort näher an die Erzlager (besonders Stettin als Einfuhrhafen der schwedischen Erze), an das einen ausgezeichneten Hüttenkoks bietende Waldenburger Steinkohlenrevier sowie an die Absatzmärkte (Breslau, Niederschlesien, Berlin, Brandenburg, Sachsen) gerückt wäre²⁴⁾. Wenn dies nicht geschehen ist, so aus den oben genannten Gründen. — Während der

²⁰⁾ Der Schrott muß aus einer Entfernung von 200 bis 1000 Kilometer herangeschafft werden.

²¹⁾ 1913 wurden aus dem Waldenburger Revier 45009 t, aus dem Ruhrgebiet 1282 t Koks empfangen; das waren etwa 4% des Koksbedarfs der Hochöfen. Für 1929 lauteten die betreffenden Zahlen 10892 und 3443 t. Vgl. Statistik der Güterbewegung auf deutschen Eisenbahnen, nach Verkehrsbezirken geordnet. Bd. 80 (31. Jahrgang 1913). Berlin 1914; Die Güterbewegung auf deutschen Eisenbahnen im Jahre 1929. Berlin 1930 (Statistik des Deutschen Reiches, Bd. 380); Verkehr und Wasserstände der deutschen Binnenwasserstraßen im Jahre 1913. Berlin 1916 (Statistik des Deutschen Reiches, Bd. 274); Die Binnenschifffahrt im Jahre 1932. Berlin 1933 (Statistik des Deutschen Reiches, Bd. 439).

²²⁾ Vgl. Colin Roß, Die Entstehung von Groß-eisenindustrie an der deutschen Seeküste, Berlin 1911.

²³⁾ Die Verschlechterung der Standortlage zeigt sich darin, daß 1870 Oberschlesien noch 16,5% der deutschen Roheisenproduktion lieferte, 1913 aber nur noch 5,2%, wovon 2,0% auf Westerschlesien entfielen. 1927 lieferte dies letztere 2,4% der deutschen Roheisenproduktion.

²⁴⁾ Vgl. Richard Raßmann, Die Bedeutung des Niederschlesischen Industriebezirks für den Wiederaufbau der ostdeutschen Schwerindustrie. Ungedr. Diss. Breslau 1922 sowie von demselben: Das Auswanderungsproblem der oberschlesischen Schwerindustrie. Breslau 1922 (Veröffentlichungen der Schlesischen Gesellschaft für Erdkunde E. V., H. 2).

Weltwirtschaftskrise ist die Standortsungunst besonders deutlich in Erscheinung getreten. Während ihres Höhepunktes konnte man kaum noch von einer oberschlesischen Eisenindustrie sprechen, war doch in dieser Zeit kein einziger Hochofen mehr in Betrieb. In der klaren Erkenntnis, daß der Ungunst des Standorts nur durch staatliche Unterstützung abgeholfen werden kann, hat das nationalsozialistische Regime endlich den schon lange geforderten Kanalbau Cosel—Gleitwitz (an Stelle des alten unbrauchbaren Klodnitzkanals), durch den das Revier näher an das Erzbezugs- und Absatzgebiet herangerückt wird, versprochen und in Angriff genommen.

Doch auf die Dauer kann auch die staatliche Hilfe die Ungunst des Standorts nicht ausgleichen, sondern nur die eigene Kraft: durch den Übergang von der Massenfabrikation zur Veredelung. Es gibt im Reich und auch in Schlesien (s. unten) zahlreiche Beispiele, die zeigen, daß durch Übergang zur Qualitätserzeugung eine durch technische oder wirtschaftliche Veränderungen drohende Standortsverlagerung verhindert werden konnte. Der Übergang zur Veredelung hat einen größeren Anteil der Arbeitskosten an der Produkteinheit zur Folge²⁵⁾, die Arbeitskosten erlangen dadurch gegenüber den Transportkosten, die für eine Massenindustrie, wie sie die Großeisenindustrie darstellt, standortlich allein maßgebend sind, eine erhöhte Bedeutung. Die Industrie wird dadurch von ihrer Bindung an die Materiallager unabhängiger²⁶⁾ und an sogenannte Arbeitslager, also Gebiete mit einer qualitativ hochstehenden oder billigen Arbeiterschaft, gebunden. Die Veredelungsindustrie ist mit anderen Worten arbeitsorientiert im Gegensatz zur materialorientierten Massenindustrie. Das oberschlesische Industriegebiet ist nach dem Verlust der Erzbasis und der oben geschilderten Veränderung im Verhältnis vom Erz- zum Kohlenverbrauch für die Eisenindustrie nur noch zum Teil ein Materiallager, in starkem Maße aber ist es ein Arbeitslager geworden. Die oberschlesische Eisenindustrie hat den Zwang zum Übergang zur Verfeinerung auch erkannt, zum Teil schon vor dem Kriege, es läßt sich ein zunehmender Zug zur Verfeinerung erkennen (etwa durch Angliederung von Maschinenfabriken an Hüttenwerke). Auf dieselbe Weise hat sich übrigens im vorigen Jahrhundert ein Teil der alten eisenindustriellen Produktionsstätten im oberschlesischen Waldgebiet (Malapane, Zawadzki usw.) vor dem Untergang gerettet; sie bestehen noch heute, nur nicht mehr als Hochöfenwerke, sondern als Veredelungsbetriebe.

II. Die niederschlesische Eisenindustrie.

Wohl noch älter als die oberschlesische ist die ursprünglich ganz gleichgeartete Eisenindustrie in der niederschlesisch-lausitzischen Heide²⁷⁾²⁸⁾, wenn sie auch nie den Umfang der Eisenindustrie im oberschlesischen Waldgebiet zur Zeit deren größter Ausdehnung erreicht hat²⁹⁾. Zunächst war die Entwicklung hier wie dort die gleiche: ursprünglich Luppen-

²⁵⁾ Richtiger ausgedrückt: der Arbeitskoeffizient, der die Arbeitskosten je Tonne des transportierten Materials und Produktes (Standortsgewicht) bestimmt, wird so groß, daß eine Ablenkung der Industrie vom transportmäßigen Optimalpunkt an einen besseren Arbeitsplatz möglich ist; siehe Alfred Weber a. a. O. S. 109. Leider stehen keine Zahlenwerte für die betreffenden Industriezweige zur Verfügung. Als Ersatz diene folgendes: Zur Herstellung von 1000 t Roheisen sind 5,2 Arbeiter nötig, zur Erzeugung von 1000 t Stahl- und Walzwerksprodukten dagegen 24,4. In den Veredelungszweigen dürften sich diese Zahlen noch erhöhen.

²⁶⁾ Dies zeigt sich schon in der Tatsache, daß alle Hochöfen und auch noch alle Stahlwerke im Steinkohlenrevier liegen, die Walzwerke dagegen (Zawadzki) darüber weit hinausgreifen. Noch mehr ist dies der Fall bei den Eisengießereien, deren Standorte sich bis Oppeln und Ratibor erstrecken.

²⁷⁾ Blatt 35 des obigen Wirtschaftsatlases.

²⁸⁾ Vgl. Georg Uhlig, Die niederschlesischen Handelsgießereien. Diss. Greifswald 1916; Gerhard Urban, Die wirtschaftliche Lage der Eisenverarbeitungsindustrie in Niederschlesien. Ungedr. Diss. Würzburg 1921.

²⁹⁾ 1785 waren in der niederschlesisch-lausitzischen Heide 8 Luppenfeuer, 5 Hochöfen und 10 Frischfeuer vorhanden; 1847 waren die Luppenfeuer verschwunden, während sich die Zahl der Hochöfen auf 18, die der Frischfeuer auf 34 vermehrt hatte. Die Produktion betrug 159000 Zentner Roh- und 33000 Zentner Stabeisen. Vgl. Georg Uhlig a. a. O. S. 37 und Ludwig Wachler a. a. O. Bd. 2, S. 60—63.

feuer³⁰⁾, dann (aber in Niederschlesien schon eher als in Oberschlesien) Hochöfen³¹⁾ und Frischfeuer, alle auf Holzkohle und eigenen Erzen basierend, in Oberschlesien mehr auf Ton- und Brauneisenerzen, in Niederschlesien auf Raseneisenerzen. Aber während die Eisenindustrie des oberschlesischen Waldgebietes sich nach dem Übergang zur Steinkohlenfeuerung in das in nächster Nähe befindliche Kohlenrevier verlagern konnte (zumal zum großen Teil Grund und Boden im Waldgebiet und im Kohlenrevier in einer Hand waren), war dies in Niederschlesien nicht möglich. Die Werke hielten sich zwar, weiterhin Holzkohle verfeuernd, noch verhältnismäßig lange (wohl aus ähnlichen Gründen wie in Oberschlesien), mußten dann aber eins nach dem andern der Konkurrenz der standortlich besser gestellten oberschlesischen und westdeutschen Eisenindustrie erliegen³²⁾. Eine Rettung der einstigen Hüttenindustrie war hier angesichts des völligen Verlustes der Brennstoff- und Materialbasis (die Raseneisenerze kommen heute nicht mehr in Frage) auch durch staatliche Hilfe nicht mehr möglich. Die alten Hüttenwerke bestehen aber zum Teil noch, und zwar als Handelsgießereien, also in gewissem Sinne als Verfeinerungsbetriebe; nur wird hier im Gegensatz zu Oberschlesien nicht selbstproduziertes Roheisen veredelt, sondern fremdes, und zwar nicht etwa, wie zu erwarten wäre, oberschlesisches, sondern westdeutsches.

Während sich in den meisten deutschen Steinkohlegebieten im Laufe des 19. Jahrhunderts die Groß-eisenindustrie niedergelassen hat (ausgenommen dort, wo, wie in Sachsen, der Steinkohlenkoks für die Eisenverhüttung vollkommen ungeeignet ist), fehlt eine solche auffallenderweise im Waldenburger Kohlengebiet vollständig, obgleich dieses eine gerade für Hochofenzwecke vorzüglich geeignete Koks-kohle aufweist³³⁾. Ein früheres kleines Werk wurde schon in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts als Hochofenanlage stillgelegt³⁴⁾. Die Erzbeschaffung ist hier sicher nicht schwieriger als in Oberschlesien, zudem liegt ganz in der Nähe das zwar nur kleine, aber vorzügliche Erz-lager von Schmiedeberg (dessen Erze in Oberschlesien verhüttet werden). Die Ursache des Fehlens der Eisenindustrie im Waldenburger Gebiet ist wohl in den dortigen topographischen Verhältnissen zu suchen, die für ausgedehntere Industriewerke keinen genügenden Raum gewähren.

III. Die oberschlesische Zinkindustrie.

Die Zinkindustrie³⁵⁾ folgte von ihrer Entstehung an³⁶⁾ zunächst den gleichen Standortsgesetzen wie die Eisenindustrie, nur war ihre Bindung an die Steinkohle von Anfang an noch fester. Das oberschlesische Industrieviertel bietet der Zinkindustrie (wie auch der Bleiindustrie) sowohl eine geeignete Rohstoff- als auch Brennstoffbasis. Die infolge drohender Erschöpfung der vorher

³⁰⁾ Das älteste Luppenfeuer der Heide ist 1169 bei Neuhaus an der Tschirne (Kr. Sagan) anzunehmen, wo in diesem Jahre ein Eisenhammer bezeugt ist.

³¹⁾ Der älteste Hochofen der Heide ist 1721 in Kreba (Kr. Rothenburg) bezeugt.

³²⁾ Der letzte Hochofen in der Heide wurde erst im Jahre 1900 in Lorenzdorf (Kr. Bunzlau) außer Betrieb gesetzt.

³³⁾ Der „ganze Komplex der Schwerindustrie, der auch in Niederschlesien mit dem Kohlenabbau verbunden ist“, von dem Wilhelm Volz, Schlesien im Rahmen der wirtschaftsgeographischen Lage Deutschlands (Die Handelskammer Breslau 1879—1924. Festschrift der Industrie- und Handelskammer Breslau, S. 247 bis 323, Breslau 1924) auf S. 281 und wohl ihm folgend Erwin Scheu, Deutschlands Wirtschafts-provinzen und Wirtschaftsbezirke, Berlin 1928 (Weltpolitische Bücherei, Bd. 2) auf S. 28 berichten, ist tatsächlich nicht vorhanden und hat auch niemals bestanden.

³⁴⁾ Die Vorwärtshütte in Hermsdorf, die 1857—82 (mit Unterbrechungen) in Betrieb war. Die Wilhelms- und Carlshütte in Sandberg sind lediglich Maschinenfabriken.

³⁵⁾ Vgl. Du Bois, Die Entwicklung der oberschlesischen Zinkindustrie bis zum Ausbruch des Krieges (Oberschlesische Wirtschaft, Bd. 2, S. 604—607, Oppeln 1927).

³⁶⁾ Die Zinkgewinnung wurde erst 1798 in Wessolla (Kr. Pleß) erfunden. Bis dahin konnte das Zinkerz (Galmei) nur zu Messing verarbeitet werden. — Die nächste Zinkhütte war die 1809 eröffnete staatliche Lydogniahütte in Königshütte.

allein ausgebeuteten Galmeilager eingeführte Verarbeitung der Zinkblende³⁷⁾ hatte keine Standortsverlagerung zur Folge. Eine solche wurde erst durch die Einführung der elektrolytischen Zinkgewinnung ermöglicht (aber nicht erzwungen): Da uns bekanntlich die Genfer Entscheidung alle oberschlesischen Zinkhütten genommen hat, wir aber einige, zum Teil sehr wertvolle Zinkerzgruben behalten haben, benötigen wir zur Röstung und Verhüttung der Erze (die zur Zeit in Ostoberschlesien vorgenommen wird) die Neuanlage einer eigenen Zinkhütte. Diese, als elektrolytische Zinkhütte geplant, wird nun nicht mehr im oberschlesischen Steinkohlenrevier errichtet, sondern in Magdeburg, wo die Möglichkeit zum Bezug von preiswertem Braunkohlenstrom besteht, die Stadt billiges Baugelände zur Verfügung gestellt und zudem steuerliche Begünstigungen versprochen hat — ein Beispiel für die industriestandortliche Wirkung kommunalpolitischer Einflüsse. Eine gewisse Lockerung der Bindung an die alten Standorte wäre auch schon vor dem Kriege möglich gewesen, als, um die eigenen Erzbestände zu schonen, in steigendem Maße überseeische Zinkerze von der Seeküste herantransportiert wurden. Doch war die Anziehungskraft der in größerer Menge verbrauchten Steinkohlen zu stark, um eine Abwanderung der Zinkindustrie zu ermöglichen.

Eine andre Gefahr brachte nur die durch die schon erwähnte Umstellung von der Verarbeitung des Galmeis zu der der Zinkblende erzwungene gleichzeitige Produktion der Schwefelsäure mit sich³⁸⁾. Bei der Röstung der Zinkblende entstehen bekanntlich große Mengen von Schwefeldämpfen, die man zuerst durch riesige Schornsteine in die freie Atmosphäre abließ. Diese wurde dadurch im Industriegebiet derart verunreinigt, daß das bisherige Verfahren gewerbepolizeilich verboten wurde. Notgedrungen mußte man sich entschließen, die Schwefeldämpfe zu Schwefelsäure zu destillieren³⁹⁾. Die erzwungene Produktion der Schwefelsäure verursachte außerordentlich große Kosten, denen infolge der durch die geographische Lage Oberschlesiens bedingten schwierigen Absatzlage keine entsprechenden Einnahmen gegenüberstanden. Die Hauptabnehmerin von Schwefelsäure, die Superphosphatindustrie, hatte ihre Standorte in der norddeutschen Tiefebene, und ihren Produktionsanlagen waren meist eigene Schwefelsäuredestillationen angeschlossen, die auf dem billigen Wasserwege herantransportierte ausländische Schwefelkiese verarbeiteten. Infolge der schlechten und teuren Transportierbarkeit der Schwefelsäure sind Schwefelsäuredestillationen und Superphosphatfabriken standortlich aufeinander angewiesen. Da in Schlesien keine Superphosphatindustrie bestand und die oberschlesische Schwefelsäureproduktion nur eine erzwungene Nebenproduktion darstellte, mußten die Zinkhütten die nicht lange lagerfähige Schwefelsäure zu Schleuderpreisen verkaufen, so daß dadurch die Rentabilität der ganzen Zinkindustrie in Frage gestellt war, eine Folge der von den an die großen nordostdeutschen Getreideflächen gebundenen Superphosphatfabriken entfernten geographischen Lage der oberschlesischen Zinkindustrie. Erst die Entstehung einer eigenen schlesischen Superphosphatindustrie⁴⁰⁾, die ja auch im Interesse der schlesischen Landwirtschaft lag, verbesserte die standortliche Lage der Zinkindustrie. Da wir, wie schon oben erwähnt wurde, zur Zeit keine eigenen Zinkhütten mehr in Oberschlesien besitzen, hat die Frage des Schwefelsäureabsatzes für uns indessen nur noch historisches Interesse.

Die Standorte der Zinkveredelung sind wie die der Eisenveredelung weniger materialorientiert; derartige Werke finden sich daher nicht nur im engeren oberschlesischen Industriegebiet mit seinen Erz- und Kohlenlagern, sondern greifen weit darüber, zum Teil bis nach Niederschlesien hinaus.

³⁷⁾ Die Verarbeitung von Zinkblende begann Ende der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts. Seit 1896 wird die Verarbeitung des Galmei von der der Zinkblende in steigendem Maße übertroffen.

³⁸⁾ Vgl. Lyria Wohlfahrt, Produktions- und Absatzverhältnisse der Schwefelsäure der oberschlesischen Zinkhütten. Ungedr. Diss. Jena 1922.

³⁹⁾ Die erste Schwefelsäurefabrik (Zinkblenderösthütte) wurde 1873 in Rosdzin (Kr. Kattowitz) in Betrieb genommen.

⁴⁰⁾ Die erste schlesische Superphosphatfabrik wurde in Kattowitz eröffnet.

IV. Die Kohlenindustrie.

Auch über die Standortlage der Kohlenindustrie, insbesondere der Steinkohlenkokerei, müssen einige Worte gesagt werden, obwohl diese offiziell nicht zur Industrie, sondern zum Bergbau gerechnet wird. Die Standorte des Bergbaus an sich bieten keine besonderen Probleme. Im Gegensatz zu den meist freien Standorten der industriellen Anlagen, die sich, wenigstens theoretisch, an den jeweils optimalen Punkten niederlassen können, ist der Standort des Bergbaus unbedingt an die Bodenschätze gebunden. Ein Standortproblem besteht hier höchstens in der Auswahl der abzubauenen Lagerstätten. Neben der technischen Brauchbarkeit und der Mächtigkeit entscheiden hier Verkehrswege und Absatzmöglichkeit.

Anders ist es bei der Weiterverarbeitung der Kohle, insbesondere der Steinkohlenkokerei⁴¹⁾. Rein theoretisch wäre diese nach Maßgabe des Gewichtsverhältnisses von verarbeitetem Material und Endprodukten ursprünglich materialorientiert gewesen, ihr Standort hätte sich an den Steinkohlengruben befinden müssen. Tatsächlich aber fanden sich die Kokereien in älterer Zeit, wohl infolge der früher schlechten Transportierbarkeit des Kokes, durchweg an den Konsumorten⁴²⁾: den Eisenhütten, den Eisenbahnanlagen (die Lokomotiven wurden früher nicht mit Steinkohle, sondern mit Koks geheizt) und den städtischen Gaswerken. Die Hüttenkokereien lagen, da ja die Eisenindustrie an das Kohlengebiet gebunden war, wenigstens in nächster Nähe ihrer natürlichen Standorte; die Eisenbahnkokereien aber lagen oft von den Kohlengebieten verhältnismäßig weit entfernt. Nur bei den Kokereien der Gasanstalten ist der abseits der Kohlengebiete an den Verbrauchsorten liegende Standort selbstverständlich, da ja hier die Koksgewinnung nur eine Zwangsproduktion darstellt, während das Hauptziel die Gewinnung des Gases bildet, das zur Zeit der Entstehung der Gaswerke noch nicht transportabel war. Erst nach der Einführung der Nebenproduktengewinnung gingen auch die Kohlengruben, die nun ein größeres Interesse an der rentabler gewordenen Kokerei gewannen, dazu über, eigene Koksgewinnungsanstalten zu errichten⁴³⁾⁴⁴⁾, obwohl jetzt infolge der besseren Ausnutzung der Kohle und der nur noch geringen Gewichtsverluste die bisherige theoretische Materialorientierung stark abgeschwächt worden ist. So befinden sich zur Zeit die Standorte der Kokerei an drei verschiedenen Punkten: den Kohlengruben (zum großen Teil Koks für Hausbrandzwecke liefernd), den Eisenhütten und den städtischen Gaswerken, erstere beiden in den Kohlengebieten, letztere daneben auch außerhalb derselben. Der besseren Eignung zur Verkokung bei der niederschlesischen Kohle entsprechend, ist die Kokerei im Waldenburger Revier verhältnismäßig stärker vertreten als in Oberschlesien. Die angedeutete Abschwächung der theoretischen Materialorientierung der Kokerei beginnt sich auch bereits auszuwirken, da neuerdings auch außerhalb der obigen Standorte eine selbständige Kokerei, und zwar an der Oder bei Deschowitz, errichtet worden ist.

Die der Verkokung der Steinkohle entsprechende Verschmelzung der Braunkohle, bei der nicht der (Grude-) Koks das Haupterzeugnis bildet, sondern die Nebenprodukte, ist

⁴¹⁾ Vgl. Josef Adolf Brädel, Der Übergang der „reinen Steinkohlenbergwerke“ zum „gemischten Betrieb“ im oberschlesischen Industrieviertel. Ungedr. Diss. Breslau 1922.

⁴²⁾ 1882 waren von 21 oberschlesischen Koksgewinnungsanstalten 16 Hüttenkokereien und 5 selbständige Kokereien. Vgl. Statistik der Oberschlesischen Berg- und Hüttenwerke für das Jahr 1882. Herausgegeben vom Oberschlesischen Berg- und Hüttenmännischen Verein E. V., Kattowitz 1883.

⁴³⁾ Die erste oberschlesische Grubenkokerei wurde 1882 in Orzesche (Kr. Pless) in Betrieb genommen.

⁴⁴⁾ 1921 waren vor der Teilung des Industriegebietes von 18 oberschlesischen Koksgewinnungsanstalten nur noch 6 Hütten- und 4 selbständige, aber 8 Zechenkokereien. Vgl. Statistik der Oberschlesischen Berg- und Hüttenwerke für das Jahr 1921. Herausgegeben vom Oberschlesischen Berg- und Hüttenmännischen Verein E. V., Kattowitz 1922. — 1933 waren in Westoberschlesien 4 von 16 Gruben mit Kokereien verbunden (schlechte Eignung der oberschlesischen Kohle für die Verkokung), im Waldenburger Revier dagegen 4 von 5 Gruben. Im Neuroder Revier mit seinen 3 Gruben gibt es gar keine Kokereien. Vgl. Die schlesischen Bergwerke 1934 und die sonstigen betriebenen Bergwerke, selbständige Betriebsanlagen und unterirdische Mineralgewinnungsbetriebe im Verwaltungsbezirke des Preußischen Oberbergamts Breslau. Herausgegeben vom Preußischen Oberbergamt zu Breslau, Breslau 1934.

intolge der dafür geringen Eignung der schlesischen Braunkohle kaum vertreten. Dagegen wird der größte Teil der schlesischen Braunkohle brikettiert, im Gegensatz zur schlesischen Steinkohle, bei der die Brikettierung nur eine bescheidene Rolle spielt. Die Standorte der Brikettfabriken befinden sich fast stets unmittelbar neben den Gruben, mit denen sie auch betriebsorganisatorisch verbunden sind.

V. Die Industrie der Steine und Erden⁴⁵⁾.

a) Die Standortlage der für Schlesien außerordentlich wichtigen Steinbruchindustrie ist eindeutig klar, so daß sich weitere Worte erübrigen. Für sie gilt dasselbe, was oben über den Bergbau gesagt wurde. Nur die feinere Weiterverarbeitung ist in ihren Standorten frei, in der Praxis meist arbeits- oder, bei handwerklicher Betriebsform, konsumorientiert.

b) Kalk- und Zementindustrie⁴⁶⁾ sind durchaus materialorientiert. Der in diesen Industrien starke Kohlenverbrauch bleibt doch weit hinter dem Rohstoffverbrauch zurück, so daß sich die Standorte am Materiallager befinden.

c) Komplizierter liegen die Standortverhältnisse bei der Glas- und Porzellanindustrie. Bei der Glasindustrie⁴⁷⁾ ist wie bei der Eisenindustrie mit dem Wechsel der technischen Verhältnisse eine Standortverlagerung eingetreten. Wie dort lagen auch hier die Standorte in den großen Waldgebieten. Der Brennstoffverbrauch an Holz, hinter dem der Materialverbrauch an Glassanden und sonstigen Zutaten (Soda und Pottasche) stark zurücktrat, war derart groß, daß die Glasfabrikation nur an den Brennstofflagern möglich war, die daher den Hauptstandortfaktor bildeten. Mit dem durch den riesigen Brennstoffbedarf bedingten Abholzen der Wälder war, ganz ähnlich wie bei der Eisenindustrie, ein dauernder Standortwechsel der kleinen primitiven Glashütten verbunden, die immer neue unberührte Forstflächen aufsuchten. Seit der Mitte des 14. Jahrhunderts ist ein Umherwandern der Glaserzeugung im Riesengebirge nachgewiesen. Erst im 17. Jahrhundert hören wir von seßhaften Glashütten, zuerst wieder im Riesengebirge⁴⁸⁾, bald darauf auch in der Grafschaft Glatz⁴⁹⁾ (besonders hier meist an den Wasserläufen zwecks Ausnutzung der Wasserkräfte für die Glasschleiferei) und in der niederschlesischen Heide⁵⁰⁾, später auch im oberschlesischen Waldgebiet. Gerade in letzterem finden sich während des 18. und Anfang des 19. Jahrhunderts die meisten der damals bestehenden Glashütten, die allerdings in ihrer Produktion hinter den übrigen schlesischen Anlagen zurückblieben⁵¹⁾.

Der Übergang von der Holz- zur Kohlenfeuerung veränderte dann die Standortlage grundlegend, wenn auch nicht sofort, sondern erst in späterer Zeit. Aus den oberschlesischen Wäldern verschwand die Glasindustrie fast völlig. Im Gebirge dagegen konnte sie sich halten,

⁴⁵⁾ Blatt 33/34 des obigen Wirtschaftsatlases.

⁴⁶⁾ Vgl. Konrad Mälzig, Die oberschlesische Kalkindustrie. Ungedr. Diss. Breslau 1923; Gerhard Schaefer, Die oberschlesische Portland-Zement-Industrie. Ungedr. Diss. Breslau 1921; Hoffmann, Die oberschlesische Portland-Zement-Industrie (Oberschlesische Wirtschaft, Bd. 2, S. 283—288. Oppeln 1927). — Die oberschlesische Zementindustrie besteht seit 1857.

⁴⁷⁾ Vgl. Gustav Lange, Die Glasindustrie im Hirschberger Thale. Ein Beitrag zur Wirtschaftsgeschichte Schlesiens. Leipzig 1889 (Staats- und Sozialwissenschaftliche Forschungen, Bd. 9, H. 2); Benno Drott, Die Glasindustrie der Grafschaft Glatz mit besonderer Berücksichtigung der Arbeiterverhältnisse (Ein Beitrag zur Wirtschaftskunde und zur Herkunft und Lage der Arbeiter eines modernisierten bodenständigen Industriezweiges). Ungedr. Diss. Frankfurt 1922; Walter Hübner, Der Standort der Lausitzer Glasindustrie. Ungedr. Diss. Rostock 1923.

⁴⁸⁾ 1617 in der Gemarkung Schreiberhau (aber nicht die erst 1842 gegründete Josephinenhüttel).

⁴⁹⁾ 1656 in Kaiserswalde (Kr. Habelschwerdt).

⁵⁰⁾ 1677 in Wiesau (Kr. Sagan).

⁵¹⁾ 1740 lagen von 8 schlesischen Glashütten 4 in Oberschlesien, 1786 waren es 8 von 12. Vgl. Hermann Fechner a. a. O. S. 672/73. — Noch 1842 lagen von 25 schlesischen Glashütten 12 in Oberschlesien; die Arbeiterzahl betrug allerdings nur 66 von 296. Vgl. Festschrift zur Feier der 29. Hauptversammlung des Vereins Deutscher Ingenieure am 20. August 1888 in Breslau. Breslau 1888, S. 92.

und zwar — dies ist wieder typisch — durch Aufgabe der Massenfabrikation (zu der auch die Tafelglasherstellung gehörte) und Beschränkung auf die Lieferung qualitativ höchststehender Ware, insbesondere von Kristallgläsern. Der Anteil der Arbeitskosten ist ein derartiger, daß die Kosten für den Antransport der Steinkohlen und, wo dies nötig ist, auch der Rohmaterialien, dahinter völlig zurückstehen. In der niederschlesischen Heide hielt sich die Glasindustrie gleichfalls; ihr Bleiben wurde erleichtert (wenn auch nicht bedingt) durch die Nähe des einen der besten deutschen Glassande liefernden Quarzsandlagers von Hohenbocka sowie die günstige Lage zum Eisenbahnnetz. Die Braunkohlenlager waren zunächst ohne jede Bedeutung, da die Verwendung der deutschen Rohbraunkohle für die Glasindustrie nicht in Frage kam. Als Brennstoff wurde an Stelle der einheimischen böhmische Braunkohle (die ihrem Brennwert nach der Steinkohle nahekommt) verwandt. Infolge der weiten Entfernung der Kohlenlager führte die Industrie nur ein bescheidenes Dasein. Erst die Möglichkeit der Brikettierung der Braunkohle änderte die Brennstoffversorgungslage; immer mehr wurde die nahegelegene schlesische Braunkohle verwandt, die nach dem böhmischen Bergarbeiterstreik von 1900 endgültig den Sieg über die böhmische Braunkohle errang. Jetzt erst kam es zu einer außerordentlich starken Ausbreitung der Glasindustrie in der Heide, wo sich der Schwerpunkt aus dem mittleren Teil (zwischen Sagan und Görlitz) nach dem westlichen Teil in die Nachbarschaft der Braunkohlengruben und Brikettfabriken verschob⁵²⁾. Die alten Werke abseits der Braunkohle blieben, wieder durch Beschränkung auf die Veredelung, bestehen. Das Bleiben am alten Standort wurde ihnen erleichtert durch die (von der ältesten Zeit des durch die technischen Verhältnisse bedingten Umherwanderns der Hütten abgesehen) traditionelle Seßhaftigkeit der Glasarbeiter, die lieber mit geringeren Löhnen auskamen als abwanderten. Die Neuanlagen aber wurden im Westen angelegt, wo heute der Schwerpunkt der ganzen schlesischen Glasindustrie liegt. Die Gebirgsindustrie tritt dagegen zahlenmäßig völlig in den Hintergrund. Zusammenfassend ergibt sich die Bindung der Massenfabrikation an die Braunkohlenlager und die diesen angeschlossenen Brikettfabriken, der reinen Veredelungsindustrie an die historischen Standorte mit ihrer eingearbeiteten alteingesessenen Arbeiterschaft.

d) Sehr viel jünger als die Glas- ist die Porzellanindustrie⁵³⁾, die sich gerade in Schlesien erst verhältnismäßig spät niedergelassen hat. Zwar wurde schon 1765 die Ströbelner Porzellanerde bekannt, ihre Verwendung aber für eine eigene schlesische Porzellanindustrie durch die Regierung verboten. Die Porzellanindustrie der Merkantilzeit war als reines Luxusgewerbe meist in nächster Nähe der Fürstenhöfe errichtet worden, an denen sie infolge technisch ungünstiger Standortlage nur durch staatliche Monopolisierung lebensfähig gehalten werden konnte. So wurde die schlesische Porzellanerde nicht für eine schlesische, sondern für die Berliner Porzellanmanufaktur verwandt. Erst das Zeitalter der Gewerbefreiheit ließ auch in Schlesien, etwa seit 1820, die Porzellanindustrie entstehen, und zwar — infolge des außerordentlich großen Kohlenverbrauchs, hinter dem der Verbrauch an Kaolin und den sonstigen Zutaten ganz zurücksteht — im Waldenburger Steinkohlenrevier. Da die Porzellanindustrie große Arbeitermassen benötigt und daher in gleichem Maße arbeits- wie materialorientiert ist, war angesichts der damaligen Krise der Leinenindustrie im schlesischen Gebirge und der dadurch bedingten Arbeitslosigkeit und des Angebots an billigen Arbeitskräften auch vom Standpunkt der Arbeitsorientierung aus das Waldenburger Gebiet als Standort durchaus günstig. Die Porzellanindustrie war eine ausgesprochene Notindustrie für die Weberbevölkerung der Waldenburger Gegend und ihres Vorlandes, waren doch auch ihre Begründer zum Teil vormals Leinenhändler gewesen. Später griff dann die Porzellanindustrie auch auf den Hirschberger Kessel über.

⁵²⁾ Im heutigen Hauptort der ganzen schlesischen Glasindustrie, in Weißwasser (Kr. Rothenburg), wurde die Industrie erst 1873 eingeführt.

⁵³⁾ Vgl. Paul Krämer, Die schlesische Porzellanindustrie mit besonderer Berücksichtigung ihrer technischen Entwicklung. Ungedr. Diss. Breslau 1924.

Die wenigen Porzellanfabriken im oberschlesischen Waldgebiet (Tillowitz) und in der niederschlesisch-lausitzischen Heide gehen auf Fayence- und Steingutfabriken des 18. Jahrhunderts zurück⁵⁴⁾, die ihrerseits an die damaligen Rohstoffe (Vorkommen geeigneter Erden) und Brennstoffe (Holz) gebunden waren. Die Umstellung auf die Porzellanfabrikation und die Beibehaltung des alten Standorts trotz Veränderung der Materialbasis ließ sich bei der starken Arbeitsorientierung der Porzellanindustrie infolge des Vorhandenseins einer eingearbeiteten Belegschaft (die Porzellanherstellung erfordert dieselben Arbeitsverrichtungen wie die Fayence- und Steingutfabrikation) oft leicht ermöglichen, wenn auch eine große Zahl der alten Fayencefabriken, besonders im oberschlesischen Waldgebiet, heute verschwunden ist.

VI. Die Textilindustrie.

Die Arbeitskraft als Standortfaktor, der bei der Porzellanindustrie schon so bedeutend ist, überwiegt vollkommen bei der Textilindustrie⁵⁵⁾⁵⁶⁾, für die er schlechthin ausschlaggebend ist. Die Textilindustrie ist wohl als die älteste Industrie Schlesiens anzusehen und hat eine lange Standortgeschichte hinter sich. Die heutigen Standorte haben sich weit eher herausgebildet als die der andern Industrien, und zwar etwa seit dem 15./16. Jahrhundert. Bis dahin war das Textilgewerbe (von „Industrie“ kann man in den ältesten Zeiten noch nicht sprechen) als städtisches Handwerk (das Handwerk ist als konsumorientiert grundsätzlich an die Verbrauchsstätten gebunden) ziemlich gleichmäßig über das Land verbreitet; meist handelte es sich um die Tuchmacherei, d. h. die Verarbeitung von Wolle. Daneben bestand auf dem Lande die Leinenverarbeitung, aber nicht als Industrie oder Handwerk, sondern als sogenanntes Hauswerk, d. i. eine Wirtschaftsform, in der nicht für den Markt, sondern nur für den eigenen Verbrauch produziert wurde. Die Rohstoffe des alten Hand- und Hauswerks — Wolle und Flachs — waren bei der früher auf engem Raum vielseitigeren Bodennutzung mehr oder weniger überall vorhanden („ubique“); schon dadurch war nach den Regeln der industriellen Standortlehre transportmäßig eine Konsumorientierung des Textilgewerbes bedingt.

Erst vom 15./16. Jahrhundert an läßt sich in Schlesien (analog den vielen andern deutschen Textilindustrieregionen) die Herausbildung eines bestimmten textilindustriellen Raumes feststellen, in dem es zu einer außerordentlich starken Verdichtung der Industrie kam, die hier nun nicht mehr als städtisches Handwerk und ländliches Hauswerk (die beide daneben bis ins 19. Jahrhundert weiter bestanden), sondern als ländliche Hausindustrie betrieben wurde, eine Organisationsform, bei der nicht für den eigenen Bedarf, sondern für einen Absatz in weitere Gebiete gearbeitet wird. Das Standortsgebiet war das ganze schlesische Gebirge, in dem für die damalige Zeit aus verschiedenen Ursachen eine starke, jedenfalls über die Nährkraft des kargen Bodens hinausgehende Volksverdichtung anzunehmen ist, die dann später durch Ansiedlung von fremden Arbeitern seitens der an der Industrie interessierten Grund-

⁵⁴⁾ Vgl. Erwin Hintze, *Oberschlesische Fayence- und Steingutfabriken* (Oberschlesien. Ein Land deutscher Kultur. Gleiwitz 1921, S. 38—41).

⁵⁵⁾ Blatt 36 des obigen Wirtschaftsatlases.

⁵⁶⁾ Vgl. besonders: Alfred Zimmermann, *Blüte und Verfall des Leinengewerbes in Schlesien. Gewerbe- und Handelspolitik dreier Jahrhunderte*. 2. Aufl., Oldenburg und Leipzig 1892; Curt Frahe, *Die Textilindustrie im Wirtschaftsleben Schlesiens. Ihre wirtschaftlichen und technischen Grundlagen, historisch-ökonomische Gestaltung und gegenwärtige Bedeutung*. Diss. Tübingen 1905; Hermann Rosenberger, *Die Textilindustrie am Fuße des schlesischen Eulengebirges* (Kr. Reichenbach). *Vergangenheit und Gegenwart*. Reichenbach 1921; Frieda Heilberg, *Standorts-Untersuchung der schlesischen Textilindustrie als Versuch eines Beitrages zu einer kapitalistisch-realistischen Standortstheorie*. Ungedr. Diss. Breslau 1923; Otto Schumann, *Die Landeshuter Leinenindustrie in Vergangenheit und Gegenwart*. Ein Beitrag zur schlesischen Textilindustrie. Jena 1928 (Abhandlungen des Wirtschaftswissenschaftlichen Seminars Jena, Bd. 19, H. 1). Dazu mein Aufsatz „Die deutschen Textilindustrieregionen. Eine wirtschaftsgeographische Betrachtung“ (Beiträge zur Kulturgeographie, Ergänzungsheft 214 zu Petermanns Mitteilungen. Gotha 1932, S. 123—38).

herren noch künstlich gesteigert wurde⁵⁷⁾. Es waren also in erster Linie die Arbeitskräfte, die die Textilindustrie ins Gebirge zogen, das außerdem mit seinem reinen Wasser und den frischen Wiesen der Bleicherei günstige materielle Grundlagen darbot. Angeregt war die Schaffung einer eigenen, für den Absatz arbeitenden schlesischen Textilindustrie sicherlich auch durch die Verkehrslage: führte doch die alte Handelsstraße von Nürnberg und Leipzig nach Krakau, auf der die süddeutschen Gewebe nach dem Osten transportiert wurden, am Rande des Gebirges vorbei. Der Gedanke lag nahe, diese Gewebe, die bisher nur Durchgangsware darstellten, selbst zu produzieren. Auch in heutiger Zeit entstehen ja noch auf diese Weise an Durchgangsverkehrsarten Industrien. — Die neue Gebirgshausindustrie verarbeitete lediglich Flachs, der aber, zumal nicht nur im Produktionsgebiet wachsend, bei der reinen Arbeitsorientierung der Textilindustrie keinen Standortfaktor bildete. Der Schwerpunkt der Gebirgstextilindustrie lag entschieden im westlichen Teil, im Hirschberger Gebiet⁵⁸⁾.

Die bekannte Krise der schlesischen Textilindustrie in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts mit ihrem furchtbaren Weberelend drohte die ganze schlesische Leinenindustrie zu vernichten. Ihre Ursache lag zunächst wohl in der während der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zu starken künstlichen Steigerung der Produktion, die völlig auf den Export, auch nach Übersee, eingestellt war. Als nach der Aufhebung der Kontinentalsperre die während der napoleonischen Epoche erstarkte, mittlerweile zum Teil schon mechanisierte englische Textilindustrie die ganze Welt mit ihren billigen Waren überschwemmte, war eine Rettung nur dadurch möglich, entweder gleichfalls die Mechanisierung durchzuführen (wie es in Süd- und Westdeutschland geschah) oder an Stelle der bisherigen Massen- zur Qualitätsproduktion überzugehen (worin Sachsen ein Beispiel gab). Die Schwerfälligkeit der damaligen schlesischen Textilbevölkerung (Händler wie Arbeiter) konnte sich zunächst weder zu dem einen (von einigen wenigen Anlagen abgesehen⁵⁹⁾) noch dem andern aufraffen, obwohl die Nähe des Waldenburger Kohlenreviers eine Mechanisierung, durch die die Arbeitsorientierung der Textilindustrie zugunsten einer geringen Materialorientierung (nach dem Kraftstoff) abgeschwächt wird, erleichtert hätte, und obwohl für den Weg der Veredlung die schlesische Glasindustrie ein gutes Beispiel gab. Dazu kam noch die mangelnde Hilfe des Staates, der in der damaligen Blütezeit des liberalen Freihandels ein Eingreifen als gegen den geheiligten Lehrsatz vom freien Spiel der Kräfte verstoßend ablehnte. Wo ein Ersatz durch Notindustrien möglich war, da verschwand damals tatsächlich die Textilindustrie weitgehend, so im engeren Waldenburger Gebiet, wo die Porzellanindustrie und der aufblühende Steinkohlenbergbau die arbeitslose Weberbevölkerung aufnahm, im südlichen Teil der Grafschaft Glatz, wo gewisse Zweige der Holz-

⁵⁷⁾ Vgl. hierzu: Lujo Brentano, Über den grundherrlichen Charakter des hausindustriellen Leinengewerbes in Schlesien (Zeitschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte, Bd. 1, S. 318—40. Freiburg und Leipzig 1893) und von demselben: Über den Einfluß der Grundherrlichkeit und Friedrichs des Großen auf das schlesische Leinengewerbe. Eine Antwort an meine Collegen Grünhagen und Sombart in Breslau (ebenda Bd. 2, S. 295—376, 1894); Colmar Grünhagen, Über den angeblich grundherrlichen Charakter des hausindustriellen Leinengewerbes in Schlesien und die Webernöthe (ebenda Bd. 2, S. 241—61, 1894); Werner Sombart, Über den grundherrlichen Charakter des hausindustriellen Leinengewerbes in Schlesien (Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik. 3. Folge, Bd. 4, Jena 1893).

⁵⁸⁾ 1750 befanden sich von 16785 ländlichen Leinenwebstühlen 13712 in den am Gebirge teilhabenden Kreisen; davon entfielen allein auf den Kreis Hirschberg 5745 Stühle, es folgten die Grafschaft Glatz mit 2701 und die Kreise Bolkenhain und Schweidnitz mit 1869 bzw. 1427 Stühlen. Vgl. die Tabellen bei Alfred Zimmermann a. a. O.

⁵⁹⁾ Die erste (kontinentaleuropäische) mechanische Flachsspinnerei wurde schon 1811 in Waldenburg errichtet, die erste mechanische Leinenweberei in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts. In der Baumwollspinnerei begann die Mechanisierung schon 1822 in Ullersdorf (Kr. Glatz), in der Baumwollweberei 1854 in Tannhausen (Kr. Waldenburg). — Es handelte sich bei diesen frühzeitig mechanisierten Betrieben aber, wie gesagt, um Ausnahmen.

industrie, und im bisherigen Schwerpunkt der Leinenindustrie, im Hirschberger Gebiet, wo eine ganze Reihe von Gewerbegruppen an ihre Stelle traten⁶⁰⁾.

Erst ganz allmählich konnte die schlesische Textilindustrie gesunden, unter Nachholung der schweren Versäumnisse. Neben der fortschreitenden Mechanisierung⁶¹⁾ war es besonders der weitgehende Übergang von der Leinen- zur Baumwollindustrie⁶²⁾, der bald einen neuen Aufschwung der Textilindustrie zur Folge hatte. An einigen Stellen, so besonders in Reichenbach, war die Baumwollweberei schon im 17. Jahrhundert eingeführt worden; aber erst jetzt wurde die Leinen- durch die Baumwollindustrie derart verdrängt, daß die letztere heute in Schlesien an der Spitze steht. Ihr Zentrum bildet auch heute noch die Gegend, in der sie zuerst eingeführt worden war, das Reichenbacher Gebiet, in dem Langenbielau liegt, das Zentrum der schlesischen Textilindustrie überhaupt. Die Leinenindustrie hat sich dagegen besonders in den Landeshuter Tallandschaften und im oberschlesischen Sudetenvorland gehalten. Die Mechanisierung hatte innerhalb des Verbreitungsgebiets der alten ländlichen Gebirgstextilindustrie außer dem Ersatz der Haus- durch die Fabrikindustrie eine Konzentration in den Städten und größeren Orten im Gefolge, aber doch nur der Arbeitsstätten, nicht auch der Arbeiterwohnungen. Die alte ländliche Handspinnerei und Handweberei als Hausindustrie ist auch heute noch nicht völlig ausgestorben, sie liegt aber, von alten Leuten betrieben, in den letzten Zügen.

Abschließend ergibt sich, daß eine Standortsverlagerung der schlesischen Gebirgstextilindustrie, von der erwähnten Konzentration in den größeren Orten abgesehen, von ihrer Entstehung an kaum eingetreten ist, es hat nur eine Einschrumpfung ihres Standortgebiets unter teilweisem Verlust der Außengebiete stattgefunden. Im ganzen weist der textilindustrielle Raum des Gebirges eine außerordentliche Konstanz auf. Das kann auch nicht überraschen, denn der Hauptstandortfaktor, der die Industrie hierher gezogen hat, ist im wesentlichen auch heute noch maßgebend — es ist die Arbeitskraft einer einst überzähligen, heute alteingearbeiteten Industriebevölkerung. Die erwähnte Abschwächung der Arbeitsorientierung durch die Mechanisierung hat lediglich den den Kohlenlagern (Waldenburg und Lauban) nahegelegenen Teilen der Textilindustrie das Verbleiben am alten Standort erleichtert (wenn auch im Waldenburger Kohlengebiet selbst die Textilindustrie hinter Bergbau und Porzellanindustrie weit zurücksteht), den entfernteren Teilen, in denen die Industrie in der Krisenzeit verschwunden oder doch stark zurückgegangen war (Hirschberg und südliche Grafschaft) ein Wiederaufleben erschwert. Der Verlust der Rohstoffbasis infolge der Einführung der Baumwolle — auch der Flachs wird nach dem außerordentlich starken Rückgang seines Anbaus in der intensivierten Landwirtschaft⁶³⁾ zum größten Teil importiert — hat angesichts der geringeren Rolle der Transportkosten für die verhältnismäßig leichten Rohmaterialien keine standortliche Wirkung ausüben können.

⁶⁰⁾ 1805 war die Zahl der ländlichen Leinenwebstühle auf 28646 gestiegen, auf die Gebirgskreise entfielen 23440. Entgegen dieser starken Zunahme war schon damals der Kreis Hirschberg gefallen auf 5331; es folgten der Kreis Bolkenhain mit 4966, die Grafschaft mit 4482 und die Kreise Schweidnitz, Löwenberg und Reichenbach mit 4166, 1822 und 1588 Stühlen. — Bis 1840 war die Zahl der ländlichen Leinenwebstühle auf 20656 gesunken, auf die Gebirgskreise entfielen nur noch 11976. An der Spitze stand jetzt der Kreis Bolkenhain (nebst Landeshut) mit 3664; es folgten der Kreis Schweidnitz (nebst Waldenburg) mit 2214, die Grafschaft mit 1467 und dann erst der einstmals führende Kreis Hirschberg (nebst Schönau) mit 1802 Stühlen. Außer beim Kreise Bolkenhain (nebst Landeshut) ist der Rückgang in der Zahl der Webstühle mithin weit stärker als im schlesischen Durchschnitt gewesen. Vgl. wieder die Tabelle bei Alfred Zimmermann a. a. O.

⁶¹⁾ Während die Mechanisierung in der Spinnerei schnellere Fortschritte machte, überflügelte sie in der Weberei die Handarbeit erst in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts.

⁶²⁾ In der Weberei beschäftigte schon 1849 die Baumwollindustrie mehr Arbeiter als die Leinenindustrie.

⁶³⁾ Der Flachs-anbau in Schlesien ist von 60000 ha 1800 auf 5367 ha 1929 gesunken! Vgl. Hermann Wagner, Die Entwicklung des Flachs-anbaues in Schlesien (Veröffentlichungen der Landwirtschaftskammer Niederschlesien, H. 23, S. 7—10. Breslau 1926).

Die alte konsumorientierte städtische und handwerkliche Tuchmacherei ist mit dem Anbruch des Maschinenzeitalters und dem Rückgang des alten Handwerks wie im Reiche überhaupt so auch in Schlesien verschwunden. Die Wollindustrie findet sich heute nur noch im nordwestlichen Schlesien (Grünberg und Sagan als Hauptorte), wo sie sich stark ausgebreitet hat und mit dem größeren brandenburgisch-niederlausitzischen Wollindustriengebiet zusammenhängt, sowie in der südlichen Oberlausitz, wo sie neben die dortige Baumwollindustrie getreten ist. Auch sie ist überwiegend arbeitsorientiert, wird aber in ihren heutigen Standorten durch nahegelegene Braunkohlengruben, die in Nordschlesien überhaupt erst durch die Wollindustrie ins Leben gerufen wurden, unterstützt. Auch sie hat, und zwar infolge des starken Rückganges der Schafzucht⁶⁴⁾, einen großen Teil ihrer Rohstoffbasis verloren, ohne daß dies bei der vorherrschenden Arbeitsorientierung eine standortliche Wirkung hätte ausüben können.

Gleichfalls rein arbeitsorientiert ist die Konfektionsindustrie (von der die in allen Städten befindliche konsumorientierte handwerkliche Schneiderei zu trennen ist), die besonders in Breslau (Herrenkonfektion)⁶⁵⁾ und in der Laubaner Gegend (Taschentücher) vertreten ist. Während sich in der Oberlausitz die Konfektion aus der alten Textilhausindustrie als Veredlungsgewerbe herausgebildet hat, ist sie in Breslau jüngerer Datums; sie stellt ein Beispiel der modernen großstädtischen Hausindustrie dar, die auf deklassierten Handwerkern und weiblichen Arbeitskräften (z. T. nur Nebenarbeit) basiert. Die Entstehung der Konfektionsindustrie in Breslau als dem Haupthandelsplatz der schlesischen Textilindustrie ist nicht verwunderlich. Es ist im Grunde genommen der gleiche Vorgang, der zur Entstehung der schlesischen Textilindustrie geführt hatte: die Industrien gründende Wirksamkeit des Handels.

VII. Die Holzindustrie.

Bei diesem Industriezweig⁶⁶⁾ ist zu unterscheiden zwischen der Holzaufbereitung und der Holzverarbeitung; beide Untergruppen weisen ganz verschiedene Standortsverhältnisse auf. Die Holzaufbereitung⁶⁷⁾ ist infolge der starken Gewichtsverluste, die in den Sägewerken entstehen, und der geringen Arbeitskosten in hohem Grade materialorientiert. Dementsprechend befindet sich die Mehrzahl der Sägewerke im Walde oder in dessen nächster Nähe; innerhalb des Hauptverbreitungsgebietes liegen die Standorte aus leicht verständlichen Gründen meist an den Wasserläufen. Aber eine große Zahl von Sägewerken, besonders die modernen Dampfsägewerke, findet sich auch außerhalb der Materiallager, und zwar einmal längs der ganzen Oder (auch hier ist infolge des billigen entfernungsverkürzenden Wasserweges noch eine gewisse Orientierung nach dem Walde festzustellen), sodann an den großen Bevölkerungsagglomerationen. Eine gewisse Loslösung der Dampfsägewerke von der Materialbasis ist hier insofern möglich, als die Abfälle als Kohlenersatz verwandt werden können, die Gewichtsverluste dadurch stark eingeschränkt werden und das Holz vom Gewichtsverlust — fast zum „Rein“material wird, womit eine Konsumorientierung ermöglicht ist.

Die Holzverarbeitungsindustrie⁶⁸⁾ ist im allgemeinen rein arbeitsorientiert, abgesehen vom grundsätzlich konsumorientierten Handwerk, dem ein Großteil der Holzverarbeitung zuzurechnen ist, insbesondere die Möbeltischlerei. Die wenigen wirklich industriellen Holz-

⁶⁴⁾ Die Zahl der Schafe ist in Schlesien von 2952000 1843 auf 139510 1929 gesunken! Vgl. R. Braun, Die Entwicklung der schlesischen Schafzucht (Veröffentlichungen der Landwirtschaftskammer für die Provinz Schlesien, H. 15, S. 96—113. Breslau 1919).

⁶⁵⁾ Vgl. Winand Graika, Die verlagsmäßig organisierte Textilbekleidungsindustrie in Breslau von ihren Anfängen bis zur Gegenwart. Ungedr. Diss. Breslau 1924.

⁶⁶⁾ Vgl. Margarete Bernhard, Die Holzindustrie der Grafschaft Glatz. Diss. Berlin 1906; Eberhard Priemer, Standortsuntersuchung der oberschlesischen Holzindustrie. Ungedr. Diss. Breslau 1925; Albert Herden, Standortsuntersuchung der Sägewerksindustrie in der Grafschaft Glatz. Dissertation Breslau 1930.

⁶⁷⁾ Nebenkarte zu Blatt 37 des obigen Wirtschaftsatlases.

⁶⁸⁾ Blatt 37 des obigen Wirtschaftsatlases.

verarbeitungsbetriebe sind meist an ihre alteingesessene Arbeiterschaft in den alten Standorten gebunden, an denen die Industrie meist durch persönliche, außerhalb jeder theoretischen Betrachtung liegende Ursachen aus dem Handwerk heraus entstanden ist.

Zum Teil sind diese Werke daneben stark material- oder konsumorientiert, so die Oppelner Faßindustrie, die infolge ihres geringeren Arbeitskostenanteils keine großen Transportkosten verträgt und demgemäß an ihre Materialbasis, den Wald, und an ihren Abnehmer, die Zementindustrie, gebunden war; Oppeln erwies sich entschieden als der geeignete Standort. Da neuerdings die Zementindustrie ihre Produkte in zunehmendem Maße statt in Holzfässer in Papiersäcke verpackt, ist die Faßindustrie durch diese Verschlechterung ihrer Standortlage in eine große Notlage gekommen.

Eine interessante Standortsgeschichte weisen die Streichholz- und die Schachtelindustrie der Grafschaft Glatz auf. Diese Industrien entstanden als Notindustrien in der Zeit der Textilkrise des 19. Jahrhunderts. Der Großteil der Weber in der südlichen Grafschaft ging zu ihnen über. Beide Industriezweige waren nicht rein arbeitsorientiert, die Rohmaterialien spielten, besonders in der untersten Produktionsstufe der Streichholzfabrikation, dem Zurechtschneiden der Hölzer, angesichts der dabei entstehenden großen Gewichtsverluste eine bedeutende standortliche Rolle, die diese Industrie nicht nur an die Arbeitslager, sondern auch an das Materiallager, den Wald, band. Die fabrizierten Zündhölzer waren, der damaligen Technik entsprechend, Weißphosphorhölzer, die in gesundheitlich außerordentlich schädlicher Handarbeit hergestellt wurden. Eine Veränderung der Standortlage trat mit dem Aufkommen der sogenannten schwedischen Zündhölzer auf, die nicht mehr mit der Hand, sondern maschinell hergestellt wurden. Das bisher allein verwandte einheimische Holz kam für eine maschinelle Verarbeitung nicht mehr in Frage, es mußte fremdes, und zwar russisches Aspenholz eingeführt werden. Die Streichholzindustrie verlor damit ihre Materialbasis; ein starker Rückgang der Industrie, die sich nur schwer gegen die Konkurrenz standortlich besser gelegener Werke außerhalb Schlesiens halten konnte, war die notwendige Folge. Nur wenige Werke konnten sich auf die Fabrikation der schwedischen Zündhölzer umstellen, die meisten aber gingen ein, besonders nachdem die Herstellung von Weißphosphorhölzern gesetzlich verboten worden war.

Nicht viel besser erging es der Schachtelindustrie. Auch diese, ursprünglich ein Hilfsgewerbe der Streichholzindustrie, der sie die Streichholzschachteln lieferte, verlor mit dem Übergang zur Mechanisierung, die auch hier einen Ersatz der einheimischen durch russische Hölzer erforderlich machte, ihre Materialbasis. Die Industrie, zu der nach dem katastrophalen Rückgang der Streichholzmacherei neue Arbeitermassen übergegangen waren, lebt zwar noch, aber nicht nur, wie ehemals, für die Streichholzindustrie, sondern auch für andere Abnehmer (Apotheken, Käsereien usw.) arbeitend. Sie kann sich aber infolge der Verschlechterung ihrer Standortlage nur unter Zahlung niedrigster Löhne über Wasser halten.

VIII. Die Papierindustrie.

Auch in der Papierindustrie⁶⁹⁾⁷⁰⁾ haben sich die standortlichen Verhältnisse im Verlaufe ihrer Entwicklung stark verändert. Ihre ursprünglichen Rohmaterialien waren im wesentlichen Lumpen (Hadern) sowie viel und klares Wasser. Den großen Gewichtsverlusten bei der Produktion entsprechend finden wir die alten Standorte gebunden an die Materiallager: das waren einmal die Textilindustriegebiete mit ihrem großen Abfall an Textilien, zum andern die großen Bevölkerungsagglomerationen, in denen sich große Lumpenmengen ansammelten. Da die Standorte außerdem unbedingt an die Wasserläufe gefesselt waren (das Wasser

⁶⁹⁾ Blatt 37 des obigen Wirtschaftsatlasses.

⁷⁰⁾ Vgl. Elisabeth Salomon, Die Papierindustrie des Riesengebirges in ihrer standortsmäßigen Bedingtheit. Tübingen 1920 (Alfred Weber, Über den Standort der Industrien, Bd. 2, H. 5).

diente sowohl als Rohstoff wie auch als Antriebsmittel) und an die Qualitäten des Wassers große Anforderungen gestellt wurden, erwies sich das schlesische Gebirge, das allen diesen Bedingungen entsprach, als ideales Standortsgebiet. Da besonders das aus Granitgebieten kommende Wasser die für die Papierherstellung besten Eigenschaften aufweist, ergab sich eine starke Verdichtung der Produktionsanlagen im Hirschberger Kessel, der zudem noch das Hauptzentrum der schlesischen Textilindustrie darstellte.

Eine grundlegende technische Veränderung brachte der Übergang der Papierindustrie zur Verarbeitung von Holzschliff an Stelle von Hadern, die nur noch für besondere Qualitätspapiere verwandt werden. Im schlesischen Gebirge mit seinen großen Forstbeständen hatte dies aber keine Standortsverlagerung zur Folge, da ja hier auch unter den neuen Verhältnissen eine völlig genügende Materialbasis vorhanden ist. Da bei der Fabrikation von Holzpapier ungleich größere Gewichtsverluste entstehen, ist die Materialgebundenheit eine größere als bei der alten Hadernpapierfabrikation, wozu noch die mangelnde Transportfähigkeit des Holzschliffs kommt. Die alten Standorte der schlesischen Papierindustrie konnten also beibehalten werden, es kam nicht zu einer Standortsverlagerung, wohl aber zu einer Standortserweiterung, insofern jetzt auch in andern, bisher von der Papierindustrie mehr oder weniger gemiedenen Waldgebieten Papierfabriken und die dazugehörigen Holzschleifereien entstanden, besonders in der niederschlesisch-lausitzischen Heide längs der diese durchfließenden Gewässer, ferner längs des oberschlesischen Oderlaufes.

Nachdem die Papierindustrie nacheinander in enge Beziehungen zur Textilindustrie (Hadern) und zur Holzindustrie (Holzschliff) getreten war, geriet sie, allerdings nur mit einem Teil der Werke, durch die Verarbeitung des Zellstoffes in eine nahe Verwandtschaft mit der chemischen Industrie. Die neue Produktionsmethode mit ihrem viel größeren Wasserverbrauch und ihren riesigen Abwässern band die Papierindustrie weit mehr an die Wasserläufe als die bisherigen, Hadern oder Holzstoff verarbeitenden Fabriken. Es kamen nur noch an den größten Wasserläufen gelegene Standorte hierfür in Frage. Da auch der Kohlenverbrauch ein starker ist, so tritt die Orientierung nach dem Walde zurück hinter der nach den Kohlengebieten. Hauptstandorte der Zellstoff- und Zellstoffpapierindustrie finden sich daher an den zu den Steinkohlengebieten transportmäßig günstigsten gelegenen Stellen der Oder: in Cosel und in Maltsch.

Die Papierverarbeitung ist an sich arbeitsorientiert; die Standorte sind meist durch individuelle Momente bedingt. Anscheinend aber hat oft die nahe Lage zu den Papierfabriken in starkem Maße die Wahl des Standortes beeinflußt. Die betreffenden Werke liegen meist gleichfalls an den Wasserläufen (besonders der Oder), und zwar unterhalb der Papierfabriken, so daß deren Halbfabrikate leicht auf dem billigen Wasserwege zu den Verarbeitungsstätten transportiert werden können.

IX. Die Maschinenindustrie.

Endlich sei noch ganz kurz auf die Maschinenindustrie⁷¹⁾⁷²⁾ eingegangen. Diese ist, rein theoretisch, infolge des großen Arbeitskostenanteils und der verhältnismäßig geringen Gewichtsverluste im allgemeinen als arbeitsorientiert zu betrachten. In der Praxis aber befinden sich die Standorte meist in nächster Nähe der Verbrauchsorte, und zwar aus dem Bestreben zur Ausnutzung der sogenannten „Fühlungsvorteile“ heraus; für eine die Abnehmer befriedigende Produktion ist es wesentlich, stets in engster örtlicher Berührung mit diesen zu stehen, auch mit Rücksicht auf etwaige spätere Reparaturen. Die Maschinenindustrie ist also tatsächlich meist konsumorientiert. Unter diesen Umständen ist es nicht verwunderlich, wenn wir

⁷¹⁾ Blatt 35 des obigen Wirtschaftsatlases.

⁷²⁾ Vgl. Karl P. Berthold, Untersuchungen über den Standort der Maschinenindustrie in Deutschland, Jena 1915 (Mitteilungen der Gesellschaft für wissenschaftliche Ausbildung N. F. Bd. 7); Erwin Frommer, Die Breslauer Dampfmaschinen-Industrie. Ungedr. Diss. Breslau 1922.

in reinen Agrargebieten vorwiegend landwirtschaftliche Maschinenfabriken finden, in Bergbaugebieten Fabriken für bergbauliche, in Textilindustriegebieten Fabriken für Textilmaschinen usw. Von dieser Regel machen aber viele Werke eine Ausnahme, und zwar sind es meist gerade die größten, oft Weltruf genießenden Betriebe. Diese, häufig aus kleinen, ursprünglich ebenfalls konsumorientierten Werkstätten heraus entstanden, verdanken die Vergrößerung und spätere Vielseitigkeit ihrer Produktion meist rein individuellen Momenten, wie der besonderen Tüchtigkeit der jeweiligen Leiter oder sonstigen Zufälligkeiten, die außerhalb jeder Erklärung stehen. So kommt es, daß gerade für die größten und bekanntesten Werke — dies gilt in starkem Maße auch für Schlesien — die Standorte nicht gedeutet werden können.

C.

Schlußbetrachtung.

In geringerem Maße gilt das zuletzt von der Maschinenindustrie Gesagte für alle anderen Industrien auch. Die Ausführungen über die Standortslage der schlesischen Industrien sollen nur die Zusammenhänge im großen erklären; nicht die besondere Lage der einzelnen Werke, sondern die Verbreitungsgebiete der jeweiligen Industrien im allgemeinen. Und auch hier ist es nicht gesagt, daß es so und nicht anders sein kann, es handelt sich weniger um die Zwangsläufigkeit der jetzigen Verhältnisse als um den Versuch einer Darlegung, wodurch sich die tatsächlichen Standortsgebiete vor andern auszeichnen. Oft werden Tüchtigkeit und Umsicht der Industrieführer es fertigbringen, eine ganze Industrie oder ein einzelnes Werk auch unter ungünstigster Standortslage lebensfähig zu halten. So sind es letzten Endes nicht Vorkommen von Rohmaterialien und billigste Arbeitskräfte, Verkehrswege oder Tarife, die das Wirtschaftsleben und damit auch die Standorte der schlesischen Industrien bestimmen, sondern die persönlichen Eigenschaften der Leiter, der Ingenieure und nicht zuletzt der schlesischen Arbeiter.

Gedanken zur vorjährigen Refa-Schulungswoche in Breslau

Von Karl Gottwein in Breslau

1. Allgemeine Gesichtspunkte

Der Verband Schlesischer Metallindustrieller in Breslau hatte schon vor Jahren für Betriebsleute einen Kursus nach den Richtlinien des Reichsausschusses für Arbeitszeitermittlung — „Refa“ — abhalten lassen, dem im Januar 1934 eine Refa-Schulungswoche folgte. Zu letzterer hatten sowohl Vertreter der Praxis als auch der Wissenschaft einschlägige Vorträge übernommen. Es kann nun hier nicht unsere Aufgabe sein, irgendwelche technischen oder organisatorischen Einzelheiten, wie sie in großer Zahl zum Aufgabenkreis des Refa gehören, näher zu behandeln. Diesbezüglich darf auf die in Heftform zusammengestellten Vortragsauszüge hingewiesen werden, ferner auf das ausgedehnte Schrifttum¹⁾ über Refa-Arbeiten. Hier sollen die Aufgaben, die sich der Refa gestellt hat, vielmehr nur in ihren Grundlinien dargestellt werden.

Seiner Benennung nach scheint der Refa nur ein engbegrenztes Ziel zu haben und Außenstehende mögen daher schon die Frage aufgeworfen haben, ob denn der Refa, der nun seit rund zehn Jahren arbeitet, dieses Ziel nicht inzwischen erreicht habe, also aufgelöst werden könne? Oder auch, ob bei der rasch fortschreitenden Technik die Refa-Richtlinien nicht inzwischen überholt seien?

Hierzu wäre zu sagen: Allerdings hat der Refa schon umfangreiche Gebiete aus seinem Aufgabenkreis beackert, aber letzterer ist eben viel größer und vielseitiger und greift in viel höherem Maße in Nachbargebiete ein, als dies bei nur flüchtiger Betrachtung des Namens des Ausschusses erkennbar ist. Wir ersehen dies sofort aus folgendem: Wenn man nämlich die für eine Werkstattarbeit erforderliche Zeit angeben will (Zeitstudie), so muß vorerst die günstigste Art und Weise festgelegt werden, nach der der Arbeitsauftrag auszuführen ist (Arbeitsstudie), und ferner müssen vor Inangriffnahme des Auftrages alle etwaigen Hindernisse aus dem Wege geräumt sein, die den glatten Fortgang der Arbeit hemmen und Zeitverluste verursachen könnten. Werkzeuge, Betriebsmittel, Hilfsarbeiter müssen rechtzeitig zur Verfügung stehen. Weiterhin muß sachkundig erwogen werden, welches Arbeitstempo und welcher Grad von Kraft und Ausdauer von dem geschickten und geübten ausführenden Facharbeiter gefordert werden darf, ohne ihn zu übermüden. Hierbei ist nicht zu übersehen, daß bei der schließlichen Arbeitszeitermittlung auch eine Reihe unvermeidlicher Zeitverluste einbezogen werden müssen, die teils durch persönliche Abhaltungen des arbeitenden Menschen, teils durch die Verhältnisse des Betriebes bedingt sind.

Und wenn nun die Frage gestellt wird: Wozu sollen denn überhaupt Arbeitszeitermittlungen vorgenommen werden?, so geben wir die Antwort: Weil ihre Durchführung fast zwangsläufig zu Verbesserungen aller Art, also zur Vermeidung von Verlusten und zu Ersparnissen im

¹⁾ Refa-Mappen über Zerspanung, Gießerei, Einführung in die Arbeitszeitermittlung, Holzbearbeitung, Hobeln, Schleifen. — II. Refabuch 1933, Beuth-Verlag, Berlin. Band II der Schriften der ADB.: Lehrbuch der Vorkalkulation von Bearbeitungszeiten (Hegner, 1924, Verlag Julius Springer, Berlin). — Band V der Schriften der ADB: Schlosserei- und Montage-Arbeitszeitermittlung (Gottwein, 1928, Verlag Jul. Springer, Berlin). — „Die Stückzeitberechnung für Holzbearbeitungsmaschinen.“ (O. Beck, 1926, München, VDI.-Verlag, Berlin). — „Die Stückzeitermittlung in der Maschinenformerei.“ (Heinr. Tillmann, Chemnitz, Verlag Oldenbourg, München). — „Arbeitszeitermittlung und industrielles Rechnungswesen“ (Dr.-Ing. Arthur Winkel, 1933, Beuth-Verlag). — Außerdem sind beim Refa in Vorbereitung: Mappen über Bohren, Fräsen, Stanzereitechnik, Handarbeiten, Schweißen, Textilindustrie. Refa-Schulungswoche des Verbandes Schlesischer Metall-Industrieller E. V., Breslau, 1934.

Betriebe führt. Die Zeitstudie nach Refa zwingt geradezu, den Betrieb in allen Winkeln zu untersuchen und zu durchleuchten. Sie weist nicht nur überall auf die notwendige Beachtung der Wirtschaftlichkeit im Produktionsvorgang hin, wodurch die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens gehoben wird, sondern sie vermittelt auch allen den mit ihrer Vorbereitung und Durchführung Betrauten eine immer schärfere Kenntnis der auftretenden Arbeitsschwierigkeiten. Hierdurch werden diese Beamten immer mehr befähigt, die Anforderungen, die die verschiedenen Werkstattaufträge vor allem an den Facharbeiter stellen, gegeneinander abzuwägen, und damit auch dem arbeitenden Menschen eine auf Sachkenntnis beruhende Würdigung seiner Leistung entgegenzubringen.

Damit ergeben sich allgemein als Ziele der Refa-Arbeiten:

- a) Aufzeigen von Verbesserungs- und Verbilligungsmöglichkeiten aller Art bei der Herstellung der Fabrikate im Anschluß an die vorgenommene Betriebsuntersuchung;
- b) Ermittlung solcher zuverlässigen Arbeitszeiten, daß diese eine Grundlage bilden können
 1. zur Errechnung eines gerechten (angemessenen) Verdienstes für die Arbeitsleistung des Werkarbeiters,
 2. für die Organisation des Betriebes und die darauf beruhenden Maßnahmen; z. B. hinsichtlich des industriellen Rechnungswesens, der Abgabe von Lieferfristen u. a.

Die hier gestreiften Punkte mögen im folgenden etwas näher ins Auge gefaßt werden, wobei im Sinne der Breslauer Schulungswoche vorwiegend an die Industrie, und zwar an Metall verarbeitende Betriebe gedacht ist.

2. Zeitstudie und Betriebsuntersuchung

Die Anwendung feinerer Methoden für die Zeitermittlung, die hier nicht besprochen werden, hat nach Vorstehendem erst dann einen Zweck, wenn die Werkstattarbeit betriebsseitig sorgfältig vorbereitet und wenn der Arbeits- oder Fertigungsverlauf eingehend organisiert ist. Hierzu gehören z. B. die Festlegung der günstigsten Aufeinanderfolge der verschiedenen am Werkstück auszuführenden Arbeitsgänge, was sich besonders bei Reihen- und Mengenanfertigung lohnt; gegebenenfalls erhält der Arbeiter hierüber eine Unterweisungskarte. Ferner ist hier zu erwähnen die geeignete Einbeziehung der maschinellen und sonstigen Einrichtungen in den Produktionsvorgang (Werkzeugmaschinen, Vorrichtungen, Fördermittel, Ofen und Bäder für die Wärmebehandlung); d. h. die betreffenden Einrichtungen sind so zu gruppieren, daß einwandfreie Bearbeitung bei geringsten Bedienungskosten erreicht wird. Um auch die beste Ausnutzung der Betriebsmittel zu erleichtern, werden diesen „Maschinenkarten“, „Ofenkarten“ usw. beigegeben, die alle nötigen Angaben über die Leistungsfähigkeit der Maschine, des Ofens, überhaupt der betreffenden Einrichtung enthalten.

Eine zuverlässige Vorausermittlung der Arbeitszeiten gestattet sodann genaue Übersichten über die Arbeitsbesetzung der Betriebsmittel (z. B. Werkzeugmaschinen, Formplätze) aufzustellen, die zeigen, auf welche Zeit hinaus sie für die derzeitigen Aufträge laufen. Des weiteren kann im Falle der Abgabe eines Angebots von den vorberechneten, eigentlichen Arbeitszeiten an den Werkstücken auf deren Durchgangszeit durch den Betrieb und somit auf die ganze Herstellungszeit des Fabrikats geschlossen werden. Auf Grund solcher Unterlagen können dann dem Besteller viel leichter verbindliche Lieferfristen angegeben werden, als wenn diese Hilfsmittel fehlen.

Genauere Zeitstudien vermögen auch den sogenannten „engsten Querschnitt“ des Betriebes aufzudecken; d. h. diejenige Stelle des Betriebes, die im Hinblick auf die zu bewältigende Produktion die geringste Leistungsfähigkeit aufweist. Letztere kann dabei gemessen sein entweder nach den dort vorhandenen Betriebsmitteln, oder nach den Arbeitskräften, die an dieser Stelle vielleicht nicht weiter vermehrt werden können. Da dieser „Querschnitt“ die Grenze des Ausbringens beim ganzen Fabrikationsvorgang bestimmt, so muß er der Betriebsleitung nach Lage und Leistungsfähigkeit bekannt sein.

Bei fließender Fertigung oder Montage in der Reihen- und Mengenfertigung kann man das Werkstück, das Fabrikat, die herzustellende Maschine, allgemein die Teilgruppe, von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz oder von der einen Arbeiterkolonne zur nächsten wandern lassen (wenn man nicht vorzieht, die Kolonnen wandern zu lassen). Damit nun ein stetiges Hand-in-Handarbeiten erfolgt und keine Arbeiterkolonne auf die andere zu warten braucht, so müssen die „Arbeitsportionen“ aller Kolonnen auf möglichst gleiche Größe abgestimmt sein, was wieder mit Hilfe der Zeitstudie geschieht.

Wie aus Vorstehendem ersichtlich, bilden genau bekannte Arbeitszeiten eine wichtige Grundlage für die Planung der Arbeiten wie auch der Lieferfristen.

3. Zeitstudie und Herstellungskosten

Nehmen bei der Fertigung irgendeines Produkts — etwa der Maschinenindustrie — die Verrichtungen der menschlichen Hand einen größeren Umfang ein (z. B. Teilschlosserarbeiten an Pleuelstangen), so wird in der Herstellungskostensumme der Posten „Lohnkosten“ im allgemeinen nicht klein sein gegenüber dem Posten „Unkosten“ oder „Gemeinkosten“ (Arbeitsintensive Fertigung). Handelt es sich dagegen um ein Produkt, dessen Fertigung weitgehend mechanisiert ist (z. B. kleine blanke Schrauben, kleine Stanzteile, die auf selbsttätig arbeitenden Maschinen hergestellt werden), so treten in diesem Falle die Lohnkosten verhältnismäßig zurück gegenüber den großen, auf die Lauf- oder Ausnutzungsstunde bezogenen Unkosten der mechanischen Einrichtungen (Kapitalintensive Fertigung). Aber gleichviel, in welchem Größenverhältnis die genannten beiden Posten zueinander stehen, gleichgültig, ob die Unkosten als Lohnzuschläge oder als Platzkosten (Maschinenstundensatz) erfaßt werden, stets müssen zu ihrer Bestimmung die genaue Arbeitszeit des Werkstattmannes bzw. die Lauf- oder Ausnutzungszeit des Betriebsmittels herangezogen werden.

Weitere Beziehungen zwischen Herstellungskosten und Zeitstudie ergeben sich, wenn man die Wirtschaftlichkeit verschiedener Herstellungsverfahren miteinander zu vergleichen hat. Z. B. können Fragen folgender Art auftreten: Sollen die ebenen Flächen irgendeines Werkstückes durch Hobeln oder durch Fräsen bearbeitet werden? Soll ein blanker Bolzen irgendwelcher Form unmittelbar aus der vollen Stange herausgedreht (Werkstoffabfall!) oder soll er erst vorgeschmiedet werden? Ist z. B. bei Übernahme eines Auftrages auf eine große Anzahl blanker Schrauben die Anschaffung von Drehautomaten (mit größerem Maschinenstundensatz!) gerechtfertigt oder soll man bei dem bisherigen Fertigungsverfahren (mit weniger weitgehender Automatisierung, aber größerem Anteil an Bedienungslohn) verbleiben? Zur Entscheidung über das zu wählende Fertigungsverfahren sind vollständige Herstellungskostenvergleiche (einschließlich Werkstoffkosten) anzustellen, wobei natürlich die Gesamtkostensumme ausschlaggebend ist. Wiederum spielt auch hier die Ermittlung des Zeitbedarfes die wichtigste Rolle, besonders wenn man bedenkt, daß schlechte Ausnutzungsmöglichkeit der weitgehend selbsttätigen Einrichtungen (Automaten, Transporteinrichtungen bei Fließarbeit) den Unkostenstundensatz rasch erhöht. (Es muß also Sicherheit über den Ausnutzungsgrad solcher Einrichtungen bzw. des Beschäftigungsgrades der Fabrik bestehen, um falsche Mechanisierung auszuschließen).

Selbstverständlich müssen Arbeitskräfte, die durch weitergehende Mechanisierung an einer Stelle des Betriebes freigesetzt worden sind, anderweitig im Betriebe beschäftigt werden.

Eine allgemeinere Verbindung der Zeitstudie mit den Herstellungskosten folgt daraus, daß ein Produkt der Industrie (oder des Handwerks) seinen Zweck, dem menschlichen Bedarf zu dienen, um so besser erfüllt, je größer seine Verwendungsfähigkeit und je niedriger sein Preis ist. Bei der Herstellung des Produkts prallen daher die Forderungen nach höchster Qualität und nach geringsten Kosten gewissermaßen aufeinander, so daß das Produkt als ein Kompromiß aus beiden Forderungen entsteht. Der Fabrikant ist aber auch durch den Wettbewerb gezwungen,

die Selbstkosten niedrigst zu gestalten, und wenn er sich vor Verlusten bewahren will, so muß er seine Kosten und damit auch die Arbeitszeiten möglichst genau vorausberechnen. Er hat dabei zu berücksichtigen, daß durch niedrigen Preis der Absatz und somit auch seine Verdienstmöglichkeit wieder gehoben wird, und daß er in seinem durch den größeren Absatz gewachsenen Betrieb einer weiteren Anzahl von Volksgenossen Arbeit und Verdienst bieten kann.

4. Zeitstudie und Arbeiterverdienst

Nachdem auf Arbeits- und auf Zeitstudien, wie nachgewiesen, im Interesse wirtschaftlicher Produktion nicht verzichtet werden kann, liegt es natürlich nahe, die durch die objektive Zeitstudie gewonnenen zuverlässigen Grundlagen über Arbeitszeitbedarf auch zur Errechnung eines gerechten Arbeiterverdienstes zu verwerten, indem bei Akkordarbeit bekanntlich das Produkt aus Vorgabezeit \times Stundengrundlohn gebildet wird. Mit der Festsetzung des letzteren, der dem Grad der fachlichen Ausbildung und Befähigung des Arbeiters Rechnung trägt, hat jedoch der Refa nichts zu tun, sondern er beschränkt sich, wie schon besprochen, streng auf die wissenschaftliche Ermittlung von Arbeitszeiten.

Wenn aber schon die die eigentliche Zeitstudie vorbereitende Arbeitsstudie eine Durchleuchtung des Betriebes und seiner Organisation fast zwangsläufig mit sich bringt, so fordert weiterhin die Zeitstudie gebieterisch von dem die Zeiten aufnehmenden Beamten, daß er auf dem betreffenden Fertigungsgebiet selbst Fachmann ist, daß er sich mit größter Hingabe in den Ablauf der Fertigung einlebt, daß er aber auch jederzeit, wenn erforderlich, den kritischen Maßstab anlegt und auf etwa mögliche Verbesserungen in der Produktion hinweist. Zu Unrecht wurde daher bei solchen Zeitaufnahmen gelegentlich das Mißtrauen der Arbeiter auf den Plan gerufen, welche fürchteten, daß im Gefolge dieser Aufnahmen die Stücklöhne herabgesetzt würden. Auf diesen Punkt sei daher kurz eingegangen.

Daß die gerechte Würdigung der Schwierigkeit und des Zeitbedarfs einer Arbeit (der sich beim Akkord in der Vorgabezeit ausdrückt), nur von durchaus sachverständiger Seite, nämlich durch den Betriebsingenieur und den Zeitaufnehmer erfolgt, liegt ohne Frage im Interesse des tüchtigen Werkstattarbeiters. Dieser weiß nun, an wen er sich zu wenden hat, wenn er Rat und Hilfe bei der Bewältigung eines besonders schwierigen Fertigungsauftrages benötigt; ferner wenn er auf den Einfluß der Ermüdung oder der Belästigung durch Hitze, Staub und Dämpfe auf die Fertigungszeit hinweisen will.

Um zu ersehen, welcher Art die Anforderungen sind, die an den Beurteiler von Werkstattarbeiten gestellt werden, brauchen nur einige bei der Zeitaufnahme sich ergebende Probleme betrachtet zu werden.

Bei spanabhebenden Werkzeugmaschinen z. B. müssen bei Bearbeitung bestimmter Werkstoffe mit bestimmten Werkzeugen die optimalen Geschwindigkeiten, Vorschübe und Spanstärken angewendet werden. Diese müssen daher den zuständigen Betriebsleuten bekannt sein, damit sie die Vorgabezeit rechnerisch vorausbestimmen oder den Maschinenarbeiter unterweisen können, wie er seine Bank einzustellen hat.

Bei Arbeiten aber, die vorwiegend von Hand ausgeführt werden, wie Schlosser-, Stellmacher- und Montagearbeiten, ist die Vorausbestimmung des Zeitbedarfs noch erheblich schwieriger als bei Maschinenbearbeitung. Handarbeiten sind eben der Berechnung verhältnismäßig schwer zugänglich und menschliche Eigenschaften, wie fachliches Können, Fleiß und Umsicht des Ausführenden spielen hier eine besonders große Rolle. Das gleiche gilt von den Schranken, die der menschlichen Arbeit durch die Ermüdung und durch die in gewissen Grenzen schwankenden geistigen und seelischen Veranlagungen des Menschen gesetzt sind.

Im übrigen bestehen auch bei Handarbeiten Unterschiede in der Schwierigkeit der Zeitbewertung. Einmal sind sie nämlich verbunden mit Arbeiten an weitgehend mechanisierten Einrichtungen (Automaten, Fließbänder), wo die Geschwindigkeiten und damit auch die Leistung

der Maschinen durch die betriebsseitige Arbeitsvorbereitung bis zu einem hohen Grade vorgeschrieben sind. Dann erscheint die Maschine als eine Art Schrittmacher für die menschliche oder Handarbeit, die mehr nebenher geht.

Bei anderen mechanischen Einrichtungen wiederum, wie bei einfachen Werkzeugmaschinen, Dampfhämmern, Nietmaschinen, Pressen, Holzbearbeitungsmaschinen u. a. stehen Hand- und Maschinenarbeit nicht ganz in so engem Zusammenhang, aber immerhin wiederholen sich gewisse Handhabungen, wie Ein- und Abspannen, Maschineinrücken, Messen usw. fortwährend; diese Arbeiten können daher in ihrem Zeitbedarf unter Umständen normalisiert werden.

Am schwierigsten dagegen ist die Handzeitermittlung dort, wo dem Arbeiter die unbedingte Führerrolle bei der Handarbeit zufällt, wie etwa bei Montagen, beim Freiformschmieden, bei Ausbesserungsarbeiten. Hierbei hat man es auf jeden Fall mit beseelter, persönlich betonter Arbeit zu tun, wie wir überhaupt mit dem Ausdruck „Handarbeit“ keinen Gegensatz zur sogenannten „Kopfarbeit“ ausdrücken wollen. Bei der „Handarbeit“ sind vielmehr Hand und Kopf je nach der Art der Fertigung mit wechselndem Anteil am Werke.

Nur der wirklich Sachkundige weiß, wie schwierig manche Handarbeiten sind, weil die handwerklichen Schwierigkeiten nicht immer so in die Erscheinung treten, daß sie der Außenstehende in ihrem vollen Ausmaße erkennen kann. Nur der Fachmann kann daher auch hier ermessen, welche Zeit für eine gute Arbeit füglich in Anspruch genommen werden darf.

Diese Darlegungen dürften erwarten lassen, daß der Mann der Werkstatt der Zeitstudie nach Refa Verständnis und Vertrauen entgegenbringt und das Seinige dazu beiträgt, ihre Durchführung zu erleichtern. Denn seine Beanspruchung soll dadurch in keiner Weise eine unzulässige werden; die Vorgabezeit wird derart festgelegt, daß der Fertigungsauftrag ohne Überanstrengung erledigt werden kann. Die gute Werkstattorganisation sorgt ihrerseits dafür, daß Zeitverschwendung durch Warten auf Werkstoffe, Werkzeuge, auf den Krahn usw. und damit verbundenes untätiges Herumstehen vermieden werden, daß ferner Unfallgefahren und Gesundheitsschädigungen nach Kräften begegnet wird. Der arbeitende Volksgenosse soll bei allen Maßnahmen der Fertigung in erster Linie berücksichtigt werden; das Unternehmen will in ihm nicht nur den tüchtigen Arbeiter, sondern auch den treuen Mitarbeiter sehen. Daher soll auch die Zeitstudie nicht ohne seine Mitwirkung durchgeführt werden; er soll gegebenenfalls in der Lage sein, die Arbeits- und Zeitgliederung mitzuprüfen. Denn gerade gerechte Vorgabezeiten tragen dazu bei, den Leistungswillen der Belegschaft zu stärken und das gute Einvernehmen und den Geist der Verbundenheit im Werke dauernd zu festigen. Die Zeitstudie nach Refa kommt daher allen Werksangehörigen und somit schließlich der Volksgemeinschaft zugute.

5. Schlußbemerkung

Im Rahmen vorstehender Ausführungen konnten nur die wesentlichsten Bestrebungen des Refa erwähnt werden; bezüglich ausführlicherer Darstellung muß auf das Schrifttum¹⁾ verwiesen werden. Die Vielseitigkeit des Refa-Aufgabenkreises wird außer nach dem bereits Gesagten noch dadurch verdeutlicht, daß es ja zahlreiche verschiedenartige Industrien gibt, bei denen eine Durchforschung der Arbeitsverfahren in Betracht kommt. Mannigfach sind hierbei auch die maschinellen und organisatorischen Hilfsmittel und die Arten der menschlichen Tätigkeiten. Und da überdies ständig neue Arbeitsverfahren oder sonstige Mittel zur rationellen Fertigung organisiert werden, so muß auch der Refa mit seinen Arbeiten immer weiter folgen. Indem er wirtschaftlich-wissenschaftliche Grundlagen schafft, auf die sich die Werksorganisation stützen kann, dient er der Förderung des ganzen Unternehmens.

Die Breslauer Refa-Schulungswoche, deren technische Leitung dem Verfasser übertragen war, ergab im Zuge ihrer Vorträge ein anschauliches Bild über die vielseitige und wertvolle nach Refa-Richtlinien in den Betrieben zu leistende Arbeit und über die gute Werks- und Gemeinschaftsgesinnung, von der diese Arbeiten getragen werden.

Über eine neue Art zur Berechnung der Mondstörungen

Von Hans Happel in Breslau

§ 1. Einleitende Betrachtungen. Entwicklung der Störungsfunktion

Im folgenden geben wir eine neue Methode zur Berechnung der Mondstörungen, nach der man ohne große Mühe die wichtigsten Ungleichungen erhält. Ein Mangel von verschiedenen der vorhandenen Theorien scheint uns darin zu bestehen, daß es infolge des Auftretens der kleinen Divisoren nur schwer zu übersehen ist, ob bei dem erstrebten Grad der Annäherung auch tatsächlich alle Terme berücksichtigt sind, die in Betracht kommen. In unserer Theorie wird auf Beachtung dieses Umstandes besonderer Wert gelegt. Außerdem läßt sich bei uns leicht übersehen, daß sich unter gewissen Voraussetzungen die Koordinaten in rein periodischer Form darstellen lassen. Da der uns hier zugewiesene Raum beschränkt ist, so können wir hier nicht alle Einzelheiten ausführlich darlegen, außerdem müssen wir auch die vereinfachende Annahme machen, daß die Bahn der Sonne ein Kreis ist. In einem Buche, das zum größten Teil fertiggestellt ist — insbesondere gilt dies auch von dem Kapitel über Mondtheorie — wird man alles finden, was hier weggelassen ist.

Den Mittelpunkt M der Erde wählen wir als Ursprung eines rechtwinkligen Systems $x y z$, dessen $x y$ Ebene mit der Ebene $Q m'$ der Ekliptik identisch ist, außerdem sei die x Achse nach dem Frühlingspunkt gerichtet. Mit Ω bezeichnen wir den aufsteigenden Knoten der Mondbahn, ferner sei m der von der Erde aus auf die Himmelskugel projizierte Ort des Mondes und Π sei die Projektion des Perihels. Mit π bezeichnen wir die Länge des Perihels, worunter die Summe der Winkel $x \Omega$ und $\Omega \Pi$ zu verstehen ist. Trägt man auf Ωm von Ω aus und zwar unterhalb der Ekliptik den Winkel $x \Omega$ ab, wodurch man den Punkt x_0 erhält, so ist auch $x_0 \Pi = \pi$ die Länge des Perihels. Mit $\theta = x \Omega$ bezeichnen wir die Knotenlänge. Weiter sei $v_m = x_0 m$ die wahre Länge des Mondes und $w = v_m - \pi$ sei die wahre Anomalie. Unter r verstehen wir den Radius Vector des Mondes zur Zeit t und l sei für den gleichen Moment seine mittlere Anomalie. Es gelten dann, falls a und e große Halbachse und numerische Exzentrizität des Mondes sind, für die ungestörte Bahn die folgenden Formeln, in denen Glieder mit e^3 weggelassen sind

$$r = a \left(1 + \frac{e^2}{2} - e \cos l - \frac{e^2}{2} \cos 2l \right) \quad (1)$$

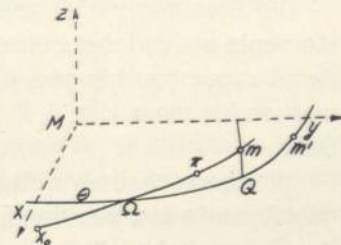
$$w = v_m - \pi = l + 2e \sin l + \frac{5}{4} e^2 \sin 2l$$

Wir denken uns noch den Großkreis der Himmelskugel durch m , der die $x y$ Ebene in Q rechtwinklig schneiden möge, und bezeichnen mit v den zu xQ gehörigen Winkel. Diese Größe $v = xQ$ wird Länge des Mondes in der Ekliptik genannt. Wir wollen noch v in seiner Abhängigkeit von t bzw. von l ermitteln. In dem rechtwinkligen sphärischen Dreieck $m \Omega Q$ sind die beiden von Ω ausgehenden Seiten $v_m - \theta$ und $v - \theta$. Also ist, falls i die Neigung der Mondbahn bedeutet,

$$\cos i = \cot (v_m - \theta) \operatorname{tg} (v - \theta)$$

oder, da wir auch von i , das wir als mit e von gleicher Ordnung betrachten, die Potenzen von höherer als der 2. Ordnung vernachlässigen und also $\cos i = 1 - \frac{i^2}{2}$ setzen:

$$\operatorname{tg} (v - \theta) = \operatorname{tg} (v_m - \theta) - \frac{i^2}{2} \operatorname{tg} (v_m - \theta) \quad (a)$$



Hieraus folgt weiter

$$1 + \operatorname{tg}(v - \theta) \operatorname{tg}(v_m - \theta) = 1 + \operatorname{tg}^2(v_m - \theta) - \frac{i^2}{2} \operatorname{tg}^2(v_m - \theta) \quad (b)$$

Da ferner

$$\operatorname{tg}(v - v_m) = \operatorname{tg}(v - \theta - v_m + \theta) = \frac{\operatorname{tg}(v - \theta) - \operatorname{tg}(v_m - \theta)}{1 + \operatorname{tg}(v - \theta) \operatorname{tg}(v_m - \theta)}$$

so folgt mit Rücksicht auf (a) und (b), falls noch Glieder von der Ordnung i^3 weggelassen werden, es ist dann auch $\operatorname{tg}(v - v_m)$ durch $v - v_m$ zu ersetzen.

$$v - v_m = \frac{-\frac{i^2}{2} \operatorname{tg}(v_m - \theta)}{1 + \operatorname{tg}^2(v_m - \theta)}$$

oder

$$v - v_m = -\frac{i^2}{4} \sin 2(v_m - \theta)$$

Da $v - v_m$ mit i^2 proportional ist, so ersetzen wir rechts noch v_m durch seinen sich aus (1) ergebenden Näherungswert $l + \pi$, für das links stehende v_m dagegen ist sein Wert aus (1) einzuführen. Wir erhalten so, und zwar wieder für die ungestörte Bahn:

$$v = l + \pi + 2e \sin l + \frac{5}{4} e^2 \sin 2l - \frac{i^2}{4} \sin 2(l + \pi - \theta) \quad (2)$$

Wir wollen noch die dritte rechtwinklige Koordinate z von m bzw. die damit in naher Beziehung stehende Tangente des Winkels mQ , also die Tangente der Breite b , als Funktion von l darstellen. Wir setzen zur Abkürzung

$$s = \operatorname{tg} b$$

Nach dem Sinussatz ist in dem rechtwinkligen Dreieck $\triangle \theta m$

$$\sin b = \sin i \sin(v_m - \theta)$$

oder wieder unter Weglassung von Gliedern von der Ordnung i^3 und mit Berücksichtigung von (1)

$$s = b = i \sin(v_m - \theta) = i \sin(l + \pi - \theta + 2e \sin l)$$

Wird noch das Sinusglied mittels der Formel für $\sin(x + y)$ umgeformt, so ergibt sich

$$s = i \sin(l + \pi - \theta) + 2e i \cos(l + \pi - \theta) \sin l$$

oder

$$s = i \sin(l + \pi - \theta) + e i \sin(2l + \pi - \theta) + e i \sin(\theta - \pi) \quad (3)$$

Wir wollen die Formeln, die r , v und s als Funktion von l geben, nochmals zusammenstellen; dabei wollen wir jedoch statt l die mittlere Länge $\lambda = l + \pi$ einführen, da wir auch später stets mit λ und nicht mit l operieren.

$$\begin{aligned} r &= a \left[1 + \frac{e^2}{2} - e \cos(\lambda - \pi) - \frac{e^2}{2} \cos 2(\lambda - \pi) \right] \\ v &= \lambda + 2e \sin(\lambda - \pi) + \frac{5}{4} e^2 \sin 2(\lambda - \pi) - \frac{i^2}{4} \sin 2(\lambda - \theta) \\ \operatorname{tg} b &= s = i \sin(\lambda - \theta) + e i \sin(2\lambda - \pi - \theta) + e i \sin(\theta - \pi) \end{aligned} \quad (4)$$

Die Gleichungen (4) gelten auch für die gestörte Bewegung, falls man in ihnen die Bahnelemente als variabel betrachtet. Wir werden im folgenden die Bahnelemente bzw. Größen, die damit zusammenhängen, als Funktionen der Zeit bestimmen; werden dann die Ausdrücke, die man so für die a , e , π , λ , θ , i erhält; in (4) eingeführt, so hat man die Gleichungen der gestörten Bahn.

Mit r bezeichnen wir die Entfernung Erde—Mond, mit Δ die Entfernung Mond—Sonne und mit φ den Winkel zwischen den Entfernungen Erde—Mond und Erde—Sonne. Ferner sei a' der Radius der Sonnenbahn, die wir, wie erwähnt, als ungestört und kreisförmig ansehen. Die Massen von

Erde, Mond und Sonne bezeichnen wir bzw. mit M , m und m' . Die Störungsfunktion R wird dann, falls \bar{f} die Gravitationskonstante ist, im Fall des Mondes durch den folgenden Ausdruck dargestellt (siehe Tisserand Traité de Méc. céleste III. pg. 90)

$$R = \bar{f} m' \left\{ \frac{1}{\Delta} - \frac{r}{a'^2} \cos \varphi \right\}.$$

Hier ist

$$\frac{1}{\Delta} = \frac{1}{a' \left\{ 1 - 2 \frac{r}{a'} \cos \varphi + \frac{r^2}{a'^2} \right\}^{1/2}} = \frac{1}{a'} \left\{ 1 + \frac{r}{a'} \cos \varphi - \frac{r^2}{2a'^2} + \frac{3}{2} \frac{r^2}{a'^2} \cos^2 \varphi + \dots \right\}$$

Da in unsern Differentialgleichungen nur die Differentialquotienten von R vorkommen, so werden wir das erste konstante Glied von $\frac{\bar{f} m'}{\Delta}$ weglassen. Außerdem vernachlässigen wir die durch Punkte angedeuteten parallaktischen Glieder, also die Terme mit $\frac{\bar{f} m' r^3}{a'^4}$ etc. In dem Spezialfall, wo r endlich, dagegen a' und auch m' unendlich groß ist — $\frac{m'}{a'^3} r^2$ möge die ihm beim Monde zukommenden Werte annehmen — würde $\frac{\bar{f} m' r^3}{a'^4}$ exakt gleich Null sein und also die Vernachlässigung der parallaktischen Terme nicht den geringsten Fehler bedingen. Infolge der Weglassungen ergibt sich so für R

$$R = -\bar{f} m' \frac{r^2}{a'^3} \left\{ \frac{1}{2} - \frac{3}{2} \cos^2 \varphi \right\}$$

Zur Berechnung der Störungen benutzen wir gewisse von Poincaré eingeführte Veränderliche $L, \varrho, \varrho_1, \lambda, \omega, \omega_1$, die falls die Einheiten so gewählt werden, daß

$$\bar{f} = 1 \text{ und } M + m = 1 \tag{5}$$

mit den Bahnelementen durch die folgenden Gleichungen zusammenhängen, die zugleich als Definitionsgleichungen der L, ϱ, \dots angesehen werden können

$$\begin{aligned} L &= M \sqrt{a} & \lambda &= \text{Mittlere Länge von } m \\ \varrho &= M \sqrt{a} (1 - \sqrt{1 - e^2}) = L (1 - \sqrt{1 - e^2}) & -\omega &= \pi = \text{Perihellänge von } m \\ \varrho_1 &= M \sqrt{a} (1 - e^2) (1 - \cos i) & -\omega_1 &= \theta = \text{Knotenlänge von } m \end{aligned} \tag{6}$$

Wie Poincaré gezeigt hat, sind die Differentialgleichungen, aus denen sich die L, ϱ, \dots bestimmen, von kanonischer Form, sie lauten

$$\begin{aligned} \frac{dL}{dt} &= -\frac{\delta H}{\delta \lambda} & \frac{d\lambda}{dt} &= \frac{\delta H}{\delta L} \\ \frac{d\varrho}{dt} &= -\frac{\delta H}{\delta \omega} & \frac{d\omega}{dt} &= \frac{\delta H}{\delta \varrho} \\ \frac{d\varrho_1}{dt} &= -\frac{\delta H}{\delta \omega_1} & \frac{d\omega_1}{dt} &= \frac{\delta H}{\delta \varrho_1} \end{aligned} \tag{7}$$

Die hier vorkommende Größe H ist dieselbe, die auch in den Delaunayschen Differentialgleichungen auftritt, es ist also

$$H = -\frac{M^3}{2L^2} - R = -\frac{M^3}{2L^2} + \frac{m' r^2}{a'^3} \left\{ \frac{1}{2} - \frac{3}{2} \cos^2 \varphi \right\} \tag{8}$$

In H und zwar in r und φ sind natürlich noch die $L, \varrho, \varrho_1, \dots$ einzuführen. Die Größe φ hängt offenbar auch von dem Polarwinkel v' der Sonne, also dem Winkel zwischen der x Achse und ihrem Radius Vector, ab. Dieses v' ist wegen der Kreisbahn der Sonne eine bekannte lineare Funktion der Zeit, wir denken es uns demgemäß durch t ausgedrückt.

Es empfiehlt sich, die r und q zunächst durch die Bahnelemente auszudrücken, alsdann führen wir statt dieser mittels der Relationen (6) die L , q , i ein. Wir betrachten e und i als von gleicher Ordnung, die quadratischen Terme wollen wir noch mitnehmen, aber die Glieder mit e^3 , $e^2 i$, . . . vernachlässigen. Bezogen auf das zu Beginn dieses Paragraphen erwähnte rechtwinklige System, seien x , y , z die Koordinaten des Mondes, für die Sonne, die sich in der $x y$ Ebene bewegt, kommen nur 2 Koordinaten x' , y' in Betracht. Durch Anwendung des Cosinussatzes auf die Dreiecke $x \Omega m$ und $y \Omega m$ — man beachte, daß in letzterem $\Omega y = 90 - x \Omega = 90 - \theta$ ist — erhalten wir die 2 ersten der folgenden Gleichungen, die 3. ergibt sich aus dem Dreieck $m \Omega Q$

$$\begin{aligned}x &= r (\cos (v_m - \theta) \cos \theta - \sin (v_m - \theta) \sin \theta \cos i) \\y &= r (\cos (v_m - \theta) \sin \theta + \sin (v_m - \theta) \cos \theta \cos i) \\z &= r \sin (v_m - \theta) \sin i\end{aligned}$$

oder, da bei der Näherung, auf die wir uns beschränken, $\cos i = 1 - \frac{i^2}{2}$ ist

$$\begin{aligned}x &= r \left(\cos v_m + \frac{i^2}{2} \sin (v_m - \theta) \sin \theta \right) \\y &= r \left(\sin v_m - \frac{i^2}{2} \sin (v_m - \theta) \cos \theta \right)\end{aligned}\tag{c}$$

Man hat ferner

$$\begin{aligned}x' &= a' \cos v' \\y' &= a' \sin v'\end{aligned}\tag{d}$$

Mit Benutzung der Formeln für $2 \sin x \cos y$ und $2 \sin x \sin y$ erhält man so nach leichter Rechnung

$$\cos \varphi = \frac{x x' + y y'}{r a'} = \cos (v_m - v') - \frac{i^2}{4} \cos (v_m - v') + \frac{i^2}{4} \cos (v_m + v' - 2 \theta)\tag{e}$$

In dem sich hieraus für $\cos^2 \varphi$ ergebenden Ausdruck ist dann für v_m sein Wert aus (1) einzusetzen, wobei wir noch statt l die mittlere Länge λ mittels $l = \lambda - \pi$ einführen. Ferner drücken wir noch v' durch die mittlere Länge λ' der Sonne aus, wegen ihrer Kreisbahn ist

$$v' = \lambda'$$

Weiter ist für das in H ebenfalls auftretende r sein Wert aus (1) einzuführen, auch hier ist l durch $\lambda - \pi$ zu ersetzen. Nachdem dann noch die Ausdrücke für r^2 und $r^2 \cos^2 \varphi$ gebildet sind, ist dann H durch die Bahnelemente ausgedrückt. Erwähnt sei noch, daß wir die Produkte von trigonometrischen Faktoren stets umformen mittels Formeln wie z. B. $2 \cos x \cos y = \cos (x + y) + \cos (x - y)$. Die Zwischenrechnung übergehen wir. Als Resultat erhält man

$$\begin{aligned}H &= -\frac{M^3}{2 L^2} - \frac{m' a^2}{a'^3} \left[\frac{1}{4} + \frac{3}{8} e^2 - \frac{3}{8} i^2 + \left(\frac{3}{4} - \frac{15}{8} e^2 - \frac{3}{8} i^2 \right) \cos 2 (\lambda - \lambda) \right. \\&\quad - \frac{e}{2} \cos (\lambda - \pi) - \frac{9}{4} e \cos (\lambda + \pi - 2 \lambda') + \frac{3}{4} e \cos (3 \lambda - \pi - 2 \lambda') \\&\quad - \frac{e^2}{8} \cos 2 (\lambda - \pi) + \frac{15}{8} e^2 \cos (2 \lambda' - 2 \pi) + \frac{3}{4} e^2 \cos (4 \lambda - 2 \pi - 2 \lambda') \\&\quad \left. + \frac{3}{8} i^2 \cos (2 \lambda - 2 \theta) + \frac{3}{8} i^2 \cos (2 \lambda' - 2 \theta) \right]\end{aligned}\tag{9}$$

Die hier vorkommenden Größen π und θ , die, abgesehen vom Vorzeichen mit den Poincaréschen Größen ω und ω_1 identisch sind, wollen wir beibehalten, auch in den Differentialgleichungen gebrauchen wir sie; aber statt a , e und i führen wir die Poincaréschen Variablen L , q und q_1 ein. Aus (6) ergibt sich, indem man wieder Terme von höherer als der zweiten Ordnung weg-

läßt und beachtet, daß q von der Ordnung e^2 und q_1 von der Ordnung i^2 (und also auch von der Ordnung e^2) ist

$$a^2 = \frac{L^4}{M^4} \quad (f)$$

$$e^2 = \frac{2q}{L} \quad e = \sqrt{\frac{2q}{L}} \quad i^2 = \frac{2q_1}{L}$$

Nachdem die L , q , q_1 in H eingeführt sind, ergibt sich so für H der folgende Ausdruck

$$H = -\frac{M^3}{2L^2} - \frac{m'L^4}{M^4 a^3} \left[\frac{1}{4} + \frac{3q}{4L} - \frac{3q_1}{4L} + \left(\frac{3}{4} - \frac{15q}{4L} - \frac{3q_1}{4L} \right) \cos 2(\lambda - \lambda') \right. \\ \left. - \sqrt{\frac{q}{2L}} \cos(\lambda - \pi) - \frac{9}{2} \sqrt{\frac{q}{2L}} \cos(\lambda + \pi - 2\lambda') + \frac{3}{2} \sqrt{\frac{q}{2L}} \cos(3\lambda - \pi - 2\lambda') \right. \\ \left. - \frac{q}{4L} \cos 2(\lambda - \pi) + \frac{15q}{4L} \cos(2\lambda' - 2\pi) + \frac{3q}{2L} \cos(4\lambda - 2\pi - 2\lambda') \right. \\ \left. + \frac{3q_1}{4L} \cos(2\lambda - 2\theta) + \frac{3q_1}{4L} \cos(2\lambda' - 2\theta) \right] \quad (10)$$

Bei der Ableitung der Gleichungen (c) machten wir von dem Näherungswert $1 - \frac{i^2}{2}$ für $\cos i$ Gebrauch, das wichtigste der weggelassenen Glieder ist offenbar von der Ordnung i^4 , mithin sind die Relationen (c) und also auch (e) nicht nur bis einschließlich der Glieder mit i^2 , sondern sogar noch bis einschließlich der Terme von der Ordnung i^3 exakt. Würde man auch in den Ausdrücken (1) für r und v_m noch die Glieder mit e^3 mitgenommen haben (Terme mit i treten hier nicht auf), so würde man den Ausdruck (9) für H bis einschließlich der Glieder 3. Ordnungen in bezug auf die Exzentrizität und Neigung erhalten haben. Es würde sich dann zeigen, daß es unter diesen Termen 3. Ordnung keine gibt, die nicht mit einem Cosinusfaktor behaftet sind. Die Terme, die frei von einem Cosinusfaktor sind, werden also in (9) und auch in (10) bis einschließlich der Glieder 3. Ordnung in bezug auf die Exzentrizität und Neigung richtig wiedergegeben. Erwähnt sei noch, daß selbst, wenn noch die eben genannten Terme 3. Ordnung mitberücksichtigt werden, es unter den mit einem Cosinusfaktor behafteten Gliedern keine gibt, bei denen das Argument dieses Faktors nur von π und θ allein abhängt, vielmehr tritt hier stets wenigstens eine der Variablen λ oder λ' auf.

Wir schreiben die Differentialgleichungen nochmals hin, wobei wir, wie schon erwähnt, statt der ω , ω_1 die π , θ benutzen

$$\frac{dL}{dt} = -\frac{\delta H}{\delta \lambda} \quad \frac{d\lambda}{dt} = \frac{\delta H}{\delta L}$$

$$\frac{dq}{dt} = +\frac{\delta H}{\delta \pi} \quad \frac{d\pi}{dt} = -\frac{\delta H}{\delta q} \quad (11)$$

$$\frac{dq_1}{dt} = +\frac{\delta H}{\delta \theta} \quad \frac{d\theta}{dt} = -\frac{\delta H}{\delta q_1}$$

Die Gleichungen (6), (10) und (11) bilden die Grundlage für das folgende.

Weiterhin haben wir die Größe H in die Differentialgleichungen (11) einzuführen und durch Integration die L , q , . . . in ihrer Abhängigkeit von t zu ermitteln. Dann sind die so für die L , q , . . . erhaltenen Ausdrücke in (6) einzusetzen, wodurch sich die Bahnelemente als Funktionen von t ergeben. Setzt man schließlich noch die hierfür erhaltenen Werte in (4) ein, so hat man die Gleichungen der gestörten Bahn.

§ 2. Die Differentialgleichungen in erster Näherung

Von der Funktion H ist das erste Glied $-\frac{M^3}{2L^2}$ endlich, der übrige Teil dagegen enthält gemäß (9) den kleinen Faktor $\frac{m' a^2}{a'^3}$. Wir betrachten a als endlich, es ist daher $\frac{m' a^2}{a'^3}$ von derselben Ordnung wie $m' \left(\frac{a}{a'}\right)^3$. Wir wollen $\sqrt{m' \left(\frac{a}{a'}\right)^3}$, e und i als kleine Größen erster Ordnung betrachten; wir haben dann H , da wir hier noch die Terme mit e^2 und i^2 berücksichtigt haben, bis einschließlich der Glieder 4. Ordnung entwickelt.

Durch die Integration der Differentialgleichungen erhält man aber die L, ϱ, \dots nicht bis einschließlich der Terme 4. Ordnung genau. Um dies zu erläutern, betrachten wir die Gleichungen

$$\frac{d\pi}{dt} = -\frac{\delta H}{\delta \varrho} \qquad \frac{d\theta}{dt} = -\frac{\delta H}{\delta \varrho_1} \qquad (a)$$

Bedenkt man, daß ϱ und ϱ_1 gemäß § 1 (f) beide von 2. Ordnung sind, so folgt, daß durch diese Differentiationen nach ϱ und ϱ_1 die Ordnung um 2 Einheiten herabgedrückt wird. Aus dem Glied 4. Ordnung in der letzten Zeile von $-H$

$$\frac{m' L^4}{M^4 a'^3} \frac{3}{4} \frac{\varrho_1}{L} \cos(2\lambda' - 2\theta) \qquad (b)$$

beispielsweise erhält man nach der Differentiation nach ϱ_1 das Glied

$$\frac{m' L^3}{M^4 a'^3} \frac{3}{4} \cos(2\lambda' - 2\theta) \qquad (c)$$

das 2. Ordnung ist.

Aber auch durch die Integration kann die Ordnung erniedrigt werden. Wir sahen, daß in $-\frac{\delta H}{\delta \varrho_1}$ u. a. das Glied (c) auftritt, und hieraus wird bei der Integration der Gleichung $\frac{d\theta}{dt} = -\frac{\delta H}{\delta \varrho_1}$, falls n und n' die mittleren Bewegungen von Mond und Sonne sind und wir, was in erster Näherung gestattet ist, L und θ als konstant und λ' als lineare Funktion von t ansehen

$$\frac{m' L^3}{M^4 a'^3} \frac{3}{4} \frac{\sin(2\lambda' - 2\theta)}{2n'}$$

Da die Sonnenmasse m' so außerordentlich groß ist gegen die Erdmasse M , so hat man

$$n' = \frac{\sqrt{M+m'}}{a'^3} = \frac{\sqrt{m'}}{a'^3}$$

Da a von der Ordnung 1 (also endlich) ist, so ist also n' von der Ordnung $\sqrt{m' \left(\frac{a}{a'}\right)^3}$, also klein von erster Ordnung. Der Grund für die Erniedrigung der Ordnung durch die Integration liegt offenbar darin, daß bei dem betreffenden Glied das Argument des trigonometrischen Faktors von λ' allein abhängt; würde statt λ' das λ vorkommen, und dann nach der Integration im Nenner n statt n' auftreten, so würde die Ordnung durch die Integration nicht erniedrigt werden; denn wegen (5) ist $n = \frac{1}{a'^2}$ von der Ordnung 1. Indem man die einzelnen Terme von $-H$ untersucht, erkennt man ohne Mühe, daß bei den 2 Differentialgleichungen (a) nur in den zwei folgenden von ϱ und ϱ_1 abhängigen Gliedern die Ordnung durch die Integration herabgedrückt wird.

$$+\frac{15}{4} \frac{m' L^4}{M^4 a'^3} \frac{\varrho}{L} \cos(2\lambda' - 2\pi) \quad \text{und} \quad +\frac{3}{4} \frac{m' L^4}{M^4 a'^3} \frac{\varrho_1}{L} \cos(2\lambda' - 2\theta). \qquad (d)$$

Das letzte Glied ist identisch mit dem, das wir im Vorangehenden in (b) betrachteten.

Bei den in (d) angegebenen Gliedern wird, wie wir sahen, durch die Differentiation die Ordnung um zwei Einheiten und durch die Integration um eine Einheit erniedrigt, sie wird also im ganzen um drei Einheiten vermindert. Doch darf daraus nicht gefolgert werden, daß man in

den definitiven Formeln für r , v und s außer endlichen Größen nur noch diejenigen erhält, die klein von der ersten Ordnung sind. Denn bei den zwei erwähnten Termen (d) kommt ja die Erniedrigung der Ordnung um drei Einheiten nur bei der Integration der zwei Differentialgleichungen (a) in Frage. Also nur bei der Bestimmung von π und θ kommt die Erniedrigung der Ordnung um drei Einheiten in Betracht. In den Ausdrücken (4) für r , v und s kommen nun π und θ nur in Gliedern vor, die klein von der ersten oder von noch höherer Ordnung sind. Wenn wir also π und θ nur bis einschließlich der Glieder 1. Ordnung exakt ermitteln, so werden wir trotzdem r , v und s bis einschließlich der Terme 2. Ordnung exakt erhalten.

Die Größe a und also auch L werden wir ebenfalls bis einschließlich der Terme 2. Ordnung ermitteln. Dasselbe gilt von λ , das das erste endliche Glied von v ausmacht. Selbstverständlich müssen auch in e und i die Terme 2. Ordnung berücksichtigt werden.

Auf Grund des Vorangehenden folgt, daß wir bei der Bildung der zwei Differentialgleichungen (a) von H bzw. $-H$ nicht nur alle Terme 3. Ordnung, soweit sie von q bzw. q_1 abhängen, mitberücksichtigen müssen, sondern außerdem auch noch diejenigen Glieder 4. Ordnung, die in (d) angegeben sind, da bei ihnen auch noch durch die Integration die Ordnung erniedrigt wird. Außerdem wollen wir noch aus einem gleich anzugebenden Grunde bei der ersten der Gleichungen (a) das folgende in der ersten Zeile von $-H$ vorkommende Glied

$$\frac{3}{4} \frac{m' L^4}{M^4 a'^3} \frac{q}{L}$$

berücksichtigen und ferner bei der zweiten Gleichung (a) das ebenfalls in der ersten Zeile von $-H$ auftretende Glied

$$-\frac{3}{4} \frac{m' L^4}{M^4 a'^3} \frac{q_1}{L}$$

Beide Glieder sind von der 4. Ordnung, und diese wird durch die Differentiation um zwei Einheiten erniedrigt, die Integration verändert die Ordnung nicht. Obwohl also beide Terme nach der Differentiation und Integration von einer Ordnung sind, die wir sonst bei der Ermittlung von π und θ vernachlässigen, so behalten wir sie trotzdem bei; denn in den Formeln für π und θ treten die aus diesen Termen herrührenden Glieder mit t multipliziert auf, da wir bei der Integration unter Vernachlässigung von kleinen Größen höherer Ordnung L , q , q_1 als konstant ansehen. Die zwei Terme geben also Anlaß zu sekularen Störungen. Auf Grund des Gesagten ergeben sich für π und θ die folgenden Differentialgleichungen

$$\begin{aligned} \frac{d\pi}{dt} = \frac{m' L^4}{M^4 a'^3} & \left[\frac{3}{4L} - \frac{1}{2\sqrt{2}Lq} \cos(\lambda - \pi) - \frac{9}{4\sqrt{2}Lq} \cos(\lambda + \pi - 2\lambda') \right. \\ & \left. + \frac{3}{4\sqrt{2}Lq} \cos(3\lambda - \pi - 2\lambda') + \frac{15}{4L} \cos 2(\lambda' - \pi) \right] \quad (12) \\ \frac{d\theta}{dt} = \frac{m' L^4}{M^4 a'^3} & \left[-\frac{3}{4L} + \frac{3}{4L} \cos(2\lambda' - 2\theta) \right] \end{aligned}$$

Bei der Bildung der Differentialgleichungen

$$\frac{dL}{dt} = -\frac{\delta H}{\delta \lambda} \qquad \frac{d\lambda}{dt} = \frac{\delta H}{\delta L} \quad (e)$$

kommen, falls bei der zweiten auch der Grad der Annäherung, den wir erstreben, berücksichtigt wird, die nur von λ' abhängigen Cosinusglieder nicht in Betracht. Bei beiden Gleichungen wird daher weder durch die Differentiation noch durch die Integration die Ordnung erniedrigt. Die Bildung der Gleichungen bietet nun weiter keine Schwierigkeiten, wir geben daher gleich das Resultat an

$$\begin{aligned} \frac{dL}{dt} = \frac{m' L^4}{M^4 a'^3} & \left[-\frac{3}{4} \sin 2(\lambda - \lambda') \right] \quad (13) \\ \frac{d\lambda}{dt} = \frac{M^3}{L^3} - \frac{m'}{M^4 a'^3} & \left[L^3 + 3L^3 \cos 2(\lambda - \lambda') \right] \end{aligned}$$

Wir betrachten jetzt die Gleichung

$$\frac{d\varrho_1}{dt} = \frac{\delta H}{\delta \theta} \quad (f)$$

Für die Bildung der rechten Seite kommen nur die 2 letzten Terme von H in Frage, die beide 4. Ordnung sind. Durch die Differentiation, also durch die Bildung von $\frac{\delta H}{\delta \theta}$, wird die Ordnung nicht erniedrigt, durch die Integration wird nur bei dem letzten Gliede von H die Ordnung um eine Einheit herabgedrückt. Das wichtigste Glied von ϱ_1 ist also 3. Ordnung. Daher könnte es scheinen, als hätten wir $\frac{\delta H}{\delta \theta} = 0$ zu setzen. Dies ist jedoch unrichtig. Denn es kommt uns nicht darauf an, ϱ_1 zu ermitteln, sondern die in (4) vorkommende Neigung i , wobei nach § 1(f) unter Weglassung von Größen 4. Ordnung.

$$\varrho_1 = \frac{L i^2}{2} \quad (g)$$

Führt man dies in die Differentialgleichung ein, so geht sie, falls ihre rechte Seite zur Abkürzung mit A bezeichnet wird, über in

$$\frac{d\varrho_1}{dt} = \frac{1}{2} \frac{d(L i^2)}{dt} = A$$

Bezeichnet man mit L_0 und i_0 die Werte von L und i in der ungestörten Bewegung, so ergibt sich durch Integration

$$L i^2 = L_0 i_0^2 + 2 \int A dt$$

wobei $\int A dt$ von der 3. Ordnung ist. Wir setzen

$$L = L_0 + \Delta L$$

hier ist, wie man durch Integration der Gleichung für $\frac{dL}{dt}$ findet, ΔL klein 2. Ordnung. Unter Vernachlässigung des Gliedes $i^2 \Delta L$, das 4. Ordnung ist, folgt

$$i^2 = i_0^2 + \frac{2}{L_0} \int A dt$$

Ferner setzen wir noch

$$i = i_0 + \Delta i$$

und erhalten bei Weglassung von Termen 4. Ordnung

$$i_0^2 + 2 i_0 \Delta i = i_0^2 + \frac{2}{L_0} \int A dt$$

oder

$$\Delta i = \frac{1}{L_0 i_0} \int A dt \quad (h)$$

Infolge des Umstandes, daß wir nicht ϱ_1 , sondern i bzw. Δi suchen, wird also rechts die Ordnung abermals um eine Einheit erniedrigt; denn i_0 tritt im Nenner auf. Obwohl A 4. Ordnung, ist $\frac{1}{L_0 i_0} \int A dt$ nur 2. Ordnung. Bei der Bildung der Differentialgleichung $\frac{\delta \varrho_1}{dt}$ haben wir also von H nur das letzte Glied, das durch die Integration seine Ordnung erniedrigt, zu berücksichtigen.

Bei der letzten noch zu betrachtenden Gleichung, nämlich

$$\frac{d\varrho}{dt} = \frac{\delta H}{\delta \pi} \quad (i)$$

ist alles analog wie bei der, mit der wir uns eben beschäftigten. Auch hier ist zu sagen, daß es uns eigentlich nicht darauf ankommt, die links auftretende Größe ϱ zu ermitteln, sondern die

Variabele e , die gemäß § 1 (f) mit q in ähnlicher Weise zusammenhängt wie q_1 mit i . Bezeichnet man mit e_o die Exzentrizität der ungestörten Bahn und setzt man $e = e_o + \Delta e$, so tritt in Analogie zu h) bei der Ermittlung von Δe rechts im Nenner e_o auf, wodurch wieder die Ordnung erniedrigt wird. Die Differentialgleichungen für $\frac{d q_1}{d t}$ und $\frac{d q}{d t}$ lauten also

$$\begin{aligned} \frac{d(L i^2)}{d t} &= -\frac{m' L^4}{M^4 a'^3} \frac{3}{2} i^2 \sin 2(\lambda' - \theta) \\ \frac{d q}{d t} &= -\frac{m' L^4}{M^4 a'^3} \left[-\sqrt{\frac{q}{2L}} \sin(\lambda - \pi) + \frac{9}{2} \sqrt{\frac{q}{2L}} \sin(\lambda + \pi - 2\lambda') \right. \\ &\quad \left. + \frac{3}{2} \sqrt{\frac{q}{2L}} \sin(3\lambda - \pi - 2\lambda') + \frac{15}{2} \frac{q}{L} \sin 2(\lambda' - \pi) \right] \end{aligned} \quad (14)$$

Die Gleichungen (12), (13) und (14) sind es, mit deren Integration wir uns im folgenden zu beschäftigen haben.

§ 3. Integration der Differentialgleichungen

Die Integrationskonstanten der 2 Gleichungen (12) seien π_o und θ_o, λ_o sei die der 2. Gleichung (13) und i_o und q_o seien die von (14), unter $\pi_o, \theta_o, \lambda_o, i_o, q_o$ verstehen wir die Werte der $\pi, \theta, \lambda, i, q$, die der ungestörten Bewegung entsprechen, und zwar soll, genau gesagt, λ_o das λ der ungestörten Bahn für $t = o$ sein. Die Integrationskonstante der ersten Gleichung (13) möge $L_o + \Delta L$ sein, dabei soll L_o das L der ungestörten Bewegung sein, und unter ΔL verstehen wir eine kleine konstante Größe, die mit der Störung verschwindet. Über ΔL dürfen wir — wenigstens bis zu einem gewissen Grade — beliebig verfügen; denn irgendein vorgegebener Wert, der der Integrationskonstanten $L_o + \Delta L$ zukommt, kann ja stets durch passende Wahl von L_o — auch nachdem über ΔL verfügt ist — erzielt werden. Dieses L_o darf dann immer noch als das L der ungestörten Bewegung angesehen werden. Denn uns ist ja nur die wirkliche Bahn, also die gestörte Bewegung gegeben, von der ungestörten Bahn wissen wir nur, daß sie wenigstens innerhalb eines nicht zu großen Zeitintervalls eine von der wirklichen Bewegung wenig abweichende Keplersche Ellipse sein muß. Was wir unter der ungestörten Bahn verstehen, ist also bis zu einem gewissen Grade willkürlich.

Bei der Integration unserer Differentialgleichungen werden wir rechts in allen denjenigen Gliedern, die klein sind, also mit der Störung verschwinden, die L, q, i, π, θ als konstant ansehen und λ als lineare Funktion von t betrachten. Wir ersetzen also dabei in den genannten Termen die L, q, i, π, θ durch die ihnen in der ungestörten Bewegung zukommenden Werte $L_o, q_o, i_o, \pi_o, \theta_o$, und dasselbe gilt von λ . Die Größe λ' ist sogar exakt eine lineare Funktion von t . Die mittleren Bewegungen der ungestörten Bahnen von Mond und Sonne bezeichnen wir mit n und n' (der Index o , den wir sonst den Größen der ungestörten Bahn zufügen, soll also hier weggelassen werden).

Wir integrieren zunächst die Gleichung für $\frac{dL}{dt}$. Wir erhalten, da wir die Integrationskonstante mit $L_o + \Delta L$ bezeichnen

$$L = L_o + \Delta L + \frac{m' L_o^4}{M^4 a'^3} \frac{3}{4(n - n')} \cos 2(\lambda - \lambda') \quad (a)$$

Wir sahen bereits im vorigen Paragraphen, daß n' klein 1. Ordnung ist, während n als endlich anzusehen ist. Daher kann in der letzten Gleichung im letzten Glied $n - n'$ unter Weglassung von Größen höherer Ordnung durch n ersetzt werden. Dieses n wollen wir noch durch L bzw. L_o ausdrücken. Es ist nach (6)

$$L^3 = M^3 a^{3/2} = \frac{M^3}{n}$$

Da aber das n von (a) und also auch das n der letzten Gleichung sich auf die ungestörte Bewegung bezieht, so muß in der letzten Relation dasselbe auch für das L und das a zutreffen. Wir haben also hier das L durch L_0 zu ersetzen, wir erhalten so

$$n = \frac{M^3}{L_0^3}$$

Mithin wird

$$L = L_0 + \Delta L + \frac{3 m' L_0^7}{4 M^7 a'^3} \cos 2(\lambda - \lambda') \quad (b)$$

Wir wenden uns nun zur Integration der Gleichung für $\frac{d\lambda}{dt}$. Hier ist das erste Glied der rechten Seite $\frac{M^3}{L^3}$ endlich. Daher darf hier nicht $L = L_0$ gesetzt werden, sondern es muß für L sein Wert aus (b) benutzt werden. Also hat man bei Vernachlässigung kleiner Größen höherer Ordnung und weil wir in (b) die 2 letzten Terme als von gleicher Ordnung betrachten

$$\frac{1}{L^3} = \frac{1}{L_0^3 \left(1 + \frac{\Delta L}{L_0} + \frac{3 m' L_0^6}{4 M^7 a'^3} \cos 2(\lambda - \lambda')\right)^3} = \frac{1}{L_0^3} - \frac{3 \Delta L}{L_0^4} - \frac{9 m' L_0^3}{4 M^7 a'^3} \cos 2(\lambda - \lambda').$$

Diesen Wert für $\frac{1}{L^3}$ führen wir in das erste Glied der rechten Seite der Differentialgleichung für $\frac{d\lambda}{dt}$ ein, in allen weiteren Gliedern darf $L = L_0$ gesetzt werden, und λ und λ' ersetzen wir durch die ihnen in der ungestörten Bewegung zukommenden linearen Funktionen von t . Man erhält also

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{M^3}{L_0^3} - \frac{3 M^3 \Delta L}{L_0^4} - \frac{m'}{M^4 a'^3} \left[L_0^3 + \frac{21}{4} L_0^3 \cos 2(\lambda - \lambda') \right]$$

Durch Integration folgt hieraus, falls wieder das im Nenner des kleinen Gliedes mit $\cos 2(\lambda - \lambda')$ auftretende $n - n'$ durch n ersetzt wird

$$\lambda = \lambda_0 + \left(\frac{M^3}{L_0^3} - \frac{3 M^3 \Delta L}{L_0^4} - \frac{m' L_0^3}{M^4 a'^3} \right) t - \frac{21 m' L_0^3}{8 n M^4 a'^3} \sin 2(\lambda - \lambda') \quad (c)$$

Das links vorkommende λ ist das λ der gestörten Bewegung. Dagegen ist rechts ebenso wie auch auf der rechten Seite von (b) unter λ das λ der ungestörten Bewegung zu verstehen; dasselbe gilt auch für die rechten Seiten der noch weiterhin abzuleitenden Gleichungen für ϱ , π , i und θ .

Da wir das ΔL so wählen wollen, daß es mit der Störung verschwindet, so ergibt (c) für das λ der ungestörten Bewegung

$$\lambda_0 + \frac{M^3}{L_0^3} t. \quad (d)$$

Dagegen ergibt dieselbe Gleichung, falls von periodischen Störungen abgesehen wird, für das λ der gestörten Bahn

$$\lambda_0 + \left(\frac{M^3}{L_0^3} - \frac{3 M^3 \Delta L}{L_0^4} - \frac{m' L_0^3}{M^4 a'^3} \right) t. \quad (e)$$

Wir wollen es nun einzurichten suchen, daß, falls von periodischen Termen abgesehen wird, die Umlaufzeit der gestörten Bahn gleich der der ungestörten ist. Dies ist damit identisch, daß wir verlangen, die mittleren Bewegungen beider Bahnen sollen gleich groß sein. Es müssen dann also in (d) und (e) die Faktoren von t übereinstimmen. Hieraus ergibt sich für ΔL der folgende Wert

$$\Delta L = - \frac{m' L_0^7}{3 M^7 a'^3}. \quad (f)$$

Bei dieser Wahl von ΔL werden offenbar die 2 letzten Terme von (b) von gleicher Ordnung, entsprechend einer Bemerkung, die wir unmittelbar nach Gleichung (b) machten. Offenbar ist $\frac{\Delta L}{L_0}$ von der Ordnung $m' \left(\frac{a}{a'}\right)^3$, also von 2. Ordnung, dasselbe gilt vom letzten Glied im Ausdruck (b) für L .

Den eben für ΔL erhaltenen Wert setzen wir ein in die früher für L und λ gefundenen Ausdrücke, man erhält so

$$L = L_0 - \frac{m' L_0^7}{3 M^7 a'^3} + \frac{3 m' L_0^7}{4 M^7 a'^3} \cos 2(\lambda - \lambda') \quad (g)$$

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{M^3}{L_0^3} t - \frac{m' L_0^3}{M^4 a'^3} \frac{21}{8 n} \sin 2(\lambda - \lambda')$$

wobei der Faktor von t nämlich $\frac{M^3}{L_0^3}$ die mittlere Bewegung der ungestörten und bei Außerachtlassung der periodischen Störungen auch die der gestörten Bewegung ist.

Das den L_0 entsprechende a sei a_0 , L_0 und a_0 beziehen sich beide auf die ungestörte Bahn, a_0 ist also die große Halbachse der ungestörten Ellipse und hängt mit dem L_0 in derselben Weise zusammen wie das a mit dem L . Also gilt

$$L_0 = M \sqrt{a_0} \quad (15)$$

Wegen dieser Beziehung schreibt sich die mittlere Bewegung n auch wie folgt

$$n = \frac{M^3}{L_0^3} = \frac{1}{a_0^{3/2}} \quad (16)$$

Endlich definieren wir noch eine Größe α durch

$$\alpha = \frac{a_0}{a'} \quad (17)$$

Wird M gegen m' und m gegen M vernachlässigt, so hat man

$$n' = \sqrt{\frac{m'}{a'^3}} \quad \frac{n'}{n} = \sqrt{\frac{m'}{M} \left(\frac{a_0}{a'}\right)^3} = \sqrt{\frac{m'}{M}} \alpha^3 \quad (18)$$

Mit Rücksicht auf (16) und (17) ergeben sich aus (g) für L und λ die folgenden Ausdrücke

$$L = L_0 \left[1 - \frac{1}{3} \frac{m'}{M} \alpha^3 + \frac{3}{4} \frac{m'}{M} \alpha^3 \cos 2(\lambda - \lambda') \right] \quad (19)$$

$$\lambda = \lambda_0 + nt - \frac{m'}{M} \alpha^3 \frac{21}{8} \sin 2(\lambda - \lambda')$$

Hier sind λ_0 und L_0 (bzw. das hiermit durch (15) verbundene a_0) die Integrationskonstanten.

Wir wenden uns jetzt zur Integration der Gleichungen für $\frac{d\varrho}{dt}$ und $\frac{d\pi}{dt}$. Indem man dabei analog wie im Vorangehenden verfährt, erhält man die folgenden Formeln, in denen ϱ_0 und π_0 Integrationskonstanten sind.

$$\varrho = \varrho_0 - \frac{m' L_0^4}{M^4 a'^3} \left[\sqrt{\frac{\varrho_0}{2 L_0}} \frac{\cos(\lambda - \pi_0)}{n} - \frac{9}{2} \sqrt{\frac{\varrho_0}{2 L_0}} \frac{\cos(\lambda + \pi_0 - 2\lambda')}{n - 2n'} \right. \\ \left. - \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\varrho_0}{2 L_0}} \frac{\cos(3\lambda - \pi_0 - 2\lambda')}{3n - 2n'} - \frac{15 \varrho_0 \cos 2(\lambda' - \pi_0)}{2 L_0 2n'} \right] \quad (h)$$

$$\pi = \pi_0 + \frac{m' L_0^4}{M^4 a'^3} \left[\frac{3t}{4 L_0} - \frac{1}{2 \sqrt{2} L_0 \varrho_0} \frac{\sin(\lambda - \pi_0)}{n} - \frac{9}{4 \sqrt{2} L_0 \varrho_0} \frac{\sin(\lambda + \pi_0 - 2\lambda')}{n - 2n'} \right. \\ \left. + \frac{3}{4 \sqrt{2} L_0 \varrho_0} \frac{\sin(3\lambda - \pi_0 - 2\lambda')}{3n - 2n'} + \frac{15 \sin 2(\lambda' - \pi_0)}{4 L_0 2n'} \right]$$

In q und π , und zwar innerhalb der eckigen Klammern treten die Nenner $n - 2n'$ und $3n - 2n'$ auf; analog wie es bei L und λ geschah, dürfen wir diese Nenner durch n und $3n$ ersetzen. In den definitiven Formeln für die Bahnelemente e und π werden wir auch die eben erwähnten Vernachlässigungen machen, aber an den Nennern in den vorstehenden Formeln wollen wir nichts ändern, da für spätere Betrachtungen die Werte von q und π , so wie sie eben angegeben sind, in Rechnung zu setzen sind. Bei den eben angedeuteten späteren Überlegungen haben wir übrigens auch noch andere in (h) weggelassene Terme zu berücksichtigen.

Analog wie wir das a der ungestörten Bewegung mit a_0 bezeichnen, so führen wir jetzt auch eine Größe e_0 ein, die die Exzentrizität der ungestörten Bewegung sein soll. Da sich auch L_0 und q_0 auf die ungestörte Bewegung beziehen, so ist nach (6)

$$q_0 = L_0 (1 - \sqrt{1 - e_0^2}) = \frac{L_0 e_0^2}{2} (1 + \frac{1}{4} e_0^2 + \dots) \quad (20)$$

In den Korrektionsgliedern der Formeln für q und π werden wir unter Vernachlässigung von Gliedern höherer Ordnung setzen

$$\sqrt{\frac{q_0}{2L_0}} = \frac{q_0}{L_0 e_0} \quad \sqrt{2L_0 q_0} = L_0 e_0$$

Hieraus und aus (16), (17) und (18) folgt dann, daß sich q und π auch wie folgt schreiben lassen

$$q = q_0 \left[1 - \frac{m'}{M} \alpha^3 \left\{ \frac{\cos(\lambda - \pi_0)}{e_0} - \frac{9 \cos(\lambda + \pi - 2\lambda')}{2e_0 (1 - 2\frac{n'}{n})} - \frac{1 \cos(3\lambda - \pi_0 - 2\lambda')}{2e_0 (1 - \frac{2n'}{3n})} - \frac{15 \cos 2(\lambda' - \pi_0)}{4 \frac{n'}{n}} \right\} \right]$$

$$\pi = \pi_0 + \frac{m'}{M} \alpha^3 \left[\frac{3}{4} nt - \frac{1}{2e_0} \sin(\lambda - \pi_0) - \frac{9 \sin(\lambda + \pi - 2\lambda')}{4e_0 (1 - 2\frac{n'}{n})} + \frac{1 \sin(3\lambda - \pi_0 - 2\lambda')}{4e_0 (1 - \frac{2n'}{3n})} + \frac{15 \sin 2(\lambda' - \pi_0)}{8 \frac{n'}{n}} \right] \quad (21)$$

Den sekularen Teil von π , nämlich $\pi_0 + \frac{3}{4} \frac{m'}{M} \alpha^3 nt$ bezeichnen wir mit π_s , den übrigen Teil mit $\Delta\pi$. Analog setzen wir $L = L_0 + \Delta L$, wobei dann das hier vorkommende ΔL , wie durch Vergleich mit (19) folgt, eine andere Bedeutung hat wie das früher z. B. in (a) gebrauchte ΔL . Auch die weiteren durch die nachstehenden Formeln (22) eingeführten Größen $\Delta\lambda$, Δq ergeben sich durch Vergleich mit (19) und (21). Wir setzen

$$L = L_0 + \Delta L \quad \lambda = \lambda_0 + nt + \Delta\lambda$$

$$q = q_0 + \Delta q = q_0 \left(1 + \frac{\Delta q}{q_0} \right) \quad \pi = \pi_s + \Delta\pi \quad \pi_s = \pi_0 + \frac{3}{4} \frac{m'}{M} nt \quad (22)$$

Man erkennt, daß ΔL und $\Delta\lambda$ klein 2. Ordnung sind, dagegen sind $\frac{\Delta q}{q_0}$ und $\Delta\pi$ von der 1. Ordnung.

Schließlich sind noch die Gleichungen für $\frac{d(Li^2)}{dt}$ und $\frac{d\theta}{dt}$ zu integrieren. Wir erhalten

$$Li^2 = L_0 i_0^2 \left[1 + \frac{3}{4} \sqrt{\frac{m'}{M}} \alpha^3 \cos 2(\lambda' - \theta_0) \right]$$

$$\theta = \theta_0 + \frac{m'}{M} \alpha^3 \left[-\frac{3}{4} nt + \frac{3}{8} \frac{n \sin 2(\lambda' - \theta_0)}{n'} \right] \quad (23)$$

Erwähnung verdient, daß sekulare Störungen nur in π und θ auftreten.

Über zwei Einwände gegen die Richtigkeit der erhaltenen Integrale und deren Widerlegung

Gegen die Gültigkeit der in (21) und (23) für die q , π , L i^2 und θ erhaltenen Lösungen lassen sich zwei Einwände erheben. Daß diese Einwände nicht auch für die für die L und λ angegebenen Integrale in Betracht kommen, hat darin seinen Grund, daß ΔL und $\Delta \lambda$ klein 2. Ordnung sind, während $\frac{\Delta q}{q_0}$ und $\Delta \pi$ Größen 1. Ordnung sind. Es wird genügen, die Einwände gegen die Lösungen für die q und π zu erläutern, da für die L i^2 und θ alles ganz analog ist.

Um uns klar zu machen, worin die Einwände bestehen, gehen wir so vor, wie wenn wir die q und π genauer berechnen wollten, als es früher geschah. Dazu sind u. a. in den Differentialgleichungen (12) und (14) für $\frac{d\pi}{dt}$ und $\frac{dq}{dt}$ rechts für die L , λ , q , π ihre in (19) und (21) erhaltenen Werte einzusetzen; da übrigens ΔL und $\Delta \lambda$ klein 2. Ordnung sind, so werden wir diese beiden Korrekturen vernachlässigen. Das in π vorkommende sekulare Glied behalten wir bei, obwohl der Faktor von t 2. Ordnung ist, da mit wachsendem t das Glied trotzdem einen beträchtlichen Wert annimmt. Wir setzen also mit Benutzung der Abkürzungen (22) in den rechten Seiten der Differentialgleichungen für $\frac{dq}{dt}$ und $\frac{d\pi}{dt}$:

$$L = L_0 \quad \lambda = \lambda_0 + nt \quad q = q_0 \left(1 + \frac{\Delta q}{q_0} \right) \quad \pi = \pi_s + \Delta \pi \quad (a)$$

In der Gleichung für $\frac{dq}{dt}$ tritt u. a. das Glied mit $\sqrt{\frac{q}{2L}} \sin(\lambda - \pi)$ auf. Hierfür schreiben wir, indem wir $\cos \Delta \pi$ durch 1 und $\sin \Delta \pi$ durch $\Delta \pi$ ersetzen

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{q}{2L}} \sin(\lambda - \pi) &= \sqrt{\frac{q_0}{2L_0}} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta q}{q_0} \right) \sin(\lambda_0 + nt - \pi_s - \Delta \pi) \\ &= \sqrt{\frac{q_0}{2L_0}} \left[\sin(\lambda_0 + nt - \pi_s) + \frac{\Delta q}{2q_0} \sin(\lambda_0 + nt - \pi_s) - \Delta \pi \cos(\lambda_0 + nt - \pi_s) \right] \end{aligned} \quad (b)$$

Ganz analog verfährt man mit allen anderen Gliedern der Differentialgleichungen für $\frac{dq}{dt}$ und $\frac{d\pi}{dt}$. Man erhält so einmal die schon in (12) und (14) rechts vorkommenden Terme, jedoch für $L = L_0$, $q = q_0$, $\lambda = \lambda_0 + nt$ und $\pi = \pi_s$; außerdem entstehen aus jedem dieser Glieder (mit Ausnahme des ersten der Gleichung für $\frac{d\pi}{dt}$ noch andere, die im Vergleich zu dem betreffenden Glied klein von einer um eins höheren Ordnung sind. Im Vorangehenden nahmen wir als selbstverständlich an, daß die Terme, die klein sind im Vergleich zu den in (12) und (14) erwähnten, außerdem auch nach der Integration klein sind im Vergleich zu denen, die im Integral also in (21) angegeben sind. Es wäre nun aber denkbar — und hierin besteht der erste Einwand — daß unter den Korrektionsgliedern in den Differentialgleichungen es welche gibt, die durch die Integration ihre Ordnung erniedrigen und die also im Integral von derselben Ordnung sind wie die Terme, die in (21) bereits angegeben sind. Die betreffenden zu (21) eventuell noch hinzukommenden Terme müßten trigonometrische Funktionen sein mit dem Argument $k\lambda' + k_1\pi$, wo k und k_1 ganze Zahlen sind.

Für die genauere Berechnung von q und π wären nun aber nicht nur die in (12) und (14) schon angegebenen Terme weiter zu entwickeln, sondern es wären noch diejenigen Terme zuzufügen, die von Gliedern stammen, die in H von der 4. und 5. Ordnung sind, natürlich kommen von den Termen 5. Ordnung nur diejenigen in Betracht, die durch die Integration ihre Ordnung erniedrigen. Da aber unser eigentliches Ziel gar nicht darin besteht, q und π genauer zu berechnen, wir vielmehr nur die Richtigkeit der in (21) erhaltenen Lösungen beweisen wollen, so haben wir nur zu überlegen, ob aus den eben erwähnten Gliedern 4. und 5. Ordnung welche hervorgehen, die

in (21) von derselben Ordnung sind, wie die, die dort bereits auftreten. Man erkennt leicht, daß man die Glieder 5. Ordnung ganz außer acht lassen darf, von den Termen 4. Ordnung kommt nur, und zwar bei den beiden Gleichungen für $\frac{dQ}{dt}$ und $\frac{d\pi}{dt}$ das eine mit dem Argument $2(\lambda' - \pi)$ in Betracht, das aber bereits beide Male berücksichtigt ist. Wir haben also nur die auf den rechten Seiten der Differentialgleichungen für $\frac{dQ}{dt}$ und $\frac{d\pi}{dt}$ bereits auftretenden Terme um einen Grad weiter zu entwickeln und zuzusehen, ob unter den so erhaltenen weiteren Gliedern es welche gibt, die bei der Integration ihre Ordnung erniedrigen.

Bevor wir hierauf eingehen, erläutern wir den zweiten Einwand. Er bezieht sich wenigstens zunächst nur auf die Lösung der Gleichung für $\frac{d\pi}{dt}$. Führt man in die Differentialgleichung für $\frac{d\pi}{dt}$ rechts die in (a) angegebenen Werte ein, so treten, wie schon erwähnt, außer den in (12) bereits vorkommenden Gliedern noch weitere auf, die im Vergleich zu dem Glied, aus dem sie entstehen, klein von einer um eins höheren Ordnung sind. In den letzteren treten Produkte von trigonometrischen Funktionen auf, z.B. Glieder von der Form $\cos x \cos y$. Formen wir diese um gemäß

$$2 \cos x \cos y = \cos(x + y) + \cos(x - y)$$

so können dabei eventuell konstante Terme auftreten; denn für $x = y$ geht die erwähnte Formel über in $2 \cos^2 x = 1 + \cos 2x$. Treten nun solche konstante Terme auf, so sind diese von derselben Ordnung wie das in der Gleichung für $\frac{d\pi}{dt}$ bereits vorkommende erste konstante Glied. Auch bei der Gleichung für $\frac{dQ}{dt}$ wäre der Nachweis von Interesse, daß hierbei keine konstanten Glieder vorkommen, aus denen dann sekulare Störungen hervorgehen.

Aus dem Vorangehenden (siehe Gleichung (b)) erkennt man, daß mit Rücksicht auf die weiteren Annäherungen es sich empfiehlt, in den Differentialgleichungen für $\frac{dQ}{dt}$ und $\frac{d\pi}{dt}$ rechts das π durch π_s zu ersetzen, der periodische Teil $\Delta\pi$ tritt im Argument der trigonometrischen Funktionen, und zwar im Endresultat nicht weiter auf, da wir überall Operationen wie die in (b) angegebene vornehmen. Auch wenn wir in den Annäherungen nur soweit gehen, als es in den Lösungen (21) geschah, werden wir das darin auftretende π durch π_s ersetzen, da mit wachsendem t das π_s einen beträchtlichen Wert annehmen kann. Da wir auch in den Differentialgleichungen π_s statt π schreiben, so werden nach der Integration als Nenner der periodischen Glieder

$$1 - \frac{3}{4} \frac{m'}{M} \alpha^3 \quad 1 - 2 \frac{n'}{n} + \frac{3}{4} \frac{m'}{M} \alpha^3 \quad 1 - \frac{2}{3} \frac{n'}{n} - \frac{1}{4} \frac{m'}{M} \alpha^3 \quad \frac{n'}{n} \left(1 - \frac{3}{4} \sqrt{\frac{m'}{M}} \alpha^3 \right)$$

auftreten. Mit Rücksicht auf (18) ist $\left(\frac{n'}{n}\right)^2 = \frac{m'}{M} \alpha^3$. Wir deuteten schon an, daß wir bei der Annäherung, die wir erstreben, die Nenner eigentlich durch 1, 1, 1 und $\frac{n'}{n}$ zu ersetzen haben. Wir wollen nun bei den drei ersten Nennern noch die Terme mit $\frac{n'}{n}$ beibehalten und die mit $\frac{m'}{M} \alpha^3$ vernachlässigen, nur im letzten Nenner, dessen erstes Glied bereits mit $\frac{n'}{n}$ proportional ist, berücksichtigen wir noch dasjenige mit $\frac{n'}{n} \sqrt{\frac{m'}{M}} \alpha^3$. Also schreiben wir

$$Q = Q_0 \left[1 - \frac{m'}{M} \alpha^3 \left(\frac{\cos(\lambda' - \pi_s)}{e_0} - \frac{9 \cos(\lambda' + \pi_s - 2\lambda')}{2e_0 \left(1 - 2 \frac{n'}{n} \right)} - \frac{1 \cos(3\lambda' - \pi_s - 2\lambda')}{2e_0 \left(1 - \frac{2}{3} \frac{n'}{n} \right)} - \frac{15 \cos 2(\lambda' - \pi_s)}{4 \frac{n'}{n} \left(1 - \frac{3}{4} \sqrt{\frac{m'}{M}} \alpha^3 \right)} \right) \right]$$

$$\pi = \pi_0 + \frac{m'}{M} \alpha^3 \left[\frac{3}{4} n t - \frac{\sin(\lambda - \pi_s)}{2e_0} - \frac{9 \sin(\lambda + \pi_s - 2\lambda')}{4e_0} \frac{1}{1 - 2\frac{n'}{n}} \right. \\ \left. + \frac{1}{4e_0} \frac{\sin(3\lambda - \pi_s - 2\lambda')}{1 - \frac{2n'}{3n}} + \frac{15 \sin 2(\lambda' - \pi_s)}{8 \frac{n'}{n} \left(1 - \frac{3}{4} \sqrt{\frac{m'}{M} \alpha^3}\right)} \right] \quad (24)$$

Analoge Einwände wie gegen die für q und π erhaltenen Integrale gelten auch in bezug auf die Lösungen (23). Aus dem gleichen Grunde, aus dem wir im Vorangehenden das π durch π_s ersetzen, werden wir jetzt in den periodischen Termen von $L i^2$ und θ statt θ den sekularen Teil von θ , nämlich $\theta_s = \theta_0 - \frac{3}{4} \frac{m'}{M} \alpha^3 n t$ einführen. Die Nenner der periodischen Terme wollen wir jedoch (im Gegensatz zu (24)) nur soweit berücksichtigen, als es bei unserer Annäherung nötig ist. Man erhält also

$$L i^2 = L_0 i_0^2 \left[1 + \frac{3}{4} \sqrt{\frac{m'}{M} \alpha^3} \cos 2(\lambda' - \theta_s) \right] \\ \theta = \theta_0 + \frac{m'}{M} \alpha^3 \left[-\frac{3}{4} n t + \frac{3n}{8} \frac{\sin 2(\lambda' - \theta_s)}{n'} \right] \quad (25) \\ \theta_s = \theta_0 - \frac{3}{4} \frac{m'}{M} \alpha^3 n t$$

Wir haben jetzt die im Vorangehenden erhobenen Einwände gegen die für die q und π erhaltenen Integrale zu beseitigen, die Lösungen für die $L i^2$ und θ mögen zunächst außer acht gelassen werden. Wir führen die Abkürzung

$$H^* = -\frac{m' L^4}{M^4 \alpha^{13}} \left[-\sqrt{\frac{q}{2L}} \cos(\lambda - \pi) - \frac{9}{2} \sqrt{\frac{q}{2L}} \cos(\lambda + \pi - 2\lambda') + \frac{3}{2} \sqrt{\frac{q}{2L}} \cos(3\lambda - \pi - 2\lambda') \right] \quad (c)$$

ein. Es schreiben sich dann die Gleichungen für die q und π wie folgt

$$\frac{d q}{d t} = \frac{\delta H^*}{\delta \pi} - \frac{15 m' L^3 q}{2 M^4 \alpha^{13}} \sin 2(\lambda' - \pi) \quad (d) \\ \frac{d \pi}{d t} = -\frac{\delta H^*}{\delta q} + \frac{m' L^3}{M^4 \alpha^{13}} \left[\frac{15}{4} \cos 2(\lambda' - \pi) + \frac{3}{4} \right]$$

Wir führen zunächst in das letzte Glied der rechten Seite der ersten dieser Gleichungen die in (a) angegebenen Werte ein. Nach Anwendung der Formel für $\sin(x+y)$ und nach Ersetzung von $\cos(2\Delta\pi)$ durch 1 und $\sin 2\Delta\pi$ durch $2\Delta\pi$ erhalten wir (bei Außerachtlassung des konstanten Faktors $-\frac{15 m'}{2 M^4 \alpha^{13}}$)

$$L^3 q \sin 2(\lambda' - \pi) = L_0^3 (q_0 + \Delta q) \sin 2(\lambda' - \pi_s) - 2 L_0^3 q_0 \Delta \pi \cos 2(\lambda' - \pi_s) \quad (e)$$

Das wichtigste Glied rechts ist das bereits in (14) in der Gleichung für $\frac{d q}{d t}$ vorkommende Glied mit $L_0^3 q_0 \sin 2(\lambda' - \pi_s)$. Ferner tritt in e) rechts noch auf

$$L_0^3 \{ \Delta q \sin 2(\lambda' - \pi_s) - 2 q_0 \Delta \pi \cos 2(\lambda' - \pi_s) \}$$

Setzt man hier für Δq und $\Delta \pi$ ihre Werte ein und formt man die dann noch auftretenden Produkte um mittelst $2 \sin x \cos y = \sin(x+y) + \sin(x-y)$, so überzeugt man sich leicht, daß dabei nur das letzte Glied von Δq und das letzte Glied von $\Delta \pi$ Glieder mit $\sin 4(\lambda' - \pi_s)$ liefern. Diese Terme kommen aber nicht weiter in Betracht, da sie von höherer Ordnung sind als das in der früheren Gleichung für $\frac{d q}{d t}$ bereits vorkommende Glied mit $\sin 2(\lambda' - \pi_s)$, das bei der Integration ebenfalls seine Ordnung erniedrigt. Das letzte Glied der rechten Seite von der ersten Gleichung (d) liefert also keine zu berücksichtigenden Terme mit dem Argument $k\lambda' + k_1\pi$ bzw. $k\lambda' + k_1\lambda_s$ und außerdem auch kein konstantes Glied, also auch kein Glied aus dem sekulare Störungen hervorgehen.

Aus dem in der zweiten Gleichung (d) rechts auftretenden Glied $\frac{3 m' L^3}{4 M^4 a'^3}$ entstehen, da wir $L=L_0$ setzen, weiter keine Glieder. Verfahren wir mit dem Glied $\frac{15 m' L^3}{4 M^4 a'^3} \cos 2 (\lambda' - \pi)$ analog wie mit dem letzten Glied der rechten Seite der ersten Gleichung (d), schreibt man also $\cos 2 (\lambda' - \pi) = \cos (2 \lambda' - \pi_s) + 2 \Delta \pi \sin 2 (\lambda' - \pi_s)$, so erkennt man, daß nach Einsetzen des Wertes für $\Delta \pi$ alsdann aus dem letzten Glied von $\Delta \pi$ ein solches mit

$$\sin^2 2 (\lambda' - \pi_s) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 4 (\lambda' - \pi_s)$$

entsteht. Wir erhalten also jetzt ein konstantes Glied und eins mit dem Argument $4 (\lambda' - \pi_s)$. Letzteres ist zu vernachlässigen, da es wieder von höherer Ordnung ist als das in der Gleichung für $\frac{d\pi}{dt}$ rechts auftretende Glied mit $\cos 2 (\lambda' - \pi_s)$. Aus dem konstanten Glied entsteht nach der Integration (unter Berücksichtigung von § 1 Gl.5) und § 3 Gl.(15) und (18) die folgende sekulare Störung

$$\frac{15 m' L_0^3}{4 M^4 a'^3} \cdot \frac{15 M}{8 n'} \frac{m' \alpha^3}{n} t = \frac{225 m' a_0^{3/2} m'}{32 M a'^3} \frac{m'}{M} \alpha^3 \frac{\sqrt{a'^3}}{\sqrt{m'}} n t = \frac{225}{32} \left(\frac{m'}{M} \alpha^3 \right)^{3/2} n t \quad (26)$$

Dieses Glied ist klein von höherer Ordnung wie das mit t proportionale Glied, das bereits in dem früheren Ausdruck (24) für π vorkommt. Begnügt man sich also mit der Genauigkeit wie in unsern früheren Formeln, so ist das eben erhaltene sekulare Glied zu vernachlässigen, dagegen ist es zu berücksichtigen, falls man die sekularen Störungen, die ja für die Änderung der Bahn während eines längeren Zeitraums maßgebend sind, genauer wie früher ermitteln will.

Wir haben jetzt nur noch in die zwei Glieder $\frac{\delta H^*}{\delta \pi}$ und $-\frac{\delta H^*}{\delta \varrho}$ von (d) die Werte (a) einzuführen. Man erhält so

$$\frac{\delta H^*}{\delta \pi} + \frac{\delta^2 H^*}{\delta \pi \delta \varrho} \Delta \varrho + \frac{\delta^2 H^*}{\delta \pi^2} \Delta \pi \quad - \frac{\delta H^*}{\delta \varrho} - \frac{\delta^2 H^*}{\delta \varrho^2} \Delta \varrho - \frac{\delta^2 H^*}{\delta \varrho \delta \pi} \Delta \pi \quad (f)$$

wobei nach (d)

$$\Delta \varrho = \int \frac{\delta H^*}{\delta \pi} dt + \frac{15 m' L_0^3 \varrho_0 \cos 2 (\lambda' - \pi_s)}{4 M^4 a'^3 (n' - \frac{3 m'}{4 M} \alpha^3 n)} \quad \Delta \pi = - \int \frac{\delta H^*}{\delta \varrho} dt + \frac{15 m' L_0^3 \sin 2 (\lambda' - \pi_s)}{8 M^4 a'^3 (n' - \frac{3 m'}{4 M} \alpha^3 n)} \quad (g)$$

Die in (f) vorkommenden Glieder $\frac{\delta H^*}{\delta \pi}$ und $-\frac{\delta H^*}{\delta \varrho}$, in denen $L=L_0$, $\varrho = \varrho_0$, $\lambda = \lambda_0 + nt$, $\pi = \pi_s$ zu setzen ist, sind bereits früher berücksichtigt, wir haben uns daher jetzt nur mit dem übrigen Teil von (f) zu beschäftigen. Auch hier ist $L=L_0$, $\varrho = \varrho_0$, $\lambda = \lambda_0 + nt$, $\pi = \pi_s$ zu setzen. Die in (f) auftretenden zweiten Differentialquotienten bestehen je aus 3 Sinus- oder Cosinusgliedern. Setzen wir nun für $\Delta \varrho$ und $\Delta \pi$ ihre in (g) angegebenen Werte ein und betrachten wir dabei zunächst nur das letzte Glied von $\Delta \varrho$ und das letzte von $\Delta \pi$, so werden, nachdem noch die Produkte der trigonometrischen Funktionen umgeformt sind, alsdann keine Glieder mit $k \lambda' + k_1 \pi_s$ auftreten und außerdem auch keine konstanten Terme. Wir werden daher bei $\Delta \varrho$ und $\Delta \pi$ das letzte Glied weglassen und außerdem in (f) auch die früher schon betrachteten Glieder $\frac{\delta H^*}{\delta \pi}$ und $-\frac{\delta H^*}{\delta \varrho}$. Weiterhin haben wir uns also nur mit den folgenden zwei Ausdrücken zu beschäftigen

$$\begin{aligned} & \frac{\delta^2 H^*}{\delta \pi \delta \varrho} \int \frac{\delta H^*}{\delta \pi} dt - \frac{\delta^2 H^*}{\delta \pi^2} \int \frac{\delta H^*}{\delta \varrho} dt \\ & - \frac{\delta^2 H^*}{\delta \varrho^2} \int \frac{\delta H^*}{\delta \pi} dt + \frac{\delta^2 H^*}{\delta \varrho \delta \pi} \int \frac{\delta H^*}{\delta \varrho} dt \end{aligned} \quad (h)$$

Der Ausdruck der zweiten Zeile, der in der Gleichung für $\frac{d\pi}{dt}$ vorkommt, lautet ausführlicher geschrieben, jedoch unter Weglassung des in H^* auftretenden Faktors $\frac{m'}{M^4} \frac{L_0^4}{a'^3}$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{1}{8 L_0 \varrho_0} \left[\cos(\lambda - \pi_s) + \frac{9}{2} \cos(\lambda + \pi_s - 2\lambda') - \frac{3}{2} \cos(3\lambda - \pi_s - 2\lambda') \right] \quad (i) \\
 & \quad \times \left[\frac{\cos(\lambda - \pi_s)}{n} - \frac{9 \cos(\lambda + \pi_s - 2\lambda')}{2(n - 2n')} - \frac{3 \cos(3\lambda - \pi_s - 2\lambda')}{2(3n - 2n')} \right] \\
 & -\frac{1}{8 L_0 \varrho_0} \left[-\sin(\lambda - \pi_s) + \frac{9}{2} \sin(\lambda + \pi_s - 2\lambda') + \frac{3}{2} \sin(3\lambda - \pi_s - 2\lambda') \right] \\
 & \quad \times \left[\frac{\sin(\lambda - \pi_s)}{n} + \frac{9 \sin(\lambda + \pi_s - 2\lambda')}{2(n - 2n')} - \frac{3 \sin(3\lambda - \pi_s - 2\lambda')}{2(3n - 2n')} \right]
 \end{aligned}$$

Wir multiplizieren von der ersten und zweiten Zeile von (i) das erste Glied der ersten Klammer mit dem ersten Glied der zweiten und bei der 3. und 4. Zeile multiplizieren wir ebenfalls das erste Glied der ersten Klammer mit dem ersten der zweiten. Die Summe der zwei so erhaltenen Produkte ergibt, falls wir von dem Faktor $\frac{1}{8 L_0 \varrho_0 n}$ absehen

$$-\cos^2(\lambda - \pi_s) + \sin^2(\lambda - \pi_s) = -\cos 2(\lambda - \pi_s)$$

Die genannten Multiplikationen liefern also kein konstantes Glied und auch keins mit $k\lambda' + k_1\pi_s$. Auch wenn man von der ersten und zweiten Zeile von (i) die zweiten Glieder der beiden Klammern multipliziert und von der 3. und 4. Zeile ebenfalls die zweiten Glieder beider Klammern, so erhält man wiederum kein konstantes Glied und auch keins mit $k\lambda' + k_1\pi_s$. Dasselbe gilt wenn man die analogen Multiplikationen mit den dritten Termen vornimmt.

Bei den Multiplikationen, die jetzt noch auszuführen sind, treten Produkte von der Form $\cos x \cos y$ auf, wobei x und y ungleich sind. Daher ergibt sich nach der Umformung mittels $2 \cos x \cos y = \cos(x + y) + \cos(x - y)$ kein konstantes Glied. Wir haben noch zu prüfen, ob aus den Multiplikationen, von denen jetzt die Rede ist, nicht Terme mit $k\lambda' + k_1\pi_s$ hervorgehen. Zwei derartige Glieder, also solche, die unabhängig von λ sind, können auftreten, wenn wir in der ersten und zweiten Zeile von (i) das erste Glied der ersten Klammer mit dem zweiten der zweiten Klammer multiplizieren und ferner noch ebenfalls von der ersten und zweiten Zeile das zweite Glied der ersten Klammer mit dem ersten der zweiten. Diesen zwei Termen wollen wir gleich die zwei weiteren zufügen, die sich durch die analogen Multiplikationen mit den entsprechenden Termen der 3. und 4. Zeile von i) ergeben. Indem wir den Faktor $\frac{1}{8 L_0 \varrho_0}$ weglassen, erhalten wir als Summe

$$\begin{aligned}
 & \frac{9}{2} \left\{ \frac{\cos(\lambda - \pi_s) \cos(\lambda + \pi_s - 2\lambda')}{n - 2n'} - \frac{\cos(\lambda + \pi_s - 2\lambda') \cos(\lambda - \pi_s)}{n} \right. \\
 & \left. + \frac{\sin(\lambda - \pi_s) \sin(\lambda + \pi_s - 2\lambda')}{n - 2n'} - \frac{\sin(\lambda + \pi_s - 2\lambda') \sin(\lambda - \pi_s)}{n} \right\} \\
 & = \frac{9}{2} 2n' \frac{\cos 2(\lambda' - \pi_s)}{n(n - 2n')}
 \end{aligned}$$

Unsere vier Glieder lassen sich also in ein einziges mit dem Argument $2(\lambda' - \pi_s)$ zusammenziehen, da dieses aber noch mit n' multipliziert ist, so ist es auch nach der Integration von höherer Ordnung als die früher im Ausdruck für π angegebenen Glieder; bei der Näherung, die wir erstreben, ist es also zu vernachlässigen. Auch die noch nicht erwähnten in i) vorkommenden Multiplikationen liefern, wie man ohne Mühe erkennt, keine Terme mit $k\lambda' + k_1\pi_s$. Damit ist die Richtigkeit des in (24) für π erhaltenen Ausdrucks bewiesen.

Analog zeigt man — ausgehend von der ersten Gleichung (h) — die Richtigkeit des früher für ϱ erhaltenen Ausdrucks, die Überlegungen gestalten sich hier sogar noch etwas einfacher.

Wie erwähnt, gelten für die Lösungen für die $L i^2$ und θ die gleichen Einwände wie für die für π und q . Sie lassen sich aber bei $L i^2$ und θ in so einfacher Weise beseitigen, daß es nicht nötig sein wird, hierauf noch näher einzugehen. Bezeichnet man den periodischen Teil von θ mit $\Delta \theta$, setzt man also $\theta = \theta_s + \Delta \theta$ und schreibt man für das letzte Glied der Gleichung für $\frac{d\theta}{dt}$:

$$\frac{3 m' L_o^3}{4 M^4 a'^3} \cos 2 (\lambda' - \theta) = \frac{3 m' L_o^3}{4 M^4 a'^3} \left[\cos 2 (\lambda' - \theta_s) + 2 \Delta \theta \sin 2 (\lambda' - \theta) \right]$$

so ergibt sich nach Einsetzen des Wertes für $\Delta \theta$ und mit Berücksichtigung von § 3 (16) aus dem letzten Glied die folgende sekulare Störung von θ

$$\frac{3 m' L_o^3}{2 M^4 a'^3} \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{8} \sqrt{\frac{m'}{M}} \alpha^3 t = \frac{9 m' a_o^{3/2}}{32 M a'^3} \sqrt{\frac{m'}{M}} \alpha^3 t = \frac{9}{32} \left(\frac{m'}{M} \alpha^3 \right)^{3/2} n t \quad (27)$$

diese fügen wir der schon früher erhaltenen hinzu.

Sekulare Störungen ergeben sich nur bei π und θ . Selbstverständlich muß nun aber noch gezeigt werden, daß, wenn man beide Male so weit geht, wie es den Gleichungen (26) und (27) entspricht, und also in π_s und θ_s noch die Terme mit $\left(\frac{m'}{M} \alpha^3 \right)^{3/2}$ berücksichtigt, es als dann außer den von uns gefundenen Gliedern mit $\left(\frac{m'}{M} \alpha^3 \right)^{3/2}$ weiter keine andern gibt. Diesen Beweis habe ich erbracht, es würde aber zu weit führen, hier darauf einzugehen. Erwähnt sei hier nur, daß man dabei etwas wissen muß über diejenige Näherung, die auf diejenige folgt, mit der wir uns früher begnügten, eine genaue Kenntnis dieser Näherung ist aber nicht nötig, man braucht vielmehr nur eine Vorstellung von der Bauart der zugehörigen Glieder.

Zum Schluß stellen wir die für die L , λ , q , π , $L i^2$, θ erhaltenen Ausdrücke zusammen. Zur Abkürzung führen wir dabei noch eine Größe μ ein, die wir definieren durch

$$\mu = \frac{n'}{n} = \sqrt{\frac{m'}{M+m}} \alpha^3 \text{ also sehr genähert } \mu = \sqrt{\frac{m'}{M}} \alpha^3 \quad (28)$$

Man findet so

$$L = L_o \left\{ 1 - \frac{1}{3} \mu^2 + \frac{3}{4} \mu^2 \cos 2 (\lambda - \lambda') \right\} \quad (29)$$

$$\lambda = \lambda_o + n t - \mu^2 \frac{21}{8} \sin 2 (\lambda - \lambda')$$

$$q = q_o \left[1 - \mu^2 \left\{ \frac{1}{e_o} \cos (\lambda - \pi_s) - \frac{9}{2 e_o} \cos (\lambda + \pi_s - 2 \lambda') - \frac{1}{2 e_o} \cos (3 \lambda - \pi_s - 2 \lambda') - \frac{15}{4 \mu} \cos 2 (\lambda' - \pi_s) \right\} \right]$$

$$\pi = \pi_s + \mu^2 \left[-\frac{1}{2 e_o} \sin (\lambda - \pi_s) - \frac{9}{4 e_o} \sin (\lambda + \pi_s - 2 \lambda') + \frac{1}{4 e_o} \sin 3 \lambda - \pi_s - 2 \lambda' \right] + \frac{15}{8 \mu} \sin 2 (\lambda' - \pi_s)$$

$$L i^2 = L_o i_o^2 \left[1 + \frac{3}{4} \mu \cos 2 (\lambda' - \theta_s) \right]$$

$$\theta = \theta_s + \frac{3}{8} \mu \sin 2 (\lambda' - \theta_s)$$

$$\pi_s = \pi_o + \mu^2 \left[\frac{3}{4} + \frac{225}{32} \mu \right] n t$$

$$\theta_s = \theta_o - \mu^2 \left[\frac{3}{4} - \frac{9}{32} \mu \right] n t.$$

§ 5. Die Formeln für die gestörten Polarkoordinaten.

Im Vorangehenden haben wir die Störungen der sechs Größen $L, \lambda, \varrho, \pi, Li^2$ und θ ermittelt. Die drei Größen λ, π und θ gehören mit zu den Bahnelementen, dagegen müssen wir noch statt der Störungen von L, ϱ und Li^2 die von a, e und i einführen.

Da nach (6) und (15)

$$L = M\sqrt{a} \qquad L_0 = M\sqrt{a_0}$$

so folgt aus der ersten Gleichung (29)

$$\sqrt{a} = \sqrt{a_0} \left[1 - \frac{1}{3} \mu^3 + \frac{3}{4} \mu^2 \cos 2(\lambda - \lambda') \right]$$

und

$$a = a_0 \left[1 - \frac{2}{3} \mu^2 + \frac{3}{2} \mu^2 \cos 2(\lambda - \lambda') \right] \quad (a)$$

Wir ermitteln jetzt die Störung von e . Nach (6) und (20) hat man unter Weglassung von Gliedern höherer Ordnung

$$\varrho = L \frac{e^2}{2} \left(1 + \frac{e^2}{4} \right) \qquad \varrho_0 = L_0 \frac{e_0^2}{2} \left(1 + \frac{e_0^2}{4} \right)$$

Führt man diese Werte ein in die dritte Gleichung (29), so folgt, falls wir wieder wie in § 4a) die Störung von ϱ mit $\Delta \varrho$ bezeichnen,

$$L \frac{e^2}{2} \left(1 + \frac{e^2}{4} \right) = L_0 \frac{e_0^2}{2} \left(1 + \frac{e_0^2}{4} \right) \left[1 + \frac{\Delta \varrho}{\varrho_0} \right]$$

Hier ist $\frac{\Delta \varrho}{\varrho_0}$ klein 1. Ordnung. Unter Weglassung von Gliedern 4. Ordnung haben wir in der letzten Gleichung $1 + \frac{e_0^2}{4}$ und auch $1 + \frac{e^2}{4}$ durch 1 zu ersetzen und das links auftretende L durch L_0 . Also

$$e^2 = e_0^2 \left[1 + \frac{\Delta \varrho}{\varrho_0} \right]$$

oder unter Weglassung von Termen 3. Ordnung

$$e = e_0 \left[1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta \varrho}{\varrho_0} \right]$$

Mithin nach Einsetzen des Ausdrucks für $\Delta \varrho$

$$e = e_0 - \mu^2 \left\{ \frac{1}{2} \cos(\lambda - \pi_s) - \frac{9}{4} \cos(\lambda + \pi_s - 2\lambda') - \frac{1}{4} \cos(3\lambda - \pi_s - 2\lambda') - \frac{15}{8} \frac{e_0}{\mu} \cos 2(\lambda' - \pi_s) \right\} \quad (b)$$

Damit ist auch e berechnet.

Analog folgt aus der fünften Gleichung (29)

$$i = i_0 \left\{ 1 + \frac{3}{8} \mu \cos 2(\lambda' - \theta_s) \right\} \quad (c)$$

Zum Schluß wollen wir noch die für die Bahnelemente erhaltenen Ausdrücke zusammenstellen.

$$\begin{aligned} a &= a_0 \left[1 - \frac{2}{3} \mu^2 + \frac{3}{2} \mu^2 \cos 2(\lambda - \lambda') \right] \\ \lambda &= \lambda_0 + nt - \mu^2 \frac{21}{8} \sin 2(\lambda - \lambda') \\ e &= e_0 - \mu^2 \left[\frac{1}{2} \cos(\lambda - \pi_s) - \frac{9}{4} \cos(\lambda + \pi_s - 2\lambda') - \frac{1}{4} \cos(3\lambda - \pi_s - 2\lambda') - \frac{15}{8} \frac{e_0}{\mu} \cos 2(\lambda' - \pi_0) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\pi &= \pi_s + \mu^2 \left[-\frac{1}{2e_o} \sin(\lambda - \pi_s) - \frac{9}{4e_o} \sin(\lambda + \pi_s - 2\lambda') \right. \\
&\quad \left. + \frac{1}{4e_o} \sin(3\lambda - \pi_s - 2\lambda') + \frac{15}{8\mu} \sin 2(\lambda' - \pi_s) \right] \\
i &= i_o \left[1 + \frac{3}{8} \mu \cos 2(\lambda' - \theta_s) \right] \\
\theta &= \theta_s + \frac{3}{8} \mu \sin 2(\lambda' - \theta_s) \\
\pi_s &= \pi_o + \mu^2 \left(\frac{3}{4} + \frac{225}{32} \mu \right) nt \\
\theta_s &= \theta_o - \mu^2 \left(\frac{3}{4} - \frac{9}{32} \mu \right) nt \\
\mu &= \sqrt{\frac{m'}{M} \left(\frac{a_o}{a'} \right)^3}
\end{aligned} \tag{30}$$

Wie früher in § 2 erwähnt, wollen wir a , e , i und λ bis einschließlich der Glieder 2. Ordnung ermitteln, dagegen genügt es π und θ nur bis einschließlich der Terme 1. Ordnung zu berechnen. Dieses Ziel ist erreicht, außerdem haben wir die sekularen Störungen von π und θ noch genauer entwickelt.

Das Einsetzen der Ausdrücke für die Bahnelemente in die Formeln (4) für die Polarkoordinaten bietet keine Schwierigkeiten, wir geben daher gleich das Resultat an, wobei wir statt des in (4) angegebenen Wertes für r den daraus leicht ableitbaren für $\frac{1}{r}$ benutzen. Man findet, falls man noch die Abkürzungen:

$$\begin{aligned}
c &= 1 - \mu^2 \left(\frac{3}{4} + \frac{225}{32} \mu \right) \\
g &= 1 + \mu^2 \left(\frac{3}{4} - \frac{9}{32} \mu \right)
\end{aligned} \tag{31}$$

benutzt:

$$\begin{aligned}
\frac{a_o}{r} &= 1 + e_o \cos(cnt + \lambda_o - \pi_o) + e_o^2 \cos 2(cnt + \lambda_o - \pi_o) \\
&+ \mu^2 \left[\frac{1}{6} + \cos 2(\lambda - \lambda') + \frac{15}{8} \frac{e_o}{\mu} \cos \left(2(\lambda - \lambda') - (cnt + \lambda_o - \pi_o) \right) \right] \\
v &= \lambda_o + nt + 2e_o \sin(cnt + \lambda_o - \pi_o) + \frac{5}{4} e_o^2 \sin 2(cnt + \lambda_o - \pi_o) \\
&- \frac{i_o^2}{4} \sin 2(gnt + \lambda_o - \theta_o) + \mu^2 \left[\frac{11}{8} \sin 2(\lambda - \lambda') + \frac{15}{4} \frac{e_o}{\mu} \sin \left(2(\lambda - \lambda') - (cnt + \lambda_o - \pi_o) \right) \right] \\
s &= i_o \sin(gnt + \lambda_o - \theta_o) + e_o i \sin \left((c + g)nt + 2\lambda_o - \pi_o - \theta_o \right) \\
&+ e_o i_o \sin \left((c - g)nt - \pi_o + \theta_o \right) + \frac{3}{8} \mu i_o \sin \left(2(\lambda - \lambda') - (gnt + \lambda_o - \theta_o) \right)
\end{aligned} \tag{32}$$

In diesen Formeln sind die a_o , e_o , λ_o , i_o , π_o und θ_o die Integrationskonstanten.

In den Gleichungen sind außer den sekularen auch die wichtigsten periodischen Störungen, die Variation und Ekektion enthalten. Es wird nicht nötig sein, dies noch näher auszuführen. In dem zu Beginn von § 1 erwähnten Werk wird auch der Ausdruck für die jährliche Gleichung abgeleitet, es würde aber nicht die geringsten Schwierigkeiten bieten, auch die Störungen — insbesondere auch die periodischen — genauer zu berechnen als dies im Vorangehenden geschah.

Ein weiterer Vorzug der vorgetragenen Methode besteht darin, daß sich bei ihr ohne Mühe übersehen läßt, daß sich die Polarkoordinaten in rein periodischer Form darstellen lassen. Ist die Sonnenbahn ein Kreis und wird die Neigung der Mondbahn vernachlässigt, so ist der Beweis sehr einfach zu führen, wegen der nähern Ausführung muß auf das bereits erwähnte Buch verwiesen werden.

Über verschiedene Anwendungen eines Satzes aus der Transformationstheorie der kanonischen Differentialgleichungen

Von Hans Happel in Breslau

Die kanonischen Differentialgleichungen der Mechanik werden nach einem von Poincaré in seinen *Leçons de Mécanique céleste* T. I bewiesenen Satz wieder in kanonische Differentialgleichungen übergeführt, falls zwischen den alten Variablen q_i, p_i und den neuen q'_i, p'_i die folgende Beziehung besteht

$$\sum q'_i dp'_i - \sum q_i dp_i = dS + Wdt \quad (1)$$

d. h. falls die linke Seite ein exaktes Differential dS ist, vorausgesetzt, daß die Zeit t als konstant angesehen wird. Betrachtet man die Zeit nicht als konstant, so tritt rechts zu dS noch ein mit dt proportionales Glied, dessen Faktor W eine Funktion von den q_i, p_i, t oder auch von den q'_i, p'_i, t ist. Ist H die Hamiltonsche Funktion der alten Differentialgleichungen, so ist die der neuen $H - W$. Wir werden im folgenden verschiedene Anwendungen dieses Satzes teils auf die Theorie der Planeten, teils auf die des Mondes machen und dadurch Untersuchungen von Radau und Delaunay nicht unwesentlich vereinfachen.

Außer der Sonne, deren Masse wir als Einheit wählen, denken wir uns noch zwei weitere Planeten mit den Massen m und m' . Wir nehmen an, daß sich diese drei Körper in einer Ebene bewegen und bezeichnen mit x, y die Koordinaten von m bezogen auf die Sonne, während x', y' die von m' bezogen auf den Schwerpunkt G des aus der Sonne und dem Planeten m bestehenden Systems sein sollen. Zur Abkürzung setzen wir

$$\mu = \frac{m}{1+m} \quad \mu' = \frac{m'(1+m)}{1+m+m'} \quad (2)$$

Unter S wollen wir den Ort der Sonne verstehen und im gleichen Moment seien m und m' die Orter der Planeten. Mit $r, r', r_{Sm'}$ und Δ bezeichnen wir dann die folgenden Entfernungen

$$r = Sm \quad r' = Gm' \quad r_{Sm'} = Sm' \quad \Delta = mm' \quad (3)$$

Es lauten dann die Differentialgleichungen für die im Vorangehenden definierten Jacobischen Koordinaten x, y, x', y' , falls wir noch die lebendige Kraft mit T bezeichnen und

$$\begin{aligned} q_1 = x & & q_2 = y & & q_3 = x' & & q_4 = y' \\ p_1 = \frac{\delta T}{\delta q_1} = \mu q'_1 & & p_2 = \frac{\delta T}{\delta q_2} = \mu q'_2 & & p_3 = \frac{\delta T}{\delta q_3} = \mu' q'_3 & & p_4 = \frac{\delta T}{\delta q_4} = \mu' q'_4 \end{aligned} \quad (4)$$

setzen

$$\begin{aligned} \frac{dq_i}{dt} &= \frac{\delta H}{\delta p_i} & \frac{dp_i}{dt} &= -\frac{\delta H}{\delta q_i} \\ H &= \frac{1}{2\mu} (p_1^2 + p_2^2) + \frac{1}{2\mu'} (p_3^2 + p_4^2) - \frac{m}{r} - \frac{m'}{r_{Sm'}} - \frac{mm'}{\Delta} \end{aligned} \quad (5)$$

(Die Gravitationskonstante ist gleich 1 angenommen.)

Wir führen nun neue Koordinaten ein, wir bezeichnen sie für m mit r, v, ζ und f und für m' mit r', v', ζ' und f' . Die Größen r und r' sind bereits definiert, v und v' sind die zu r und r' gehörigen wahren Längen, ferner werden ζ, f, ζ', f' eingeführt durch

$$\begin{aligned} \zeta &= \mu \frac{dr}{dt} & \zeta' &= \mu' \frac{dr'}{dt} \\ f &= \mu \left(x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} \right) = \mu r^2 \frac{dv}{dt} & f' &= \mu' \left(x' \frac{dy'}{dt} - y' \frac{dx'}{dt} \right) = \mu' r'^2 \frac{dv'}{dt} \end{aligned} \quad (6)$$

Die Differentialgleichungen für die neuen Koordinaten sind von Radau abgeleitet, auf sie stützt sich Tisserand im 26. Kapitel des 4. Bandes seines bekannten Werkes.

Wir wollen hier diese Differentialgleichungen in anderer Weise, als dies Radau tut, gewinnen; wir wollen zeigen, daß sie sich mit Benutzung des Poincaréschen Satzes fast ohne Rechnung ergeben. Die bei Poincaré vorkommenden q'_i identifizieren wir mit den r, v, r', v' und die p_i mit den ζ, f, ζ', f' . Man findet nun leicht, daß

$$rd\zeta + vdf - q_1 dp_1 - q_2 dp_2 = \mu \left[rd \left(\frac{dr}{dt} \right) + v d \left(r^2 \frac{dv}{dt} \right) - xd \left(\frac{dx}{dt} \right) - y d \left(\frac{dy}{dt} \right) \right] = \mu d \left(vr^2 \frac{dv}{dt} \right) \quad (7)$$

Zum Beweis hat man nur $-xd \left(\frac{dx}{dt} \right) - yd \left(\frac{dy}{dt} \right)$ durch die r, v und deren Ableitungen auszudrücken; es ergibt sich

$$-xd \left(\frac{dx}{dt} \right) - yd \left(\frac{dy}{dt} \right) = r^2 \frac{dv}{dt} dv - rd \left(\frac{dr}{dt} \right)$$

woraus dann die Behauptung sofort folgt. Da selbstverständlich eine analoge Beziehung auch für m' besteht, so ist

$$\sum q'_i dp'_i - \sum q_i dp_i = dS$$

Die Poincarésche Größe W ist also jetzt $= 0$.

Die Differentialgleichungen in den neuen Koordinaten kann man nun sofort hinschreiben, sie lauten

$$\begin{aligned} \frac{dr}{dt} &= \frac{\delta H}{\delta \zeta} & \frac{dr'}{dt} &= \frac{\delta H}{\delta \zeta'} \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{\delta H}{\delta f} & \frac{dv'}{dt} &= \frac{\delta H}{\delta f'} \\ \frac{d\zeta}{dt} &= -\frac{\delta H}{\delta r} & \frac{d\zeta'}{dt} &= -\frac{\delta H}{\delta r'} \\ \frac{df}{dt} &= -\frac{\delta H}{\delta v} & \frac{df'}{dt} &= -\frac{\delta H}{\delta v'} \end{aligned} \quad (8)$$

Wegen

$$T = \frac{1}{2\mu} \left(\zeta^2 + \frac{f^2}{r^2} \right) + \frac{1}{2\mu'} \left(\zeta'^2 + \frac{f'^2}{r'^2} \right)$$

hat man

$$H = \frac{1}{2\mu} \left(\zeta^2 + \frac{f^2}{r^2} \right) + \frac{1}{2\mu'} \left(\zeta'^2 + \frac{f'^2}{r'^2} \right) - \frac{m}{r} - \frac{m'}{rsm'} - \frac{m m'}{\Delta} \quad (9)$$

Wir zeigen jetzt noch, daß sich mittelst des Satzes von Poincaré auch die Delaunaysche Mondtheorie, und zwar an verschiedenen Stellen, vereinfachen läßt.

Bekanntlich geht Delaunay von den folgenden Differentialgleichungen aus, in denen L, G, H, l, g, h die bekannten Delaunayschen Variablen sind

$$\begin{aligned} \frac{dL}{dt} &= \frac{\delta R}{\delta l} & \frac{dG}{dt} &= \frac{\delta R}{\delta g} & \frac{dH}{dt} &= \frac{\delta R}{\delta h} \\ \frac{dl}{dt} &= -\frac{\delta R}{\delta L} & \frac{dg}{dt} &= -\frac{\delta R}{\delta G} & \frac{dh}{dt} &= -\frac{\delta R}{\delta H} \end{aligned} \quad (10)$$

Die auch wohl als Störungsfunction bezeichnete Größe R hat die Form

$$R = -B - \sum A \cos \theta \quad \theta = i l + i' g + i'' h + i''' n' t + q \quad (11)$$

A und B sind hier bekannte Funktionen von L, G und H ; die in θ vorkommenden Größen i, i', i'', i''' sind ganze Zahlen, n' ist die mittlere Bewegung der Sonne, und q ist eine Konstante.

In Delaunays Theorie¹⁾ berücksichtigt man zunächst nur einen Teil von R , nämlich

$$R_0 = -B - A \cos \theta \quad (12)$$

und integriert (10), indem man R durch R_0 ersetzt. Bei der Integration, die wir uns in der von Brown (Introductory Treatise on the Lunar Theory) angegebenen Weise durchgeführt denken, treten 6 Konstanten auf, die wir ebenso wie Brown und auch Tisserand mit $C, (G), (H), c, (g), (h)$ bezeichnen.

Um den bisher vernachlässigten Teil der Störungsfunktion, nämlich

$$R_1 = R - R_0 \quad (13)$$

zu berücksichtigen, betrachtet man die $C, (G), (H), c, (g), (h)$ als variabel. Die Differentialgleichungen für die $C, \dots, (h)$, die, wie wir sehen werden, wieder von kanonischer Form sind, lassen sich mittelst des Poincaréschen Satzes sehr einfach ableiten. Dazu identifizieren wir die in (1) vorkommenden q'_i mit $c, (g), (h)$ und die p'_i mit $C, (G), (H)$. Wir betrachten zunächst nur $\Sigma q'_i dp'_i$. Mit Rücksicht auf die bekannten bei der Integration der Gleichungen mit der Hamiltonschen Funktion R_0 gewonnenen Beziehungen

$$t + c = -\frac{\delta K}{\delta C} \quad g = \frac{\delta K}{\delta (G)} + (g) \quad h = \frac{\delta K}{\delta (H)} + (h) \quad K = \frac{1}{i} \int \theta dL \quad (14)$$

hat man

$$\begin{aligned} \Sigma q'_i h p'_i = c dC + (g) d(G) + (h) d(H) &= -\frac{\delta K}{\delta C} dC - \frac{\delta K}{\delta (G)} d(G) - \frac{\delta K}{\delta (H)} d(H) \\ &\quad - t dC + g d(G) + h d(H) \end{aligned} \quad (15)$$

Ferner ist, da K Funktion von $L, C, (G), (H)$ ist und die $(G), (H)$ mit den alten Variablen G, H durch die Gleichungen

$$G = \frac{i'}{i} L + (G) \quad H = \frac{i''}{i} L + (H) \quad (16)$$

zusammenhängen

$$c dC + (g) d(G) + (h) d(H) = -dK + \left(\frac{\delta K}{\delta L} - \frac{i'}{i} g - \frac{i''}{i} h \right) dL - t dC + g dG + h dH \quad (17)$$

Wegen der aus der letzten Gleichung (14) folgenden Relation $\frac{\delta K}{\delta L} = \frac{\theta}{i}$ und mit Rücksicht auf den in (11) angegebenen Wert von θ ergibt sich, daß in (17) der Koeffizient von dL auch = $l + \frac{i'''}{i} n' t + \frac{q}{i}$ ist. Also

$$\begin{aligned} \Sigma q'_i d p'_i - \Sigma q_i d p_i &= c dC + (g) d(G) + (h) d(H) - l dL - g dG - h dH \\ &= -dK + \left(\frac{i'''}{i} n' t + \frac{q}{i} \right) dL - t dC \end{aligned}$$

oder

$$\begin{aligned} &c dC + (g) d(G) + (h) d(H) - l dL - g dG - h dH \\ &= d \left[-K + \left(\frac{i'''}{i} n' t + \frac{q}{i} \right) L - t C \right] + \left(C - \frac{i'''}{i} n' L \right) dt \end{aligned} \quad (18)$$

Damit ist bewiesen, daß der links stehende Ausdruck ein exaktes Differential ist, falls t konstant ist. Ferner erhält man für die in (1) vorkommende Funktion W

$$W = C - \frac{i'''}{i} n' L$$

¹⁾ Vergleiche die Darstellung von Delaunays Theorie bei E. W. Brown, Introductory Treatise on the Lunar Theory, oder auch bei Tisserand Méc. céleste T. III.

oder da bei der Integration der Gleichungen mit R_0 das Integral

$$C = A \cos \theta + B + \frac{i''' n' L}{i}$$

sich ergibt, so ist auch

$$W = A \cos \theta + B = R_1 - R \quad (19)$$

Da die l, g, h den q_i entsprechen und also die Hamiltonsche Funktion von (10) $-R$ ist, so ist die Hamiltonsche Funktion der neuen Differentialgleichungen

$$-R - W = -R - R_1 + R = -R_1$$

Also man hat

$$\frac{dc}{dt} = -\frac{\delta R_1}{\delta C} \quad \frac{dC}{dt} = \frac{\delta R_1}{\delta c} \text{ etc.} \quad (20)$$

Für das Folgende erinnern wir daran, daß sich bei der Integration der Gleichungen mit der Hamiltonschen Funktion R_0 für L, θ, l, g, h Reihen von folgender Form ergeben

$$\begin{aligned} L &= L_0 + L_1 \cos \theta_0(t+c) + L_2 \cos 2\theta_0(t+c) + \dots \\ \theta &= \theta_0(t+c) + \theta_1 \sin \theta_0(t+c) + \theta_2 \sin 2\theta_0(t+c) + \dots \\ l &= (l) + l_0(t+c) - \frac{i'''}{i} n' t + l_1 \sin \theta_0(t+c) + l_2 \sin 2\theta_0(t+c) + \dots \\ g &= (g) + g_0(t+c) + g_1 \sin \theta_0(t+c) + g_2 \sin 2\theta_0(t+c) + \dots \\ h &= (h) + h_0(t+c) + h_1 \sin \theta_0(t+c) + h_2 \sin 2\theta_0(t+c) + \dots \end{aligned} \quad (21)$$

Definiert man mit Delaunay die Funktion Λ durch

$$\Lambda = \frac{1}{i} \left[L_0 + \frac{1}{2} (L_1 \theta_1 + 2 L_2 \theta_2 + 3 L_3 \theta_3 + \dots) \right] \quad (22)$$

so ergibt sich bekanntlich mittelst (21) ohne große Rechnung die Gleichung

$$d\Lambda = \frac{1}{\theta_0} dC - \frac{g_0}{\theta_0} d(G) - \frac{h_0}{\theta_0} d(H) \quad (23)$$

In Delaunays Theorie werden statt $c, (g), (h), C, (G), (H)$ abermals neue Veränderliche $\lambda, x, \eta, L', G', H'$ eingeführt, die wie folgt definiert werden:

$$\begin{aligned} \lambda &= -\frac{q}{i} - \frac{i'}{i} (g) - \frac{i'''}{i} (h) + l_0(t+c) - \frac{i'''}{i} n' t \\ x &= (g) + g_0(t+c) \\ \eta &= (h) + h_0(t+c) \\ L' &= i\Lambda \quad G' = (G) + \frac{i'}{i} L' \quad H' = (H) + \frac{i''}{i} L' \end{aligned} \quad (24)$$

Um zu zeigen, daß die Differentialgleichungen für die λ, x, \dots wieder von kanonischer Form sind, beweisen wir, daß

$$\lambda dL' + x dG' + \eta dH' - (c dC + (g) d(G) + (h) d(H))$$

ein exaktes Differential ist, falls t konstant ist, woraus dann wieder gemäß (1) die kanonische Form für die neuen Differentialgleichungen folgt.

Mit Rücksicht auf die in (24) enthaltenen Definitionsgleichungen der L', G', H' und wegen (23) erhält man

$$\begin{aligned} &\lambda dL' + x dG' + \eta dH' - (c dC + (g) d(G) + (h) d(H)) \\ &= \lambda i \left(\frac{1}{\theta_0} dC - \frac{g_0}{\theta_0} d(G) - \frac{h_0}{\theta_0} d(H) \right) + x \left[d(G) + i' \left(\frac{1}{\theta_0} dC - \frac{g_0}{\theta_0} d(G) - \frac{h_0}{\theta_0} d(H) \right) \right] \\ &+ \eta \left[d(H) + i'' \left(\frac{1}{\theta_0} dC - \frac{g_0}{\theta_0} d(G) - \frac{h_0}{\theta_0} d(H) \right) \right] - (c dC + (g) d(G) + (h) d(H)) \end{aligned}$$

oder, indem wir ordnen

$$\begin{aligned} & \lambda dL' + x dG' + \eta dH' - (c dC + (g) d(G) + (h) d(H)) \\ = & \left(\lambda \frac{i'}{\theta_o} + x \frac{i''}{\theta_o} + \eta \frac{i'''}{\theta_o} - c \right) dC - \left(\lambda \frac{i' g_o}{\theta_o} - x + x \frac{i' g_o}{\theta_o} + \eta \frac{i'' g_o}{\theta_o} + (g) \right) d(G) \quad (25) \\ & - \left(\lambda \frac{i' h_o}{\theta_o} + \frac{x i' h_o}{\theta_o} - \eta + \frac{\eta i'' h_o}{\theta_o} + (h) \right) d(H) \end{aligned}$$

Der Koeffizient von dC ist wegen (24) und mit Rücksicht auf die bekannte Beziehung

$$\theta_o = i l_o + i' g_o + i'' h_o \quad (26)$$

gleich

$$- \frac{q}{\theta_o} + t - \frac{i''' n' t}{\theta_o}$$

Für den Koeffizienten von $d(G)$ findet man mittelst (24) und (26)

$$- \frac{g_o}{\theta_o} \left[-q + \theta_o (t + c) - i''' n' t \right] + x - (g) = \frac{g_o}{\theta_o} q + \frac{g_o}{\theta_o} i''' n' t$$

Analog folgt für den Koeffizienten von $d(H)$

$$\frac{h_o}{\theta_o} q + \frac{h_o}{\theta_o} i''' n' t$$

Also, falls noch (23) berücksichtigt wird

$$\begin{aligned} & \lambda dL' + x dG' + \eta dH' - (c dC + (g) d(G) + (h) d(H)) \\ = & \left(- \frac{q}{\theta_o} + t - \frac{i''' n' t}{\theta_o} \right) dC + \frac{g_o}{\theta_o} (q + i''' n' t) d(G) + \frac{h_o}{\theta_o} (q + i''' n' t) d(H) \\ & = -q d\Lambda - i''' n' t d\Lambda + t dC \end{aligned}$$

Mithin, da q konstant ist

$$\begin{aligned} & \lambda dL' + x dG' + \eta dH' - [c dC + (g) d(G) + (h) d(H)] \quad (27) \\ & = d[-q\Lambda - i''' n' t \Lambda + tC] + (i''' n' \Lambda - C) dt \end{aligned}$$

Also ist

$$W = i''' n' \Lambda - C$$

In den Differentialgleichungen (20), in denen jetzt die c , (g) , (h) die Rolle der q_i spielen, ist $-R_1$ die Hamiltonsche Funktion, in den Gleichungen für die λ , x , η , L' , .. ist also die Hamiltonsche Funktion gegeben durch

$$-R_1 - W = -R_1 - i''' n' \Lambda + C$$

Mithin sind die neuen Differentialgleichungen

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{\delta(-R_1 - i''' n' \Lambda + C)}{\delta L} \quad \frac{dL'}{dt} = \frac{\delta(R_1 + i''' n' \Lambda - C)}{\delta \lambda} \quad \text{etc.} \quad (29)$$

Damit ist gezeigt, wie sich die Delaunaysche Theorie mittelst des Poincaréschen Satzes vereinfacht.

Oberschlesische Basalte im bituminösen Straßenbau

(Institut für Straßenbauforschung der Technischen Hochschule Breslau)

Von Walter Hartleb in Breslau

Für bituminöse Straßendecken, d. h. für Straßendecken, bei denen als Bindemittel Asphaltbitumen oder Teer verwendet wird, ist als Steingerüst der Basalt besonders beliebt. Niederschlesische Basaltbrüche, mit modernen Brecheranlagen ausgestattet, liefern seit Jahren Edelsplitt, d. h. würfelig gebrochene Splitt aller Korngrößen, die sich im bituminösen Straßenbau bewährt haben.

Als vor etwa zwei Jahren die Verwaltung des Oberschlesischen Provinzialverbandes, im Interesse der ober-schlesischen Steinindustrie, den Straßenbauunternehmern die Verwendung ober-schlesischer Basaltsplitt dringend empfahl, stieß sie auf Widerstand. Man behauptete, gestützt auf die Gutachten zweier privater Laboratorien, der ober-schlesische, im besonderen der aus einem bestimmten, schon mit einer modernen Brecheranlage ausgestatteten Steinbruchbetrieb stammende Basalt sei dem niederschlesischen Basalt nicht gleichwertig. Seine Druckfestigkeit sei geringer. Er enthalte chemische Bestandteile, die einem guten Haften des Bindemittels am Stein nicht günstig seien. Mit Teer oder Asphalt umhüllte Splittkörner seien nach einer Wasserlagerung nicht mehr gleichmäßig umhüllt, sondern wiesen Stellen auf, an denen kein Bindemittel mehr vorhanden sei. Für den bituminösen Straßenbau sei dieser Basalt daher nicht geeignet.

Um die Güteverhältnisse der ober-schlesischen Basalte zu klären, habe ich im Auftrage der Verwaltung des Oberschlesischen Provinzialverbandes im Jahre 1933 vergleichende Untersuchungen an zwei niederschlesischen Basalten und an zunächst einem ober-schlesischen, später dann auch noch an einem zweiten ober-schlesischen Basalt ausgeführt. Über das Ergebnis dieser Untersuchungen soll im folgenden kurz berichtet werden.

Die untersuchten beiden niederschlesischen Basalte sind mit N_1 und N_2 , die ober-schlesischen mit O_1 und O_2 bezeichnet.

Zunächst sind noch nicht im Brecher zerkleinerte Gesteinsproben aus allen vier Steinbrüchen nach Prüfverfahren, die vom Deutschen Normenausschuß festgesetzt sind, auf folgende Eigenschaften untersucht worden.

- I. Bruchflächenbeschaffenheit,
- II. Gewichts- und Dichtigkeitsverhältnisse,
- III. Wasseraufnahme,
- IV. Druckfestigkeit.

Diese Untersuchungen hatten folgendes Ergebnis:

- I. Bruchflächenbeschaffenheit.

- a) Gefüge

1. O_1 : Dicht, feinkristallinisch, mit zahlreichen größeren und kleineren, gelbgrünen bis rostgelben Einsprenglingen (stellenweise 5 bis 8 mm), die zum Teil schon an der Luft durch Kratzen oder Schlagen herausbröckeln.
2. O_2 : Dicht, feinkristallinisch, mit ganz vereinzelt kleinen gelben Einsprenglingen.
3. N_1 : Dicht, feinkristallinisch, mit einzelnen Einsprenglingen, die teils denen von O_1 ähnlich, teils anderen Charakters sind (glasig oder grobkristallinisch).
4. N_2 : Dicht, feinkristallinisch, mit ganz vereinzelt kleinen rotgelben Einsprenglingen.

b) Bruch

1. O_1 : Scharfkantig, muschelig, glatt.
2. O_2 : Scharfkantig, muschelig, glatt.
3. N_1 : Scharfkantig, muschelig, glatt.
4. N_2 : Scharfkantig, muschelig, glatt.

c) Farbe

1. O_1 : Grauschwarz.
2. O_2 : Grauschwarz.
3. N_1 : Grauschwarz. Von den Außenflächen des in der Natur gebildeten Blockes ausgehend, zeigt sich am Rande eine dunklere Färbung, die sich in $\sim 3\frac{1}{2}$ cm Tiefe scharf gegen die Färbung der Kernmasse abhebt.
4. N_2 : Grauschwarz bis tiefschwarz.

II. Gewichts- und Dichtigkeitsverhältnisse.

	O_1	O_2	N_1	N_2
1) Raumgewicht $r =$	3,010	2,970	2,950	3,015
2) Spez. Gewicht (am Pulver bestimmt) $s =$	3,020	2,974	2,953	3,022
3) Dichtigkeitsgrad $d = \frac{r}{s} =$	0,997	0,999	0,999	0,998
4) Undichtigkeitsgrad $u = 1 - d$	0,003	0,001	0,001	0,002

III. Wasseraufnahme.

Die nachstehenden Prozentzahlen sind Mittelwerte aus je drei Untersuchungen. Die Wasseraufnahme ist in Prozenten des Gewichts der Proben nach dem Trocknen ausgedrückt. Alle Proben waren nach drei Tagen wassersatt.

1. O_1 : Wasseraufnahme = 0,32 %.
2. O_2 : „ = 0,18 %.
3. N_1 : „ = 0,24 %.
4. N_2 : „ = 0,14 %.

Bei der Bestimmung der Wasseraufnahme von O_1 wurde folgendes beobachtet:

Die unregelmäßig geformten Probestücke zeigten nach 24 Stunden Wasserlagerung zahlreiche bräunliche und mehr noch gelbliche Ausblühungen, die aus den Steinen hervorquollen, sich loslösten und den Boden des Gefäßes bedeckten. Einige dieser Ausblühungen wurden abgekratzt. Sie wuchsen in weiteren 24 Stunden wieder nach, bis sie einen Endzustand erreichten. An einem der drei Probestücke platzte infolge Sprengung durch derartige Ausblühungen ein Stück Gestein ab. Nach dem Auskratzen der Ausblühungen verblieben im Steine Vertiefungen.

Bei den Probestücken aus O_2 , N_1 und N_2 zeigten sich diese Erscheinungen nicht.

IV. Druckfestigkeit.

Die Zahlen sind bei O_1 , N_1 und N_2 Mittelwerte aus drei, bei O_2 aus vier Versuchen. Bei allen Versuchen traten Rißbildung und Zerstörung gleichzeitig ein.

1. O_1 : Druckfestigkeit = 3145 kg/cm²
2. O_2 : „ = 3095 „
3. N_1 : „ = 3193 „
4. N_2 : „ = 3335 „

Die kleinen Unterschiede in den Druckfestigkeiten spielen bei der Beurteilung der Brauchbarkeit der oberschlesischen Basalte für den bituminösen Straßenbau keine Rolle. Den bei Straßendecken auftretenden Druckbeanspruchungen sind schon Steine mit weit geringerer Druckfestigkeit, als z. B. O_2 , sie aufweist, vollauf gewachsen. Weit wichtiger ist das Verhalten des Gesteins gegen Schlagbeanspruchung, d. h. seine Zähigkeit.

Diese Eigenschaft ist an Splittproben geprüft worden, die von allen vier Brüchen in sechs verschiedenen Körnungen zur Verfügung gestellt waren. Dabei habe ich ein Verfahren angewendet, das in Heft 7 der DIN-Vorschriften 1995/1996 unter Ziffer 6a wie folgt beschrieben ist: „Widerstandsfähigkeit gegen Schlagbeanspruchung.“

Diese Prüfungsart wird wie die unter Nr. 5 meist nur an Einzelkorngrößen durchgeführt, und zwar bis zur Höchst Korngröße von 15 mm Sieblochdurchmesser. Die zu prüfende Gesteinskörnung wird aus einer guten Durchschnittsprobe zuvor ausgesiebt, und zwar Fein- und Mittelgrus nach unten hin auf dem 3-mm-Lochsieb und nach oben hin auf dem 10-mm-Lochsieb, Grobgrus nach unten hin auf dem 10-mm-Lochsieb und nach oben hin auf dem 15-mm-Lochsieb. Von dem so hergestellten klaren trockenen Grus werden etwa 2 kg abgewogen. 400 g bringt man in eine 7,07 cm Würfelform, deren Unterlagsplatte aus Stahl besteht und mit einem 2 mm dicken Stahlblech geschützt ist; man legt dann einen eisernen Klotz und auf diesen einen Holzklotz auf und schlägt bei einer Fallhöhe von 25 cm mit einem 12 kg schweren Hammer 100 mal; in dieser Weise wird das abgewogene Material nacheinander behandelt, wozu man die Form also fünfmal neu anfüllen und schlagen muß. Die gesammelte, so geschlagene Gesteinsmasse wird nach Wägung einer sorgfältigen Siebung unterworfen. Die Menge des nunmehr bei Fein- und Mittelgrus durch das 3-mm-, bei Grobgrus durch das 10-mm-Rundlochsieb fallenden, neuentstandenen Steinmaterials gibt einen Maßstab für den Schlagwiderstand und die Zähigkeit des Gesteins.“

Da mir kein Hammer von 12 kg Gewicht, sondern ein solcher von 14 kg zur Verfügung stand, habe ich nicht 100 mal, sondern $\frac{100 \cdot 12}{14} = 85,7$, d. h. 86 mal geschlagen. Ich habe die Prüfung mit Feinsplitt 3/7 vorgenommen. Zu bemerken ist hier noch, daß das neueste Normenblatt DIN 1179 vom März 1935 an Körnungen nur noch Mehl, Brechsand, Splitt und Schotter, aber nicht mehr Grus kennt. Die Körnungen 3—10 werden als Feinsplitt, 10—30 als Grobsplitt bezeichnet.

Das Ergebnis der Prüfung war folgendes:

Splittprobe aus	Gewicht der nach dem Schlagen durch ein 3-mm-Sieb hindurchgegangenen Gesteinsmenge, ausgedrückt in % der geschlagenen Gesteinsmenge
O_1	35,7 %
O_2	26,8 %
N_1	38,9 %
N_2	19,2 %

Die Widerstandsfähigkeiten gegen Schlagbeanspruchung wichen also bei den verschiedenen Splittproben nicht unerheblich von einander ab. Es stand nun noch nicht von vornherein fest,

ob dieser Unterschied auf die Gesteinsbeschaffenheit oder auf die unterschiedliche Form der Splittstücke zurückzuführen war. Der äußere Befund der Splitte war folgender:

Die feinkörnigeren Splitte, etwa bis zur Korngröße 5, hatten bei O_2 und N_2 überwiegend würfelige, bei O_1 und N_1 dagegen durchweg plattige und scherbige Stücke.

Auch bei den Körnungen zwischen 5 und 8 mm waren O_2 und N_2 vorwiegend würfelig, O_1 und N_1 dagegen etwa zur Hälfte würfelig und zur Hälfte plattig und scherbig gebrochen.

Bei den Körnungen zwischen 8 und 15 mm wies neben O_2 und N_2 auch O_1 überwiegend würfelige Stücke auf; N_1 hatte auch hier etwa zur Hälfte würfelige und zur Hälfte scherbige und plattige Stücke.

Bei den Körnungen über 15 mm hatten O_1 , N_1 und N_2 durchweg würfelige Stücke. Der Splitt aus O_2 bestand hier etwa zur Hälfte aus würfeligen und zur Hälfte aus plattigen Stücken.

Der auf Widerstandsfähigkeit gegen Schlagbeanspruchung untersuchte Splitt 3/7 war also in bezug auf die Form der Splittstücke nicht bei allen vier untersuchten Basaltarten gleichartig.

Um festzustellen, ob die scherbige, plattige Form von Splittstücken von Einfluß auf die Widerstandsfähigkeit eines Splittes gegen Schlagbeanspruchung ist, habe ich durch Aussiebung je einen Splitt der Körnung 10/15 aus den zuerst untersuchten drei Basalten O_1 , N_1 und N_2 hergestellt, der bei O_1 und N_2 nur würfelige, bei N_1 vorwiegend würfelige Stücke enthielt.

Die so gewonnenen Splittproben 10/15 sind dann gleichfalls auf Widerstandsfähigkeit gegen Schlagbeanspruchung geprüft worden, und zwar mit folgendem Ergebnis:

Splittprobe aus	Gewicht der nach dem Schlagen durch ein 10-mm-Sieb hindurchgegangenen Gesteinsmenge, ausgedrückt in % der geschlagenen Gesteinsmenge
O_1	51,72 %
N_1	51,76 %
N_2	28,19 %

Während sich also bei dem zuerst untersuchten Splitt 3/7 die Widerstandsfähigkeiten gegen Schlagbeanspruchung wie

$$\frac{1}{19,2} (N_2) : \frac{1}{35,7} (O_1) : \frac{1}{38,90} (N_1) = 1 : \frac{19,2}{35,7} : \frac{19,2}{38,9} = 1 : 0,54 : 0,49$$

verhielten, verhielten sie sich bei dem Splitt 10/15, bei dem der Einfluß der Stückform weitestgehend ausgeschaltet war, und fast allein nur noch die Gesteinseigenschaften maßgebend waren, wie

$$1 (N_2) : \frac{28,19}{51,72} (O_1) : \frac{28,19}{51,76} (N_1) = 1 : 0,55 : 0,54.$$

Vergleicht man diese Verhältniszahlen, so erkennt man, daß der Unterschied in der Widerstandsfähigkeit gegen Schlagbeanspruchung hauptsächlich auf die verschiedene Beschaffenheit der Gesteine zurückzuführen ist, und daß die Form der Splittstücke nur von geringem Einfluß ist.

Um festzustellen, ob der Unterschied etwa ausgeglichen oder gemildert wird, wenn der Splitt mit einem Bindemittel umhüllt ist, habe ich je 400 g des Splittes 10/15 von O_1 und N_2 mit Shelmac umhüllt, die Mischung 86 mal geschlagen, sodann das Bindemittel wieder extrahiert und ermittelt, wieviel Gramm der vom Bindemittel wieder befreiten Gesteinsmasse durch das 10-mm-Rundlochsieb hindurchfielen. Das Ergebnis war:

bei O_1 : 120,75 g, d. h. 30,19%,

bei N_2 : 71,00 g, d. h. 17,7%.

Die Widerstandsfähigkeiten gegen Schlagbeanspruchung verhielten sich also in diesem Falle wie:

$$1(N_2) : \frac{17,7}{30,19}(O_1) = 1 : 0,59.$$

Der Unterschied der Widerstandsfähigkeiten ist also durch die Bindemittelumhüllung nur unwesentlich verringert worden.

Bei der später ausgeführten Untersuchung des Basaltes O_2 ist gleichfalls ein ausgesiebter Splitt 10/15 auf Schlagbeanspruchung geprüft und dabei das Gewicht der nach dem Schlagen durch ein 10-mm-Sieb hindurchgegangenen Gesteinsmenge, ausgedrückt in Prozenten des Gewichtes der Gesteinsmenge vor dem Schlagen, zu 46,1 % festgestellt worden.

Die Widerstandsfähigkeitsziffer dieses Splittes, bezogen auf 1 des entsprechenden Splittes aus N_2 , berechnet sich daraus zu $\frac{28,19}{46,1} = 0,61$, während sie bei dem 3/7-Splitt $\frac{19,2}{26,8} = 0,72$ betrug.

Während also die Widerstandsfähigkeitsziffern gegen Schlagbeanspruchung von O_1 und N_1 , bezogen auf 1 des Basaltes N_2 , aus beiden Versuchen annähernd gleich waren (0,54 und 0,55 bei O_1 ; 0,49 und 0,54 bei N_1) wichen die für O_2 gefundenen Ziffern (0,72 und 0,61) nicht unerheblich voneinander ab. Dieser Unterschied ist folgendermaßen zu erklären.

Die untersuchten Splittproben von O_1 , N_1 und N_2 stammten aus Splitten, die in den Brecheranlagen der Werke selbst, und zwar aus jeweils durchweg gleichwertigem Gestein, hergestellt waren. Der O_2 -Bruch hat noch keine eigene Brecheranlage. Die zur Untersuchung notwendigen Splittproben dieses Basaltes sind deshalb in einer auswärtigen Brecheranlage hergestellt worden. Um festzustellen, ob außer der in erster Linie für die Splitt Herstellung in Aussicht genommenen Hauptgesteinsmasse, einem flachmuschelig brechenden Basalt aus unteren Lagen, auch ein knollig brechendes Gestein aus der oberen Lage zur Verarbeitung zu Splitten geeignet ist, hat das Werk Proben beider Basaltarten zum Brechen fortgeschickt. Auf der auswärtigen Brecheranlage sind aber die beiden Gesteinsarten versehentlich nicht getrennt voneinander gebrochen worden. Die mir übersandten Splittproben waren daher eine Mischung aus beiden Basaltarten, dem flachmuschelig brechenden und dem knollig brechenden, von denen der letztere nach meinen Feststellungen eine weit geringere Druckfestigkeit hat als der erstere. Daß bei zwei Splittproben von O_2 Widerstandsfähigkeitsziffern gegen Schlagbeanspruchung festgestellt wurden, die beachtlich voneinander abwichen, ist daher höchstwahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß in den beiden Splittkörnungsproben die beiden Gesteinsarten (flachmuschelig und knollig brechendes Gestein) nicht im gleichen Mengenverhältnis miteinander gemischt waren.

Im übrigen ist, da schon die untersuchten, aus Stücken von verschiedener Gesteinsbeschaffenheit gemischten Splitte Widerstandsfähigkeiten aufwiesen, die zwischen den Ziffern für N_2 und O_1 lagen, mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß diese Ziffern sich noch mehr den Ziffern von N_2 nähern werden, wenn für die Herstellung der Splitte aus O_2 nur flachmuschelig brechendes Gestein verwendet wird.

Wie schon in der Einleitung bemerkt, entsprangen die Bedenken gegen die Verwendung des oberschlesischen Basaltes O_1 hauptsächlich den Beobachtungen, die zwei private Laboratorien bei der Wasserlagerung von mit bituminösen Bindemitteln umhüllten Splitten gemacht hatten. Sie hatten geglaubt, in den „Ausblühungen“ des Basaltes O_1 die Ursache für ein von ihnen beobachtetes Zusammenfließen des Bindemittels zu einzelnen Tropfen, d. h. für eine Zerstörung des Zusammenhanges in der Bindemittelhaut sehen zu müssen.

Um diese Bedenken nachzuprüfen, wurden Splittproben 8/15 der drei zuerst untersuchten Basalte mit verschiedenen bituminösen Bindemitteln umhüllt.

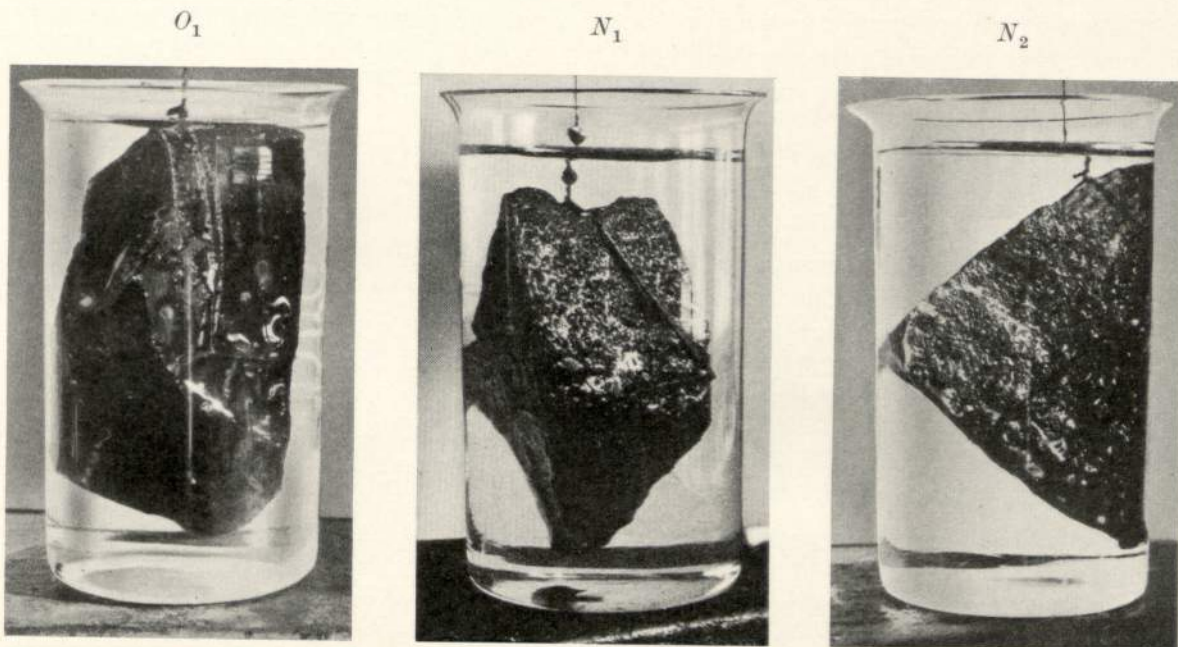
Die Splitte wurden zu diesem Zwecke auf 70–80° (bei Bitumen auf 100–120°) erwärmt und mit 5 Gramm Bindemittel auf 100 Gramm Gestein bis zur gleichmäßigen Umhüllung gemischt. Bei der Luftlagerung der umhüllten Splitte (10 Tage) war bei keinem etwas Auffälliges zu bemerken.

Bei der Wasserlagerung zeigte sich bei O_1 und N_1 nach einer halben Stunde bei zwei Bindemittelsplitten eine Auflösung der geschlossenen Bindemittelhäute in einzelne, mehr oder weniger große Tropfen. Dadurch wurde das Gestein an einzelnen Stellen vom Bindemittel entblößt. In den nächsten 10 Tagen schritt diese Erscheinung weiter fort, so daß schließlich das Bindemittel nur noch in Tropfen auf den einzelnen Splittkörnern zu sehen war. Bei den mit anderen Bindemitteln umhüllten Splitten war die Erscheinung zum Teil überhaupt nicht, zum Teil nicht im gleichen Maße zu beobachten.

Bei N_2 zeigten sich die Auflösungserscheinungen bei allen Bindemitteln, wenn überhaupt, so nur in weit geringerem Maße.

Die später durchgeführte Wasserlagerung von Bindemittelsplitten aus O_2 ergab, daß sich hier die Erscheinung nur auf die Kanten der einzelnen Splittstücke beschränkte.

Auf den Bildern, die nicht umhüllten Splitt, sondern ein mit Bindemitteln umhülltes größeres Steinstück der drei zuerst untersuchten Basalte zeigen, sind die zusammengeflossenen Bindemitteltropfen als helle Flecke (Lichtreflexe), die bloßgelegten Gesteinsflächen als dazwischen liegende graue Flächen zu erkennen.



Bei den Wasserlagerungsversuchen wurde auch festgestellt, daß bei dem mit Bindemittel jeder Art umhüllten Splitt aus O_1 nach zwei Tagen an einzelnen Steinen „Ausblühungen“ die Bindemittelschicht durchbrochen hatten. Von einer allgemeinen Zerstörung der Bindemittelhaut durch diese Ausblühungen kann aber nicht gesprochen werden, da sie nur vereinzelt auftraten. Ganz vereinzelt brachen einige Tage später auch beim Splitt aus N_1 Ausblühungen durch die Bindemittelhaut.

Die Ausblühungen bei O_1 waren auch schon bei der Wasserlagerung von größeren, nicht mit einem Bindemittel umhüllten Gesteinsstücken beobachtet worden. Sie sind zurückzuführen auf die unter „Bruchflächenbeschaffenheit“ beschriebenen Einsprenglinge, die nach Untersuchungen, die Professor Dr. Spangenberg im Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Breslau ausgeführt hat, aus einem Umwandlungs-, nicht aus einem Verwitterungsprodukt des Olivin, aus Iddingsit bestehen.

In den Ausblühungen dieser Einsprenglinge hatten die Privatlaboratorien die Ursache für die Zerstörung der Bindemittelhaut gesehen. Die Untersuchungen haben aber gezeigt, daß

das Zusammenfließen des Bindemittels zu einzelnen Tropfen und damit die Zerstörung des Zusammenhanges in der Bindemittelhaut auch bei Gesteinen auftritt, die nicht, wie O_1 , Einsprenglinge von Iddingsit enthalten. Es handelt sich bei diesen Erscheinungen um Oberflächenspannungen und Flächenreaktionen, die je nach der Zusammensetzung des Gesteins und des Bindemittels verschieden sind.

Mit diesen Problemen beschäftigen sich zur Zeit verschiedene Forschungsstellen. Es sei z. B. auf die Arbeit von Dr. Riedel und Dr. Weber, Dresden, in der Zeitschrift „Asphalt und Teer, Straßenbautechnik“ 1933, Heft 37—44, hingewiesen.

Gegenüber den Zerstörungen der Bindemittelhaut durch Flächenreaktionen bei der Wassereinsparung ist das vereinzelt Durchbrechen der Bindemittelhaut durch Iddingsit-Ausblühungen bei O_1 ohne wesentliche Bedeutung.

Wassereinsparungen, wie sie bei den angestellten Versuchen eintraten und nach zwei Tagen zu einem vereinzelt Durchbruch von Iddingsitkörnern durch die Bindemittelhaut führten, kommen in der Praxis bei einer fertigen, sachgemäß gebauten Decke überhaupt nicht vor. Höchstens dann, wenn während des Einbaues von Bindemittelsplitten ein langandauernder Regen die Arbeit unterbrechen würde, wäre es im ungünstigsten Falle denkbar, daß an einzelnen Splittstücken Iddingsitkörner durch die im übrigen unverletzt gebliebene Bindemittelhaut durchbrechen. Diese Körner würden aber, wenn die Luft den Splitt getrocknet hat und die Bauarbeiten wieder aufgenommen werden, vom Bindemittel ohne weiteres „verdaut“ werden, ohne daß die Decke Schaden nähme.

Die Iddingsiteinsprenglinge in O_1 können daher nicht als ein Faktor bezeichnet werden, der die sonstige Gleichwertigkeit dieses Basaltes, als Gestein, mit N_1 in einem für die Praxis irgendwie bedeutungsvollen Maße ungünstig beeinflussen könnte.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß nach den festgestellten Güteziffern, Vergleichszahlen und physikalischen Eigenschaften die aus den ober-schlesischen Steinbrüchen O_1 und O_2 stammenden guten Basaltgesteine dem niederschlesischen Basalt aus N_1 gleichwertig sind. O_2 übertrifft ihn in bezug auf Zähigkeit sogar noch etwas. Da sich Basalt aus N_1 nach allgemeiner Ansicht im bituminösen Straßenbau in jeder Beziehung bewährt hat und als dem Basalt aus N_2 praktisch gleichwertig angesehen wird, so ist der ober-schlesische Basalt aus O_1 und O_2 , soweit er aus guten Teilen und Lagen der Brüche stammt, allgemein als dem niederschlesischen Basalt gleichwertig zu bezeichnen.

Der aus Basalt von O_1 hergestellte Splitt hat gegenüber den Splitten aus O_2 , N_1 und N_2 den Nachteil, daß er infolge des Iddingsitgehaltes seines Gesteins stark verstaubt ist. Diese Verstaubung ist für solche Splitte nachteilig, die für Bauweisen verwendet werden, bei denen das Gestein vor dem Mischen mit Bindemitteln nicht im Trockner erhitzt und entstaubt wird.

Leitsätze zur Finanzierung der Unternehmungen

Grundzüge einer allgemeinen Finanzierungslehre

Von Rudolf Hellwig in Breslau

Die Finanzierung, d. h. Kapitalbeschaffung gehört zu den wichtigsten Maßnahmen und Vorgängen in der Unternehmung. Zwar gehört die Finanzierung nicht zu den ertragbildenden Vorgängen, der Ertrag stammt aus dem betrieblichen Güter- und Leistungsprozeß, aber eine ordnungsmäßige Finanzierung ist Voraussetzung für den sachlichen Güter- und Leistungsprozeß, ihre Funktion ist es, dem Betrieb die Durchführung seiner ertragbildenden Leistungen zu ermöglichen. Gerade weil die Finanzierung nicht das Wesen des Betriebes, das durch seine arteigenen Leistungen bestimmt ist, darstellt, ist sie dem überwiegend auf den sachlichen Leistungsprozeß eingestellten Menschen des Betriebes, dem Techniker im weitesten Sinne, eine mehr oder weniger periphere Angelegenheit. Und diese Einstellung führt zu einer gewissen Vernachlässigung der Finanzierung durch den Menschen des Betriebes, die aber praktisch wegen der außerordentlichen Bedeutung der Finanzierung in dem oben angedeuteten Sinne nur die Folge hat, den Betrieb und den Betriebsmenschen um so stärker von der Finanzierung abhängig zu machen. Die Vernachlässigung der Finanzierungsprobleme durch die Menschen des Betriebes ist häufig genug bedingt durch Unkenntnis der Voraussetzungen und Formen der Kapitalbeschaffung, namentlich der nach der Organisation und der jeweiligen Situation des Geld- und Kapitalmarktes überhaupt verfügbaren Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten. Und diese Unkenntnis macht den Menschen des Betriebes auch in starkem Maße abhängig von denjenigen, die sich berufsmäßig mit den Fragen der Finanzierung beschäftigen, und zwar, da sich die Mehrzahl der Betriebe eigene Finanzierungsspezialisten nicht leisten können, von betriebsfremden Finanziers wie namentlich den Banken, denen ihrerseits wiederum leider nur zu häufig eine hinlänglich genaue Kenntnis der sachlichen Güter- und Leistungsprozesse und der durch sie bedingten finanziellen Bedürfnisse der Betriebe fehlt. Diese Zusammenhänge sind es namentlich, welche in der Praxis sowohl zu den zahlreichen finanziellen Schwierigkeiten und Beengungen der Betriebe wie auch zu den Gegensätzen zwischen Industrie und Handel einerseits und Banken andererseits führen.

Es ist für Menschen anderer theoretischer und praktischer Vorbildung und Berufe nicht gerade leicht, sich mit den Möglichkeiten und Voraussetzungen der Kapitalbeschaffung und mit den Voraussetzungen der finanziellen Führung der Unternehmung vertraut zu machen. Abgesehen davon, daß es sich um ein außerordentlich weitschichtiges und kompliziertes Gebiet handelt, ist auch der derzeitige Stand der Fachliteratur nicht ohne weiteres geeignet, dem Nichtfachmann die für ihn notwendige zusammenfassende theoretische und praktische Information zu bieten. Ein großer Teil der Literatur, gerade auch der fachwissenschaftlichen, behandelt den Fragenkreis von einem anderen Standpunkt, nämlich vom Standpunkt der Bank. Die sehr umfangreiche bankwissenschaftliche und banktechnische Literatur ermöglicht aber im wesentlichen für unsere Aufgabe nur eine Information über die Technik der einzelnen Kredit- und Emissionsgeschäfte. Die in der allgemeinen betriebswirtschaftlichen Literatur vorhandenen Untersuchungen sind sehr zahlreich, es sind jedoch zumeist Spezialunternehmungen über Einzelfragen, die noch dazu zum großen Teil in den der breiten Öffentlichkeit meist schwer zugänglichen wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht sind. Abgesehen von dem Standardwerk Schmalenbachs¹⁾ über die Finanzierung, in dem allerdings auch die Finanztechnik im Vordergrund steht, sind systematische Gesamtdarstellungen des Gebietes, an denen sich insbesondere auch die Wirtschaftspraxis orientieren könnte, kaum vorhanden. Am besten informieren über unseren

¹⁾ E. Schmalenbach, Finanzierungen, 5. Aufl., Erster Teil: Beteiligungsfinanzierungen, Leipzig 1932.

Fragenkreis noch die betriebswirtschaftlichen Lehrbücher, weil hier die Finanzierungsprobleme vornehmlich unter dem Gesichtspunkt der Bedürfnisse des Betriebes oder der Unternehmungen untersucht und dargestellt werden. Hier sind das Lehrbuch von Leitner²⁾ und namentlich das ausgezeichnete Lehrbuch von A. Hoffmann³⁾ zu nennen. Ganz allgemein fehlt jedoch in der betriebswirtschaftlichen Literatur die Herausarbeitung und lehrsatzmäßige Zusammenstellung der allgemeinen, bei der Finanzierung von Unternehmungen betrieblich notwendigen Grundsätze oder Regeln, die den doppelten Zweck erfüllen könnten, sowohl der Praxis Leitsätze an die Hand zu geben, wie auch Ausgangspunkt für die weitere wissenschaftliche Durchdringung der Fragen zu bilden, ähnlich wie es in Finanzpolitik und Finanzwissenschaft die seit Adam Smith berühmten sogenannten Steuerregeln gibt. Die betriebswirtschaftliche Literatur behandelt zwar in gewissem Umfang die allgemeinen für die Finanzierung der Unternehmung grundlegenden Fragen, aber dann zumeist in einem anderen Zusammenhang und ohne die Folgerungen für die Finanzierung im einzelnen daraus zu ziehen, so namentlich in der Lehre vom Kapital- und Vermögensaufbau. Allgemeine Finanzierungsgrundsätze oder, wie dieser Aufsatz überschrieben ist, Leitsätze zur Finanzierung von Unternehmungen in systematischer Form sind bisher nicht veröffentlicht.

An der Herausarbeitung solcher allgemeinen Finanzierungsgrundsätze oder Leitsätze, scheint dem Verfasser, besteht sowohl aus theoretischen wie aus praktischen, insbesondere didaktischen Gründen ein Bedürfnis. Theoretische Überlegung führt dazu, die gesamten, in der Unternehmung vorkommenden finanziellen Vorgänge, seien es solche einmaliger Art wie die großen Dauerkapitalbeschaffungen, seien es solche, die sich in ständig wechselnder Form und Gestalt laufend wiederholen, wie die zur Umsatzfinanzierung notwendigen Kapitaldispositionen und Kreditgeschäfte, als eine Einheit unter dem Gesichtspunkt des Kapitalaufbaus und der Kapitalerhaltung zu sehen, und zwingt dazu, für diese mannigfaltigen Vorgänge einheitliche Gesichtspunkte zu suchen. Die praktischen Bedürfnisse bestehen darin, daß es notwendig erscheint, der Wirtschaftspraxis die Erkenntnisse der betriebswirtschaftlichen Forschung in einer Form darzureichen, die ihr die Nutzbarmachung dieser Erkenntnisse erleichtert.

Ein Versuch, Grundzüge einer allgemeinen Finanzierungslehre aufzustellen, muß sich leider zur Vermeidung von Mißverständnissen und Mißdeutungen zunächst mit einigen begrifflichen Vorfragen auseinandersetzen. Vor allem gibt der Begriff der Finanzierung selbst zu Meinungsverschiedenheiten Anlaß, weil der Inhalt des Begriffes in der wissenschaftlichen Literatur verschieden, insbesondere mit verschiedenem Umfang bestimmt wird. Während der allgemeine Sprachgebrauch unter Finanzierung schlechthin Geldbeschaffung versteht, ist in der Wissenschaft die Bedeutung dahingehend eingeschränkt, daß unter Finanzierung nur noch die Kapitalbeschaffung für wirtschaftliche Zwecke verstanden wird, und zwar mit sehr verschiedenem Geltungsbereich. Aus der schon weiter oben angedeuteten theoretischen Grundauffassung, welche alle finanziellen Vorgänge in einem Unternehmen als ein zusammengehöriges Ganzes ansieht, können wir den Begriff der Finanzierung nicht auf einzelne Formen oder Zwecke der Kapitalbeschaffung einschränken, sondern wollen in den folgenden Untersuchungen sämtliche Formen der Kapitalbeschaffung, die im Wirtschaftsleben eine Rolle spielen, unter dem Begriff der Finanzierung erfassen. Weiterhin können sich Meinungsverschiedenheiten daraus ergeben, daß bei der Finanzierung immer von Kapitalbeschaffung für Unternehmungen die Rede ist, über den Begriff der Unternehmung aber Unklarheit besteht. Während der allgemeine Sprachgebrauch als Unternehmungen alle nach kaufmännischen Grundsätzen geführten Betriebe anspricht, die über den Umfang des Handwerks oder Kleingewerbes hinausgehen und nicht landwirtschaftliche Betriebe sind, ist in der wissenschaftlichen Literatur überwiegend eine Einschränkung dieses Begriffes auf die erwerbswirtschaftliche, also auf Gewinnerzielung

²⁾ Friedrich Leitner, Wirtschaftslehre der Unternehmung, 5. Aufl., Berlin 1926.

³⁾ Alexander Hoffmann, Wirtschaftslehre der kaufmännischen Unternehmung (Betriebswirtschaftslehre), Leipzig 1932.

eingestellte Unternehmung gebräuchlich. Abgesehen davon, daß man grundsätzlich bemüht sein sollte, bei der Definierung von Begriffen, die auch im allgemeinen Sprachgebrauch üblich sind, sich nicht allzuweit und nicht unnötig vom Sprachgebrauch zu entfernen, besteht vom betriebswirtschaftlichen Standpunkt aus keine Veranlassung, die Untersuchung von Erscheinungen und Vorgängen, die in nicht erwerbswirtschaftlichen Betrieben genau so vorkommen, nur auf diese erwerbswirtschaftlichen Betriebe einzuschränken. Zudem wird, was zwar für die wirtschaftswissenschaftliche Terminologie ebenfalls nicht bindend zu sein braucht, in der neueren Gesetzessprache der Begriff Unternehmung auch für gemeinnützige, gemeinwirtschaftliche und auch genossenschaftliche „Unternehmungen“ verwendet. Wir wollen jedenfalls in unseren Überlegungen diese nicht erwerbswirtschaftlichen Unternehmungen nicht ausschließen, zur Vermeidung von Mißverständnissen deshalb aber möglichst nicht von Unternehmungen, sondern von Unternehmen sprechen.

Die Beschränkung betriebswirtschaftlicher Untersuchungen auf die erwerbswirtschaftliche Unternehmung ist aber keineswegs nur eine Äußerlichkeit. Es zeigt sich darin vielmehr zumeist auch eine bestimmte Grundeinstellung zu den zu untersuchenden Fragen. Wird der Betrachtungsstandpunkt der erwerbswirtschaftlichen Unternehmung gewählt, dann wird auch die Beurteilung der betriebswirtschaftlichen Vorgänge unter erwerbswirtschaftlichen Gesichtspunkten und Maßstäben erfolgen. So steht zum Beispiel das schon erwähnte Lehrbuch von A. Hoffmann, welches an sich bisher vielleicht die beste systematische Darstellung der Finanzierungsvorgänge gibt, ausgesprochenermaßen unter den Gesichtspunkten der Kapitalbildung und Kapitalerhaltung. Hoffmann spricht gelegentlich sogar von dem Unternehmen „als Mittel der Kapitalbildung“, d. h. mit anderen Worten der Gewinnerzielung. Ist eine derartige Grundauffassung maßgebend für die Beurteilung betriebswirtschaftlicher Vorgänge, dann werden die Urteile allerdings grundsätzlich auch nur für die erwerbswirtschaftliche Unternehmung Geltung haben. Der vorliegenden Untersuchung liegt, wie schon die Bemerkungen zum Eingang dem aufmerksamen Beobachter gezeigt haben, eine andere Grundeinstellung zugrunde. Nicht die Unternehmung, sondern der Betrieb, nicht die Kapitalbildung und Gewinnerzielung, sondern der Vermögensaufbau und die Erhaltung des Vermögens als der sachlichen Mittel des betrieblichen Güter- und Leistungsprozesses sind die Gesichtspunkte und Maßstäbe für unsere Betrachtung. Güter- und Leistungsprozesse bilden auch den Inhalt der nicht erwerbswirtschaftlich ausgerichteten wirtschaftlichen Betriebe, die ihrerseits ja nichts anderes sind als ein System von Mitteln für wirtschaftliche Ziele. Oberster Wertmaßstab ist in diesem System folgerichtig dann auch nicht die Gewinnerzielung im erwerbswirtschaftlichen Sinne, die Rentabilität, sondern die Wirtschaftlichkeit, die Erreichung des Leistungszieles mit dem geringstmöglichen Aufwand. Deshalb wurde eingangs bereits betont, daß die Finanzierung die Aufgabe zu erfüllen hat, den Vermögensaufbau und den betrieblichen Güter- und Leistungsprozeß zu ermöglichen. Aus dieser Zielsetzung leiten wir auch unsere Finanzierungsgrundsätze ab, und zwar unter dem besonderen Gesichtspunkt, daß der Kapitalaufbau des Unternehmens dem Vermögensaufbau entsprechen muß, damit die Finanzierung ihre betriebswirtschaftliche Funktion erfüllen kann. Dabei verstehen wir unter Vermögen im Einvernehmen mit der überwiegenden Mehrzahl der betriebswirtschaftlichen Forscher den Inbegriff der einem Unternehmen zur Erfüllung seiner Zwecke zur Verfügung stehenden konkreten Güter und Rechte, wie sie die Aktivseite der Bilanz aufführt, unter Kapital dagegen die durch diese Güter und Rechte konkretisierte Wertmenge abstrakter Kaufkraft, die auf der Passivseite der Bilanz gegliedert wird nach der Herkunft (Eigenkapital und Schuldkapital) und den Rechtsformen, in welchen sie dem Unternehmen zur Verfügung gestellt ist.

Aus dieser Auffassung heraus lassen sich bei eingehender Würdigung aller einschlägigen Fragen, aber gleichzeitiger Bemühung um möglichst einfache und einleuchtende Formulierungen, folgende allgemeinen Grundsätze für die Finanzierung von Unternehmen herausarbeiten:

1. Die Finanzierung muß ausreichend sein.
2. Die Finanzierung muß sicher sein.

3. Die Kapitalkosten dürfen den Ertrag der Kapitalverwendung nicht übersteigen.
4. Die Finanzierungsart muß dem Kapitalverwendungszweck entsprechen.
5. Die Finanzierungsformen müssen der Kapitalverwendung entsprechen.
6. Die Finanzierungsfristen müssen der Kapitalverwendung entsprechen.

Wenn diese Leitsätze in die Form von Postulaten gekleidet sind, so geschieht dies aus didaktischen Gründen. Sie können alle auch in die Form theoretischer Lehrsätze umgegossen werden. Ihren theoretischen Sinn erhalten die Leitsätze, wenn wir hinzufügen, daß die Finanzierung diesen Regeln entsprechen muß, wenn sie ihre betriebliche Funktion erfüllen und Störungen des betrieblichen Güter- und Leistungsprozesses vermeiden soll.

Unter diesen Leitsätzen, deren Inhalt und Tragweite im folgenden erörtert werden soll, läßt sich der wichtigste Inhalt dessen, was zu einer allgemeinen Finanzierungslehre gehört, zusammenfassen, nämlich unter dem Grundsatz der ausreichenden Finanzierung die Lehre vom Kapitalbedarf und seiner Feststellung, unter dem Grundsatz der sicheren Finanzierung die Lehre von den Finanzierungsrisiken, unter dem Grundsatz, daß die Kapitalkosten den Ertrag der Kapitalverwendung nicht übersteigen dürfen, das Verhältnis von Unternehmungsrentabilität und Kapitalkosten, schließlich unter den drei letzten Grundsätzen das Verhältnis von Kapitalaufbau und Vermögensaufbau mit seinen Nutzenwendungen für die Finanzierungspraxis. Nicht zum Inhalt unserer allgemeinen Finanzierungslehre gehört die Darstellung der Formen und Technik der Finanzierung im einzelnen sowie der buchungsmäßigen Behandlung der Finanzierungsvorgänge. Die Behandlung dieser weitschichtigen Fragen, deren Erörterung auch den Rahmen dieser Abhandlung völlig sprengen würde, bildet den Gegenstand der besonderen Finanzierungslehre. Es darf weiterhin bemerkt werden, daß die Finanzierungslehre, so wie sie hier vorgetragen wird, im System der Betriebswirtschaftslehre verstanden werden möchte, und daß deshalb die Darstellung der Probleme des Vermögensaufbaus und Kapitalaufbaus selbst, also die Betriebsanalyse an sich nicht den Gegenstand der Finanzierungslehre bildet, sondern nur ihre Ergebnisse für die Untersuchung der allgemeinen Finanzierungsgrundsätze ausgewertet werden. Das gleiche trifft für die Lehre vom Ertrage bzw. Gewinn zu.

1. Die Finanzierung muß ausreichend sein

Wenn es Aufgabe und Funktion der Finanzierung ist, die Beschaffung und Erhaltung des betrieblichen Vermögens zu ermöglichen und zu sichern, dann muß als erster Grundsatz für die Finanzierung selbst festgehalten werden, daß die Finanzierung für die Erfüllung dieser ihrer Funktion ausreichend sein muß. Gleichgültig, ob es sich um die Gesamtfinanzierung eines Unternehmens handelt oder um die Finanzierung einer Betriebserweiterung oder einer einzelnen Vermögensanlage oder eines einzelnen Geschäftes, immer muß als oberster Gesichtspunkt die Ausreichendheit gelten. Nichts kann die Entwicklung eines Unternehmens oder die Durchführung einer Transaktion bei sonst günstigen Voraussetzungen so hemmen, erschweren oder gar lahmlegen wie eine nicht ausreichende Finanzierung. Eine nicht ausreichende Finanzierung insbesondere von eingeleiteten oder vorgenommenen Neuinvestitionen führt unweigerlich über kurz oder lang zu Liquiditätsschwierigkeiten und dazu, daß die neugeschaffenen Betriebsanlagen nicht voll ausgenutzt werden können und damit unwirtschaftlich und für die Unternehmung unrentabel werden. Auch ein einzelnes größeres Geschäft, ein Umsatzvorgang kann durch unzulängliche Finanzierung ins Stocken kommen, dadurch an sich schon mit größeren Kosten belastet sein, darüber hinaus aber häufig durch Belastung mit Verzugsstrafen oder unvorhergesehenen Zinsen und Finanzierungskosten für die nachträgliche Ergänzungsfinanzierung geradezu unwirtschaftlich und unrentabel werden. Eine Untersuchung der Verfallsgründe in Konkurs geratener Unternehmen zeigt fast ebenso häufig unzureichende Finanzierung an sich lebensfähiger Anlagen oder Geschäfte als Ursache des Zusammenbruchs, der dann zumeist wegen Zahlungsunfähigkeit erfolgt, wie falsche Kapitalverwendung oder unwirtschaftliche

Betriebsführung. Eine unzureichende Finanzierung macht mehr oder weniger ernste Liquiditätsschwierigkeiten oder Rentabilitätsschwierigkeiten oder beides nahezu unvermeidbar.

Beispiele für die Ursachen und Wirkungen unzureichender Finanzierungen sind in der Wirtschaftsgeschichte der letzten Jahrzehnte sehr zahlreich, weil gerade gegen diesen so einfachen und selbstverständlichen Grundsatz der ausreichenden Finanzierung erstaunlich oft verstoßen wird. Dies liegt daran, daß die praktische Durchführung dieses Grundsatzes genau so schwierig wie der Grundsatz selbst einfach ist. Hinter dem Grundsatz verbergen sich insbesondere die schwierigen theoretischen und praktischen Fragen der Kapitalbedarfsermittlung. Jeder Kapitalinvestition und jeder Finanzierungsmaßnahme sollte ein Finanzierungsplan vorausgehen, und Voraussetzung des Finanzierungsplanes ist die Feststellung des Kapitalbedarfs.

Die Feststellung des Kapitalbedarfs ist verhältnismäßig einfach, wenn es sich um eine einzelne Vermögensanlage handelt, z. B. Ankauf von Wertpapieren, Bau eines Wohnhauses, Bau einer Produktionsanlage, obwohl namentlich bei Neubauten Fehlkalkulationen in der Praxis recht häufig vorkommen, vor allem wegen der mit Neubauten zusammenhängenden und im einzelnen schwer zu schätzenden Nebenanlagen und Nebenkosten wie öffentliche Lasten, Gebühren, Finanzierungskosten, Bauzinsen, Inventar und Einrichtungen.

Die Kapitalbedarfsermittlung ist meist schon schwieriger, wenn es sich um die finanzielle Durchführung einer größeren geschäftlichen Einzeltransaktion handelt, die sich über eine längere Zeit erstreckt, z. B. die Durchführung eines Auftrages, der den Bau und die Einrichtung eines Wasserkraftwerkes umfaßt. Der Umfang des für die ausführende Firma daraus erwachsenden Kapitalbedarfs wird ja hierbei keineswegs nur durch die Selbstkosten zur Herstellung der Anlage bestimmt, deren Ermittlung Aufgabe der technischen Kalkulation ist, sondern auch durch eine Reihe anderer Faktoren. Insbesondere sind hierbei zu ermitteln, wie sich Aufwendungen für Löhne, Unkosten und Materialien während der Ausführungszeit voraussichtlich im zeitlichen Fortschreiten entwickeln werden unter Berücksichtigung der mit den Lieferanten zu vereinbarenden Zahlungsbedingungen, und welche Teilbeträge auf Grund der mit dem Auftraggeber vereinbarten Zahlungsbedingungen während der Ausführungszeit und zu welchen Terminen auf die Werklohnforderung voraussichtlich eingehen werden, letzteres bei Aufträgen unter genauer Berücksichtigung der entsprechenden devisenrechtlichen Bestimmungen und Valutaverhältnisse, schließlich die Möglichkeit der bankmäßigen Zwischenfinanzierung. Sofern die erforderliche Gesamtinvestition von der ausführenden Firma nicht aus eigenen Mitteln für die ganze Dauer bis zum Eingang der letzten Teilbeträge der Werklohnforderung ohne Benachteiligung des sonstigen laufenden Geschäftes erfolgen kann, was bei derartigen Aufträgen schon wegen der meist sehr langen Zahlungsfristen in der Praxis kaum vorkommt, spielen die Kosten der zur Finanzierung des Auftrages hereinzunehmenden Fremdkapitalien auch bei der Selbstkostenermittlung eine erhebliche Rolle. Wenn die Laufzeit der Finanzierung oder die Höhe der während der Laufzeit aufzunehmenden Einzelkredite falsch geschätzt ist, werden unvorhergesehene Krediterhöhungen, Kreditverlängerungen, Wechselprolongationen usw. mit den entsprechenden Kostenerhöhungen an Zinsen, Provisionen und Spesen erforderlich. Durch derartige Vorfälle kann sich unter Umständen der erhoffte Überschuß eines Geschäftes bis zum Verlust verändern. Insbesondere aber bieten derartige unzulängliche Finanzierungen die Gefahr, daß die erforderlich werdende Ergänzungsfinanzierung aus technischen Gründen (Fehlen entsprechender Kreditsicherheiten) oder infolge einer Veränderung der Geldmarktlage scheitert, so daß Schwierigkeiten für das Unternehmen unvermeidbar werden.

Am schwierigsten ist die Kapitalbedarfsermittlung, wenn es sich um die Gesamtfinanzierung eines ganzen Unternehmens oder einer Unternehmungserweiterung handelt. Hier entsteht insbesondere bei industriellen Unternehmen das Problem der Schätzung nicht nur des einmaligen Kapitalbedarfs für die Herstellung der Produktionsanlagen und Beschaffung der sonstigen Dauereinrichtungen sondern auch des zugehörigen laufenden Kapitalbedarfs zur Finanzierung des mit diesen Anlagen und Einrichtungen durchzuführenden Umsatzes, also des sogenannten

Betriebskapitals, besser Umlaufvermögen oder Umsatzvermögen genannt. Jedes Anlagevermögen, d. h. der Inbegriff der dem Betriebszwecke dauernd gewidmeten Vermögensbestandteile, jede Produktionskapazität, verlangt ein adäquates Umsatzvermögen, sonst können die Produktionsanlagen nicht oder nicht voll ausgenutzt werden. Der Umfang des Bedarfs an Umsatzvermögen wird unter Zugrundelegung eines bestimmten Produktionsumfanges hauptsächlich durch die Kapitalumschlagsdauer, d. h. die Zeitspanne von den ersten Aufwendungen bis zum Eingang des Erlöses für das verkaufte Fertigfabrikat sowie durch Zeitpunkt und Tempo der Kapitalinvestierung während der Kapitalumschlagsfrist bestimmt. Im einzelnen müssen bei dieser Kapitalbedarfsschätzung ermittelt werden:

1. der erforderliche ständige Mindestvorrat an Roh- und Hilfsstoffen,
2. der während der Fabrikationsdauer (technische Umschlagsfrist) aufzuwendende Betrag an Arbeitslöhnen, Roh- und Hilfsstoffen, Betriebs- und Geschäftskosten,
3. der aussichtliche Mindestvorrat an Fertigfabrikaten.

Die technische Umschlagsfrist wird nach vorn und nach hinten durch die Lagerdauer der Rohstoffe einerseits, der Fertigfabrikate andererseits verlängert. Hieraus ergibt sich die Güterumschlagsfrist. Diese wird nach hinten verkürzt durch die Inanspruchnahme von Zahlungsfristen bei den Lieferanten (nur im Verhältnis der gestundeten Zahlungen zu den Gesamtaufwendungen zu werten!), nach vorn verlängert durch die Gewährung von Zahlungsfristen an die Abnehmer. Diese Kreditfristen müssen deshalb zur Feststellung der eigentlichen Kapitalumschlagsfrist mit in Rechnung gestellt werden. Der Verfasser hat in der Praxis folgendes Verfahren ausreichend und zweckmäßig gefunden:

Man geht von der durchschnittlichen Fabrikationsdauer der in Betracht kommenden Erzeugnisse aus, welche um eine der schätzungsweisen Lagerdauer der Fertigfabrikate und den Zahlungsgepflogenheiten der Branche entsprechende Spanne erweitert wird, und rechnet diesen Zeitraum entsprechend dem schätzungsweisen Ansteigen des Produktionsaufwandes während der Fabrikationsdauer überschläglich, aber nicht zu knapp auf eine Spanne um, für welche man von Monat zu Monat (oder Woche zu Woche) gleichmäßig steigende Aufwendungen annehmen kann. Durch Multiplikation der Jahresproduktionsstückzahl mit diesem hilfswisen Umschlagskoeffizienten (Quotient von Umschlagsfrist und Jahr) ermittelt man die Zahl der durchschnittlich im Umsatzvorgang sich befindlichen Erzeugnisse, die sich aber auf ebensoviel Produktionsstadien (Aufwandstufen) verteilen, wie dies bei der oben besprochenen schätzungsweisen Aufgliederung der Produktionsperiode angenommen ist. Die Summe der hiernach jeweils im Umsatzprozeß steckenden Gesamtaufwendungen aller Aufwandstufen stellt sich dann als die Summe einer arithmetischen Reihe dar, wenn man annimmt, daß sich in jeder Aufwandstufe die gleiche Anzahl von Erzeugnissen befindet. Diese Summe ist nach der Formel $s = \frac{1}{2} n (a + t)$ leicht zu errechnen. Zu diesem Betrage wird alsdann der Wert der schätzungsweisen Mindestvorräte an Roh- und Hilfsstoffen einerseits und Fertigerzeugnissen andererseits sowie eine Liquiditätsreserve von etwa 10 % des ganzen Umsatzvermögens zugeschlagen, um den Gesamtkapitalbedarf zur Umsatzfinanzierung zu ermitteln. Natürlich verlangt eine derartige überschlägliche Kalkulation, deren Fehlerquellen abgesehen von den Schätzungen darin liegen, daß der Aufwand nicht für Stichtage, sondern für kleine Zeiträume kalkuliert wird, große Erfahrung in der Finanzierungskalkulation und eingehende Kenntnis der technischen und wirtschaftlichen Verhältnisse des betreffenden Wirtschaftszweiges. Komplizierter noch wird die Kapitalbedarfsermittlung, wenn es sich um ein Unternehmen mit saisonmäßig schwankendem Beschäftigungsgrad handelt. Hier muß bei der Bedarfsermittlung unterschieden werden zwischen durchschnittlicher Beschäftigung, Teilbeschäftigung und saisonmäßiger Höchstbeschäftigung. Der Kapitalbedarf muß in jedem Falle ausreichend gedeckt sein, die Finanzierung muß aber nach Art und Form dergestalt erfolgen, daß das Unternehmen bei Teilbeschäftigung nicht unnötig durch Zinsen von dann nicht benötigtem Fremdkapital belastet wird. Dies erfordert also insbesondere

eine Beschränkung langfristigen Fremdkapitals auf denjenigen Betrag, der auch bei saisonmäßiger Unterbeschäftigung noch benötigt wird, sowie eine entsprechend vorsichtige Disposition bei der Beschaffung etwaiger Bankkredite in der Übergangszeit zur Teilbeschäftigung. Auf der anderen Seite bedeutet die Berücksichtigung des Saisoncharakters, daß der Betriebskapitalbedarf auch bei Durchschnittsbeschäftigung zweckmäßigerweise zum erheblichen Teil durch Eigenkapital finanziert wird, damit bei Überbeschäftigung zur Deckung des erhöhten Kapitalbedarfs in jedem Falle Bankkredite in ausreichendem Umfang herangezogen werden können.

Neben der Höhe des Kapitalbedarfs ist für die Finanzierung namentlich noch die Feststellung, wann der Kapitalbedarf eintritt, von Bedeutung, insbesondere bei der Finanzierung einzelner Investitionen und Geschäfte. Die Kapitalbeschaffung kann der Höhe nach genügen, sie ist trotzdem nicht ausreichend, wenn sie nicht rechtzeitig erfolgt. Auch hierdurch können für das Unternehmen empfindliche Liquiditätsschwierigkeiten eintreten. Die Fälligkeit des Kapitalbedarfs ist besonders wichtig bei der Finanzierung mit Fremdkapital, weil die Voraussetzungen für die Beschaffung oder den Eingang der Kredite in der Praxis nur zu häufig nicht mit der Fälligkeit des Kapitalbedarfs zusammentreffen, z. B. weil die aus einer geschäftlichen Transaktion anfallenden Kreditsicherheiten erst später verfügbar werden, als die Zahlungen zu leisten sind, für welche gerade mit Hilfe dieser Sicherheiten Bankkredit beschafft werden muß. Daraus können in der Praxis Schwierigkeiten in solchem Umfang entstehen, daß die betroffenen Unternehmungen sogar Konkurs wegen Zahlungsunfähigkeit anmelden müssen. Namentlich die Wohnungs- und Bauwirtschaft bietet hierfür zahlreiche Beispiele, weil es sich hier meist um dinglich zu sichernde Kredite handelt, deren Sicherstellung sich wegen der häufig sehr großen Schwierigkeiten der sogenannten Grundbuchbereinigung und des überhaupt sehr langwierigen formstrengen Verfahrens manchmal außerordentlich verzögert.

Der Grundsatz der ausreichenden Finanzierung hat auch eine negative Seite. Auch eine zu hohe Finanzierung, Überfinanzierung oder Überkapitalisierung genannt, hat für das finanzierte Unternehmen Nachteile. Dies trifft allerdings in erster Linie für die Überkapitalisierung eines Unternehmens im ganzen zu. Ist das Gesamtkapital des Unternehmens zu groß dimensioniert, im Verhältnis zu dem tatsächlichen Bedarf an Anlage- und Umsatzvermögen, der durch die Beschäftigungsmöglichkeiten nach Lage des Marktes begrenzt ist, so bleibt entweder flüssiges Kapital im betrieblichen Güter- und Leistungsprozeß unverwendet oder es entsteht die Gefahr, mindestens tendenziell, einer Überproduktion oder der Anlage des Kapitals in betriebsfremden Geschäften, Beteiligungen und dergleichen, die entweder die organische Einheit des Betriebes stören oder die Rentabilität beeinträchtigen.

2. Die Finanzierung muß sicher sein

Der Grundsatz, daß die Finanzierung sicher sein muß, will besagen, daß die Finanzierung ihre Funktion nur dann erfüllt, wenn die Finanzierungsmittel, die zur Deckung des Kapitalbedarfs für eine Vermögensanlage, ein Umsatzgeschäft oder ein ganzes Unternehmen erforderlich und vorgesehen sind, auch bestimmt, und zwar jeweils bei Eintritt des Kapitalbedarfs zur Verfügung stehen. Es wird in der Praxis häufig bei der Aufstellung von Finanzierungsplänen auf Grund überschläglicher Schätzungen und rein persönlicher Erfahrungen mit Finanzierungsmitteln gerechnet, für deren Eingang keineswegs hinlängliche Sicherheit besteht. Und es werden auf derartigen Wunschplänen manchmal Investitionen großen Umfangs von sehr großer Tragweite für die betreffenden Unternehmen aufgebaut. Demgegenüber muß darauf hingewiesen werden, daß es kaum eine Finanzierungsart oder Finanzierungsform gibt, welche nicht Risiken in sich birgt. Die Finanzierungsrisiken, welche sich sowohl auf die Höhe des zu beschaffenden Kapitals, auf den Zeitpunkt des Eingangs der Finanzierungsmittel wie deren Bedingungen erstrecken, sind vielfältig. Sie müssen bei der Aufstellung der Finanzierungspläne sorgfältig in Rechnung

gestellt werden, wenn die Gefahr empfindlicher Finanzierungsschwierigkeiten vermieden werden soll.

Bei der Finanzierung mit Eigenkapital, welches als bereits vorhanden angesehen wird, ist zunächst darauf hinzuweisen, daß es fraglich sein kann, ob das Eigenkapital auch bei Eintritt des Kapitalbedarfs verfügbar oder noch verfügbar ist. Ereignisse der verschiedensten Art können das Gegenteil ganz oder teilweise herbeiführen. Es ist deshalb nicht unnötig, darauf hinzuweisen, daß bei der Finanzierung mit angeblich vorhandenen Mitteln sorgfältig geprüft werden muß, ob die Mittel aus dem sonstigen Geschäft herausgezogen oder rechtzeitig flüssig gemacht und sodann auch für den Finanzierungszweck reserviert werden können.

Sofern zur Finanzierung neues Eigenkapital beschafft werden soll, entstehen andere Quellen der Finanzierungsunsicherheit, und zwar verschieden nach der Unternehmungsform. Bei Einzel-firmen und Personalgesellschaften ist die Kapitalbeschaffung, da von den Unternehmungs-inhabern selbst abhängig, in der Regel bereits vor Inangriffnahme der zu finanzierenden In-vestition sicherzustellen. Allerdings bringt die Aufnahme neuer Gesellschafter, welche das er-forderliche neue Eigenkapital einbringen sollen, auch Finanzierungsrisiken mit sich, wenn die neuen Gesellschafter mit der Einzahlung ihrer vertraglich vereinbarten Kapitaleinlagen in Verzug kommen, weil sie ihrerseits das vorgesehene Kapital nicht rechtzeitig flüssig machen können oder gar inzwischen in Vermögensverfall geraten.

Für Gesellschaften mit beschränkter Haftung gilt im allgemeinen dasselbe. Da G. m. b. H.-Anteile keinen organisierten Markt besitzen und verhältnismäßig schwer veräußerlich sind, muß die Gesellschaft, die zur Finanzierung der beabsichtigten Investitionen eine Kapitalerhöhung mit Beitritt neuer Gesellschafter vornehmen will, die neuen Gesellschafter mindestens bereits mit rechtswirksamen Zeichnungsscheinen an der Hand haben, bevor die zu finanzierenden Maßnahmen begonnen werden. Die Unterbringung von G. m. b. H.-Anteilen mit Hilfe von Banken beim Publikum ist nicht gebräuchlich und im allgemeinen auch nicht möglich. Personal-gesellschaften und G. m. b. H. haben deshalb den Nachteil, daß sie zur Beschaffung neuen Eigen-kapitals den organisierten Kapitalmarkt nicht in Anspruch nehmen können, deshalb ohne Hilfe der gewerbsmäßigen Finanziers (Emissionsbanken) sich ihre neuen Gesellschafter selbst suchen müssen. Sie haben den Vorteil, daß sie sich das neue Kapital mit technisch verhältnismäßig einfachen Rechtsvorgängen jederzeit, wenn sich ein Interessent findet, sichern können, ohne daß es deshalb sofort eingezahlt zu werden braucht. Die Einforderung braucht vielmehr erst bei Eintritt des Geldbedarfs zu erfolgen.

Der Eigenkapitalbeschaffung der Kapitalgesellschaften, vornehmlich Aktiengesellschaft und Kommanditgesellschaft auf Aktien, eignet nicht die gleiche Sicherheit. Die Beschaffung des neuen Eigenkapitals erfolgt bei diesen Gesellschaften nur im Ausnahmefall durch unmittelbare Werbung der neuen Gesellschafter, welche Aktien übernehmen sollen. Die Regel ist viel-mehr die Unterbringung der neuen Aktien mit Hilfe von Banken beim sogenannten Publikum, also einem vorher nicht bekannten Personenkreis. Eine derartige Wertpapieremission auf dem allgemeinen Kapitalmarkt ist in starkem Maße von der allgemeinen Entwicklung auf dem Geld- und Kapitalmarkt sowie von der jeweiligen besonderen Lage des Marktes abhängig, die in den schwankenden Effektenkursen zum Ausdruck kommt. Wollte eine Aktiengesellschaft ohne Mit-wirkung einer Bank die neuen Aktien unmittelbar dem Publikum anbieten, wie dies bei der so- genannten Sukzessivgründung der Aktiengesellschaft möglich wäre, so würde sie das ganze Risiko der Wechselfälle des Kapitalmarktes allein tragen, das Risiko, ob der benötigte Betrag überhaupt in vollem Umfang auf dem Kapitalmarkt untergebracht werden kann, wann er unter- gebracht werden kann und zu welchen Kursen. Die Übernahme dieser Risiken würde die Eigen- kapitalbeschaffung nahezu hundertprozentig unsicher machen. Deshalb wird in der Praxis auch zur Sicherstellung des Erfolges der Aktienbegebung eine andere Form gewählt, die Simultangründung (Gründer übernehmen selbst alle Aktien) mit Hilfe einer Bank oder eines

Bankenkonsortiums, welches die neuen Aktien auf eigenes Risiko übernimmt und der Gesellschaft den vereinbarten Gegenwert in einer Summe vergütet. Die Unterbringung der neuen Aktien beim Publikum ist dann ausschließlich Angelegenheit der Banken, wobei die Aktiengesellschaft selbst nur zum Schutz ihres Emissionskredits Mindest- und Höchstkurse für die Begebung auf dem Markt und zum Schutz der Interessen ihrer alten Aktionäre Vorzugskurse für diese (Bezugsrechte) zu vereinbaren pflegt. Das kapitalsuchende Unternehmen kann jedoch keineswegs jederzeit einen solchen Emissionsvertrag mit einer Bank schließen. Die darum angegangene Bank wird häufig erklären müssen, daß die Geld- und Kapitalmarktlage zur Zeit oder gar auf absehbare Zeit hinaus keine Aussichten für eine baldige Begebung der neuen Aktien bietet, sei es wegen der auf dem Markt generell herrschenden Kapitalknappheit, welche saisonmäßig, konjunkturell und auch strukturell bedingt sein kann, sei es, weil von anderer Seite große Emissionen mit für das Publikum reizvolleren Bedingungen vorbereitet sind, sei es, weil eine rechtliche oder tatsächliche Emissionssperre besteht. So kann der Staat aus allgemeinen wirtschaftspolitischen Gründen (zum Zwecke der Zinssenkung) oder aus Gründen des eigenen Kapitalbedarfs (z. B. Vorbereitung einer großen Reichsanleihe oder Schatzwechselemission) eine Emissionssperre verhängen, es können Vereinbarungen zwischen den Banken in gleicher Richtung vorliegen, z. B. zur Vorbereitung einer allgemeinen Anleihe- und Pfandbriefkonversion, es können aber auch allgemein schlechte Voraussetzungen zur Aktienbegebung vorliegen, weil sich das Käuferinteresse im Zusammenhang mit der stimmungsmäßigen Beurteilung der Wirtschaftsentwicklung oder der politischen Lage mehr den festverzinslichen Papieren zugewendet hat, und schließlich kann auch die Kursentwicklung der bisherigen Aktien des Unternehmens eine Begebung neuer Aktien zu pari unmöglich machen.

Weil derartige Situationen ziemlich häufig vorkommen und auch manchmal zeitlich zusammenfallen mit für die kapitalsuchenden Unternehmungen günstigen Aussichten zur Umsatzsteigerung durch Neu- oder Erweiterungsgründungen, hat die Praxis den Ausweg der sogenannten Vorfinanzierung erfunden. Dieser besteht darin, daß das kapitalsuchende Unternehmen das finanzielle Ergebnis der beabsichtigten Aktienbegebung durch Aufnahme von Bankkrediten vorwegnimmt, die durch den Erlös der demnächstigen Aktienbegebung abgedeckt werden sollen. Derartige Vorfinanzierungen beabsichtigter Aktienemissionen sind im höchsten Grade unsicher und gefährlich, wenn sie das Unternehmen auf sein alleiniges Risiko vornimmt. Die Gefahr wird etwas gemildert, wenn die Vorfinanzierung in ausdrücklichem Einverständnis mit dem kreditgebenden Bankinstitut erfolgt und dieses eine Belassung der Kredite bis zur Durchführung der von ihm selbst zu bewirkenden Emission zusichert. Auch dann aber bleibt noch eine erhebliche Unsicherheit bestehen, weil einmal der Bank, sei es auf Grund des § 610 BGB. (Verschlechterung der Vermögenslage des Schuldners), sei es auf Grund der Geschäftsbedingungen, doch immer gewisse Rücktrittsmöglichkeiten offen bleiben, zu deren Ausnutzung sie unter Umständen gezwungen sein kann, zum anderen wegen des Zeitrisikos — der Zeitpunkt zur Durchführung der Kapitalerhöhung bleibt unbestimmt — und des damit verbundenen Zinsrisikos, schließlich auch wegen des Offenbleibens der Emissionsbedingungen. Für diese besteht zwar eine untere Grenze dadurch, daß das deutsche Aktienrecht die Ausgabe von Aktien unter pari verbietet, jedoch bedeutet die Emission zu pari für das Unternehmen bereits einen Verlust, wenn die bisherigen Aktien wesentlich höher im Kurse stehen.

Unter dem Gesichtspunkt der Finanzierungssicherheit müssen derartige Vorfinanzierungen grundsätzlich als bedenklich angesehen werden. Die Unternehmen sind vielmehr praktisch gezwungen, wenn eine Kapitalerhöhung vorgenommen werden soll, die erste sich bietende einigermaßen günstige Kapitalmarktsituation zur Durchführung der Aktienbegebung auszunutzen, auch wenn das Kapital noch nicht oder wenigstens noch nicht in vollem Umfang benötigt wird. Der Gesichtspunkt der Sicherheit der Finanzierung muß in solchen Fällen den Ausschlag geben, auch wenn dadurch zeitweilige Zinsverluste entstehen.

Noch erheblich größer an Zahl und Tragweite sind die Finanzierungsrisiken bei der Fremdkapitalfinanzierung.

Für die Finanzierung mit Obligationenanleihen gilt hinsichtlich der Finanzierungsrisiken das über die Aktienfinanzierung Gesagte in erhöhtem Maße. Die Begebung von Anleihen ist an einen Mindestkurs nicht gebunden. Dies bedeutet zwar einerseits insofern eine Erleichterung, als eine Obligationenanleihe manchmal noch möglich ist, wenn die Kapitalmarktlage oder die Lage des Unternehmens eine Aktienemission nicht gestattet, bedeutet aber andererseits ein erhöhtes Kursrisiko, namentlich wenn sich das Unternehmen einer Bank gegenüber zur Aufnahme einer Anleihe verpflichtet hat. In besonderer Weise bewirkt bei der Obligationenanleihe wie bei allen Fremdkapitalfinanzierungen die Unsicherheit des Zinsfußes eine Vergrößerung der Risiken. Es läßt sich in der Praxis zu dem Zeitpunkt, an dem die Kapitalinvestierung geplant und ihre Finanzierung und Rentabilität kalkuliert werden muß, noch nicht mit hinlänglicher Genauigkeit übersehen, zu welcher Effektivverzinsung das benötigte Fremdkapital beschafft werden kann. Auch der Zeitpunkt und die endgültige Höhe der möglichen Anleihe läßt sich zu diesem Zeitpunkt noch nicht genau feststellen, und es verlangt deshalb besondere Erfahrung und intime Kenntnis der Kapitalmarkttechnik und Kapitalmarktentwicklung, um unter solchen Verhältnissen noch brauchbare Kalkulationen aufzustellen.

Für die Frage, ob und in welcher Höhe ein Unternehmen überhaupt eine Obligationenanleihe aufnehmen kann, hat bisher weder die Wissenschaft noch die Praxis einheitliche und leicht anwendbare Grundsätze gefunden. Die außerordentliche Verschiedenheit der Voraussetzungen bei den einzelnen Wirtschaftszweigen und Unternehmungen erschwert auch die Aufstellung solcher Grundsätze sehr. Maßgebend für die Bemessung der Anleihehöhe sind praktisch immer die Vermögenssicherheit und Ertragssicherheit, die das kapitalaufnehmende Unternehmen bietet. Wenn auch in nicht seltenen Fällen speziell nicht gesicherte Anleihen vorkommen, so liegt doch allen Anleihen eine Untersuchung über das Verhältnis der Schuld zu dem Wert des Vermögens zugrunde. Da das sich stets wandelnde, in seinem Umfang und seinen Formen ständig wechselnde Umsatzvermögen sich zur Sicherstellung langfristiger Schulden, für die Dauersicherheiten notwendig sind, nicht eignet, ist die Sicherstellung einer Obligationenanleihe von vornherein auf das Anleihevermögen beschränkt, und da aus ohne weiteres einleuchtenden Erwägungen der Sicherheit niemand einen Vermögenswert in voller Höhe seines Wertes zu beleihen pflegt, ist im allgemeinen die Anleiheaufnahme auf einen Teil des im Anlagevermögen investierten Betrages beschränkt. Dieser Teil schwankt je nach den Verhältnissen des Wirtschaftszweiges und der einzelnen Unternehmung zwischen etwa 50 und 80%. Eine annähernd volle Beleihung des Anlagevermögens durch Anleihen ist nur besonderen, und zwar Nichtproduktionsunternehmungen möglich, vor allem den Hypothekenbanken und sonstigen Pfandbriefinstituten. Eine weitere Begrenzung der Anleihehöhe ergibt sich aus dem Gesichtspunkt der Ertragssicherheit. Der Zinsendienst der Anleihe muß durch den voraussichtlichen Dauerertrag des Unternehmens gesichert sein, und zwar verlangt die Finanzierungspraxis grundsätzlich eine Überdeckung. In welcher Höhe diese Überdeckung erforderlich ist, ist wiederum nach den Verhältnissen der einzelnen Unternehmen und auch nach der Praxis der Finanzierungsinstitute verschieden. Bei Produktions- und Verkehrsunternehmungen ist in der Praxis, wenn nicht anorganische Zusatzsicherheiten wie öffentliche Bürgschaften gestellt werden können, eine mindestens 100prozentige Überdeckung erforderlich. Abgesehen von diesen an sich schon wenig bestimmten und schwankenden Grundsätzen für die Anleihebemessung ergeben sich weitere Unsicherheiten noch aus der nach der Praxis der verschiedenen Finanzierungsinstitute und Sachverständigen sehr verschiedenen Bewertungspraxis im Hinblick auf die als Sicherheit heranzuziehenden Vermögenswerte und die Feststellung des Ertrages, so daß die Kalkulation von Anleihen jedenfalls von einem Gestrüpp von Risiken und Unsicherheiten umgeben ist.

Die Fremdfinanzierung mit Hypothekendarlehen hat etwas sicherere Grundlagen insoweit, als sich auf dem Markt des erststelligen Realkredits unter dem Einfluß der staatlichen

Bestimmungen über die Kapitalanlage der hauptsächlich in Betracht kommenden Geldgeber (Sparkassen, Pfandbriefinstitute und Versicherungsgesellschaften) wenigstens einige allgemeine Grundsätze für die Höhe der Beleihung herausgebildet haben. Die Beleihungstätigkeit dieser Institute ist in sachlicher Beziehung beschränkt. Einige dürfen Produktionsanlagen mit Ausnahme landwirtschaftlicher Betriebe nicht beleihen, anderen ist die Beleihung von Geschäftshäusern nicht gestattet. Im Durchschnitt kommen bei der gegenwärtigen Kapitalmarktorganisation nur Wohn- und Geschäftshäuser und kleingewerbliche Anlagen einerseits und landwirtschaftliche Betriebe andererseits für die hypothekarische Beleihung in Betracht. Die Beleihungshöhe dieser Institute betrug vor dem Weltkriege 60% des durch Schätzung festzustellenden Dauerwertes, welcher als arithmetisches Mittel zwischen Bau- und Bodenwert einerseits und Ertragswert andererseits errechnet wurde. Unter dem Einfluß insbesondere der Baukostenübertreibung wurde der Beleihungssatz in der Nachkriegszeit auf 40% herabgesetzt, einzelne Institute gaben aber sogar nur etwa 33%. Zur Zeit (1935) schwankt die Beleihungshöhe zwischen ungefähr 35 und 50% des Schätzungswertes bzw. gelegentlich auch der Herstellungskosten. Diese Schwankungen sind groß genug, um auch in die Hypothekenfinanzierung erhebliche Unsicherheit zu bringen. Auch die Hypothekenbedingungen schwanken, wenn auch im Nominalzinsfuß im allgemeinen nur über größere Zeiträume und in verhältnismäßig engen Grenzen — die Nachkriegszeit brachte jedoch auch hier größere Bewegungen —, unter Berücksichtigung des gerade für die Finanzierung sehr unbequemen, schwankenden Auszahlungsdisagios recht erheblich. Und schließlich sind auch die Hypothekenbedingungen hinsichtlich der Laufzeit, der Kündigungsmöglichkeit und der Art der Rückzahlung recht verschieden.

Eine besonders große Gruppe von Risiken und Unsicherheiten bietet die Finanzierung mit kurzfristigem Fremdkapital, und zwar sowohl im Einzelfall als auch besonders im Kapitalaufbau eines ganzen Unternehmens. Gerade wegen der Kurzfristigkeit der Mittel ist das Unternehmen hier den Schwankungen und Wechselfällen des Geldmarktes besonders ausgesetzt. Das einmal beschaffte langfristige Fremdkapital ist dem Unternehmen für die ganze lange Laufzeit sicher, das ständig zu erneuernde kurzfristige Fremdkapital dagegen ist im Prinzip durchaus unsicher. So muß insbesondere hinsichtlich der Kalkulation mit kurzfristigem Fremdkapital beim Kapitalaufbau eines ganzen Unternehmens darauf hingewiesen werden, daß niemals völlige Sicherheit dafür besteht, daß das Unternehmen stets und ständig Bankkredite oder Lieferantenkredite in dem benötigten oder vorgesehenen Umfang erhalten kann. Die Kreditbeschaffung hängt ja nicht nur von der Kreditfähigkeit des Unternehmens ab, sondern von den Wechselfällen des Geldmarktes. Die Erfahrung zeigt, daß es Zeiten gibt, in denen selbst vom bankmäßigen Standpunkt erstklassige Unternehmen gegen erstklassige Sicherheiten kaum die benötigten Bankkredite erhalten können, und daß auch die Kreditgepflogenheiten auf dem Gütermarkt, also die Zahlungsbedingungen im Warenverkehr im Zusammenhang mit den allgemeinen Veränderungen der Kreditmarktlage sich schnell und grundlegend wandeln können. Wenn man auch auf der anderen Seite darauf hinweisen kann, daß gute Unternehmungen für gute Geschäfte bisher im allgemeinen auch bei schwieriger Geldmarktlage wenigstens in beschränktem Umfang Bankkredit erhalten konnten, so bleibt die Gefahr einer wesentlichen Einschränkung der vorgesehenen Kreditkontingente doch nicht aus der Welt zu schaffen. Die Veränderungen der Geldmarktlage bringen aber auch häufig einen Wechsel in den von den Banken begehrten Kreditsicherheiten hervor. Ein Unternehmen, das heute noch einen ungedeckten Personalkredit in Anspruch nehmen konnte, muß morgen vielleicht bei der Erneuerung der Kredite Sicherheiten stellen, auch pflegen die Banken bei schwieriger Wirtschaftslage und Geldmarktverknappung schärfere Maßstäbe bei der Prüfung der Kreditsicherheiten anzulegen. Allein durch diese kredittechnischen Maßnahmen können sehr empfindliche Schwierigkeiten in der Kreditbeschaffung entstehen.

Die Höhe des zu erlangenden kurzfristigen Bankkredits ist also für das Unternehmen, auf die Dauer betrachtet, recht unsicher. Auch über die bei einigermaßen günstiger Geldmarktlage nach

den Gepflogenheiten des Bankverkehrs zu erlangenden Bankkredite lassen sich schwer einheitliche Regeln finden, insbesondere im Hinblick auf die außerordentliche Verschiedenheit der Praxis bei den einzelnen Banken. Natürlich hängt die Kreditfähigkeit auch für den kurzfristigen Kredit von dem für die Kreditsicherung vorhandenen Vermögen ab. Die Rentabilität des Unternehmens spielt mehr für die allgemeine Beurteilung der Kreditwürdigkeit eine Rolle als für die Bemessung der Kredite im Einzelfall, da beim kurzfristigen Kredit in erster Linie auf die kapitalmäßige Rückflusssicherheit gesehen wird, die auflaufenden Zinsen können bei wirklich kurzfristigen Krediten daraus regelmäßig leicht mit abgedeckt werden, sofern sie nicht wie beim Wechseldiskont von vornherein vom Kapital abgezogen werden. Beim kurzfristigen Bankkredit ist nicht das Anlagevermögen, sondern das Umsatzvermögen Kreditbemessungsgrundlage, das Anlagevermögen dient höchstens als Hilfssicherheit. Auch nicht das ganze Umsatzvermögen, sondern nur das nach Ausscheiden der etwa gefährdeten oder schwer liquidierbaren Bestandteile übrigbleibende liquide oder leicht liquidierbare Umsatzvermögen dient als Kreditbemessungsgrundlage, soweit es nicht bereits etwa anormalerweise rechtlich oder praktisch zur Deckung des zu hoch bemessenen langfristigen Kredites dienen muß. Mehr als das liquide Umsatzvermögen ausmacht, kann jedenfalls an Bankkredit nicht erwartet werden, wenn auch im Einzelfall die weitherzigere Praxis einer Bank Ausnahmen hiervon zeitigen kann. Die Vorfinanzierung etwaiger langfristiger Kapitalien ist dabei natürlich nicht eingeschlossen. Aus den sonstigen Kapital- und Vermögensverhältnissen können sich noch Einschränkungen dieses im allgemeinen möglichen Kreditvolumens ergeben. Ist z. B. das Anlagevermögen bereits nahezu ganz durch Fremdkapital finanziert, so kann mit einer annähernd vollen Beleihung des liquiden Umsatzvermögens nicht gerechnet werden, weil auf ein angemessenes Verhältnis des Eigenkapitals zum Gesamtkapital immer Wert gelegt wird. Eine weitere Einschränkung der Kreditmöglichkeit ergibt sich daraus, daß auch auf ein angemessenes Verhältnis des Eigenkapitals zum kurzfristigen Fremdkapital geachtet wird. So geht die Bankpraxis bei der Festsetzung des Kreditvolumens für kurzfristige Kredite im allgemeinen nicht über das Eigenkapital des Schuldners hinaus, ungedeckte Kontokorrentkredite werden selten höher als etwa ein Drittel des tatsächlichen Eigenkapitals des Schuldners bemessen. Hinsichtlich des Zinsfußes, der Nebenkosten, der Sicherheiten und der Kreditfristen sind die Kreditbedingungen beim kurzfristigen Bankkredit derartig schwankend, daß sich Kalkulationen auf lange Sicht in dieser Beziehung mit dem wechselnden Bankkredit überhaupt nicht aufstellen lassen.

Die Finanzierungsrisiken sind, wie aus dem Gesagten hervorgehen dürfte, nach Zahl und Art und Tragweite sehr bedeutend. Um so wichtiger ist es, daß auf sie Bedacht genommen wird, wenn es sich um Finanzierungskalkulationen handelt. Die Finanzierung ist nur dann sorgfältig und vorsichtig, wenn im Finanzierungsplan nur mit denjenigen Mitteln gerechnet wird, die unter Berücksichtigung aller Risiken mindestens rechtzeitig erlangt werden können, und wenn gleichzeitig dafür Vorsorge getroffen wird, daß etwa ausfallende Finanzierungsmittel, namentlich des Fremdkapitals, durch andere Finanzierungsmittel, namentlich des Eigenkapitals, ersetzt werden können.

3. Die Kapitalkosten dürfen den Ertrag der Kapitalverwendung nicht übersteigen

Wo Finanzierungsfragen behandelt werden, entstehen immer auch Rentabilitätsfragen, und zwar für das kapitalsuchende Unternehmen in der Regel schon zwangsläufig deshalb, weil die Kapitalgeber die Kapitalhergabe von dem Nachweis der Rentabilität des Unternehmens abhängig zu machen pflegen. Aber auch vom Standpunkt der kapitalaufnehmenden Unternehmung selbst ist die Frage nach der Rentabilität und ihrem Verhältnis zum Kapitalaufbau von allergrößter Bedeutung. Zinsen und Dividenden können nur aus dem Ertrage bezahlt werden, und Zinsverpflichtungen, die durch den Ertrag nicht gedeckt sind, zehren an der Vermögenssubstanz und führen das Unternehmen unweigerlich abwärts. Deshalb muß bei jeder Unternehmungsgründung, Unternehmungserweiterung, Kapitalinvestition ebenso wie bei der Neufinanzierung

oder auch nur teilweisen Umfinanzierung eines Unternehmens neben der ausreichenden und sicheren Finanzierung vor allem ein angemessenes Verhältnis der Kapitalkosten zum Ertrage, zur Unternehmungsrentabilität gesichert sein.

An sich scheint dieser Grundsatz mehr oder weniger eine einfache Angelegenheit des gesunden Menschenverstandes zu sein. Und doch wird in der Praxis gegen diesen selbstverständlichen Satz derartig oft verstoßen, daß sich beinahe täglich wirtschaftliche Zusammenbrüche und Schwierigkeiten ereignen, die in erster Linie durch die Vernachlässigung dieses Grundsatzes verursacht sind. Es ist eine bekannte Tatsache, daß in der Zeit nach der Währungsstabilisierung in Deutschland, namentlich in der Landwirtschaft, aber auch in zahlreichen Fällen in Industrie und Handel in großem Umfang sowohl langfristige wie kurzfristige Kredite zu Zinssätzen aufgenommen worden sind, die mit der Rentabilität der Betriebe nicht in Einklang zu bringen waren, und daß daraus unerhörte Schwierigkeiten und zahllose Zusammenbrüche vor allem in der Landwirtschaft entstanden sind. Die Erklärung hierfür ist nicht nur in der Zwangslage zu suchen, in der sich die durch die Inflation ihrer flüssigen Betriebsmittel beraubten Betriebe befanden, sondern vor allem in der mangelnden Erkenntnis der tatsächlichen Rentabilitäts- und Kapitalkostenverhältnisse. Die Feststellung der tatsächlichen Kapitalkosten ist manchmal recht schwierig, und die genaue Ermittlung der Unternehmungsrentabilität begegnet noch größeren, nicht nur praktischen, sondern auch theoretischen Schwierigkeiten. Dies zwingt dazu, an dieser Stelle die Begriffe der Kapitalkosten und des Ertrages in ihrer konkreten Verwirklichung näher zu erörtern.

Zunächst die Frage der Kapitalkosten. Unter Kapitalkosten verstehen wir diejenigen Aufwendungen, welche das Unternehmen machen muß, um das Kapital zur Verfügung zu haben. Wir fassen den Begriff also so weit, daß auch das Eigenkapital einbezogen ist, und zwar sowohl das rechtlich gebundene Stammkapital, wie auch die freien Rücklagen und Rückstellungen. Wir begegnen dadurch sofort der Frage, ob es überhaupt Kosten des Eigenkapitals gibt. Die Frage mag vom kostentheoretischen Standpunkt verneint werden, in unserem Zusammenhang aber, wo der Gesichtspunkt der Kapitalbeschaffung und Kapitalerhaltung im Mittelpunkt steht, müssen wir die Frage aus inneren Gründen bejahen. Kapital ist in unserer modernen Wirtschaft kein freies, in unbegrenzten Mengen vorhandenes Gut, und Eigenkapital erst recht nicht. Kapital ist knapp wie Sachgüter, und Kapitalnutzung kostet deshalb etwas, nämlich Zinsen. Und wenn auch die Unternehmung dem Unternehmungsinhaber für das eingeschossene Kapital weder rechtlich noch tatsächlich Zinsen schuldet, so ist doch vom Standpunkt der Unternehmung gesehen auch für die Beschaffung des Eigenkapitals auf die Dauer eine angemessene Kapitalverzinsung unbedingte Voraussetzung. Man wird deshalb praktisch, um überhaupt Finanzierungskalkulationen aufstellen zu können, das Eigenkapital niemals zinslos ansetzen können, sondern wenigstens den jeweiligen landesüblichen Zinsfuß für langfristige Kapitalanlagen als Kapitalkosten für das Eigenkapital ansetzen müssen.

Im übrigen müssen wir bei den Kapitalkosten unterscheiden die laufenden Zinsen und Nebenleistungen (Kapitalkosten im engeren Sinne) und die einmaligen Kapitalbeschaffungskosten (Finanzierungskosten). Während für das Eigenkapital die Kapitalkosten im engeren Sinne mit dem landesüblichen Zinsfuß zusammenfallen, sind beim Fremdkapital häufig mehrere Kostenbestandteile vorhanden. Neben dem Nominalzinsfuß erscheinen hier insbesondere noch sogenannte Verwaltungskostenzuschläge, so z. B. bei Hypothekendarlehen, deren Kosten in den Nominalzinsfuß und den $\frac{1}{2}$ bis 1% betragenden Verwaltungskostenzuschlag zerfallen. Diese technische Unterscheidung wirkt sich bei Tilgungsdarlehen mit Annuitätentilgung (Tilgung zuzüglich der durch die fortschreitende Tilgung ersparten Zinsen) praktisch in einer Erhöhung der Kapitalkosten aus, weil der Verwaltungskostenzuschlag in die dem Tilgungsplan zugrunde gelegte Annuität nicht eingerechnet wird, so daß sich eine längere Tilgungsdauer ergibt. Weiterhin kann sich aus der technischen Regelung der Zins- und Tilgungsverrechnung eine, wenn auch geringfügige, Erhöhung des Nominalzinsfußes ergeben, z. B. wenn die Zinsen für

größere Zeiträume im voraus zu zahlen sind, oder wenn die Annuität z. B. in vierteljährlichen Raten gezahlt werden muß, die Verrechnung der Tilgungsbeträge dagegen nur jährlich nachträglich erfolgt. Eine besondere Rolle spielen die Nebenkosten bei kurzfristigen Bankkrediten, bei denen sich der Nominalzinsfuß durch die Berechnung von Kreditprovisionen und Umsatzprovisionen häufig sehr erheblich erhöht.

In besonderem Maße werden die Kapitalkosten häufig durch die Finanzierungskosten belastet. Bei den Finanzierungskosten müssen wir unterscheiden diejenigen, die in Wirklichkeit nur eine versteckte Zinsberechnung darstellen, wie Abzüge bei der Auszahlung eines Darlehens (Kursverlust, Damno, Disagio) und Zuschläge bei der Rückzahlung eines Darlehens (Rückzahlungsdisagio), von den Kapitalbeschaffungskosten im engeren Sinne. Hierzu gehören Spesen und Vermittlungsprovisionen, die an Dritte gezahlt werden für die Mitwirkung bei der Geldbeschaffung, Kosten für die Prüfung der Kreditsicherheiten (Gutachten, Taxen, Revisionen), Kosten für den Darlehensvertrag selbst und die Bestellung etwaiger grundbuchlicher Sicherheiten (Notariats- und Gerichtskosten und Stempelsteuer), schließlich Kosten für die Verbriefung der Schuldurkunde (Druckkosten für die Anleihestücke), Wertpapiersteuer und etwaige Wechselstempelsteuern). Derartige Finanzierungskosten entstehen bei den Kapitalgesellschaften im gewissen Umfang auch bei der Eigenkapitalbeschaffung. Bei Bankkrediten kommen als wichtigste Finanzierungskosten, abgesehen von den Kosten der Kreditprüfung, hauptsächlich die sogenannten Bereitstellungsprovisionen sowie die Wechselkosten in Betracht.

Um die wirklichen Kapitalkosten zu ermitteln, müssen die Finanzierungskosten anteilig auf die Laufzeit des Kapitals verteilt werden und müßten deshalb zu diesem Zweck auch in Buchführung und Bilanz kontenmäßig besonders erfaßt werden. Dies geschieht in der Praxis jedoch zumeist nur hinsichtlich der unechten Finanzierungskosten, wie namentlich Kursverlust oder Disagio, die übrigen zahlreichen Finanzierungskosten dagegen werden meist zu Lasten der Ertragsrechnung eines Jahres über Unkostenkonto weggebucht. Dadurch gehen sie der Erfassung der Kapitalkosten, wie sie gerade in späterer Zeit oft wichtig ist, verloren. Weil die Finanzierungskosten auf die Laufzeit des Kapitals verteilt werden müssen, wirken sie sich um so stärker aus, je kürzer die Laufzeit ist. Sie spielen deshalb bei den kurzfristigen Bankkrediten meist eine noch wichtigere Rolle als bei langfristigen Hypotheken und Anleihen.

Bei langfristigen Anleihen ergibt sich je nach der Höhe insbesondere des Auszahlungsdisagios durch die Finanzierungskosten häufig eine Erhöhung der Effektivverzinsung gegenüber dem Nominalzinsfuß um 20—30 %. Bei kurzfristigen Bankkrediten dagegen erhöhen sich die effektiven Kapitalkosten bei Umlegung der Finanzierungskosten häufig bis auf das Doppelte des Nominalzinsfußes. Die genaue Durchrechnung der Kapitalkosten ist deshalb für eine exakte Finanzierungskalkulation unbedingt erforderlich, wird aber in der Praxis nicht selten in zulässiger Weise vernachlässigt, so daß Kaufleute manchmal selbst nicht genau wissen, wie sich die Effektivkosten des von ihnen in Anspruch genommenen Fremdkapitals stellen. Es ist dann nicht verwunderlich, wenn gegen den Grundsatz, daß die Kapitalkosten den Ertrag der Kapitalverwendung nicht übersteigen dürfen, verstoßen wird.

Schwieriger noch als die exakte Erfassung der Kapitalkosten ist die Veranschlagung oder Ermittlung des Kapitalertrages, der Rentabilität. Es ist hier nicht der Ort, die Rentabilitätsprobleme nach ihrer theoretischen und praktischen Seite im einzelnen zu erörtern, wir können vielmehr nur die für die Finanzierungslehre unmittelbar wichtigen Gesichtspunkte hervorheben. Für die Prüfung der Rentabilität eines einzelnen Geschäftes stellt uns die Kalkulationslehre ausreichende Hilfsmittel zur Verfügung, hier handelt es sich meist um praktische Schwierigkeiten für die exakte Erfassung der Material- und Arbeitskosten, theoretische Schwierigkeiten entstehen hier im wesentlichen nur hinsichtlich des Problems der Zurechnung der Betriebs- und Geschäftsunkosten. Schwieriger ist schon die Ermittlung der Rentabilität eines Betriebes oder Unternehmungsteiles. Hier spielen nicht nur die Fragen der Erfassung von Aufwand und Unkosten, der Zurechnung und der internen Verrechnungspreise eine wichtige Rolle, sondern es taucht

hier bereits das Problem auf, welches Kapital überhaupt in dem Betrieb oder Unternehmungs-
teil investiert ist, da ja der Kapitalertrag nur am Kapital selbst gemessen und gewertet werden
kann. Dies stellt das Hauptproblem dar, wenn wir die Rentabilität eines ganzen Unternehmens
feststellen wollen, und die Unternehmungsrentabilität ist der wichtigste Faktor der Finanzie-
rungskalkulation in unserem Zusammenhang. Die Rentabilität des Gesamtunternehmens oder
der durchschnittliche Kapitalertrag ist Wertmaßstab für die Prüfung der Gesamtfinanzierung
wie auch wichtigster Anhaltspunkt für die Rentabilitätsprüfung von Einzelfinanzierungen.
Namentlich zur Beurteilung der Kapitalkosten neu zu beschaffenden Fremdkapitals muß auf
die Unternehmungsrentabilität zurückgegangen werden, insbesondere auch bei kurzfristigen
Finanzierungen.

Die Betriebswirtschaftslehre unterscheidet Unternehmerrentabilität und Unternehmungs-
rentabilität. Die vom Praktiker meist in den Vordergrund gestellte Unternehmerrentabilität,
nämlich das Verhältnis des Reingewinns zum Eigenkapital oder, wie die Praxis noch häufig un-
zulässig vereinfacht, gar zum Stammkapital, sagt für unseren Fragenkreis überhaupt nichts
aus. Ob die Kapitalkosten durch den Kapitalertrag gedeckt werden, das können wir nur an der
Unternehmungsrentabilität prüfen, d. h. an dem Verhältnis des Gewinnes zum gesamten im
Unternehmen arbeitenden Kapital, Eigenkapital und Fremdkapital. Der Erfassung des im Unter-
nehmen arbeitenden Gesamtkapitals stellen sich beträchtliche Schwierigkeiten entgegen. Um
festzustellen, welches Kapital vorhanden ist, müssen wir theoretisch das Vermögen untersuchen,
in welchem sich das Kapital vergegenständlicht, also die Aktivseite der Bilanz, und hierbei be-
gegnet uns die ganze Problematik der bilanzmäßigen Vermögensbewertung. Diese Bewertungen
sind grundsätzlich nicht Aufgabe der Finanzierungskalkulation, und man kann deshalb unter der
Voraussetzung, daß eine einwandfreie Vermögensbewertung vorliegt, für unsere Zwecke von
der Passivseite der Bilanz ausgehen, welche anzeigt, was an Kapitalwert vorhanden sein soll.
Allerdings müssen bei dieser Feststellung des Kapitals aus der Bilanz, auch wenn eine ordnungs-
mäßige Vermögensbewertung vorliegt, einige Berichtigungen vorgenommen werden. So muß
von dem bilanzmäßigen Kapital (Bilanzsumme) abgesetzt werden der auf der Aktivseite etwa
ausgewiesene Wert eigener Aktien, ferner zum Zwecke der allmählichen Abschreibung akti-
vierte Kosten oder Verluste, wie Finanzierungskosten oder Entwertungskonten, schließlich auch
abschreibungsbedürftige, aber aus irgend welchen Gründen noch nicht abgeschriebene Ver-
mögenswerte. Andererseits müssen rechnungsmäßige Kapitalverkleinerungen, wie sie durch die
stillen Reserven der Aktivseite erfolgen, derart berücksichtigt werden, daß der Wert dieser Re-
serven dem Kapital wieder zugeschlagen wird. Weiterhin müssen durchlaufende und transi-
torische Posten ausgeschieden werden und zur exakten Ermittlung des eigentlichen Unter-
nehmungskapitals auch noch derjenige Teil des Vermögens, der anorganisch, d. h. in betriebs-
fremden Werten angelegt ist, wie z. B. durch den Betriebszweck nicht bedingte Daueranlagen
in Effekten, Darlehen und Grundstücken. Schließlich aber muß noch in Betracht gezogen werden,
daß die Kapitalsumme, wie sie die Jahresbilanz ausweist, mehr oder weniger eine Zufalls-
größe ist, die nicht ohne weiteres mit dem während des ganzen Jahres in dem Unternehmen
investierten Kapital übereinstimmt. Namentlich das Umsatzvermögen kann am Bilanzstichtag
höher oder niedriger sein als im Jahresdurchschnitt. Wenigstens das Jahresdurchschnitts-
kapital des Unternehmens muß aber solchen Untersuchungen zugrunde gelegt werden. So-
fern zu diesem Zweck nicht Zwischenbilanzen (Monatsbilanzen oder Vierteljahresabschlüsse)
zur Verfügung stehen, muß aus der Erfahrung eine Berichtigung des Bilanzkapitals vorgenommen
werden. Dem so bereinigten Unternehmungskapital ist dann zur Feststellung des durch-
schnittlichen Kapitalertrages der Jahresgewinn gegenüberzustellen. Hierbei kann man natur-
gemäß mit dem durch Bilanz und Gewinn- und Verlustrechnung ausgewiesenen Reingewinn
nicht operieren. Es muß vielmehr zunächst der wirkliche Jahreserfolg, den die veröffentlichte
Bilanz meist bekanntlich nicht wiedergibt, zugrunde gelegt werden, also einschließlich der
nicht zur Kapitalerhaltung notwendigen Abschreibungen und Rückstellungen, aber abzüglich

etwaiger offener oder stiller Gewinnüberträge aus der Vorjahre. Zu diesem Erfolg müssen dann vor allem die während des Jahres gemachten Zinsaufwendungen (Schuldzinsen und anteiligen Finanzierungskosten) zugeschrieben werden, da wir ja die Rentabilität des Gesamtkapitals einschließlich des Schuldkapitals feststellen wollen. Abgezogen dagegen werden müssen anorganische, d. h. durch die betriebliche Tätigkeit nicht bedingte Erfolge (Spekulations- und Währungsgewinne und -verluste), und schließlich müssen auf beiden Seiten der Erfolgsrechnung Aufwand und Ertrag der anorganischen Vermögensanlagen ausgeschieden werden. Das Verhältnis dieses bereinigten Ertrages zu dem bereinigten Kapital ergibt den wirklichen Kapitalertrag des für den Betriebszweck verwendeten Kapitals, die betriebliche Rentabilität. Einige weitere, bei dieser Rentabilitätsrechnung sich ergebende Fehlerquellen können hier übergangen werden. Es muß jedoch noch berücksichtigt werden, daß diese Rechnung natürlich einen sehr beschränkten Erkenntniswert besitzt, sofern sie nur für ein Jahr aufgestellt wird, denn die Rentabilität eines Jahres ist im gewissen Sinne eine Zufallsrentabilität. Erst der Vergleich mehrerer Jahre, möglichst einen ganzen Konjunkturzyklus vom Aufschwung bis zur Depression umfassend, ermöglicht eine hinlängliche Beurteilung der Dauerrentabilität.

Die Durchführung solcher Rentabilitätsprüfungen bei bestehenden Unternehmungen zeitigt oft überraschende Ergebnisse. Gerade bei gut dastehenden Unternehmungen mit hohen Reserven ist die wirkliche Rentabilität des dem Betriebszweck gewidmeten Kapitals manchmal niedriger, als die Unternehmungsinhaber oder -leiter dies annehmen. Im übrigen kann sich sowohl ergeben, daß die Unternehmungsrentabilität höher ist als die durchschnittlichen Kapitalkosten des zinstragenden Fremdkapitals wie auch niedriger. Ist die Rentabilität geringer als die Kapitalkosten des Fremdkapitals, dann wird die Verzinsung des Eigenkapitals durch das Fremdkapital geschmälert, während es im umgekehrten Falle durch die Verwendung von Fremdkapital eine höhere Verzinsung erlangt. Im ersteren Falle wird die Aufnahme weiteren Schuldkapitals nur vertretbar sein, wenn die Kapitalkosten gesenkt oder die Erträge erhöht werden können, während im zweiten Falle rentabilitätsmäßig gesehen, keine Grenzen für die Verwendung von Fremdkapital vorhanden sind. Immer aber wird die Durchführung solcher Rentabilitätsprüfungen dazu führen, sowohl bei der Planung von Neuinvestitionen und Betriebserweiterungen wie auch bei deren Finanzierung mit größerer Vorsicht zu Werke zu gehen.

4. Die Finanzierungsart muß dem Kapitalverwendungszweck entsprechen

Wir kennen in der Finanzierung zwei Arten von Kapital, nämlich Eigenkapital und Fremdkapital, und demgemäß auch zwei Finanzierungsarten (von Nicklisch „Wege der Finanzierung“ genannt).

Die Regel, daß die Finanzierungsart dem Kapitalverwendungszweck entsprechen soll, will also etwas darüber aussagen, ob die Finanzierung mit Eigenkapital oder Fremdkapital erfolgen soll oder darf. Diese Frage kann unter den verschiedensten Gesichtspunkten behandelt werden. Es kommen z. B. in Betracht der Gesichtspunkt der Erzielung einer möglichst hohen Rentabilität und der Gesichtspunkt der leichtesten Kapitalbeschaffung. Dies sind jedoch für uns teils Vorfragen, teils Nebenfragen finanztechnischer Art. Da wir in den Mittelpunkt unserer Erörterungen immer den Betrieb und die Finanzierungsbedürfnisse des dem Betriebszweck dienenden Vermögens stellen, müssen wir diese Frage unter dem Gesichtspunkt prüfen, daß der Kapitalaufbau dem Vermögensaufbau entsprechen soll. Denn es ist unser oberster Finanzierungsgrundsatz, daß die auf dem Vermögen beruhende betriebliche Tätigkeit nicht durch die Finanzierung gefährdet oder beeinträchtigt werden darf.

Das betriebliche Vermögen ist die Quelle des Erfolges, also des Kapitalertrages. Aber der Ertrag ist im Prinzip unsicher und in seiner Höhe schwankend. Das Vermögen selbst ist Wertveränderungen unterworfen. Diese Wertveränderungen sind beim Umsatzvermögen in der Regel durch Preisbewegungen auf dem Gütermarkt oder durch allgemeine Geldwertveränderungen

bedingt, auch Verluste führen Vermögenswertänderungen herbei. Beim Anlagevermögen können sehr große Wertveränderungen lediglich durch eine Änderung der Verwendungsart bedingt sein, ein Werk, das im Betriebe befindlich einen hohen Ertragswert besitzt, ist nach der Stilllegung, bei Liquidation oder Konkurs manchmal nahezu wertlos. Das Vermögen hat auch eine verschiedene Stabilität der Erscheinungsform. Das Anlagevermögen ist im allgemeinen schwer oder gar nicht liquidierbar, einmal geschaffen, in seinem Umfang und seiner Gestalt wenig oder gar nicht wandelbar. Das Umsatzvermögen dagegen ist in Umfang und Gestalt leicht wandelbar und im allgemeinen auch leicht liquidierbar. Sein Umfang ändert sich im Betriebe mit dem wechselnden Beschäftigungsgrad nach Saison und Konjunktur kurzfristig in weiten Grenzen.

Auf diese Tatbestände muß eine auf das Unternehmungsvermögen ausgerichtete Finanzierung Rücksicht nehmen. Das Unternehmungskapital muß also in der Lage sein, sowohl das langfristig angelegte, schwer bewegliche Anlagevermögen zu finanzieren wie das nach Umfang und Gestalt sich täglich ändernde, kurzfristig angelegte Umsatzvermögen. Das Unternehmungskapital muß in seiner Gesamtheit in der Lage sein, sich den Schwankungen des Ertrages sowohl wie den Wertveränderungen des Vermögens anzupassen. Hieraus ergeben sich eine Reihe von Einzelgrundsätzen, die im folgenden erörtert werden sollen.

Langfristig angelegtes Vermögen kann und muß durch Dauerkapital finanziert werden, kurzfristig angelegtes Vermögen kann auch durch kurzfristig verfügbares Kapital finanziert werden. Dauerkapital ist insbesondere Eigenkapital, deshalb eignet es sich zur Anlagefinanzierung in hervorragendem Maße. Die Finanzierung des Umsatzvermögens dagegen muß durch bewegliches, dem Umfang nach leicht veränderliches Kapital erfolgen. Beweglich und im Umfang leicht veränderlich ist gerade das Eigenkapital im allgemeinen nicht. Das einmal in der Unternehmung investierte Eigenkapital ist vielmehr in der Regel schwer veränderlich, bei Kapitalgesellschaften sogar eine fast völlig starre Größe. Es läßt sich weder von einem Tag auf den anderen erhöhen, noch, was für die Finanzierung des Umsatzvermögens genau so wichtig ist, durch Herausziehung aus dem Unternehmen verringern. Man kann bei einer Aktiengesellschaft oder G. m. b. H. nicht den umständlichen Weg der Kapitalherabsetzung beschreiten, weil der Umsatz vorübergehend abnimmt oder weil die Kapitalumschlagsfrist sich verringert. Zu hohes Eigenkapital führt dazu, daß das Unternehmungskapital zeitweilig und zum Teil unbeschäftigt bleibt und deshalb keine Zinsen trägt oder daß es in betriebsfremden Anlagen und Geschäften verwendet wird. Den Erfordernissen der Elastizität des zur Umsatzfinanzierung benötigten Kapitals entspricht am besten das Fremdkapital, und zwar das kurzfristige Fremdkapital, welches bei günstiger Geldmarktlage entsprechend den Schwankungen des Umsatzes kurzfristig erhöht und auch kurzfristig wieder vermindert werden kann. Diese Erörterungen führen jedoch nur dazu, aus der Vermögensstruktur heraus den Kapitalarten die zweckmäßigste Verwendung zuzuweisen, sie besagen jedoch nicht, daß die Finanzierung des Anlagevermögens ausschließlich durch Eigenkapital und die Finanzierung des Umsatzvermögens ausschließlich durch kurzfristiges Fremdkapital erfolgen soll. Fremdkapital kann, in den richtigen Formen und Fristen gewährt, auch zur Finanzierung des Anlagevermögens geeignet sein, und der Grundsatz der sicheren Finanzierung verlangt auch für das Umsatzvermögen ein angemessenes Verhältnis von Eigenkapital.

Die Finanzierung des Gesamtvermögens verlangt entsprechend den variablen Erträgen ein in den Kapitalkosten variables Gesamtkapital. Variabel in den Kapitalkosten ist im Prinzip nur das Eigenkapital. Wenn auch, wie wir früher gesehen haben, vom Standpunkt der Finanzierung eine durchschnittliche Mindestverzinsung des Eigenkapitals im Hinblick auf die Kapitalbeschaffung erforderlich und daher als Kapitalkosten anzusehen ist, so hindert dies doch nicht, daß die Verzinsung des Eigenkapitals ohne besondere Nachteile für die derzeitige Finanzierung des Unternehmens vorübergehend, gegebenenfalls sogar jahrelang unter den landesüblichen Zinsfuß sinken kann. Die Vermögensstruktur des Unternehmens wird hierdurch nicht beeinträchtigt. Die Kapitalkosten des Eigenkapitals können sich also den Schwankungen des

Unternehmungsertrages in verhältnismäßig weiten Grenzen anpassen, ohne daß dadurch der Bestand des Unternehmens gefährdet wird. Das Fremdkapital dagegen ist in den Kapitalkosten im Verhältnis zum Unternehmungsertrag im Prinzip nicht variabel. Zwar unterliegen auch die Kosten des Fremdkapitals Schwankungen und Veränderungen. Wenn entsprechende Kündigungsmöglichkeiten für den Schuldner vorgesehen sind, können Anleihen konvertiert, Hypotheken umbeliehen werden, und die Kosten des kurzfristigen Bankkredits ändern sich fast mit jeder Veränderung der Geldmarktlage. Aber diese Schwankungen und Veränderungen der Kapitalkosten haben andere Bewegungsgründe und andere Bewegungsrichtungen als die Veränderungen des Unternehmungsertrages. Sie können sich zu der Ertragsveränderung sogar gegenläufig bewegen. Deshalb müssen die Fremdkapitalkosten im Verhältnis zum Unternehmungsertrag als starr angesehen werden. Je höher der Anteil des Fremdkapitals am Gesamtkapital ist, um so größer ist bei schwankenden Erträgen das Verlustrisiko, und je schwankender die Erträge des Unternehmens sind, um so größer muß der Eigenkapitalanteil an der Gesamtfinanzierung sein, um den Vermögensaufbau nicht zu gefährden. Je höher und je sicherer die Rentabilität ist, um so leichter kann Fremdkapital zur Finanzierung herangezogen werden.

Die Finanzierung des Vermögens verlangt entsprechend den variablen Vermögenswerten Kapital, das sich diesen Wertveränderungen anpassen kann. Ergeben sich auf der Aktivseite der Bilanz Wertveränderungen, sei es durch Verluste (Untergang von Sachgütern, Uneinbringlichkeit von Geldforderungen, Währungsverluste), sei es durch Änderung des Marktwertes von Gegenständen des Umsatzvermögens, sei es durch Änderung des Funktionswertes von Gegenständen des Anlagevermögens (Stilllegung einer Produktionsanlage), so muß dies auch entsprechende Änderungen des Kapitalwertes auf der Passivseite nach sich ziehen. Steht auf der Passivseite Eigenkapital in genügendem Umfang, so kann die Anpassung des Kapitalwertes an die Veränderung des Vermögenswertes in einer nach den Kapitalformen und Unternehmungsformen technisch verschiedenen Weise mehr oder weniger leicht vorgenommen werden. Das Eigenkapital wird um den Betrag dieser Wertverluste rechnerisch herabgesetzt, ohne daß sich dadurch an dem Bestande des Unternehmens und seiner Lebensfähigkeit wesentliche Veränderungen zu ergeben brauchen. Am einfachsten ist eine derartige Kapitalwertberichtigung, wenn sie zu Lasten freier Rückstellungen oder stiller Reserven vorgenommen werden kann. Technisch am meisten kompliziert und in der Wirkung nach außen am wenigsten erfreulich ist die Wertberichtigung zu Lasten des Stammkapitals, welche bei Kapitalgesellschaften in der umständlichen Form der Kapitalherabsetzung erfolgen muß. Ist kein zur Vornahme der Wertberichtigungen ausreichendes Eigenkapital vorhanden, dann ist die Anpassung des Kapitals an den veränderten Vermögenswert nicht möglich; denn das Fremdkapital ist seinem Wert nach starr und unveränderlich, das Unternehmen ist überschuldet und muß Konkurs anmelden. Allgemeine Geldwertveränderungen oder Verschiebungen im Wertverhältnis der Inlandswährung zu derjenigen Auslandswährung, in welcher das Fremdkapital aufgenommen ist, können eine automatische Anpassung des Kapitalwertes an Vermögenswertänderungen hervorbringen (Pfund- und Dollarschulden in den Jahren 1931—1933). Diese Wertänderungen des Fremdkapitals unterliegen aber grundsätzlich ebenfalls anderen Bewegungsgründen und Bewegungsrichtungen als die Vermögenswertänderungen.

Aus den vorangegangenen Erörterungen ergibt sich, daß das Eigenkapital der eigentliche Risikoträger für Ertragsveränderungen und Vermögenswertänderungen ist. Wegen der Bedeutung dieser Funktionen kann ein angemessenes Eigenkapital in der Unternehmung vom Standpunkt der Finanzierung grundsätzlich nicht entbehrt werden. Eigenkapital ist aber auch in jeder Unternehmung notwendig, um als Finanzierungsreserve zu dienen. Wir haben bei der Erörterung der Grundsätze von der ausreichenden und sicheren Finanzierung gesehen, daß bei Neuinvestitionen sowohl wie bei der Umsatzfinanzierung der Kapitalbedarf vorher nie ganz genau bestimmt werden kann, und daß auch bei der Kapitalbeschaffung mit vielfältigen Risiken und

Unsicherheiten gerechnet werden muß. Das Risiko von unvorhergesehenen Kapitalbedarfs-erhöhungen bei der Durchführung geplanter Transaktionen und das Risiko des zeitlichen oder summenmäßigen Zurückbleibens der neuen Finanzierungsmittel hinter dem Finanzierungsplan können in der Regel nur übernommen werden, wenn Eigenmittel zur Verfügung stehen, welche diese Lücken mindestens vorübergehend ausfüllen können. Das Eigenkapital erfüllt also sowohl die Funktion der Vermögenssicherung wie der Finanzierungssicherung. Schließlich muß noch in Betracht gezogen werden, daß eine 100prozentige Fremdfinanzierung in der Privatwirtschaft im allgemeinen überhaupt nicht möglich ist. Die Fremdkapitalfinanzierung setzt deshalb einen gewissen Eigenkapitalanteil geradezu voraus.

Das Eigenkapital hat aber vom Standpunkt des Betriebes aus gesehen auch Nachteile. Auf die relative Unbeweglichkeit des Eigenkapitals in der Unternehmung haben wir bereits hingewiesen. Das Eigenkapital hat aber weiterhin neben seinem Vorzug unter Umständen geringster Kapitalkosten auch den Nachteil, daß seine Gewinnansprüche nach oben hin unbegrenzt sind, und daß deshalb gerade bei sehr rentablen Unternehmungen, vom Standpunkt des Betriebes gesehen, das Eigenkapital durch die Gewinnausschüttungen oft teurer ist als das Fremdkapital. Schließlich kann auch vom Standpunkt der Unternehmungsinhaber einer bestehenden Unternehmung die Heranziehung neuen Eigenkapitals durch Beitritt neuer Gesellschafter unvorteilhaft erscheinen, weil sie eine Verschiebung der Besitz- und Einflußverhältnisse in der Unternehmung hervorbringt. Ist Fremdkapital billiger zu haben, als der Ertrag der Kapitalverwendung durch die betriebliche Tätigkeit ausmacht, dann ist es vom Standpunkt der bisherigen Unternehmungsinhaber auch unter dem Gesichtspunkt der Erzielung einer möglichst hohen Rente für das Eigenkapital zweckmäßig, innerhalb der durch die obigen Erörterungen gegebenen Grenzen in möglichst großem Umfange Fremdkapital heranzuziehen.

Die Fragestellung Eigenkapital oder Fremdkapital kann also, solange es sich um die Gesamtfinanzierung einer Unternehmung handelt, niemals zugunsten der einen oder anderen Finanzierungsart entschieden werden. Beide Finanzierungsarten sind notwendig und zweckmäßig. Es handelt sich vielmehr darum, jeweils das richtige Verhältnis von Eigenkapital und Fremdkapital zu finden und die Finanzierung mit diesen beiden Finanzierungsarten auf die ihnen gemäßen Vermögensanlagen zu beziehen. Das Eigenkapital hat für die Unternehmung an sich sehr große Vorzüge, und man würde ohne sehr große Nachteile die Gesamtfinanzierung des Unternehmens auf dem Eigenkapital aufbauen können, wenn und solange Eigenkapital jederzeit in dem benötigten wechselnden Umfange zur Verfügung stünde. Da diese Voraussetzung aber in der Praxis nicht gegeben ist, muß schon aus Gründen des Kapitalbedarfs auf Fremdkapital zurückgegriffen werden. Vor allem aber wäre es unter dem Gesichtspunkt der Rentabilität und der Elastizität des Kapitalaufbaues unzweckmäßig, auf Fremdkapital zu verzichten, solange dieses billiger ist als die Unternehmungsrentabilität und namentlich, wenn es sich darum handelt, den Spitzenbedarf zur Finanzierung des in seinem Umfang nach Saison und Konjunktur schwankenden Umsatzvermögens zu decken.

Solange der Kapitalaufbau in seiner Gesamtheit dem Vermögensaufbau gerecht wird, kann es im Einzelfalle durchaus diskutabel sein, sich für die Finanzierung mit einer der beiden Kapitalarten zu entscheiden. Namentlich, wenn die Beschaffung von Dauerkapital für eine größere Neuinvestition oder Betriebserweiterung in Frage steht, kann diese Entscheidung dringlich werden. Wenn das Unternehmen in solchem Umfang mit Eigenkapital (Grundkapital und Reserven) ausgestattet ist, daß dieses ohne Vergrößerung auch für das zu vergrößernde Gesamtkapital noch zur Erfüllung seiner Funktionen genügt, und wenn Fremdkapital in ausreichendem Umfang und mit tragbaren Kosten beschafft werden kann, dann bestehen theoretisch keine Bedenken dagegen, die Finanzierung nur durch Fremdkapital, z. B. durch eine Obligationen-anleihe, vorzunehmen. Praktisch entscheiden wird jedoch in der Regel der Grundsatz der ausreichenden und sicheren Finanzierung, also die Möglichkeit, das Fremdkapital in den geeigneten Formen und Fristen tatsächlich zu beschaffen. Bei der Finanzierung des Umsatzvermögens,

insbesondere größerer Einzeltransaktionen, taucht häufig die Frage auf, ob das Unternehmen die Finanzierung mit eigenen Mitteln bewirken oder Fremdkapital, namentlich Bankkredit, in Anspruch nehmen soll. Auch hier wird die Antwort vornehmlich aus den Gesichtspunkten der ausreichenden und sicheren Finanzierung gegeben werden müssen. Es wird festzustellen sein, ob das Unternehmen aus den vorhandenen Eigenmitteln soviel und solange für den besonderen Zweck freimachen kann, ohne die Finanzierung des sonstigen Umsatzes, die Liquidität und damit die Beweglichkeit des Unternehmens bei weiteren Geschäften zu beschränken.

Wird die Frage Eigenkapital oder Fremdkapital in der Richtung gestellt, welche Teile des Gesamtvermögens mit Eigenkapital oder Fremdkapital finanziert werden sollen, dann wird die Beantwortung hauptsächlich auf die zur Verfügung stehenden Formen und Fristen Bedacht nehmen müssen, die weiter unten noch näher erörtert werden. An dieser Stelle sei nur soviel gesagt, daß das Fremdkapital sich vorzüglich zur Hilfe bei der Umsatzfinanzierung eignet, wofür in erster Linie der kurzfristige Bankkredit in Betracht kommt. Das Fremdkapital schließt immer mehr oder weniger an bestimmte Vermögensgegenstände an, die als Kapitalsicherung dienen sollen, langfristiges Fremdkapital an das Anlagevermögen, kurzfristige Bankkredite an das Umsatzvermögen. Aber die Sicherstellung des Fremdkapitals durch einen bestimmten Vermögensbestandteil bedeutet, von der Unternehmung gesehen, noch nicht, daß das Fremdkapital nun auch gerade oder nur zur Finanzierung dieser Vermögensanlage dient. Ein Unternehmen z. B., dessen gesamtes Anlagevermögen durch Eigenkapital finanziert ist und Fremdkapital nur zur Ergänzungsfinanzierung für das Umsatzvermögen benötigt, braucht sich zur Finanzierung dieses Umsatzes durchaus nicht ausschließlich des kurzfristigen Bankkredites zu bedienen. Vielmehr kann es, wenn und solange kurzfristige Betriebskredite höhere Kapitalkosten verursachen als langfristige Anlagekredite, durchaus zweckmäßig sein, denjenigen Teil des benötigten Ergänzungskapitals, der voraussichtlich dauernd gebraucht wird, im Wege des langfristigen Anlagekredits zu beschaffen. Vor dem umgekehrten Wege allerdings, die Finanzierung des Anlagevermögens durch kurzfristigen Bankkredit vorzunehmen, muß nachdrücklichst gewarnt werden.

5. Die Finanzierungsform muß der Kapitalverwendung entsprechen

Ob die Finanzierung mit Eigenkapital oder Fremdkapital erfolgt, sie kann in beiden Fällen in den verschiedensten Formen vor sich gehen. Eigenkapital kann beschafft werden von außen durch Einlagen des oder der Unternehmungsinhaber und von innen durch die Aufspeicherung von Reserven. Fremdkapital kann beschafft werden in langfristiger Form durch Privatdarlehen, insbesondere in der Rechtsform der stillen Gesellschaft, durch Hypothekendarlehen und durch Anleihen, in kurzfristiger Form durch Lieferantenkredite, Kundenanzahlungen und Bankkredite, Bankkredit wiederum in den mannigfaltigsten Formen. Es ist verständlich, wenn die Finanzierungspraxis bei der Auswahl der Formen sich meist von den Gesichtspunkten der Bequemlichkeit und Billigkeit leiten läßt, wobei im übrigen häufig genug die Bequemlichkeit überwiegt. Demgegenüber stellen wir aus unserer Grundhaltung heraus auch hier wiederum den Grundsatz in den Vordergrund, daß der Kapitalverwendungszweck, der Betrieb, für die Auswahl der Finanzierungsform an erster Stelle maßgebend sein muß. Wenn auch die Geld- und Kapitalmarktlage unter Umständen wenig Freiheit in der Auswahl der Finanzierungsform läßt, so müssen doch grundsätzlich Finanzierungsformen vermieden werden, die den betrieblichen Güter- und Leistungsprozeß beeinträchtigen. Praktisch gesprochen soll der Finanzier keine Finanzierung und keine Finanzgeschäfte machen, die den Betriebsleiter in der durch die Produktions- und Absatzverhältnisse bedingten Betriebsdisposition hindern.

Die Form der Eigenkapitalbeschaffung von außen hängt wesentlich von der Rechtsform der Unternehmung ab. Die Unternehmungsform bestimmt also in gewissem Umfange die Finanzierungsmöglichkeiten, und deshalb ist die Wahl der Unternehmungsform auch bis zu einem

gewissen Grade von den Finanzierungsbedürfnissen bestimmt. Es scheint aber, daß die Entwicklung der letzten Jahrzehnte mit ihrer Überschätzung der Großunternehmung und der Kapitalgesellschaften dazu geführt hat, daß die Formen der Kapitalgesellschaft, insbesondere der Aktiengesellschaft, auch dann bevorzugt werden, wenn es aus Gründen der Finanzierung in Wirklichkeit gar nicht notwendig ist. Zwar ist es in Zeiten leichter Kapitalmarktlage bequem, zum Zwecke der Beschaffung neuen Eigenkapitals auf die Vorstellungen emissionsfreudiger Bankiers hin sein Unternehmen in eine Aktiengesellschaft umzugründen und das gewünschte Kapital im Wege der Aktienbegebung auf dem Kapitalmarkt sich beschaffen zu lassen. Billig ist dieser Weg aber nicht, denn die Kosten einer solchen Umgründung sind an sich schon sehr erheblich, und die neue Unternehmungsform belastet das Unternehmen in der Regel auch mit nicht unerheblichen laufenden Mehrkosten. Wenn der Übergang zu einer anderen Rechtsform oder die Gründung einer neuen Unternehmung in der Form der Aktiengesellschaft durch die Bedürfnisse der Kapitalbeschaffung und die Struktur des Unternehmens nicht zwingend bestimmt ist, dann ist es rationeller, sich mit den bescheideneren Formen der G. m. b. H. oder der Personalgesellschaft zu begnügen, auch wenn die Kapitalbeschaffung dann weniger bequem ist. Das neue Eigenkapital kann häufig auch durch die Aufnahme von Teilhabern oder Kommanditisten, bei der G. m. b. H. durch Werbung neuer Gesellschafter beschafft werden, wenn dieser Weg auch schwieriger und langwieriger und mit persönlichen Unbequemlichkeiten verbunden sein mag. Ein Unternehmen mit bis zu wenigen Hunderttausend Mark Grundkapital braucht in der Regel nicht die Form der Aktiengesellschaft. Für derartige Unternehmungen kann die Form der Aktiengesellschaft, auf die Dauer gesehen, sogar aus Gründen der Finanzierung geradezu unzweckmäßig sein, weil diese Unternehmungen ja nur kleine Wertpapieremissionen auf den Markt bringen können. Solche kleine Aktienemissionen finden auf den zentralen Kapitalmärkten häufig nicht das genügende Interesse, und die Papiere bleiben wegen der zwangsläufig geringen Umsätze verhältnismäßig unbekannt und unbeachtet. Und gerade diese Kleinheit des Marktes bedingt manchmal sehr empfindliche Kursschwankungen und ein unnötig niedriges Kursniveau, welches dem Unternehmen in der Öffentlichkeit eine ungerechtfertigt ungünstige Beurteilung zuzieht und andererseits die spätere Neukapitalbeschaffung erschwert. Für die Eigenkapitalbeschaffung in wirklich großen Summen dagegen wird die private Unternehmung bei der heutigen Wirtschafts- und Kapitalmarktorganisation auf die allein bei den Kapitalgesellschaften mögliche Effektenform nicht verzichten können. In gewissem Umfang allerdings ist auch bestehenden Aktiengesellschaften die Eigenkapitalbeschaffung ohne Benutzung des Effektenmarktes möglich, und zwar durch die Umwandlung in eine Kommandit-Aktiengesellschaft. Die Heranziehung persönlich haftender Gesellschafter mit entsprechenden Kapitaleinlagen kann Finanzierungsbedürfnissen beschränkter Umfanges durchaus genügen, und überdies verdient die Rechtsform der Kommanditgesellschaft auf Aktien gerade in unserer Zeit erhöhte Beachtung, wo auf die Durchsetzung der Grundsätze eines verantwortlichen Führertums auch in der Wirtschaft besonderer Wert gelegt wird. Die Rechtsform der bergrechtlichen Gewerkschaft und der Bohrergesellschaft versprechen auf Grund der Entwicklung der letzten Jahrzehnte vom Standpunkt der Finanzierung keine Vorzüge, soweit es sich um die Neugründung von Unternehmen handelt. Die mit dem Besitz eines Kux oder Bohranteils verbundene Nachschuß- oder Zubeußpflicht läßt diese Effekten für Neuemissionen wenig reizvoll erscheinen, sie ist aber für die bestehenden Gesellschaften dieser Rechtsformen eine allen anderen Gesellschaftsformen nicht zugängliche verhältnismäßig einfache, wenn auch nicht immer sichere Form der Eigenkapitalbeschaffung.

Vom Standpunkt der Finanzierungslehre gesehen, ist die erwünschteste Form der Eigenkapitalbeschaffung für bestehende Unternehmungen die Eigenkapitalbildung durch Reserven und Rückstellungen, also die Selbstfinanzierung oder innere Finanzierung aus Gewinnüberschüssen. Die Finanzierung neuer Investitionen aus Reserven ist die sicherste und billigste Finanzierungsform, die das Unternehmen vor allen unabhängig macht von der Lage des Geld- und Kapitalmarktes und von den marktmäßigen Kapitalkosten. Freilich sind der Reservenpolitik

nicht nur durch Rentabilität und Besteuerung Grenzen gesetzt, sondern namentlich auch durch die Finanzierungsbedürfnisse selbst; denn eine Reservenpolitik, welche die zur Ausschüttung kommenden Gewinnanteile allzusehr beschneidet, erschwert die zukünftige äußere Finanzierung, auf die in der Regel nicht verzichtet werden kann. Trotzdem verdient es hervorgehoben zu werden, welche große Bedeutung eine konsequente Reservenpolitik in der Unternehmung gerade vom Standpunkt der Finanzierung aus besitzt.

Auch bei der Fremdkapital-Finanzierung muß zunächst darauf hingewiesen werden, daß es notwendig ist, die Finanzierungsformen im allgemeinen der Struktur und Größe des Unternehmens anzupassen. Was oben hinsichtlich der Eigenkapitalbeschaffung durch Aktien gesagt worden ist, gilt entsprechend auch für die Fremdkapitalbeschaffung durch Obligationen. Auch wenn die Lage des Unternehmens und die Lage des Kapitalmarktes die Aufnahme von Anleihen ermöglicht, ist es für ein kleineres oder mittleres Unternehmen richtiger, sich um Darlehen in der Form der sogenannten stillen Gesellschaft oder um Hypothekendarlehen zu bemühen, als sich unnötigerweise mit einer verhältnismäßig kleinen Anleihe an den allgemeinen Kapitalmarkt zu wenden. Auch Obligationenanleihen können den Kredit eines Unternehmens ungünstig beeinflussen, wenn die Anleihen keinen dauernden und sicheren Markt haben oder schlecht im Kurse stehen. Leider hat allerdings das Vorherrschen der Effektenfinanzierung dazu geführt, daß der Kapitalmarkt andere Formen und Institute zur Deckung des langfristigen Kreditbedarfs namentlich der mittleren Industriefirmen nicht in dem benötigten Maße entwickelt hat. Auf diesem Gebiet ist deshalb noch wichtige Aufbauarbeit zu leisten.

Im besonderen will der Grundsatz, daß die Finanzierungsform der Kapitalverwendung entsprechen soll, besagen, daß durch die Finanzierungsform nicht die Vermögensdisposition gehemmt werden darf. Dies ist von Bedeutung vor allem in Hinblick auf die technische Ausgestaltung der einzelnen Darlehnsformen und ihrer Sicherung. Die für einen Kredit zu stellenden speziellen Sicherheiten beruhen auf einzelnen Vermögensbestandteilen und erschweren deshalb die betriebliche Disposition über diese Vermögensbestandteile. Man soll, um einige Beispiele zu nennen, nicht Effekten als Kreditunterlage verpfänden, wenn man dieselben vielleicht binnen kurzem bei irgendwelchen gesellschaftsrechtlichen Maßnahmen oder zum Zwecke der Veräußerung freihaben muß. Man soll keine Sicherheiten, die man von Dritten bekommen hat, weitergeben oder verpfänden, wenn man sie in Kürze zur Abwicklung der Geschäfte mit diesem Dritten benötigt. Es ist vielmehr notwendig, die Darlehnsform gerade im Hinblick auf die zu stellenden Kreditsicherheiten nach den Bedürfnissen der Betriebsdisposition zu prüfen. Deshalb wird manchmal die verhältnismäßig bequeme Form des Lombardkredites nicht gewählt werden dürfen, vielmehr der schwierigere und meist auch unbequemere Weg der Beschaffung eines speziell nicht gesicherten Kontokorrentkredites gegangen werden müssen. Man soll die Finanzierung nicht auf Wechselkrediten aufbauen, wenn nicht damit gerechnet werden kann, daß entsprechende diskontfähige Wechsel aus der Art der zu finanzierenden Geschäfte laufend erwachsen. Weiterhin sollte darauf Bedacht genommen werden, daß die Ausgestaltung der Kreditbedingungen dem Charakter des zu finanzierenden Vermögenswertes entspricht. Dies betrifft insbesondere die Finanzierung des Anlagevermögens durch Hypotheken und Anleihen. Die Gegenstände des Anlagevermögens pflegen einen durch Abnutzung und Veraltung ständig sinkenden Wert zu haben, und dieser Eigenschaft des Vermögens entspricht es, das zu seiner Finanzierung aufgenommene Fremdkapital im gleichen Verhältnis laufend abzuzahlen. Deshalb sollte bei der Finanzierung von Produktionsanlagen sowohl wie von Wohn- und Geschäftshäusern darauf Bedacht genommen werden, in den Darlehnsbedingungen jährliche Rückzahlungen in ungefähr derselben Höhe zu vereinbaren, wie die Vermögenswerte abgeschrieben werden sollen oder müssen. Bei Wohngebäuden wird eine Hypothekentilgung von 1% zuzüglich der durch die fortschreitende Tilgung ersparten Zinsen für ausreichend gehalten, bei eigentlichen Produktionsanlagen wird eine jährliche Rückzahlung von 5—10% je nach der wirtschaftlichen Lebensdauer der Anlagen in Frage kommen. Bei Hypothekendarlehen entspricht also nur die

Tilgungshypothek, bei Obligationenanleihen nur die Tilgungsanleihe oder Auslosungsanleihe der Finanzierung des Vermögens. Festhypotheken ohne laufende Tilgung und befristete Anleihen ohne laufende Tilgung oder Auslosung sind im Prinzip mit dem Grundsatz, daß die Finanzierungsform der Kapitalverwendung entsprechen soll, nicht vereinbar.

6. Die Finanzierungsfrist muß der Kapitalverwendung entsprechen

Der Grundsatz, daß die Finanzierungsfristen der Kapitalverwendung entsprechen müssen, ist einer der praktisch wichtigsten Finanzierungsgrundsätze überhaupt, der deshalb zum Schluß dieser Erörterungen auch besonders hervorgehoben werden soll. Der Grundsatz will insbesondere besagen, daß das Finanzierungskapital stets solange zur Verfügung sein muß, wie die Kapitalinvestierung dauert. Ein Unternehmen darf Kapital nicht langfristiger anlegen, als es zur Verfügung steht. Insbesondere darf langfristig gebundenes Vermögen nur mit langfristigem Kapital finanziert werden. Langfristig verfügbares Kapital ist in erster Linie das Eigenkapital, deshalb eignet sich auch unter dem Gesichtspunkt der Finanzierungsfrist zur Finanzierung des Anlagevermögens in erster Linie das Eigenkapital. Es gibt auch kurzfristig verfügbares Eigenkapital, vor allem in der Form des Jahresreingewinns, solange eine Gewinnverteilung noch nicht beschlossen ist. Mit dem Gewinnverteilungsbeschluß jedoch ändert sich der zur Ausschüttung bestimmte Teil des Reingewinns in eine kurzfristige Verbindlichkeit. Deshalb kann die Anlage dieses kurzfristigen Eigenkapitals in längerfristigen Vermögensobjekten oder Geschäften das Unternehmen in Liquiditätsschwierigkeiten bringen. Fremdkapital ist im Prinzip zur Finanzierung des Anlagevermögens nur geeignet, wenn es dem Unternehmen solange zur Verfügung steht, wie die Investierungsdauer beträgt, d. h. also bis zur Beendigung der planmäßigen Abschreibung. Fremdkapital, das kürzer befristet ist, bedeutet für die Finanzierung des Anlagevermögens immer eine Gefahr, namentlich wenn es sich um Darlehen handelt, die ohne laufende Tilgung nach Ablauf der Darlehnsfrist in einer Summe fällig werden. Die Aufnahme solcher Darlehen mit kürzerer Laufzeit als der Investierungsdauer wäre nur dann ohne Gefahr für das Unternehmen möglich, wenn die Gewißheit bestünde, daß bei Fälligkeit des Darlehens Ersatzkapital rechtzeitig und in ausreichendem Umfang beschafft werden kann. Diese Gewißheit ist weder theoretisch noch praktisch gegeben, bis zum Ablauf der Darlehnsfrist können sich sowohl die Vermögens- und Rentabilitätsverhältnisse des Unternehmens wie auch die Kapitalmarktverhältnisse, die Kreditorganisation der Volkswirtschaft und die Kapitalmarkttechnik derart geändert haben, daß die Beschaffung des notwendigen Ersatzkapitals in den entsprechenden Darlehnsformen nicht oder nicht rechtzeitig möglich ist. Liquiditätsschwierigkeiten, unter Umständen sehr ernster Art, sind dann kaum zu vermeiden. Handelt es sich um eine Vermögensanlage, die von vornherein nur für eine bestimmte Frist geplant ist oder deren Erneuerung nach Abnutzung und Abschreibung nicht feststeht, dann entspricht auch eine längere Finanzierungsfrist als die Investierungsdauer grundsätzlich nicht dem Kapitalverwendungszweck. Das Unternehmen ist dann nach Fortfall der Vermögensanlage noch mit dem vielleicht gar nicht mehr benötigten Fremdkapital und dessen Kosten belastet, so daß daraus mindestens zeitweilig eine unerwünschte, die Rentabilität beeinträchtigende Überfinanzierung entstehen kann. Darüber hinaus kann bei dinglich auf dem Anlagevermögen gesicherten Darlehen die in den Darlehnsbedingungen vorgesehene Verpflichtung zur Erhaltung der Darlehnsicherheit eine unerwünschte Bindung des Unternehmens in der Verwertung dieses nicht mehr benötigten Vermögensgegenstandes zur Folge haben. Nicht speziell gesicherte Darlehen, insbesondere Obligationenanleihen mit so langer Laufzeit, daß sie die voraussichtliche Kapitalinvestierungsdauer in jedem Fall überschreitet, können nur unter dem Gesichtspunkt vertreten werden, daß sie dauernder Ersatz für Eigenkapital sein sollen (typisches Beispiel ist die 1000jährige Anleihe von Siemens & Halske). Entscheidend für den Wert oder Unwert derart überlanger Darlehen ist ausschließlich der Zinsfuß. Auch wenn der Zinsfuß des Darlehns im Verhältnis zu dem zur Zeit der Darlehnsaufnahme auf

den Kapitalmärkten herrschenden Sätzen sehr niedrig ist, kann eine derartige Anleihe für das Unternehmen in späterer Zeit einmal eine schwere Belastung werden, wenn Kündigungsmöglichkeiten für den Schuldner nicht gegeben sind.

Auch bei der Finanzierung des Umsatzvermögens ist die Finanzierungsfrist von Bedeutung, wenngleich wegen des schnelleren Ablaufs der Kredite und der leichteren Wiederbeschaffung und Ergänzung von kurzfristigem Kreditkapital nicht in gleichem Maße wie beim Anlagevermögen. Die Fristen spielen aber eine um so größere Rolle, je mehr der Unternehmungsertrag aus dem Zinskonto stammt. Eine Bank nimmt keinesfalls länger Kredit in Anspruch, als sie unbedingt benötigt. In den Produktions- und Handelsunternehmungen dagegen werden die Zinsverluste aus zu langen Kreditfristen häufig zu wenig beachtet. Man sollte, um ein praktisches Beispiel zu nennen, auch in anderen Unternehmen keinen Dreimonatswechsel diskontieren, wenn man den Wechselkredit nur für ein oder zwei Monate benötigt. Die hohen Debetzinsen belasten das Unternehmen für die ganzen drei Monate, auch wenn der Kredit bereits nach einem Monat abgedeckt wird. Andererseits erschwert es aber auch die laufende Umsatzfinanzierung beträchtlich, wenn gerade die kurzfristigen Bankkredite bei Abstellen auf das einzelne Warengeschäft mit zu kurzen Laufzeiten beschafft werden, so daß ständig Ersatzkredite beschafft und neue Sicherheiten gestellt werden müssen. Abgesehen von den hierdurch entstehenden vermeidbaren Verwaltungsarbeiten, bringt eine zu kurze Kreditfrist auf Grund der früher erörterten Finanzierungsrisiken auch die Gefahren mit sich, daß bei Ablauf der Kreditfrist wegen veränderter Geldmarktlage der noch benötigte Kredit nicht mehr in vollem Umfange oder nicht mehr in derselben Form beschafft werden kann, woraus Liquiditätsschwierigkeiten erwachsen können. Schließlich muß noch darauf hingewiesen werden, daß die durch die kurzen Kreditfristen erforderlich werdende Krediterneuerung in aller Regel auch mit zusätzlichen Kosten verbunden ist, welche die Kapitalkosten der Umsatzfinanzierung in empfindlicher Weise erhöhen können.

Finanzierungsfristen und Finanzierungsformen müssen gerade auch unter dem Gesichtspunkt der Kapitalkosten geprüft werden. Der Zwang zur Niedrighaltung der Kapitalkosten kann dazu führen, Formen und Fristen zu wählen, die dem Charakter der Kapitalverwendung nicht in vollem Umfange entsprechen. Hiergegen sind so lange keine Bedenken zu erheben, als die Grundsätze der ausreichenden und sicheren Finanzierung gewahrt bleiben und die Vermögensdisposition nicht in einer den Betrieb belastenden Weise erschwert wird. Niemals aber dürfen Finanzierungsfristen unter dem Gesichtspunkt der möglichst billigen Kapitalbeschaffung gewählt werden, die der Dauer der Kapitalinvestierung nicht entsprechen, wenn dadurch die Funktion der Finanzierung, den Vermögensaufbau zu sichern, vereitelt wird.

Es sind, wie wir am Ende dieser Betrachtung feststellen können, an sich einfache Grundsätze, die wir der allgemeinen Finanzierungslehre zugrunde legen. Ihre Anwendung aber setzt eine genaue Kenntnis sowohl der Finanzierungstechnik voraus wie auch eine genaue Durchdringung des Kapital- und Vermögensaufbaues des Unternehmens. Gerade wenn Finanzierung in dem hier vorgetragenen Sinne verstanden wird, dann ist sie nicht Finanzierungstechnik, sondern eine der wichtigsten kaufmännischen Tätigkeiten in der Unternehmung überhaupt, die auch nur aus einem Verbundensein mit dem Betrieb und seinen Lebensbedingungen heraus gelöst werden kann.

Selbsterregungszeit von Hauptstrommaschinen mit Berücksichtigung der Wirbelströme in den Jochen

Von Georg Hilpert in Breslau

Über die Selbsterregungszeit von Gleichstrommaschinen ist in der Literatur mehrmals berichtet worden. Rüdenberg¹⁾ hat in übersichtlicher Weise die Berechnungsweise solcher Erregerzeiten angegeben. Vergleicht man die berechneten Zeiten mit den durch Versuch ermittelten Zeiten, so findet man bei Nebenschlußmaschinen eine befriedigendere Übereinstimmung als bei Hauptstrommaschinen. Je nach Art und Größe der Hauptstrommaschine können die durch Versuch ermittelten Zeiten sogar ganz beträchtlich größer sein als die durch Berechnung ermittelten (z. B. bei elektrischer Bremsung von Straßenbahnmotoren das Zwei- bis Dreifache).

Der Grund dieser Zeitvergrößerung ist bei Hauptstrommaschinen darin zu erblicken, daß sie sich wegen der kleineren Erregerwindungszahl gegenüber den Nebenschlußmaschinen viel schneller erregen, infolgedessen auch der zeitliche Anstieg des magnetischen Flusses viel schneller erfolgt und hierdurch in den massiven Jochteilen Wirbelströme auftreten, die als Gegenamperewindungen das Feld schwächen und dadurch die Selbsterregungszeit vergrößern. Da die entstehenden Wirbelströme von der Maschine gedeckt werden müssen, also während der Selbsterregung in der Erregerspule sowohl die magnetisierenden Ströme als auch die zur Deckung der Wirbelströme nötigen Komponenten fließen müssen, entstehen auch vergrößerte Spannungsverluste, die ebenfalls zeitvergrößernd einwirken. Auch die durch Bürsten kurzgeschlossenen Windungen können unter Umständen die Erregerzeit vergrößern. Vielfach aber können sie vernachlässigt werden. Während der Erregungsvorgang bei Nebenschlußmaschinen Sekunden bis Minuten dauern kann, vollzieht er sich bei den Hauptstrommaschinen bis zur Größe der Straßenbahnmotoren z. B. in 0,5—2 Sekunden.

Setzen wir geblättrte Hauptpole und einen massiven Jochquerschnitt voraus, dessen Dicke klein im Verhältnis zu seiner Breite ist und denken wir uns dieses massive Eisen durch entsprechend magnetisierende Kräfte erregt, die geradlinig mit der Zeit ansteigen, so zeigt Abb. 1a unter Annahme konstanter Permeabilität nach einer bestimmten Zeitstufe den Verlauf der Größen \mathfrak{H} und \mathfrak{B} über dem Querschnitt, wobei der Maßstab für \mathfrak{B} durch die Permeabilität festgelegt ist. Man erkennt aus der Abbildung die bekannten Erscheinungen der Feldverdrängung, die sich auch bei sehr kleinem Stromanstieg noch bemerkbar macht. Die Werte der magnetischen Induktion liegen unter den am Schlusse noch zu besprechenden Vernachlässigungen auf einer Parabel. Da wir die Zeit der Selbsterregung stufenartig ermitteln wollen und dabei die Magnetisierungscharakteristik der Maschine verwenden müssen, der eine gleichmäßige Induktionsverteilung im Jochquerschnitt zugrunde liegt, so können wir mit der obigen Induktionsverteilung nicht arbeiten.

Wir kommen aber zu einem gleichen Endresultat wie oben in Abb. 1a, wenn wir wie folgt verfahren. Wandeln wir die Fläche der Induktionsverteilung um in ein Rechteck mit der konstanten mittleren Induktion \mathfrak{B}_m — ein Wert, der infolge des parabelförmigen Verlaufs um $\frac{2}{3}$ der Höhe des Parabelbogens niedriger liegt, als die Randinduktion — so können wir uns diese gleichmäßig

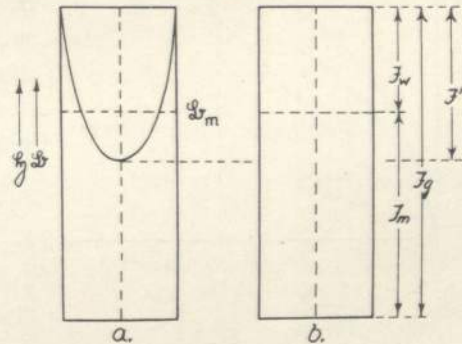


Abb. 1a

Abb. 1b

¹⁾ Rüdenberg, Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemens-Konzern, I. Bd., 1920—22, Fremd- und Selbsterregung von magnetisch gesättigten Gleichstromkreisen.

über dem Querschnitt verteilte Induktion durch einen entsprechenden mittleren Magnetisierungsstrom \mathfrak{I}_m hervorgebracht denken (Abb. 1b). Während sich also der Strom in der Zeitstufe um \mathfrak{I}_m ändert, ändert sich der Fluß um $F \frac{d\mathfrak{I}_m}{dt} = \frac{d\Phi'}{dt}$, wobei F den Jochquerschnitt bedeutet. Innerhalb der Zeitstufe dt wird der induzierte Wirbelstrom

$$\mathfrak{I}_w = C' \frac{d\Phi'}{dt} 10^{-8} = C \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8} \quad (1)$$

wobei sich Φ' auf das Joch Φ auf die Hauptpole bezieht. Die Konstante C soll später noch angegeben werden.

Trägt man an \mathfrak{I}_m den Wert \mathfrak{I}_w an (Abb. 1b), so erhalten wir, wie am Schlusse noch näher zu erläutern ist, für den Gesamtstrom

$$\mathfrak{I}_g = \mathfrak{I}_m + \mathfrak{I}_w \quad (2)$$

das gleiche \mathfrak{I} und \mathfrak{B} für die Randzone, wie sie der Abb. 1a zu Grunde gelegt war. Ist ferner E die elektromotorische Kraft der Hauptstrommaschine, R die Summe aller Widerstände, w die Gesamtzahl der Erregerwindungen und Φ der magnetische Fluß pro Pol, und sieht man von der Selbstinduktion des Ankers und der Wirbelströme ab, ebenso vom Spannungsabfall durch die Ankerrückwirkung, so gilt:

$$E - \mathfrak{I}_g R = w \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8} \quad (3)$$

Setzt man die Gleichung (2) ein und berücksichtigt die Gleichung (1), so ergibt sich:

$$E - \mathfrak{I}_m R = \Delta e = w \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8} \left\{ 1 + \frac{CR}{w} \right\}$$

$$\text{bzw. } dt = \frac{w 10^{-8} \left\{ 1 + \frac{CR}{w} \right\} d\Phi}{\Delta e} \quad (4)$$

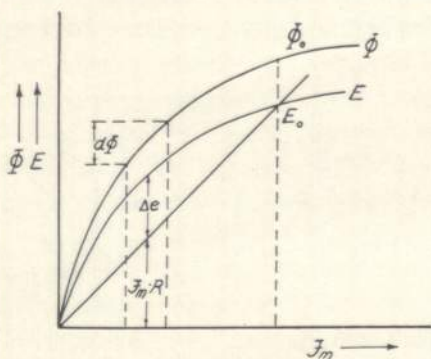


Abb. 2

Diese Gleichung gilt auch für jede Zeitstufe. Indem man aus Abb. 2 zu den verschiedenen mittleren Werten von \mathfrak{I}_m , Δe und $d\Phi$ entnimmt, wobei auch die Streuung zu berücksichtigen ist, so kann man graphisch²⁾ oder rechnerisch die einzelnen Zeitstufen und damit auch die gesamte Erregerzeit bestimmen. $\mathfrak{I}_m = f(t)$ ist hierdurch festgelegt. Man erkennt aus Gleichung (4), daß sich die Erregungszeit bei Berücksichtigung der Wirbelströme um den Faktor $\left\{ 1 + \frac{C \cdot R}{w} \right\} = k$ vergrößert, und man kann deshalb k als den Vergrößerungsfaktor für den magnetisierenden Strom \mathfrak{I}_m bei Berücksichtigung der Wirbelströme ansehen. Da $\mathfrak{I}_m = f(t)$ festgelegt und zu jedem \mathfrak{I}_m

der zugehörige Fluß Φ entnommen werden kann (Abb. 2), also auch $\frac{d\Phi}{dt}$ bestimmt ist, kann auch der zugehörige Wirbelstrom \mathfrak{I}_w nach Gleichung (1) berechnet werden. $\mathfrak{I}_g = \mathfrak{I}_m + \mathfrak{I}_w$ liefert alsdann den Gesamtstrom. Damit ist auch $\mathfrak{I}_g = f(t)$ bestimmt.

In Abb. 3 sind die Versuchswerte an einem älteren Straßenbahnmotor D 39 I (SSW) eingetragen³⁾. Man sieht, wie stark die Selbsterregungszeit mit Berücksichtigung der Wirbelströme

²⁾ Gg. Hilpert, Graphische Ermittlung — Elektr. Bahnen und Betriebe 1906, S. 41.

³⁾ Entnommen der Dissertation Joh. Schammel, T. H. Breslau 1922, Einschaltvorgang bei Gleichstromhauptschlußmaschinen.

vergrößert wird und wie der Wirbelstrom der zeitlichen Flußänderung bzw. der zeitlichen Änderung des magnetisierenden Stromes proportional ist. Auf die Größe des Wirbelstromes soll später noch näher eingegangen werden.

Schreibt man die Gleichung (4) im Sinne von Rüdenberg⁴⁾ $t = w \cdot k \int \frac{d\Phi}{\Delta e} 10^{-8}$ bzw. mit Berücksichtigung der Abb. 2

$$t = \frac{w \Phi_0 k 10^{-8}}{E_0} \int \frac{dE}{\Delta e} = T \cdot k \int \frac{dE}{\Delta e}$$

so erkennt man, wie die von Rüdenberg angegebene Zeitkonstante T sich bei

Berücksichtigung der Wirbelströme k -fach vergrößert, und es kann deshalb auch mit dem von Rüdenberg angegebenen graphischen Verfahren $\mathfrak{I}_m = f(t)$ bestimmt und mit Berücksichtigung der Größe der Wirbelströme der Gesamtstrom $\mathfrak{I}_g = \mathfrak{I}_m + \mathfrak{I}_w$ ermittelt werden.

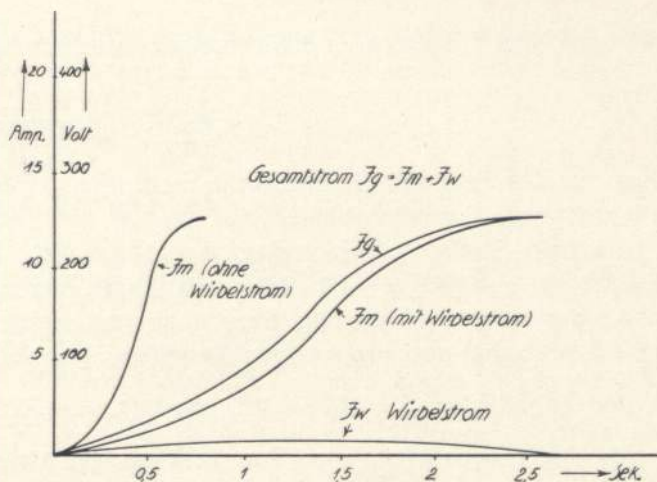


Abb. 3

Bestimmung der Konstanten C.

Für den vorliegenden Fall sind die Wirbelströme im massiven Joch nach Gleichung (1) durch die zeitliche Änderung des Flusses auszudrücken. Betrachtet man zunächst einen Jochquerschnitt, bei welchem (siehe Abb. 4) die Dicke Δ klein ist im Vergleich zur Breite h , wie dies meistens bei Straßenbahnmotoren der Fall ist, und nimmt man, wie früher angegeben, an, daß die Induktion über dem Querschnitt gleichmäßig verteilt ist, so ergeben sich bei einer zeitlichen Induktionsänderung die Wirbelstromverluste pro 1 ccm, wie eine einfache Rechnung zeigt, zu angenähert

$$V' = \left(\frac{d\mathfrak{B}}{dt} \right)^2 \cdot \frac{10^{-16} \Delta^2}{\rho \cdot 12}$$

Abb. 4

und die gesamten Verluste zu

$$Vg = \left(\frac{d\Phi'}{dt} \right)^2 \cdot \frac{\Delta \cdot b \cdot 10^{-16}}{h \rho \cdot 12} \quad (5)$$

wobei Φ' der Fluß im Jochquerschnitt, ρ der spezifische Widerstand, h die Jochbreite und b die mittlere Jochlänge ist. Setzt man entsprechend der Abbildung 5 $\Phi' = \frac{\Phi}{2}$ in Gleichung (5) ein und berücksichtigt, daß der Wirbelstrom von den Erregerwindungen aus gedeckt werden muß, so ergibt sich pro Jochpaar:

$$2 \left(\frac{d\Phi'}{dt} \right)^2 \frac{\Delta b 10^{-16}}{h \rho \cdot 12} = E' \cdot \mathfrak{I}_w = \frac{w}{2p} \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8} \cdot \mathfrak{I}_w$$

wobei p = Polpaarzahl und w die Windungszahl aller hintereinander geschalteten Pole bedeutet.

Demnach wird:

$$\mathfrak{I}_w = \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8} \frac{\Delta b p}{h \rho \cdot 12 \cdot w}$$

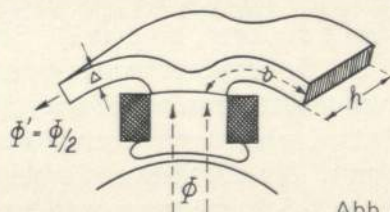


Abb. 5

⁴⁾ Rüdenberg, Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemens-Konzern, I. Bd.

bei vierpoliger Maschine und Hintereinanderschaltung aller Erregerwindungen wird also

$$C = \frac{\Delta b}{6 h \rho w}$$

Auch für den Fall, daß die Jochdicke nicht mehr klein im Verhältnis zur Breite ist, lassen sich entsprechende Formeln ableiten, auf die hier nicht eingegangen werden soll.

Bei dem Straßenbahnmotor entsprechend Abb. 3 war $p = 2$, $h = 26,5$ cm, $b = 21$ cm, $\Delta = 2,8$ cm, $w = 660$, $\rho = 1,3 \cdot 10^{-5}$ (Stahlguß), hieraus $C = 43$.

An der steilsten Stelle des Stromanstieges ergibt sich für $t = 1,35$ sek (siehe Abb. 3) und $\mathfrak{I}_m = 7$ Amp. mit den zugehörigen Kennlinien⁵⁾ sowie mit Berücksichtigung von 20% Streuung in den Schenkeln $\frac{d\Phi}{dt} = 1,75 \cdot 10^6$, somit $\mathfrak{I}_w = 1,75 \cdot 10^6 \cdot 10^{-8} \cdot 43 = 0,75$ Amp. Gemessen wurde (siehe Abb. 3) 0,9 Amp. Dem Versuch liegt ein Gesamtwiderstand von $R = 28,4$ zugrunde, so daß sich für $k = 1 + \frac{C \cdot R}{w} = 1 + \frac{43 \cdot 28,4}{660} = 2,85$ ergibt. Der Versuch zeigt, daß mit Berücksichtigung der Wirbelströme eine ca. dreimal so große Zeit erforderlich ist, wie ohne Berücksichtigung derselben. Die Übereinstimmung ist also eine befriedigende. Obgleich der Wirbelstrom an sich nur klein ist, so hat er doch auf die Vergrößerung der Erregerzeit einen starken Einfluß.

Zur weiteren Kontrolle der Formel wurden auch die Versuchswerte an einem neueren Bergmann-Straßenbahnmotor S. l. 49. n herangezogen, der sich bei 600 Umdrehungen in ca. 1 Sekunde auf 65 Amp. erregte. Hier wurde k durch den Versuch zu 3...3,1 ermittelt; die Rechnung ergab $k = 2,9$.

Auch an einem kleineren, älteren 6 PS-Lahmeyer-Hauptstrommotor des Elektrotechnischen Instituts mit Gußeisenjoch wurden die Versuchswerte mit der Rechnung verglichen. Obgleich sich diese Hauptstrommaschine bei 32,2 Amp. und 1200 Umdrehungen pro Minute bei 9 Ω Gesamtwiderstand innerhalb der kurzen Zeit von 0,3 Sekunden erregte, war die Übereinstimmung doch noch in brauchbaren Grenzen. Wie die gerechneten und gemessenen Werte bei verschiedenen Belastungen und bei gleichbleibender Drehzahl von 1200 sich verhalten, zeigt nachstehende Zusammenstellung⁶⁾:

Drehzahl	Gesamtwiderstand	k gemessen	k' gerechnet	$\frac{k}{k'}$
1200	9	1,53	1,43	1,07
1200	11,65	1,63	1,56	1,05
1200	14,4	1,72	1,69	1,02

Man sieht hieraus, daß es berechtigt ist, für Annäherungsrechnungen die obige Annahme zugrunde zu legen, solange die Selbsterregungszeit nicht unter 0,3 Sekunden herabsinkt.

Bei der elektrischen Bremsung von Straßenbahnmotoren ist eine möglichst kurze Selbsterregungszeit erwünscht. Wenn man auch aus praktischen Gründen das Joch nicht lamellieren wird, so erkennt man doch, wie stark man die Selbsterregungszeit durch Lamellieren verkürzen könnte. Die abgeleiteten Formeln zeigen ferner, daß es bei massiven Jochen unvorteilhaft ist, die Jochdicke stärker auszuführen, als unbedingt nötig, weil sonst die Wirbelstromverluste und damit die Selbsterregungszeit vergrößert wird.

Endlich soll noch darauf eingegangen werden, warum die auf Seite 268 angegebene graphische Ermittlung berechtigt ist, und weiter sollen die Fehlerquellen besprochen werden.

⁵⁾ Siehe Dissertation Joh. Schammel.

⁶⁾ Entnommen einer Diplomarbeit im Elektrotechnischen Institut von den Herren Kahlert und Weigert.

Bedeutet \mathfrak{H} und \mathfrak{E} die magnetische bzw. elektrische Feldstärke, j die Stromdichte und ρ den spezifischen Widerstand, so lauten die Maxwell'schen Gleichungen im vorliegenden Falle:

$$\frac{\partial \mathfrak{H}}{\partial x} = j, \quad \frac{\partial \mathfrak{E}}{\partial x} = 10^{-8} \frac{\partial \mathfrak{B}}{\partial t},$$

$$\mathfrak{E} = \rho j, \quad \mathfrak{B} = 0,4 \pi \mu \mathfrak{H},$$

Demnach wird:

$$\frac{\partial j}{\partial x} = \frac{\partial^2 \mathfrak{H}}{\partial x^2} = \frac{1}{0,4 \pi \mu} \cdot \frac{\partial^2 \mathfrak{B}}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial \mathfrak{B}}{\partial t} = \frac{10^8 \partial \mathfrak{E}}{\partial x} = 10^8 \rho \frac{\partial j}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \mathfrak{B}}{\partial t} = \frac{10^8 \rho}{0,4 \pi \mu} \cdot \frac{\partial^2 \mathfrak{B}}{\partial x^2}$$

Also lautet die Differentialgleichung:

$$\frac{\partial \mathfrak{B}}{\partial t} = c \cdot \frac{\partial^2 \mathfrak{B}}{\partial x^2} \quad \text{mit } c = \frac{10^8 \rho}{0,4 \pi \mu}$$

Wenn wir im vorliegenden Fall annehmen, daß die Erregung geradlinig zunimmt, dann steigt am Rande bei $\mu = \text{konstant}$ die Induktion proportional mit der Zeit. Es gilt also für $x = \pm \frac{\Delta}{2}$, $\mathfrak{B} = k't$. Zu Beginn des Vorganges $t = 0$ muß die Induktion über dem ganzen Querschnitt Null sein. Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich als Lösung⁷⁾

$$\mathfrak{B} = k't + \frac{k'}{2c} x^2 - \frac{k' \Delta^2}{8c} + \frac{4k' \Delta^2}{\pi^3 c} \left\{ e^{-c \left(\frac{\pi}{\Delta}\right)^2 t} \cos \frac{\pi}{\Delta} x - \frac{1}{3^3} e^{-c \left(\frac{3\pi}{\Delta}\right)^2 t} \cos \frac{3\pi}{\Delta} x - \frac{1}{5^3} e^{-c \left(\frac{5\pi}{\Delta}\right)^2 t} \cos \frac{5\pi}{\Delta} x + \dots \right\} \dots \quad (6)$$

Hieraus erkennt man, daß infolge des Abklingens der e -Funktion nach einer kurzen Zeit die Glieder in der Klammer mehr und mehr verschwinden. Der Induktionsverteilung entspricht also dann die früher schon angegebene Parabel.

Für ein Blech von der Dicke Δ und 1 cm Breite und 1 cm Tiefe ergeben sich nach Seite 269 die Verluste zu

$$V' = \frac{10^{-16} \Delta^3}{12 \rho} \left(\frac{d\mathfrak{B}}{dt} \right)^2$$

Diese Verluste müssen primär gedeckt werden durch das Produkt $E' \mathfrak{J}_w$, so daß sich bei einer Windung primär ergibt:

$$E' \cdot \mathfrak{J}_w = 10^{-8} \Delta \left(\frac{d\mathfrak{B}}{dt} \right) \cdot \mathfrak{J}_w = \frac{10^{-16} \Delta^3}{12 \rho} \left(\frac{d\mathfrak{B}}{dt} \right)^2$$

hieraus:

$$\mathfrak{J}_w = \frac{10^{-8} \Delta^2}{12 \rho} \left(\frac{d\mathfrak{B}}{dt} \right)$$

Nach Gleichung (6) wird unter Vernachlässigung der Klammernglieder, die nach kurzer Zeit zu Null werden:

$$\mathfrak{B} = k't + \frac{k'}{2c} x^2 - \frac{k' \Delta^2}{8c}$$

⁷⁾ Bei der Sonderlösung dieser Differentialgleichung für den vorliegenden Fall bin ich durch Herrn Prof. Dr. J. Schammel unterstützt worden.

Demnach:

$$\frac{d\mathfrak{B}}{dt} = k' \text{ und } \mathfrak{I}_w = \frac{10^{-8} \Delta^2 k'}{12 \varrho} \quad (7)$$

Für einen bestimmten Strom \mathfrak{I} wird die Randinduktion $\mathfrak{B}_r = 0,4 \pi \mu \mathfrak{I}$ und nach Abb. 1 der Unterschied zwischen maximaler Randinduktion \mathfrak{B}_r und der minimalen Inneninduktion \mathfrak{B}_i

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_r - \mathfrak{B}_i = \frac{k' \Delta^2}{8 c} = \frac{10^{-8} \mu \Delta^2 0,4 \pi k'}{8 \varrho}$$

Diese Größe entspricht einem Strom

$$\mathfrak{I}' = \frac{10^{-8} \Delta^2 k'}{8 \varrho}$$

$\frac{2}{3}$ von \mathfrak{I}' entspricht aber dem Strom \mathfrak{I}_w der Gleichung (7), so daß wegen der Parabel \mathfrak{I}_m dem mittleren Magnetisierungsstrom und $\mathfrak{I}_g = \mathfrak{I}_m + \mathfrak{I}_w$ dem gesamten Strom, wie angenommen, gleichkommt.

Die Glieder in der Klammer der Gleichung (6) werden in Wirklichkeit erst nach ein paar Zeitstufen zu Null. Andererseits verläuft der Anstieg des Stromes nicht dauernd geradlinig, sondern ist im mittleren Teil des Erregervorganges größer als bei Beginn. Berücksichtigt man aber, daß μ nicht konstant ist, wie wir es vorausgesetzt haben, sondern mit zunehmendem Strom immer kleiner wird, und daß hierdurch auch die Feldverdrängung kleiner ausfällt, so können die begangenen Fehler nicht allzu groß ausfallen.

Ferner haben wir die normale Magnetisierungscharakteristik der Hauptstrommaschine verwendet, welcher eine gleichmäßig verteilte Induktion im Joch zugrunde gelegt ist. Da die Amperewindungen im Joch bei gleichem Fluß und Feldverdrängung größer ausfallen, so machen wir auch hier zunächst einen Fehler. Da aber auch hier der Unterschied nur klein ist und sich mit zunehmender Sättigung im Joch verringert, so wird der Fehler nur klein ausfallen, wie es auch der Vergleich zwischen Rechnung und Versuch gezeigt hat, bei dem in den betrachteten Grenzen größere Unterschiede als 7 Prozent nicht auftreten. Mit Rücksicht auf die Schwierigkeit des vorliegenden Problems ist diese Annäherung als befriedigend zu bezeichnen.

Welche Höchstgeschwindigkeiten soll man für den Kraftwagenverkehr auf den Autobahnen zulassen?

Von Louis Jänecke in Breslau

Die Reichsautobahnen haben drei große Aufgaben zu erfüllen: die Schaffung von Arbeitsgelegenheit, die Beilegung des Streites zwischen Eisenbahn und Kraftwagen und den Bau eines neuen wertvollen Verkehrsweges.

Wie immer beim Aufkommen neuer Verkehrsmittel, so steht auch bei der Autobahn in ihrer jetzigen Jugendzeit der Bau im Vordergrund des Interesses. Bei der Eisenbahn war es ähnlich. Auch dort hat in dem 1. Jahrzehnt ihrer Entstehung vor 100 Jahren der Bau eine viel wichtigere Rolle gespielt als der Betrieb. Heute dagegen ist nach Ausbau des Bahnnetzes in Deutschland der Eisenbahnbetrieb schon wegen seines großen Personalbedarfs und seiner hohen laufenden Ausgaben von viel größerer Bedeutung. Dem Kraftverkehr auf den Autobahnen wird es ähnlich ergehen. Zur Zeit ist der Bau die Hauptsache, aber nach Fertigstellung des Liniennetzes wird mit der Zunahme des Verkehrs und dem Anwachsen der Betriebsschwierigkeiten und Betriebskosten dem Betrieb eine größere Bedeutung zufallen. Bis dahin werden zwar noch eine Reihe von Jahren vergehen. Trotzdem scheint es mir notwendig, schon jetzt zu versuchen, die eine oder die andere Betriebsfrage zu klären.

Für besonders dringlich halte ich hier die Festlegung der späteren Höchstgeschwindigkeiten des Kraftwagens auf der Autobahn, schon im Interesse des Fahrzeugbaues.

Auf den Landstraßen ist bei den vielen Verkehrshindernissen die Reisegeschwindigkeit z. Z. sehr gering. So erreichten auf Versuchsfahrten in den Vereinigten Staaten die Kraftwagen auf den Ausfallstraßen von Cleveland¹⁾ in der Nähe der Stadt nur Höchstgeschwindigkeiten von 40 km und weiter außerhalb von 60 km in der Stunde und Reisegeschwindigkeiten von 30—45 km.

Dort wo günstigere Verhältnisse vorliegen, die Straßen besser ausgebaut sind und der Verkehr schwächer ist, erreicht der Kraftwagen natürlich auch höhere Geschwindigkeiten. Kreuzungen mit Eisenbahnlinien und andere Verkehrshindernisse, Engpässe des Straßenverkehrs, starke Belastung, schlechte Straßendecken usw. sind die Hauptursachen dieses ungünstigen Ergebnisses.

In Deutschland liegen die Verhältnisse bisher eher schlechter als besser. Auch bei uns sind die Reisegeschwindigkeiten des Kraftwagens auf den Landstraßen sehr niedrig. Hier schafft der Bau der Autobahnen eine entscheidende Besserung. Die Vermeidung jeder Kreuzung in Schienenhöhe mit anderen Verkehrsmitteln, die Führung der Bahn nicht durch die Stadt, sondern in einiger Entfernung an ihr vorbei, die Verwendung flacher Radien und der Bau besonderer Fahrbahnen für jede Verkehrsrichtung mit wenigstens zwei Spuren und Grünstreifen zwischen beiden Fahrtrichtungen wird dem Kraftwagen auf den Autobahnen ganz andere Reisegeschwindigkeiten ermöglichen als auf den jetzigen Straßen.

Mit welcher Geschwindigkeit kann man nun auf den späteren Autobahnen rechnen?

Die Höchstgeschwindigkeit hängt ab von der Sicherheit des Betriebes, der Wirtschaftlichkeit des Kraftwagenverkehrs, den Verkehrsbedürfnissen und der späteren Stärke des Verkehrs.

Bei sportlichen Wettkämpfen hat man mit dem Kraftwagen schon Geschwindigkeiten von 445 km in der Stunde auf kurze Zeit erreicht. Nach der Linienführung und der baulichen Durchbildung der Autobahnen wird man auch hier mit hohen Geschwindigkeiten fahren können.

¹⁾ S. „Verkehrstechnik“ 1935, Heft 4. Jänecke: Der Kraftwagenverkehr der Vereinigten Staaten.

Entscheidend für die Höchstgeschwindigkeit muß aber die Sicherheit des Verkehrs bleiben. Sicherheit ist und bleibt die vornehmste Pflicht eines jeden Verkehrsmittels. Hinter ihr müssen alle anderen Gesichtspunkte zurücktreten. Die Autobahn schafft die Voraussetzung für eine große Sicherheit des Kraftwagenverkehrs bei hohen Geschwindigkeiten. Diese stellen aber sehr große Anforderungen an die Nervenkraft des Wagenführers. Viel mehr als bei der Eisenbahn mit den spurgebundenen Fahrzeugen und dem im Laufe der Zeit immer besser durchgebildeten Signalsystem hängt auf der Autobahn die Sicherheit des Betriebes besonders bei hohen Geschwindigkeiten von der persönlichen Eignung und Geistesgegenwart des Kraftwagenführers ab.

Der verkehrliche Vorzug des Kraftwagens, nicht spurgebunden zu sein, wirkt sich hier als nachteilig aus. Denn der Kraftwagenführer muß im Gegensatz zum Lokomotivführer den Wagen

Tafel 1

Übersicht über das Anwachsen der lebendigen Kraft bei Zunahme der Geschwindigkeiten und des Gewichtes der Kraftwagen

Fabrikat	Leistung in PS	Höchst- geschwin- digkeit in km/h	Eigen- gewicht in kg	Trag- fähigkeit (Last, Pers.) in kg	Gesamt- gewicht in kg	Lebende Kraft $\frac{m}{2} \cdot v^2$ in tm
M o t o r r ä d e r						
BMW	6	85	125	(1 P) 70	125 + 70	5,43
BMW	12	120	145	(2 P) 140	140 + 145	15,80
DKW	7	85	90	(1 P) 70	90 + 70	4,45
P e r s o n e n w a g e n						
DKW Front	18	60	650	(4 P) 280	930	13,00
Opel „12“	23	80	1000	(4 P) 280	1280	32,00
Hansa	38	90	1200	(5 P) 350	1550	48,30
Mercedes Benz	40	100	1130	(4 P) 280	1410	54,40
Horch „8“	80	120	2000	(4 P) 280	2280	126,20
B u s						
Büssing - N. A. G.	70/80	80	2700	(25 P) 1750	2700 + 1750	109,80
L a s t w a g e n						
Vomag	95	30	3500	5000	10300 + 140 (2 P)	36,20
Vomag	95	45	3500	5000	10300 + 140 (2 P)	81,60
Büssing - N. A. G.	110/120	45	5800	5000	10800 + 140 (2 P)	85,30
—	—	60	—	—	10940	152,00

selbst lenken. Bei falscher Steuerung tritt bei hohen Geschwindigkeiten leicht ein Unfall ein, viel eher als z. B. beim Flugzeug, das sich frei im Raume bewegt und gerade deshalb höhere Geschwindigkeiten erreichen kann als irgend ein anderes Verkehrsmittel, das an die Erdoberfläche gebunden ist.

Dabei ist die Zahl und Lage der Überholungen dem Kraftwagenführer vorher nicht bekannt. Bei der dichten Folge der Kraftwagen und ihrer verschiedenen Geschwindigkeiten kann man nicht wie bei der Eisenbahn für jedes Fahrzeug einen Fahrplan aufstellen; um so weniger, als sich der Verkehr zu bestimmten Zeiten ganz außerordentlich zusammendrängt. Fahren doch auf der Stadtbahn, der stärkst belasteten Strecke der Reichsbahn, 40 Züge in der Stunde und auf einer normalen zweigleisigen Bahn 100 Züge am Tage in jeder Richtung, während die Zahl der Kraftwagen schon bei uns in die Tausende geht, und in den Vereinigten Staaten in New York durch den Hollandtunnel in einer Stunde 2000 Wagen und über die George-Washington-Brücke 50 000 Wagen am Tage verkehren.

Mit Steigerung der Geschwindigkeiten wächst die Zahl der Überholungen, der Bremsweg und mit dem Quadrat der Geschwindigkeit die lebendige Kraft des Wagens und dadurch die Möglichkeit und die Größe der Gefahr bei Unfällen. Außerdem hängt die Sicherheit der Fahrt im Kraftwagen sehr stark von Wetter, Nacht und Nebel ab. Die Bremsfrage spielt daher eine ganz besonders wichtige Rolle. Die Höchstgeschwindigkeit beim Kraftwagen findet ihre Grenze in der Leistungsfähigkeit des Kraftwagenführers. Höchstgeschwindigkeiten von 140 km in der Stunde dürften z. Z. bei Fahrten auf längere Strecke die Höchstgrenze bilden, die man dem Kraftwagenführer zumuten kann, wenn er den Wagen sicher lenken und das Leben der Mitreisenden nicht in Gefahr bringen soll. Bei den schweren Autobussen und Lastwagen muß die Höchstgeschwindigkeit der Gefahr, lebendigen Kraft, entsprechend, natürlich niedriger sein. (Siehe Tafel 1.) Bei den Höchstgeschwindigkeiten Beschränkungen aufzuerlegen, liegt im eigensten Interesse der Autobahnen. Denn nichts dürfte ihrem Ansehen und ihrer Benutzung mehr schaden, als zahlreiche Unfälle. Safety first wird daher hier wie bei jedem Verkehrsmittel die erste Forderung bleiben.

Aus Sicherheitsgründen sollte man daher mit der Höchstgeschwindigkeit nicht zu weit gehen.

Außerdem sprechen auch wirtschaftliche Erwägungen gegen zu hohe Geschwindigkeiten. Wir wissen, daß mit der Zunahme der Geschwindigkeit der Luftwiderstand sehr schnell steigt und seine Überwindung starke Kräfte erfordert. Bei 240 km/st ist der Luftwiderstand z. B. 16mal so groß wie bei 60 km/st. Bei hohen Geschwindigkeiten muß man daher wesentlich stärkere Motoren einbauen und mit größerem Kraftverbrauch und höheren Betriebskosten rechnen. So steigt auch die Reifenabnutzung außerordentlich bei hohen Geschwindigkeiten. (Siehe Tafel 2.) Gerade bei den laufenden Kosten des Kraftwagens

Personenkraftwagen, Zunahme des Kraftbedarfes mit der Geschwindigkeit

Tafel 2

Wagentype:	Anzahl der Zylinder	Hubraum ccm	Leistung PS	Verbrauch für 100 km Liter	Höchstgeschwindigkeit km/h
D K W. Frontantr.	2	600	18	6	60
Opel 12	4	1200	23	7—8	80
Hansa	6	1700	38	10	90
Mercedes-Benz	6	2000	40	11—13	100—110
Horch	8	4000	80	15—16	120

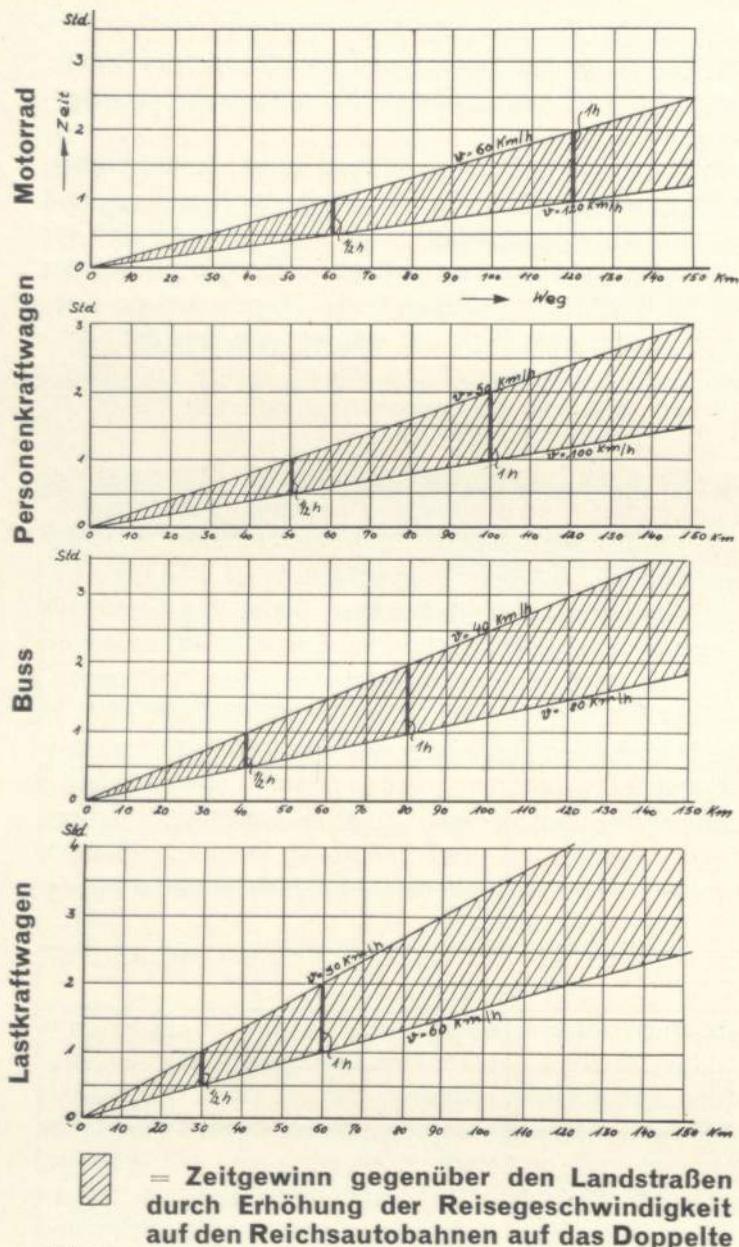


Abb. 1

digkeitssteigerung bei verschiedenen Entfernungen spart. Die Zeitersparnis ist gleich dem Sektor zwischen der jetzigen und der späteren Reisegeschwindigkeit (siehe Abb. 1).

Der Zeitgewinn ist gleich

$$\Delta t = \frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} = 1 \cdot \frac{v_2 - v_1}{v_2 \cdot v_1}$$

In dieser Formel gibt 1 die zurückgelegte Strecke, v_2 die höhere und v_1 die geringere Geschwindigkeit des Kraftwagens an. Der Zeitgewinn wächst der Formel entsprechend also unmittelbar mit der Entfernung und der Differenz der höheren und geringeren Geschwindigkeit, nimmt dagegen

²⁾ Reichsbahn 1934, S. 241. Leibbrandt, Maßnahmen für die Verkehrsbeschleunigung. — Reichsbahn 1935, S. 322. Fuchs, Die schnellste Dampflokomotive der Welt.

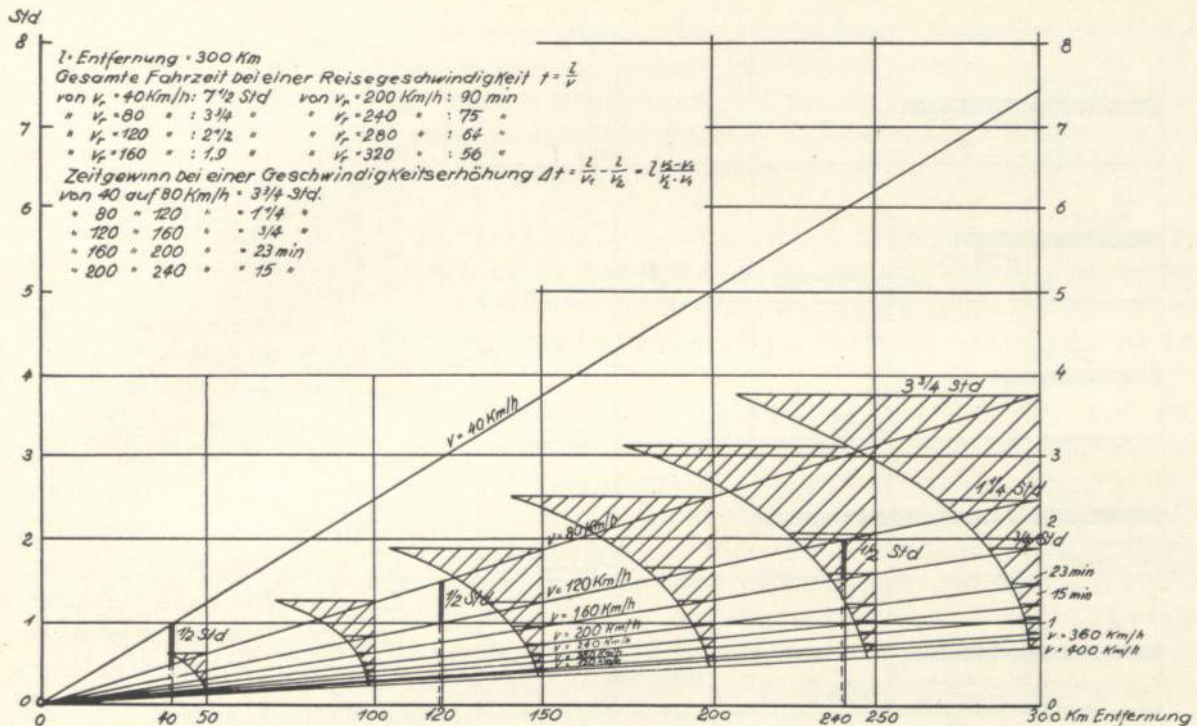
³⁾ Vgl. Verkehrstechnische Woche 1932, Heft 47—49. Jänecke, Schnellere Personenbeförderung und die Verwendung von Triebwagen bei der Reichsbahn. — Verkehrstechnische Woche 1930, S. 606. Jänecke, Verkehrsmittel untereinander.

zu sparen, liegt aber in seinem eigenen Interesse. Nur bei billigen Beschaffungs- und Betriebskosten wird er sich immer mehr ausbreiten. Auch aus wirtschaftlichen Gründen sind also übertrieben hohe Geschwindigkeiten auf der Autobahn abzulehnen.

Besteht nun überhaupt ein Verkehrsbedürfnis nach so hohen Geschwindigkeiten?

Bei Beantwortung dieser Frage kommt es weniger auf die Höchstgeschwindigkeit als auf die Reisegeschwindigkeit des Kraftwagens an. Bei der Reichsbahn rechnet man beim Schnelltriebwagen mit Höchstgeschwindigkeiten von 160 km²) und Reisegeschwindigkeiten von 120 km in der Stunde. Auch beim Kraftwagen liegen die Höchstgeschwindigkeiten natürlich höher als die Reisegeschwindigkeiten. Genaue Berechnungen über die Höchst- und Reisegeschwindigkeiten anzustellen wie bei der Eisenbahn³⁾ war mir nicht möglich, weil die Autobahn noch nicht ausgebaut ist und auch die Fahrzeuge, die dort verkehren werden, noch nicht feststehen.

Rechnen wir einmal auf den Autobahnen mit doppelt so hohen Reisegeschwindigkeiten wie auf den jetzigen Landstraßen, Annahmen, die für die Autobahn wohl nicht zu ungünstig sein dürften. Die Auftragung (Abb. 1) zeigt, wie viel Zeit man auf der Autobahn bei dieser Geschwin-



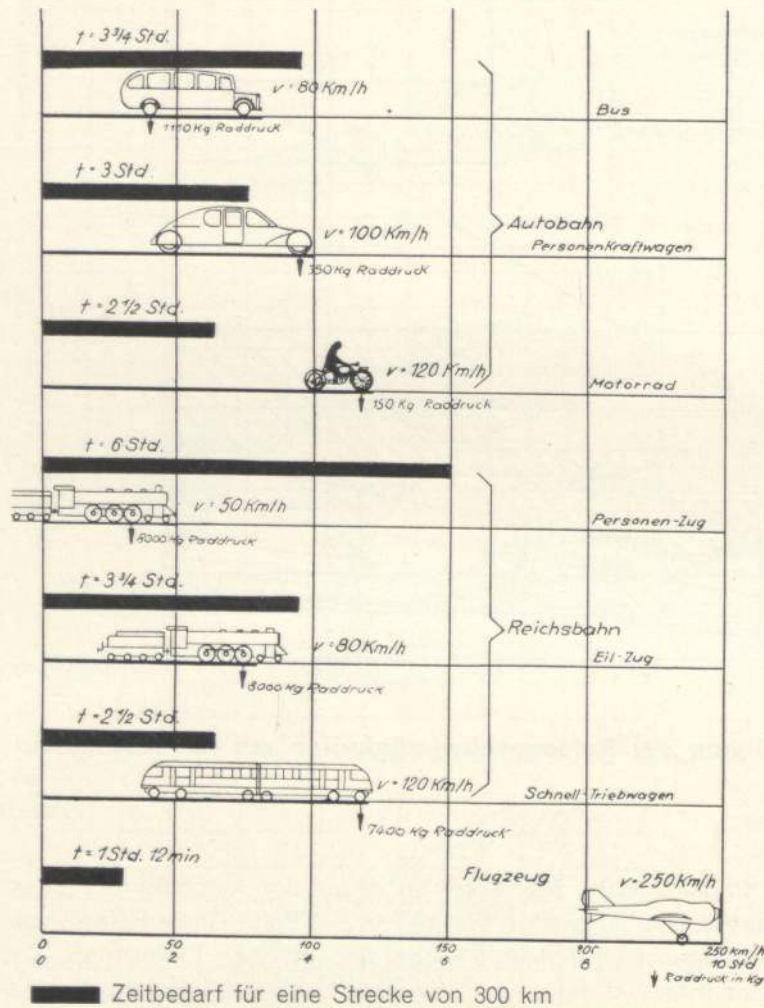
 = Zeitgewinn bei Erhöhung der Reisegeschwindigkeiten auf der Autobahn

Abb. 2

mit dem Produkte beider Geschwindigkeiten ab. Man spart daher auf der Autobahn auf einem dreimal so langen Wege bei hohen Geschwindigkeiten dreimal so viel Zeit. Große Reiselängen bringen also bei Erhöhung der Reisegeschwindigkeiten einen wesentlichen Zeitgewinn. Die Frage der Reiselänge auf den Autobahnen ist daher von größter Wichtigkeit. Bei der Reichsbahn stellt sich die mittlere Reiselänge für die Fahrgäste der Schnellzüge auf 200 km, der Eilzüge auf 75 km und der Personenzüge auf 22 km. Beim Kraftwagenverkehr auf der Autobahn dürfte es sich meiner Ansicht nach vor allen Dingen um Fernverkehr handeln. Man kann daher mit Reiselängen rechnen, die gleich oder größer sind als die des Schnellzugverkehrs. Wir wollen eine mittlere Reiselänge von 300 km annehmen. Die Strecke Berlin—Breslau ist 320 km, Berlin—Hannover 300 km und Berlin—Hamburg auch etwa rund 300 km lang. Hierbei spart man beim Personenkraftwagen drei Stunden und beim Lastkraftwagen sogar fünf Stunden, also außerordentlich viel Zeit, wenn man statt der Landstraße die Autobahn benutzt.

Wie groß ist nun der Zeitgewinn bei weiterem Anwachsen der Geschwindigkeiten? Der Formel entsprechend steigt er nicht im gleichen Verhältnis mit der Zunahme der Geschwindigkeit, sondern wächst wesentlich langsamer. Bei einer Reiselänge von 300 km und Erhöhung der Reisegeschwindigkeit jeweils auf das Doppelte von 40 auf 80 (Autobus) und weiter von 80 auf 160 und endlich von 160 auf 320 km in der Stunde, spart man nämlich zunächst $3\frac{3}{4}$ Stunden, dann $2\frac{1}{4}$ Stunde und endlich bei der gewaltigen Zunahme der Geschwindigkeit von 160 auf 320 km kaum noch eine Stunde ($\frac{3}{4}$ Stunden). (Siehe Abb. 2.) Man sieht daraus, welche große verkehrliche Bedeutung die Erhöhung der jetzigen geringen Reisegeschwindigkeit auf den Landstraßen auf das Doppelte durch Ausbau der Autobahnen hat, wie aber andererseits bei hohen Geschwindigkeiten bei Reiselängen von 300 km nur ein verhältnismäßig geringerer Zeitgewinn erzielt wird.

Danach besteht aus verkehrlichen Gründen für eine Erhöhung der Reisegeschwindigkeit über 100 bis 120 km in der Stunde beim Personenkraftwagen



Reisegeschwindigkeiten und Zeitbedarf für die verschiedenen Verkehrsmittel

Abb. 3

kehrs und dem Neuverkehr, der durch den Kraftwagen und die Autobahn gemerkt wird.

Entscheidend für die Stärke des Verkehrs auf den Autobahnen wird meiner Ansicht nach nicht der heutige Landstraßenverkehr sein, schon weil die Autobahnen ihrer ganzen Natur nach in erster Linie dem Fernverkehr, der bei dem heutigen Landstraßennetz sehr erschwert ist, dienen dürfte, während auf den Landstraßen der von den Hauptstädten nach allen Seiten ausstrahlende Nahverkehr die Masse des Verkehrs ausmacht. Der Nahverkehr wird aber bei den langen Zufahrten zur Autobahn und dem wesentlich kleineren Netze der Autobahnen zum großen Teil auf den Landstraßen verbleiben.

Auch die Abwanderung von der Eisenbahn dürfte für die spätere Belastung der Bahn nicht ausschlaggebend sein. Einmal handelt es sich bei dem Personenverkehr der Eisenbahn auch in erster Linie um Nahverkehr, der der Autobahn nur in geringem Umfange zufließen dürfte, da bei den billigen Tarifen der Reichsbahn für den Berufsverkehr für die meisten Fahrgäste kein

⁴⁾ Verkehrstechnik, 1935: Verkehrsverschiebungen zwischen Schiene, Landstraße und Reichsautobahn durch die Motorisierung.

und der Höchstgeschwindigkeit über 140 km in der Stunde hinaus kein Bedürfnis. Bei Entfernungen über 300 km wird jemand, der es eilig hat, nicht den Kraftwagen benutzen, sondern das Flugzeug (siehe Abb. 3), das durch die freie Beweglichkeit im Raum viel höhere Geschwindigkeiten erreichen kann.

Gegen zu hohe Geschwindigkeiten sprechen auch Überlegungen über die spätere Stärke des Verkehrs auf den Autobahnen. Die erste Zeit nach Fertigstellung der Autobahnen wird der Verkehr voraussichtlich noch schwach sein, schon weil sich bei Verkehrsverbesserungen der Verkehr immer erst nach und nach einstellt.⁴⁾ Bei diesem schwachen Verkehr der ersten Jahre könnte man auf ziemlich hohe Geschwindigkeiten gehen, die bei starkem Verkehr unzulässig sind. Es fragt sich also, wie groß der Verkehr später wird. Die Stärke des Verkehrs auf der Autobahn hängt ab von der Zusammenballung des Landstraßenverkehrs, der Abwanderung des Eisenbahnver-

Anreiz zur Abwanderung zur Autobahn gegeben ist. Ebenso wenig werden bei den billigen Tarifen die Massengüter von der Eisenbahn abwandern. In erster Linie dürften hiervon die Stückgüter und Wagenladungen der höheren Wagenklasse, bei der oft billigeren und schnelleren Beförderung im Auto und der Schnellzugsverkehr trotz der bequemerer und sicherer Fahrt in der Eisenbahn wegen der hohen Schnellzugtarife und bei der steigenden Verbreitung des Kraftwagens betroffen werden.

Die Hauptbelastung der Autobahn wird meiner Ansicht nach aber der Neuverkehr bringen, der erst durch den Bau der Bahn geweckt wird. Er wird zwar nicht so stark sein, wie seinerzeit bei der Entstehung der Eisenbahn, die eine Beschleunigung auf das zehnfache, eine Verbilligung auf $\frac{1}{10}$ und eine Steigerung der Leistungen auf das hundertfache brachte, aber doch recht bedeutend werden.

Denn der großzügige Ausbau der Autobahnen ermöglicht es dem Kraftwagen erst, seine verkehrlichen Vorzüge besonders auf weitere Entfernungen voll auszunutzen und wesentlich höhere Reisegeschwindigkeiten zu erreichen als auf den jetzigen Landstraßen. Dabei wird sich auch der große Vorzug des Kraftwagens, sich ganz anders als andere Verkehrsmittel den persönlichen Wünschen und Bedürfnissen des einzelnen anzupassen, besonders günstig auswirken.

Auch die planmäßige Unterstützung der Kraftwagenindustrie durch die Regierung und die Fortschritte im Fahrzeugbau werden seine weitere Verbreitung begünstigen, besonders wenn die wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands und die Hebung des Lebensstandards seiner Bevölkerung, wie sie seit Übernahme der nationalsozialistischen Regierung erfreulicherweise festzustellen sind, weiter fortschreiten.

Von größter Bedeutung ist es ferner, das Ziel zu erreichen, das der Führer gestellt hat: „Die Schaffung eines Volkswagens, der im Preise nicht mehr kostet als früher ein Motorrad und dessen Brennstoffverbrauch mäßig ist.“ Gelingt dies, so wird der Kraftwagenverkehr eine gewaltige Belebung erfahren. Bei dem späteren starken Verkehr würde man dann aber bei den großen Verkehrsschwankungen und Verkehrsspitzen des Kraftwagenverkehrs die Höchstgeschwindigkeiten, die man bei schwachem Verkehr in den ersten Jahren nach Fertigstellung der Autobahn vielleicht noch ertragen kann, im Interesse der Sicherheit wieder herabsetzen müssen.

Auch die später zu erwartende starke Verkehrszunahme auf den Autobahnen spricht daher für eine Beschränkung in der Höchstgeschwindigkeit.

Fassen wir das Ergebnis der Untersuchung noch einmal kurz zusammen, so sehen wir, daß es aus Sicherheitsgründen und wirtschaftlichen Erwägungen heraus und auch unter Berücksichtigung des Verkehrsbedürfnisses und des später zu erwartenden stärkeren Verkehrs auf den Autobahnen unerwünscht ist, zu hohe Geschwindigkeiten zuzulassen.

Fortschritte im Bau der Kraftrohrleitungen für Wasserkraftanlagen mit höheren Gefällen

Von Richard Krauß in Breslau

A. Einleitung

Nachdem die elektrische Kraftübertragung dem Wasserturbinenbauer eine Möglichkeit an die Hand gab, die Nachteile, die mit der Ortsgebundenheit der Wasserkräfte verbunden sind, weitestgehend zu überwinden, konnte er sich immer mehr der Ausnützung der großen Wassergefälle zuwenden, die von ihm die Verwertung immer größerer Wassermengen und immer höherer Gefälle in den Wasserkraftanlagen verlangte. So verarbeitet z. B. heute bei dem Niederdruckwerk der Rheinkraftanlage Ryburg-Schwörstadt eine Turbineneinheit 295 cbm/sec, andererseits nutzen die Turbinen des Hochdruckwerkes La Dixence im Val des Dix bei Lausanne ein Wassergefälle mit 1748 m Druckhöhe in einer Stufe aus.

Technische und wirtschaftliche Gründe bedingen, daß von gewissen Gefällen an die Überdruckturbine in ein Gehäuse eingebaut wird und daß ihrer Leitvorrichtung ebenso wie dem Einlauf der Freistrahlturbine das Betriebswasser durch eine oder mehrere Rohrleitungen zugeführt wird. Alle Wasserkraftanlagen mit höheren Gefällen brauchen daher Rohrleitungen, die wichtige Bestandteile der Gesamtanlage bilden.

Der Aufbau, die Durchbildung und die Herstellung dieser Rohrleitungen haben sich im Laufe der Zeit zu einem Sondergebiet von großer Bedeutung entwickelt, das schwierige und verantwortungsvolle Konstruktionen, von denen einige im nachstehenden besprochen werden sollen, zu entwerfen und auszuführen hat. Eine Kraftrohrleitung kann nicht nur als eine Vereinigung einzelner Rohre zu einem Rohrstrang angesehen werden, und sich allein auf der Rohrfabrikation aufbauen, sondern sie muß als besonders wichtiger Teil der Wasserkraftanlage den örtlichen Verhältnissen, den Betriebsanforderungen und gewissen Sonderbeanspruchungen in allen Einzelheiten als einheitliches Ganzes angepaßt sein.

Der große Aufschwung im Wasserturbinenbau und mit ihm das Interesse an Kraftrohrleitungen setzte um die Jahrhundertwende ein. Zu jener Zeit wurden Rohre für solche Leitungen, die größere lichte Weiten und größere Längen hatten, aus gewalzten Blechen entweder genietet oder mit Wassergas geschweißt hergestellt. Gußeisen kam als Werkstoff für Kraftleitungen bei höheren Drücken wegen seiner geringen Festigkeit und seiner Sprödigkeit nicht in Frage, Stahlguß fand aus preislichen Gründen nur für wenige Sonderteile Verwendung, und Holz- und Zementrohre schieden von vornherein wegen zu geringen Werkstofffestigkeiten aus.

B. Bauarten der Rohre

1. Genietetete Rohre

Die Nietung läßt die Verwendung dieser Rohre nur bis zu mittleren Wandstärken zu, da das Gewicht genieteteter Rohre durch das Überlappen und das Laschen der Bleche und durch die Nietköpfe höher ausfällt als das gleichartiger glatter Rohre, weiter, da das einwandfreie Nieten und Dichten genieteteter Schüsse bei größeren Blechstärken ganz erhebliche Schwierigkeiten verursacht, und genietetete Rohre größere Rohrreibungsverluste ergeben als glatte Rohre. Auch die manchmal verwendete Spiralnietung der Längsnaht konnte diese Nachteile nur wenig verbessern und die übrigen Schwierigkeiten nicht beseitigen.

2. Glatt geschweißte Rohre

Durch die Nachteile der genieteteten Rohre wandte sich das Interesse der Kraftrohrleitungs-konstrukteure frühzeitig den wassergasgeschweißten Rohren als Kraftrohrleitungselement zu.

Die Wassergas-Preßschweißung war bereits seit 1885 bekannt, ihre Einführung in die Rohrindustrie erforderte aber zähe, ziebewußte Arbeit, damit schrittweise die zahlreichen Schwierigkeiten, die ihr entgegenstanden, überwunden wurden.

Bei der Herstellung wassergasgeschweißter Rohre werden gut schweißbare Blechplatten, nachdem sie auf die passende Größe gebracht sind, mit Biegewalzen zu einem röhrenförmigen Körper so zusammengebogen, daß die Blechenden einander überdecken. Die sich überdeckenden Teile werden schrittweise von außen und innen mit Wassergas auf Schweißhitze gebracht und in diesem Zustand mit einem Hammerwerk oder mit beweglichen Rollen einer Pressung ausgesetzt, die sie verschweißt und nach der Vereinigung der überlappten Blechenden diese wieder auf die Blechstärke aushämmert oder auswalzt. Die geschweißten Rohre werden durch Glühen normalisiert und spannungsfrei gemacht, weiter durch Rundwalzen auf eine möglichst genaue zylindrische Form gebracht. Die Wassergasschweißung erreicht bei der Reihenherstellung von Rohren mit Sicherheit eine Schweißnahtfestigkeit von mindestens 90% der Blechfestigkeit und ergibt in der Schweißnaht sehr gute Dehnungswerte. Das wassergasgeschweißte Rohr ist im Werkstoff gleichartig, da zum Schweißen kein Schweißdraht aus fremdem Werkstoff erforderlich ist. Anfänglich wurden diese günstigen Ergebnisse nur bis zu Blechstärken von etwa 32 mm erreicht, heute dagegen gelten sie z. T. auch für Blechstärken bis zu 90 mm.

Als Beispiel für die in der ersten Entwicklungsperiode der wassergasgeschweißten Kraftrohrleitungen mit glatten Rohren erbauten Anlagen soll die in Abb. 1 dargestellte, im Jahre 1905 von Ferrum, Kattowitz, ausgeführte Rohrleitung für Santos (Brasilien) dienen. Große Rohrstrangzahl (5) mit mäßigen lichten Weiten 912 auf 600 mm bei 10–32 mm Blechstärke und einer Rohrstranglänge von rund 2000 m kennzeichnen diese Kraftrohrleitungsanlage, die mit einer statischen Druckröhre von 640 m arbeitet (Abb. 1).

3. Verbundrohre

Bereits im Jahre 1908 waren Projekte für Wasserkraftanlagen in Arbeit, die mit Rücksicht auf eine möglichst wirtschaftliche Rohrleitungsanlage eine kleine Rohrstrangzahl und große lichte Rohrdurchmesser erforderten und Blechstärken benötigten, die 32 mm erheblich überschritten. Dem Kraftrohrkonstrukteur war nun die Aufgabe gestellt, dafür entweder eine geeignete Rohrkonstruktion zu entwickeln oder die Schweißerei auf den Stand zu bringen, daß sie entsprechend dickwandige Bleche betriebssicher bearbeiten konnte. Die Lösung der gestellten Aufgaben erforderte vom Rohrleitungs konstrukteur umfangreiche und vielseitige Arbeiten, da er vielfach die Maschinen und die Vorrichtungen zur Herstellung seiner Konstruktionen mitentwerfen mußte, weil derartige Maschinen zu jener Zeit noch nicht auf dem Markte vorhanden waren.

Nahtlos geschmiedete Rohre mit entsprechend dicken Wandstärken, die kon-



Abb. 1. Rohrleitungsanlage Santos (Brasilien)

struktiv am einfachsten waren, konnten zu jener Zeit hauptsächlich aus preislichen Gründen nur vereinzelt verwendet werden. Zur Lösung der gestellten Aufgabe wurde ein Verbundrohr entwickelt, das aus einem wassergasgeschweißten Kernrohr besteht, das ohne weitere Bearbeitung durch aufgeschrumpfte nahtlose Ringe (Bandagen) verstärkt ist. Das erste derartig aufgebaute Kraftleitungsrohr mit 706 mm lichter Weite wurde von Ferrum, Kattowitz, 1908 entworfen und 1909 unter Ausschaltung der durch die Bodenbelastung auftretenden Längskräfte in einer besonderen Rohrprüfmaschine mit Innendruck erprobt, um sein Verhalten bei Beanspruchungen über die Fließgrenze hinaus kennenzulernen. Auf Grund der guten Ergebnisse dieses ersten Versuches wurde diese Rohrbauart geeigneten Kraftrohrleitungsentwürfen zugrunde gelegt und erstmalig von Ferrum 1912 bei den drei Rohrsträngen der Kraftanlage San Francisquita 1 der Stadt Los Angeles, die unter 285 m Druckhöhe arbeiten und Längen von 1585 m bei 2030 bis 1450 mm lichter Weite haben, zur Anwendung gebracht. Mit dieser Rohrbauart war der Weg für die Ausnützung der höchsten vorkommenden Wassergefälle frei und bei der größten bisher in einer Stufe ausgenützten Gefällshöhe La Dixence (1748 m) wurde diese Rohrbauart ebenfalls verwendet.

Während des Weltkrieges trat der Ausbau der Wasserkräfte stark in den Hintergrund, er setzte aber nach dem Kriege um so stärker ein und erforderte durch verschiedene Großanlagen, die zur Ausführung kamen, erweiterte Untersuchungen an Kraftrohren. Diese wurden 1926 von Ferrum, Kattowitz, unter Mitarbeit des Verfassers sowohl an einer größeren Zahl glattgeschweißter Rohre, wie auch an zahlreichen Schrumpfringrohren von 915 mm Innendurchmesser, verschiedener Kernrohrwandstärke und verschiedener Bandagierung durchgeführt. Ergänzt wurden die Untersuchungen durch Versuche an einem Schrumpfringrohr von 1671 mm Innendurchmesser, 32 mm Kernrohrwandstärke, das durch nahtlose Schrumpfringe mit 74 auf 120 mm Querschnitt verstärkt war. Die Untersuchungen dienten zur Nachprüfung und Ausweitung der rechnerischen Grundlagen und zur Festlegung neuer Gesichtspunkte für den Entwurf von Kraftrohrleitungen.

Auf die Berechnung der Verbundrohre kann hier des beschränkten Umfanges wegen nicht eingegangen werden, sie ist einer besonderen Abhandlung vorbehalten.

Das Ergebnis der Versuche war sehr reichhaltig und sehr vielseitig und lieferte zuverlässige Unterlagen für einen zweckmäßigen Aufbau und für die nicht ganz einfache Berechnung der Rohre.

Die erstmalige Durchführung der Versuche an diesen Großversuchskörpern bedingte umfangreiche Vorarbeiten, zumal die Versuche nicht nur bis zum Fließen der Rohre, sondern bis zu ihrer Zerstörung durchgeführt wurden, um auch das Verhalten der Rohre beim Bruch kennenzulernen. Die großen Abmessungen der Rohre und der hohe Innendruck, der zu ihrer Zer-

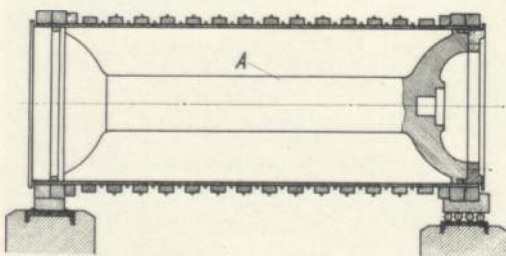


Abb. 2. Rohrprüfvorrichtung

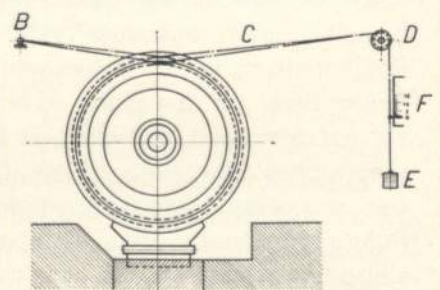


Abb. 3. Rohrprüfvorrichtung

störung nötig war, verlangten besondere Prüfeinrichtungen, von denen eine auf den Abb. 2 und 3 dargestellt ist.

Die Prüfeinrichtung ist so aufgebaut, daß zusätzliche Axialkräfte, die auf eine Beeinflussung der Umfangsbeanspruchungen hinwirken, vermieden werden. Eine Prüfung mit Deckeln ist

wegen der Axialkräfte, die damit verbunden sind, ungeeignet, weiter konnten die gebräuchlichen Rohrabpreßmaschinen nicht verwendet werden, da die bei den Versuchen auftretenden Axialkräfte für diese Maschinen viel zu groß waren und der Dichtungsdruck in den Maschinen bei den großen Rohrabmessungen nicht zu vernachlässigende Axialkräfte erzeugen würde. Restlos befriedigend wurde die Aufgabe durch die Innenkolbenvorrichtung der Abb. 2 und 3, die dem Rohr bei der Dehnung auch die erforderliche Beweglichkeit gibt, gelöst. Diese Vorrichtung bildete das Muster für weitere Versuche, die an Kraftleitungsrohren in Nordamerika, Südamerika, der Schweiz und Italien ausgeführt wurden.

Die Untersuchung der Versuchsrohre erstreckte sich in der Hauptsache auf das Verhalten der Rohre unterhalb der Rohrfließgrenze, das Verhalten der Rohre im Fließgebiet und die Art des Bruches der Rohre beim Sprengen durch inneren Überdruck. Im Beanspruchungsgebiet unterhalb der Rohrfließgrenze können die Formänderungen von Kernrohren und Bandagen an beliebigen Stellen und in beliebiger Richtung mit Hilfe der bekannten Dehnungsmesser ermittelt werden. Aus den Dehnungen ergeben sich rechnerisch die Materialbeanspruchungen an den Meßstellen. Diese Art der Messung versagt, sobald das Fließen des Rohres beginnt, da hier der Meßbereich der Instrumente bei weitem nicht mehr ausreicht. Für das Gebiet zwischen Fließbeginn und Rohrbruch wurde daher die ebenfalls auf den Abb. 2 und 3 dargestellte Meßvorrichtung durchgebildet. Von Festpunkten B laufen über alle Rohr- und Bandagenumfänge, deren Dehnung gemessen werden soll, je in einer Windung um das Rohr gut eingefettete Klavierdrähte C nach den Ablenkrollen D und den Belastungsgewichten E. Bei einer Umfangsvergrößerung hebt sich das Belastungsgewicht, bei einer Umfangsverkleinerung senkt es sich. Die Umfangsveränderungen können mit Hilfe eines Zeigers, der mit dem Draht fest verbunden ist, an einem geeignet angebrachtem Maßstab abgelesen oder durch eine entsprechende Vorrichtung aufgezeichnet werden. Mit dieser Meßeinrichtung lassen sich, wie beim Zerreißversuch eines Stabes, Zerreißschaubilder für die Rohre ermitteln.

Untersuchungen an bandagierten Rohren bei Beanspruchung durch Innendruck wurden weiter von E. Siebel im Jahre 1927 durchgeführt und in den Mitteilungen aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung, Düsseldorf 1928 veröffentlicht. Die Siebelschen Versuchsrohre waren mit Böden verschlossen, wodurch die durch die Bodendrucke entstehenden Axialkräfte nicht ausgeschaltet waren und die Versuchsbedingungen nicht den Verhältnissen entsprachen, die bei Kraftrohrleitungen, die mit Dehnungsstücken aufgebaut sind, vorhanden sind.

1926 haben die Mannesmannröhren-Werke eine Schrumpfringrohrbauart DRP. 506 630 ausgebildet, bei der die Schrumpfringe in bearbeitete Ausdrehungen der Rohrwand des Kernrohres und nicht auf das unbearbeitete Kernrohr geschrumpft sind, um die Ringe besonders gut gegen Längsverschiebungen zu sichern (Abb. 4).

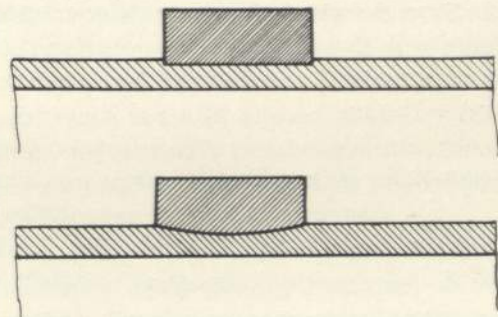


Abb. 4. Bandagensitz nach DRP. 506 630.

1927 berichtet G. Ferrand im Januar-Februar-Heft der Zeitschrift „La Houille Blanche“ über eine Rohrbauart, genannt „Tuyaux multiondes frettés“ (Abb. 5).

Die so bezeichneten Rohre bestehen aus einem wassergasgeschweißten Kernrohr und nahtlosen Verstärkungsringen. Die Ringe sind aber nicht auf das Kernrohr aufgeschrumpft, sondern das Kernrohr wird

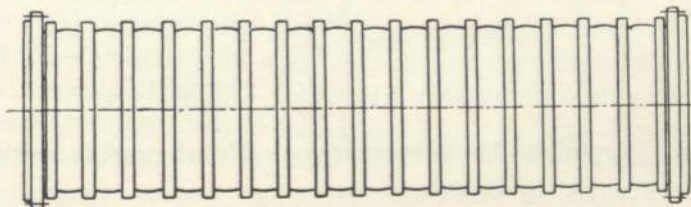


Abb. 5. Tuyaux multiondes frettés

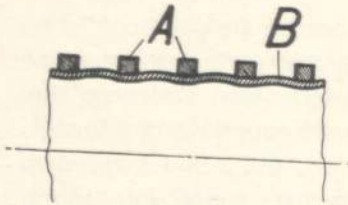


Abb. 6.
Tuyaux multiondes frettés
(Kernrohrauswölbungen)

durch Innendruck bleibend so aufgeweitet, daß es sich unter Druck gegen die Bandagen anlegt und daß die Kernrohrteile zwischen den Bandagen kugelig nach außen geweitet sind (Abb. 6). Das Aufweiten des Kernrohres wird mit innerem Flüssigkeitsdruck bei Raumtemperatur vorgenommen.

1928 erschien in der Zeitschrift „Le Génie Civil“, No. 19 eine Abhandlung von E. Monteux über „L'emploi des tuyaux frettés à fil d'acier pour les conduites forcés“. Die damit gekennzeichneten Rohre bestehen aus einem geschweißten Kernrohr, über das zur Verstärkung Drahtlagen mit entsprechend bemessener Vorspannung gewickelt sind. (Abb. 7). Diese Bauart ist eine Übertragung einer früher im Geschützbau häufigen, aber in wesentlich vollkommener Art verwendeten Konstruktion.

Im weiteren Sinne sind hier auch die mit Eisen ausgekleideten Druckschächte und Druckstollen der Wasserkraftanlagen zu nennen, deren innerer Mantel geschweißt oder genietet ausgeführt ist, gleichzeitig dichtend und mittragend ist und dem Kernrohr der bisher genannten Verbundrohre entspricht. Den restlichen Halt zur Aufnahme des Innendruckes gibt das Gebirge und das zwischen Rohr und Gebirge eingebrachte Füllmaterial ab. Auf diese Schächte und Stollen, die über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen, soll hier nicht weiter eingegangen werden.

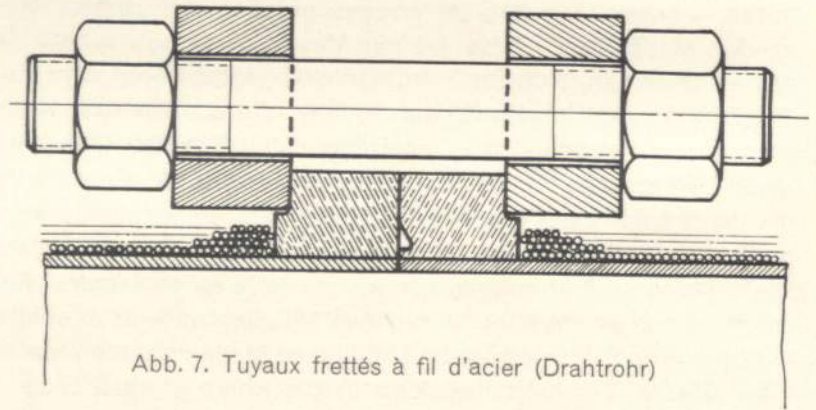


Abb. 7. Tuyaux frettés à fil d'acier (Drahtrohr)

4. Dickwandige nahtlose Rohre

Diese Rohrbauart kann entweder geschmiedet oder gewalzt hergestellt werden. Nahtlose Rohre mit einer größten Rohrwandstärke von 41 mm und einem lichten Rohrdurchmesser von 500 mm kamen im untersten Teil der Rohrleitung für die Schweizer Hochdruckanlage Fully mit 1650 m Gefälle bereits 1914 zur Anwendung. Nachdem nahtlose Rohre heute auch für größere Rohrdurchmesser und Wandstärken nahtlos gewalzt werden können, muß ihre Verwendungsmöglichkeit in Zukunft in geeigneten Fällen mit in Erwägung gezogen werden.

5. Elektrisch geschweißte Rohre

Die Fortschritte in der elektrischen Schmelzschweißung führten namentlich in den Ländern, die keine Wassergasschweißereien haben, dazu, die elektrische Schmelzschweißung auch für Kraftrohrleitungen zu verwenden. So wird z. B. die Rohrleitung des z. Zt. im Bau befindlichen Schweizerischen Etzelkraftwerkes elektrisch geschweißt.

In einer Kraftrohrleitung können verschiedene Rohrbauarten in Verbindung mit Sonderstücken zur Anwendung kommen, jede Bauart für die Druck- und Durchmesserstufen, für die sie am geeignetsten ist, z. B. kann der obere Teil einer Kraftrohrleitung glatt geschweißt und der untere bandagiert ausgeführt werden usw.

C. Vergleich der verschiedenen Rohrbauarten miteinander

Für die zu wählende Rohrbauart sind wirtschaftliche und Sicherheitsgründe maßgebend. Deshalb können die Rohrleitungen nicht einfach schematisch aufgebaut werden. Auf die be-

kannten Rechnungen zur Ermittlung des wirtschaftlichen Rohrdurchmessers soll nicht eingegangen werden, obwohl zu dem, was in der Literatur vorhanden ist, manche Ergänzungen zu machen wären, sondern es sollen hier nur die grundsätzlichen Verschiedenheiten der angeführten Rohrbauarten miteinander verglichen werden, und es soll dabei auch auf die Auswirkung von Gewaltbeanspruchungen (Katastrophenbeanspruchungen) auf die verschiedenen Rohrbauarten hingewiesen werden.

Legt man in der Wandstärkenberechnung der Rohre nur den statischen Druck vermehrt um die bei einer ordnungsmäßig arbeitenden Druck- und Geschwindigkeitsregulierung im Betrieb auftretenden Druckänderungen zugrunde, so hat man eine verhältnismäßig einfache Rechnung, und es dürfte, wenn eine sachkundige, zuverlässige Prüfung und Abnahme aller Rohrleitungsteile erfolgt, nach menschlichem Ermessen kein Rohrbruch eintreten. Der Fachmann weiß aber, daß trotzdem schon mancher verhängnisvolle Kraftrohrleitungsbruch vorkam, wenn auch die Öffentlichkeit selten davon erfuhr, da derartige Unfälle und ihre Ursachen leider so gut wie möglich geheim gehalten werden.

Die auf Grund von statischem Druck zuzüglich Druckänderungen durch die Reguliervorgänge mit den üblichen Beanspruchungswerten bemessenen Rohre können nur brechen, wenn wesentlich höhere Kräfte sie beanspruchen, als die Rechnung annahm, oder wenn Materialfehler bei der Abnahme übersehen wurden. Solche Zusatzbeanspruchungen können z. B. entstehen durch Mängel bei der Montage, durch ungenügende Verankerungen, durch ungeeignete Handhabungen beim Füllen oder Entleeren der Rohrleitung oder einzelner Rohrleitungsteile, durch Brüche oder Versagen von Vorrichtungen, die nicht zur Rohrleitung gehören, aber unmittelbar mit ihr in Verbindung stehen, wie Absperrungsvorrichtungen, Turbinengehäuse, Turbineneinläufe, Turbinenregulierungsteile, durch Verstopfen der Leitung, durch Pfropfenbildungen, durch Eindringen von Luft oder durch Vakuumbildungen, durch Bodenbewegungen, durch mutwillige Beschädigungen, kurzum durch Beanspruchungen von unvorherzusehenden Vorkommnissen mit unvorherzusehender Wirkung. Diese Beanspruchungen sollen kurz Katastrophenbeanspruchungen genannt werden.

Der Ingenieur bemißt seine Konstruktionsteile mit einer Werkstoffbeanspruchung, so daß sie gewisse unsichere Überbeanspruchungen ohne Bruch ertragen, er rechnet mit einem Unsicherheitskoeffizienten, dessen Größe er von Fall zu Fall schätzt. Für die Katastrophenbeanspruchungen bei Kraftrohrleitungen, die im allgemeinen aus einem oder mehreren sehr hohen Druckstößen von kurzer Dauer bestehen, müßte dieser Koeffizient sehr hoch gewählt werden, wodurch eine schwere und teure Rohrleitung, deren Material im Normalbetrieb schlecht ausgenützt ist, entsteht.

Durch eine geeignete Werkstoffauslese und durch einen zweckmäßig gewählten Rohraufbau können aber Rohre geschaffen werden, die bei guter Ausnützung des Materials im Normalbetrieb eine weitgehende Sicherheit gegen Katastrophenbeanspruchungen ergeben.

Die kritische Auswertung der bereits erwähnten Dehn- und Zerstörungsversuche an einer Reihe Kraftleitungsrohre und der Vergleich mit einigen Unfällen an Kraftleitungen gaben Richtlinien für den Aufbau geeigneter Rohre. Im allgemeinen ist für den Ingenieur bei der Bemessung seiner Konstruktionsteile die Streckgrenze des Werkstoffes die Grundlage. Er wird sich je nach den Verhältnissen der Streckgrenze mehr oder weniger nähern und wird bei einigermaßen sicher feststellbaren statischen und dynamischen Belastungen die Querschnittabmessungen betriebssicher vornehmen können. Deshalb interessiert ihn bei vielen Versuchen nur das Verhalten der Teile unterhalb der Fließgrenze. Das wäre für Kraftleitungsrohre auch zutreffend, wenn nicht mit der Möglichkeit der Katastrophenbeanspruchungen gerechnet werden müßte. Durch diese gewinnt bei Versuchen an

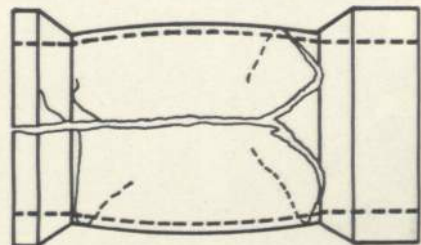


Abb. 8
Zerstörtes nahtlos geschmiedetes Rohr

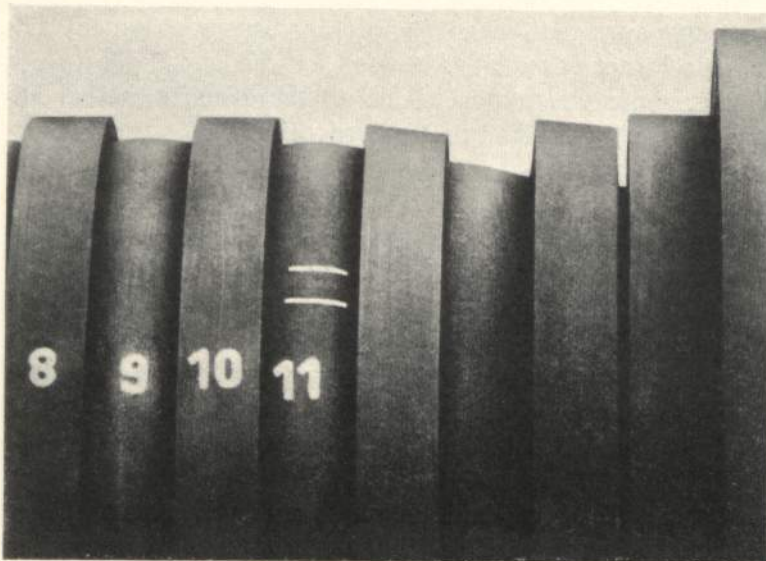


Abb. 9. Zerstörtes Bandagenrohr mit aufgeschrumpften Bandagen

Kraftrohrleitungsrohren das Fließgebiet und die Art des Rohrbruches ebenfalls Bedeutung. Vergleicht man die Abb. 8, die ein nahtlos geschmiedetes, ganz bearbeitetes Versuchsrohr von 1681,86 mm innerem Durchmesser, 77 mm Wandstärke und 4100 mm Länge nach der Zerstörung zeigt (das Versuchsrohr war von der Midvale Company hergestellt, die Versuche sind von John L. Cox in einem Schriftsatz: Destruction Test of a 66-in Forged Steel Penstock Pipe beschrieben, der bei dem Annual Meeting New York, December

5 to 8 of the American Society of Mechanical Engineers zum Vortrag kam), mit den Abb. 9 und 10 die den Bruch von Verbundrohren mit wassergasgeschweißtem Kernrohr und aufgeschrumpften nahtlosen Ringen nach der Zerstörung wiedergeben (die Bandagenrohre sind von Ferrum, Kattowitz, hergestellt), so zeigen die beiden Rohrarten einen ganz verschiedenen Bruchverlauf, das nahtlose Rohr einen

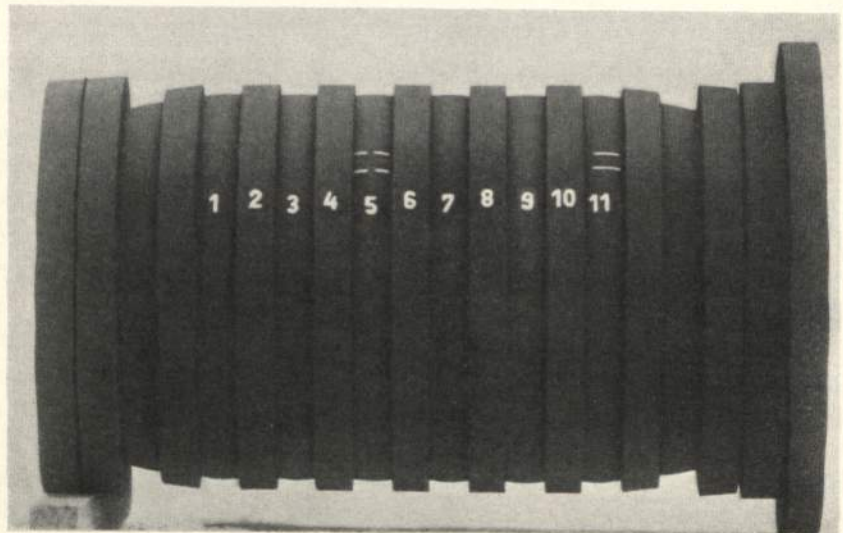


Abb. 10. Zerstörtes Bandagenrohr mit aufgeschrumpften Bandagen

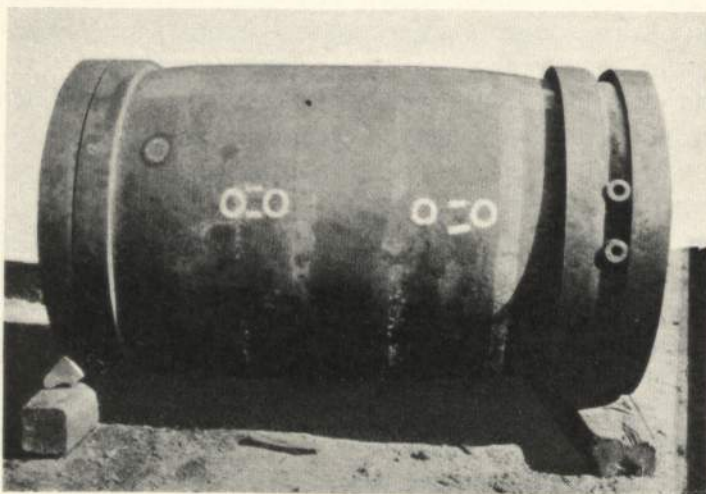


Abb. 11. Zerstörtes mit Wassergas geschweißtes Rohr.

klaffenden Riß über das ganze Rohr und die eine 317 mm starke Endversteifung weg und die Bandagenrohre nur wenige feine Anrisse in der Schweißnaht des Kernrohres zwischen den Bandagen. Mit ähnlich langem und klaffendem Riß wie das nahtlos geschmiedete Rohr bersten auch elektrisch geschweißte, glatte Rohre (vgl. z. B. Sulzer Technical Review 1934 Nr. 3) während bei guten wassergasgeschweißten glatten Rohren, wie Abb. 11 zeigt, das Aufreißen fehlt und nur kleine Risse auftreten. Die Zerstörungen, die bei

einem Bruch verschiedener Rohrarten durch das ausströmende Wasser auftreten, sind durch die Art des Bruches sehr verschieden.

Bei den Bandagenrohren der Abb. 9 und 10 war der lichte Durchmesser 915 mm, die größte Umfangserweiterung des Kernrohres betrug an einem Umfang, an dem das Kernrohr nach der Sprengung des Bandagenrohres noch keinen Anriß zeigte, 449 mm, also rund 15%. Bandagen gingen beim Bersten des Rohres nicht zu Bruche.

Da Katastrophenbeanspruchungen im allgemeinen kurzzeitige Druckstöße erzeugen, kann deren zerstörende Wirkung durch eine Elastizität des Rohres und eine damit verbundene Rohrerweiterung stark abgeschwächt und in der Auswirkung weitestgehend unschädlich gemacht werden. Ein solches Rohr ist in weiten Grenzen für die Gewaltbeanspruchungen von Kraftrohrleitungen sprengsicher. Selbst wenn nach einer Katastrophenbeanspruchung an einzelnen Rohren bleibende Formänderungen von einer Größe auftreten, daß eines oder mehrere für den späteren Betrieb ersetzt werden müssen, so bedeutet das nicht viel gegenüber den Kosten, die ein Rohrbruch erzeugt; denn trotz der Sicherheitsvorrichtungen, die bei einem Rohrbruch das Wasserschloß und den Stausee von der Rohrleitung abschließen, genügt der Wasserinhalt einer Rohrleitung zur Anrichtung gewaltiger Zerstörungen, weiter wird bei manchen Anlagen die beabsichtigte Wirkung der Rohrbruchabsperrovorrichtungen durch Verbindungsleitungen oder durch eine Teilung des Rohrstranges in der Nähe der Kraftanlage vereitelt. Auch bei zusätzlichen Beanspruchungen der Rohrleitungen durch Bodenbewegungen (Nachgeben von Verankerungen, Erdbeben usw.) bieten die Rohre, die gewisse Formänderungen ohne zu brechen zulassen, erhebliche Vorteile.

Das Verbundrohr mit wassergasschweißtem Kernrohr und aufgeschumpften nahtlosen Ringen ist in seiner Bauart sehr anpassungsfähig an die verschiedensten Bedürfnisse, je nach Wahl der Kernrohrwandstärke des Schrumpfringwerkstoffes, der Schrumpfringabmessungen, der Schrumpfringentfernungen

und des Schrumpfmaßes, es kann, sozusagen, mehr oder weniger weich aufgebaut werden, weiter kann man seine Konstruktion so machen, daß beim Sprengen des Rohres nur das Kernrohr bricht und die Bandagen unversehrt bleiben, oder daß die Widerstandsfähigkeit

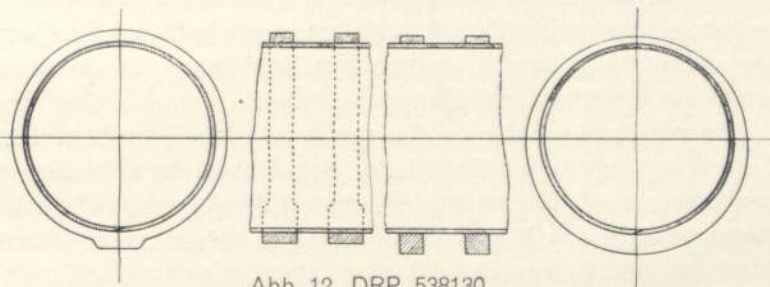


Abb. 12. DRP. 538130.

von Kernrohr und Bandagen beim Sprengungsdruck gleichzeitig erschöpft wird. Weiter gestatten Sonderformen der Bandagen nach DRP. 538130, s. Abb. 12, die Schweißnaht zusätzlich zu verstärken.

Die Festigkeitszahlen des Kernrohres liegen wegen der Wassergasschweißung in engen Grenzen, es müssen weiche, gut schweißbare Bleche verwendet werden, die der Schrumpfringe dagegen in weiten. Durch die Wahl des Schrumpfringwerkstoffes kann Charakter und Gewicht der Rohre weitgehend beeinflusst werden. Für die Aufnahme der Längsbeanspruchung der Rohre im Rohrstrang kommt bei Verbundrohren nur das Kernrohr in Frage, vor einer Unterschätzung der Bedeutung des Kernrohres für diese Beanspruchung sei gewarnt, da vielfach die Zonendruckprobe während der Montage zur Anwendung kommt, die mit Deckeln ausgeführt wird, wodurch die Rohre in der Längsrichtung eine Beanspruchung erhalten, die halb so groß ist wie die Umfangsbeanspruchung. Die Temperaturänderungen von Luft und Wasser verursachen in der Leitung Längenänderungen, die durch die Reibungskräfte der Rohrsättel, ferner durch Stopfbüchsenkräfte Zug- und Druckbeanspruchungen in den Rohren erzeugen, endlich dürfen die Biegungskräfte, die durch das Wasser- und das Rohrgewicht entstehen, bei großen Rohraufontageentfernungen nicht vernachlässigt werden. Eine ungenügende Berücksichtigung der Kernrohr längsbeanspruchungen kann zu einer Lockerung der Versteifungsteile führen.

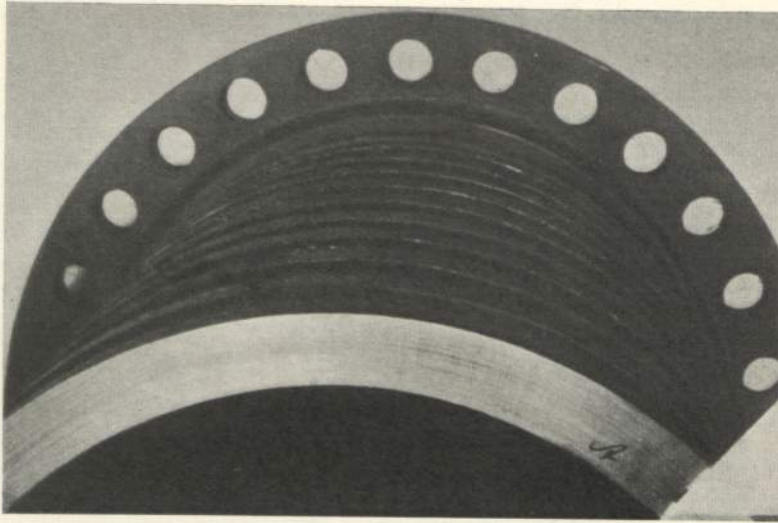


Abb. 13. Teil eines Querschnittes durch ein Bandagenrohr

reichend gute Anlage der Bandagen am unbearbeiteten Kernrohr erreicht wird, da beim Aufziehen der Bandagen auch ein nicht ganz zylindrisches Kernrohr in die zylindrische Form gepreßt wird. Die Abb. 13 zeigt die gute Anlage der Bandagen an einem unbearbeiteten Kernrohr. Die Konstruktionsmaße des Rohres gibt Abb. 14 wieder, bei A in Abb. 13 liegt die Kernrohrschweißnaht. Die Vorsichtsmaßnahme, den Bandagensitz im Kernrohr einzudrehen, verursacht zusätzliche Kosten und z. T. eine gewisse Schwächung des Kernrohres, da dieses vor dem Aufziehen der Bandagen nicht genau zylindrisch ist, wodurch die Ausdrehungen notgedrungen ungleich tief ausfallen, auch geht bei der Bearbeitung der Ausdrehungen die in mancher Beziehung für den Rostschutz wertvolle Blechhaut verloren.

Beim Aufschumpfen der Bandagen erhalten Kernrohr und Bandagen Formänderungen, die innerhalb des Elastizitätsbereiches der verwendeten Werkstoffe liegen, bei dem Aufweitungsverfahren nach Ferrand dagegen wird das Kernrohr zum Fließen gebracht und bleibend verformt. Die bleibende Verformung des Kernrohres ist aber keine gleichmäßige, sondern unter den Bandagen und zwischen den Bandagen verschieden. G. Ferrand („Les Tuyaux multiondes frettés par G. Ferrand, La Houille blanche, Janvier-Fevrier 1927“) stellte in Verbindung mit dem Etablissements Bouchayer et Viallet die ersten Verbundrohre dieser Bauart her und erprobte sie 1926. Anfänglich wurde die Tiefe der Wellen (siehe Abb. 6) bei diesen Rohren zu $\frac{54}{1000}$ des Durchmessers gewählt und die Kernrohrwandstärke wurde so bemessen, daß der Aufweitungsdruck doppelt so hoch wie der Betriebsdruck war. Derartige Rohre ergeben einen Rohrreibungsverlust, der selbst größer ist, als der entsprechender genieteter Rohre, da weiter Bedenken gegen die erheblichen bleibenden Kernrohrverformungen und die Längs- und Biegungsbeanspruchungen des Kernrohres zwischen den Bandagen, ferner gegen die Rohrverbindungen bei dieser Rohrkonstruktion vorhanden sind, wurde die Bauart so abgeändert, daß die Bandagen enger gesetzt und die Kernrohrwandstärke vergrößert wurde. Die Wellung dieser Rohre fällt durch diese Änderungen wesentlich kleiner aus, und verschiedene der oben angeführten Bedenken werden abgeschwächt oder fallen weg. Grundsätzlich ist bei einem Vergleich aufgeschumpfte Bandagen oder in Bandagen eingeweitetes Kernrohr zu bemerken, daß die zuletzt genannte Herstellung kein Rohr ergibt, das in Sitz und Anpressung der Bandagen der ersten gleichwertig ist, da die Ungleichmäßigkeiten des Kernrohres in der Wandstärke, im Durchmesser und in der Rundung beim Aufschumpfen der Bandagen zum Teil sich nicht verschlim-

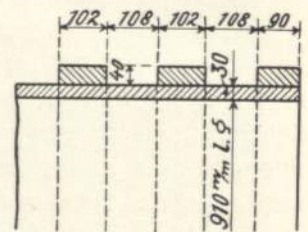


Abb. 14. Abmessungen des Bandagenrohres der Abb. 13

mern, zum Teil unschädlich sind, beim aufgeweiteten Kernrohr dagegen sich die Rohrungleichheiten des Kernrohres noch weiter vergrößern. Das kommt daher, daß die Teile, die an der unteren Grenze der zulässigen Blechstärke liegen, sich beim Aufweiten stärker dehnen, dadurch noch mehr an Dicke verlieren und gleichzeitig im Rohrdurchmesser größer werden als die entsprechenden Stellen des Rohres, die an der oberen Grenze der zulässigen Blechstärke liegen. Weiter spielen beim Aufschumpfen Unrundsein und Durchmesserunterschiedenheiten des Kernrohres praktisch keine Rolle, da die, nach vorherigen Umfangsmessungen, ihren späteren Sitz angepassten Bandagen durch das Erwärmen sich so stark dehnen, daß sie leicht über alle Stellen des Rohres weg an den dafür vorgesehenen Platz gebracht werden können, dort mit dem dafür bestimmten Schrumpfmaß erkalten, das Rohr runden und es in der beabsichtigten Weise verstärken.

Bei den durch kalte Aufweitung des Kernrohres befestigten Bandagen ist die Rohrherstellung in dieser vorzüglichen Weise nicht möglich, da die kalten Ringe über unrunde Kernrohrstellen oder größere Rohrdurchmesser weggebracht werden müssen und diese somit ihren Minstdurchmesser und ihre Anpressung mitbestimmen. Ferner bilden sich beim Aufweiten durch die Unterschiede in der Blechstärke eines und desselben Bleches zwischen den Bandagen ungleichmäßige Kernrohrwölbungen und ungleichmäßige Bandagenpressungen aus. Die Anpressung der Bandagen ist außerdem in engeren Grenzen als bei den aufgeschumpften Bandagen von der gewählten Kernrohrwandstärke und dem Bandagenwerkstoff abhängig, was eine gewisse Beschränkung beim Aufbau der kalt aufgeweiteten Bandagenrohre bedeutet. Endlich ist auch die Kaltverformung des Kernrohres für gewisse Rohrverbindungen und beim Anschweißen von kleinen Stutzen an das Rohr nicht ganz unbedenklich.

Das von Monteux beschriebene, mit Drahtwindungen verstärkte Rohr (Abb. 7) wurde bereits 1908 von Ferrum, Kattowitz, für Kraftrohrleitungen in Erwägung gezogen und an einem Versuchsrohr erprobt. Die bei der Herstellung dieses Versuchsrohres gemachten Erfahrungen und kritische Betrachtungen über diese Rohrkonstruktion führten dazu, daß diese Rohrart für Kraftrohrleitungen abgelehnt wurde. Als besondere Mängel der Drahtrohre sei erwähnt, daß das Aufwinden der Drähte mit der erforderlichen Vorspannung auf das unbearbeitete Rohr erhebliche Schwierigkeiten macht, und daß deshalb bei einer Reihenherstellung von Rohren mit nicht nachprüfbar Fehlern gerechnet werden muß, insbesondere weil eine Messung der Vorspannung der einzelnen Drahtwindungen am fertigen Rohr unmöglich ist. Schwierig gestaltet sich auch das Befestigen der Drahtenden, das entweder unzuverlässig oder unverhältnismäßig teuer ist. Das Rohr ist temperaturempfindlich, schlecht gegen Rosten und äußere Beschädigungen zu schützen, gegen Längs- und Biegekräfte nur wenig widerstandsfähig, macht für die Rohrverbindungen besondere Schwierigkeiten, ist in seiner Auswirkung starr und unelastisch, also für Katastrophenbeanspruchungen schlecht geeignet und gefährdet eine ganze Anlage, wenn auch nur eine Drahtwindung eines Rohres versagt.

Nahtlose Rohre mit größeren Durchmessern und größeren Wandstärken wurden bisher nur vereinzelt für Kraftrohrleitungen verwendet. Erfahrungen im größeren Umfang liegen dafür nicht vor. Eine billige Herstellung dieser Rohrart wird durch die geringe Zahl Rohre gleicher Abmessungen in einem Rohrstrang erschwert. Weiter wird die Verwendung der Rohre beeinflusst durch die Einschätzung des Rohrverhaltens im Betrieb und bei Katastrophenbeanspruchungen, bezügl. letzterer sei nochmals auf die Abb. 8—10 hingewiesen. Zu beachten ist ferner, daß bei Kraftrohrleitungen unter Umständen auch mit niedrigen Lufttemperaturen gerechnet werden muß, und daß sich bei diesen der mittelharte Kohlenstoffstahl spröder verhält als der weiche, also für Katastrophenbeanspruchungen, die eine stärkere Verformung bedingen, ungünstiger ist. Weiter spielt auch die Herstellungsart der Rohre aus Blechen, nahtlos geschmiedet oder gewalzt, ferner die Wandstärke wegen des verschiedenen Walzzustandes des Werkstoffes eine Rolle, insbesondere können sich bei den niedrigen Temperaturen durch das Absinken der Werkstoffkerbzähigkeit kleine Fehler im Werkstoff sehr schädlich auswirken.

Die Güte der elektrischen Schweißnaht wird auch bei hochwertiger Schweißung durch eine Reihe nicht ganz zu vermeidender, festigkeitsvermindernder Einflüsse schlechter bewertet

als die der Wassergasschweißung. Dadurch erhalten bei gleichem Werkstoff elektrisch geschweißte Rohre mit Längsnähten größere Wandstärken und höhere Gewichte als Rohre mit Wassergasschweißung. Um den Einfluß der Mängel der elektrischen Schweißung bei Kraftrohrleitungen zu vermindern und um an Gewicht zu sparen, legen die Gebrüder Sulzer, Winterthur (vergleiche Technical Review Sulzer 1934 Nr. 3), die Schweißnaht schräg zur größten Zugrichtung und führen in Anlehnung an die Spiralnietung die Rohre spiralgeschweißt aus. Die auf diese Art erreichte Verminderung der Schweißnahtbeanspruchung bedingt aber längere Schweißnähte und im Rohrstrang eine Vergrößerung der Rundnahtzahl. Da die geschweißten Rundnähte beim Aufbau der Rohrleitung an Ort und Stelle mit erheblichen Schwierigkeiten hergestellt werden müssen, stellt die Vermehrung der Rundnähte einen Mangel dar, der durch die Anhäufung von Schweißmaterial bei dem Zusammentreffen der Spiral- und Quernähte noch vermehrt wird. Spannungsfrei läßt sich ein elektrisch geschweißter Rohrstrang durch das Fehlen des Glühens nicht herstellen, gleichartig ist er im Werkstoff durch die eingebrachte Schweißung ebenfalls nicht, bei niedrigen Temperaturen können sich nicht zu vermeidende Mängel der elektrischen Schweißnaht durch ihre zusätzliche Kerbempfindlichkeit schädlich auswirken, er ist also einem wassergasgeschweißten, ausgeglühten und im Rohrwerkstoff gleichartigen Strang unterlegen.

D. Rohrverbindungen

Mit den Rohrbauarten und ihrem Verwendungszweck hängen die Rohrverbindungen eng zusammen. Im Laufe der Zeit wurde zum Verbinden zweier Rohre eine sehr große Zahl verschiedenartiger Rohrverbindungen ausgebildet. Im nachfolgenden sollen nur einige wichtige Vertreter der Rohrverbindungen für Kraftrohrleitungen genannt werden.

Anfänglich dienten dafür die Stopfbüchsenmuffen der Wasserleitungsrohre als Vorbild, die für Kraftrohrleitungen, den höheren Ansprüchen entsprechend, nach Abb. 15 abgeändert wurden. Die Herstellung dieser Verbindungen verlangte für das Muffen der Rohre die Ausbildung besonderer Muffenvorrichtungen. Aus diesen Verbindungen entwickelten sich bei dem weiteren Ausbau der Kraftleitungen und der Ausnutzung der höheren und höchsten Gefälle der Bördel-

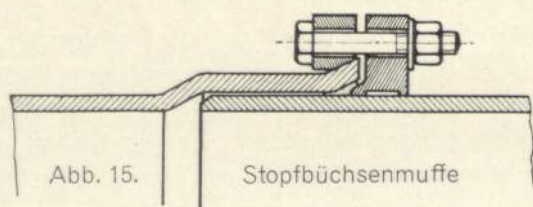


Abb. 15.

Stopfbüchsenmuffe

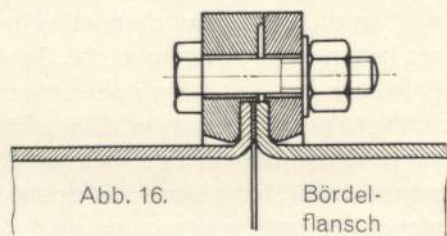


Abb. 16.

Bördelflansch

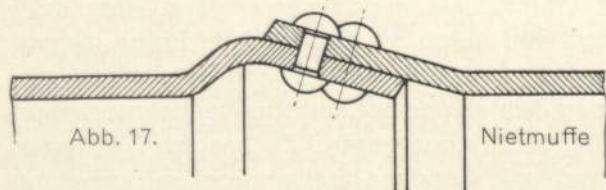


Abb. 17.

Nietmuffe

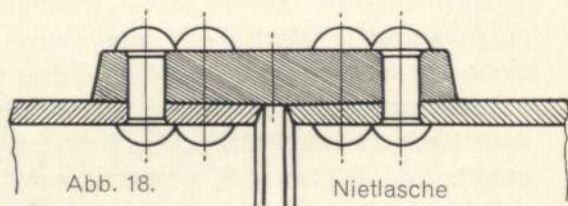


Abb. 18.

Nietflasche

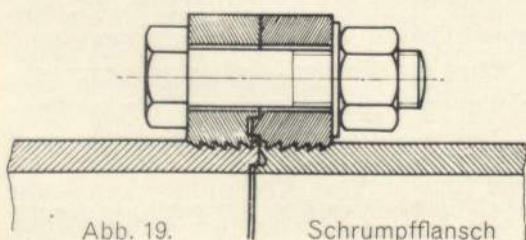


Abb. 19.

Schrumpfflansch

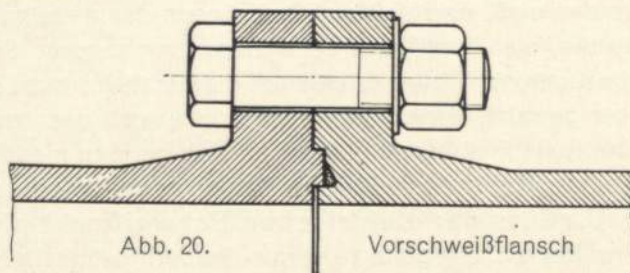


Abb. 20.

Vorschweißflansch

flansch nach Abb. 16, die Nietmuffe nach Abb. 17, die Nietlasche nach Abb. 18, die Rohrverbindung mit aufgeschrumpften Flanschen und Rundgummidichtung nach Abb. 19 und die Rohrverbindung mit Vorschweißflanschen und Rundgummidichtung nach Abb. 20. Die Längsbeweglichkeit des Rohrstranges bei Temperaturänderungen wird bei den Rohrverbindungen ohne Stopfbüchse durch besondere Dehnungsstücke, die an geeigneten Stellen eingebaut werden, erreicht.

Rohrverbindungen können auch mit Hilfe elektrischer Schweißung hergestellt werden. Die Rundnähte erhalten dann je nach der Rohrwandstärke V- oder X-Schweißung, oder die in den Abb. 21—25 von den Gebr. Sulzer nach D. R. P. 450941 angegebenen Ausführungen. Die letzteren sind auf dem Papier einfach, müssen aber für glatte und bandagierte Rohre in den Abmessungen verschieden ausgeführt werden und ergeben ebenso wie die V- und X-Nähte Schwierigkeiten, wenn die Rohre nicht ganz rund sind (vergl. Abb. 25), Transportbeschädigungen haben usw. Eine möglichst fehlerfreie, spannungsfreie Ausführung der Verbindungen dürfte praktisch Schwierigkeiten machen, da weiter auch die Forderungen einen möglichst geraden Rohrstrang zu erhalten, berücksichtigt werden müssen.

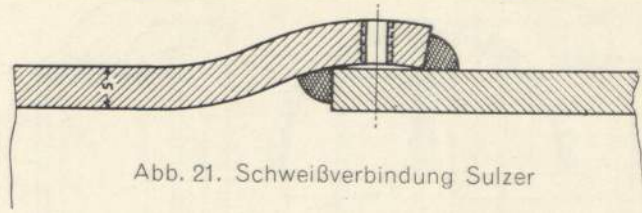


Abb. 21. Schweißverbindung Sulzer

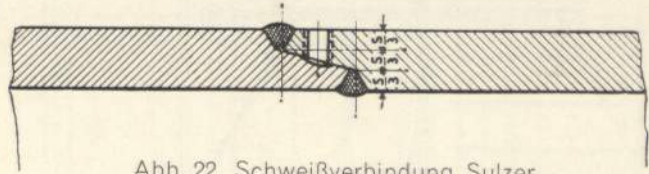


Abb. 22. Schweißverbindung Sulzer

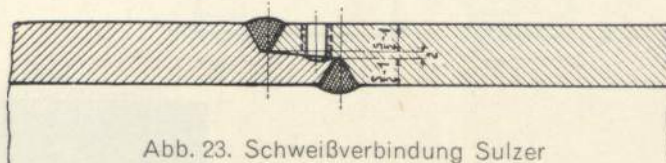


Abb. 23. Schweißverbindung Sulzer

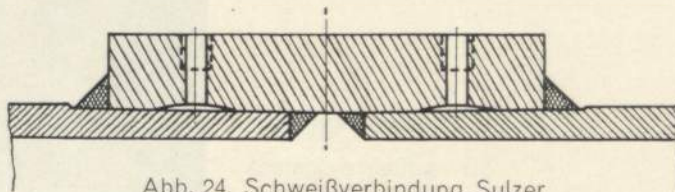


Abb. 24. Schweißverbindung Sulzer

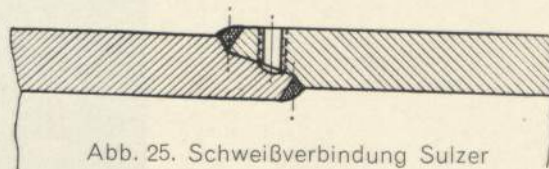


Abb. 25. Schweißverbindung Sulzer

E. Sonderteile für Kraftrohrleitungen

Bei jedem Rohrstrang benötigt man Verankerungen, Rohrlager, Rohrkrümmer, Dehnungsstücke, Abzweigstücke, Absperrvorrichtungen usw. Es würde hier zu weit führen, auf Einzelheiten dieser Teile einzugehen, die den örtlichen Verhältnissen angepaßt werden müssen, es sollen nur zwei vom Verfasser konstruierte und von Ferrum, Kattowitz, ausgeführte Sonderstücke herausgegriffen werden, die zeigen, welche Aufgaben zum Teil im Kraftrohrleitungsbau zu lösen sind. Die Teile gehören zu der Anlage Tepuxtepec in Mexiko, deren Rohrleitung in einem Erdbebengebiet liegt und über eine Verwerfungsspalte weggeht, an der bei Erdbeben erhebliche Bodenbewegungen auftreten. Die Rohrleitung kommt als freiliegende Stollenleitung aus wassergeschweißten Rohren von drei Meter lichter Weite zu dem Stahlgußabzweigstück der Abbildungen 26—28, das wegen seiner Größe geteilt ausgeführt wurde. Die Dichtung von Rohranschluß und Abzweigteilen ist auf einfache und betriebsichere Weise durch die D. R. P. 484 225 und 524 783 mit einem einteiligen Zwischenring B, der einen Steg hat, erreicht. Der Ring dichtet auf der einen Seite das Drei-Meter-Zuleitungsrohr und auf der anderen Seite die beiden Abzweigteile. An die Abzweigteile schließen sich Gelenkstücke nach den Abb. 29—31 an, die als entlastete Kugelgelenke mit entlasteten Dichtungen ausgeführt sind. Für die nötige Längsbeweglich-

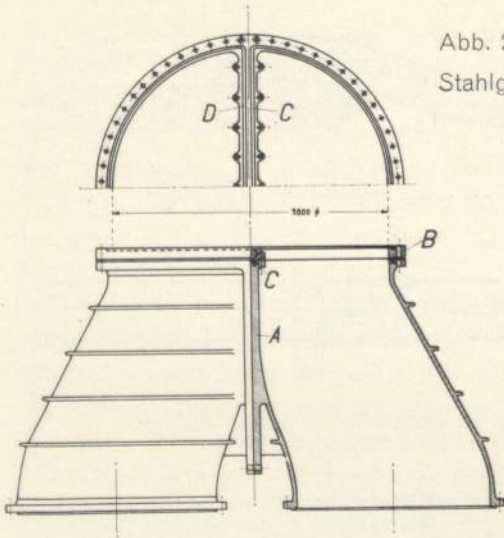


Abb. 26.
Stahlgußabzweigstück

Abb. 27.
Stahlgußabzweigstück
beim Abpressen

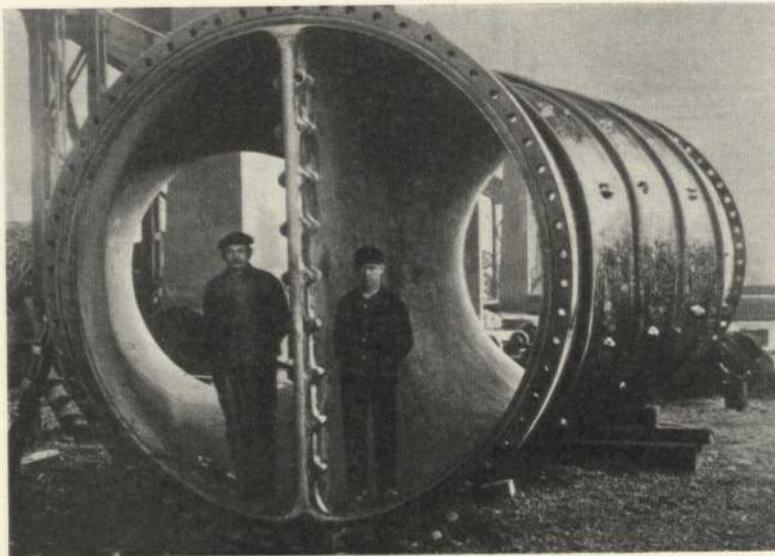
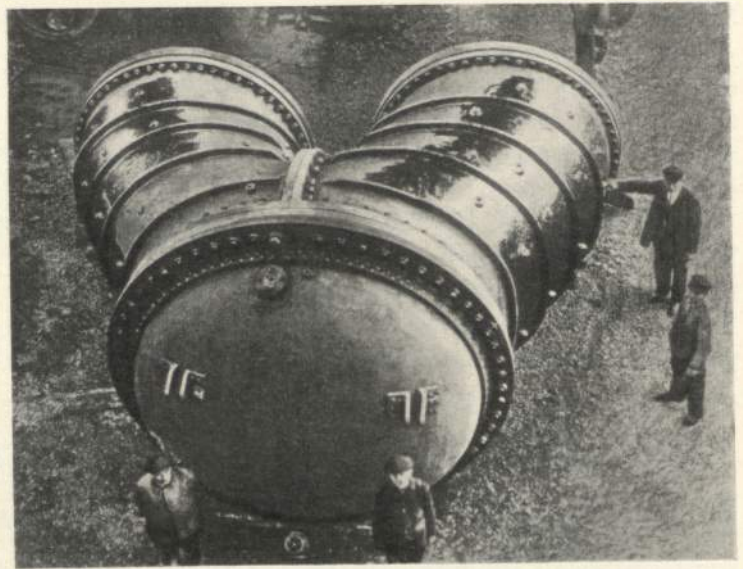


Abb. 28.
Stahlgußabzweigstück
(Teilungsseite)

Abb. 29. Gelenkstück

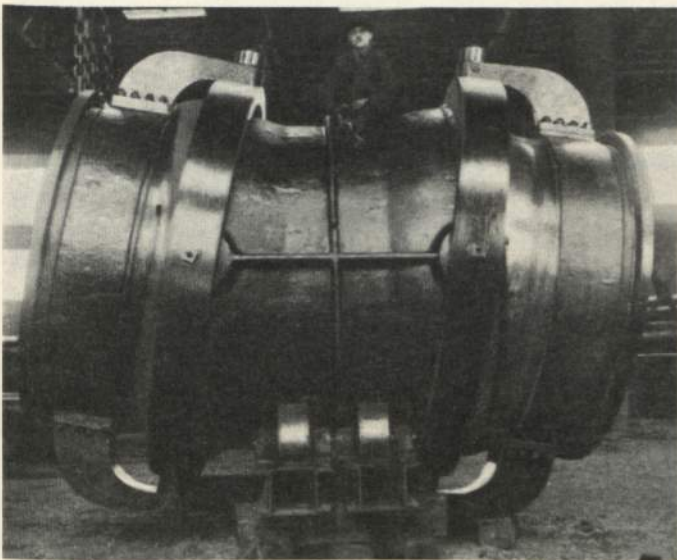
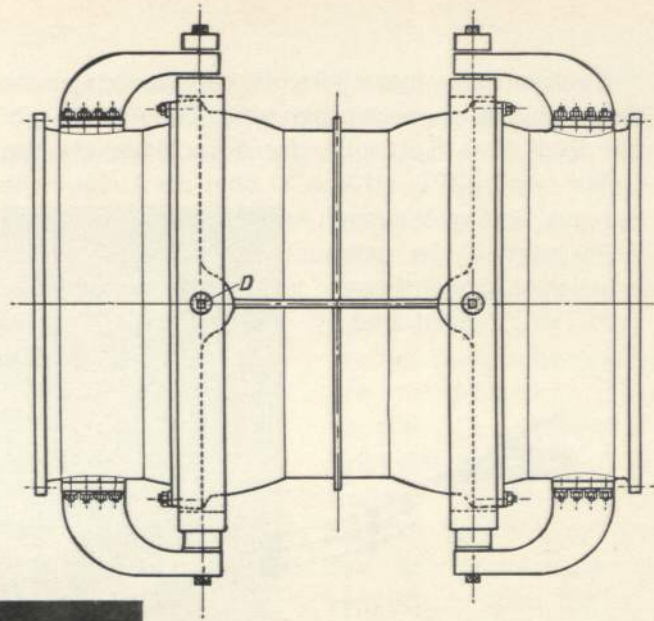


Abb. 30. Gelenkstück

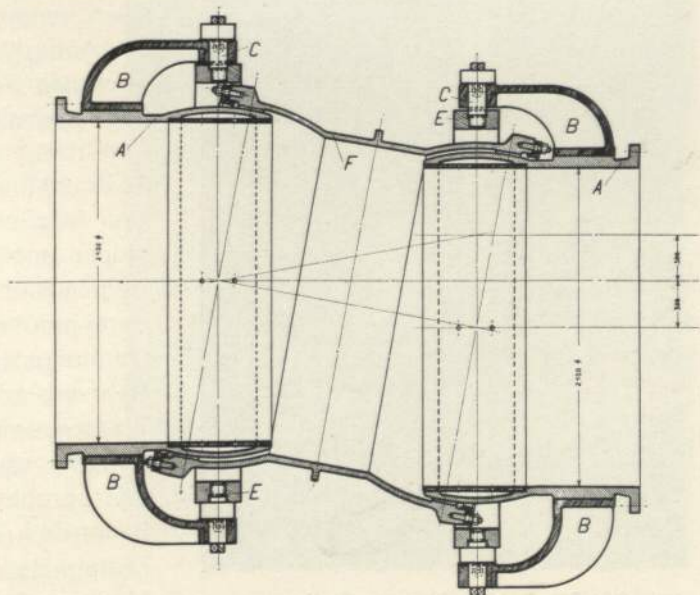


Abb. 31. Gelenkstück.

keit sorgen Dehnungsstücke, die bergabwärts an die Gelenkstücke angeschlossen sind. Die Abb. 30 gibt ein Bild über die Größe der Ausschläge, die das Gelenkrohr zuläßt und Abb. 31 über die Außenmaße der aus Stahlguß ausgeführten Vorrichtung. Diese Teile wurden hier gebracht, um zu zeigen, welche schwierige Sonderfragen im Kraftrohrleitungsbau zum Teil zu lösen sind.

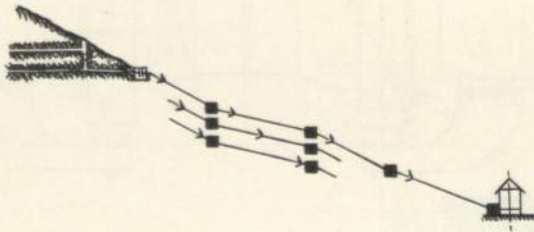


Abb. 32. Anordnung der Dehnungsstücke

F. Bauart und Verlegung der Rohrstränge

Die Rohrstränge können entweder aus längeren Stücken, von denen jedes für sich mit dem Boden an geeigneter Stelle fest verankert und mit dem folgenden durch ein Dehnungsstück verbunden ist,

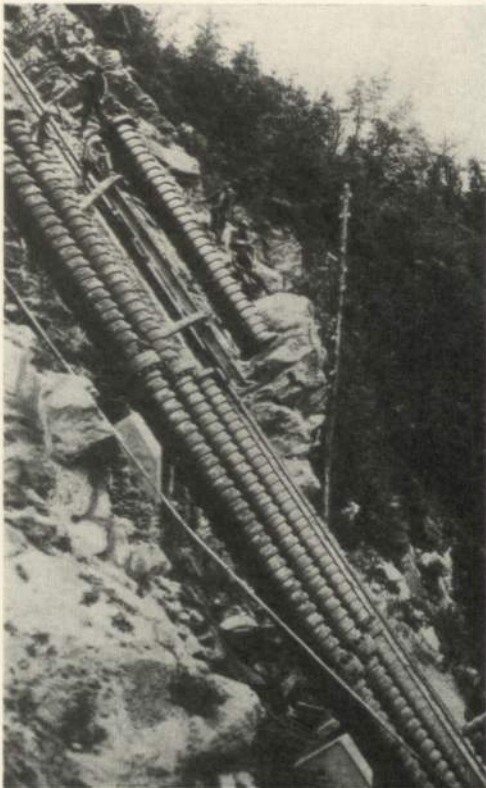


Abb. 34. Rohrleitung Venas (Italien)

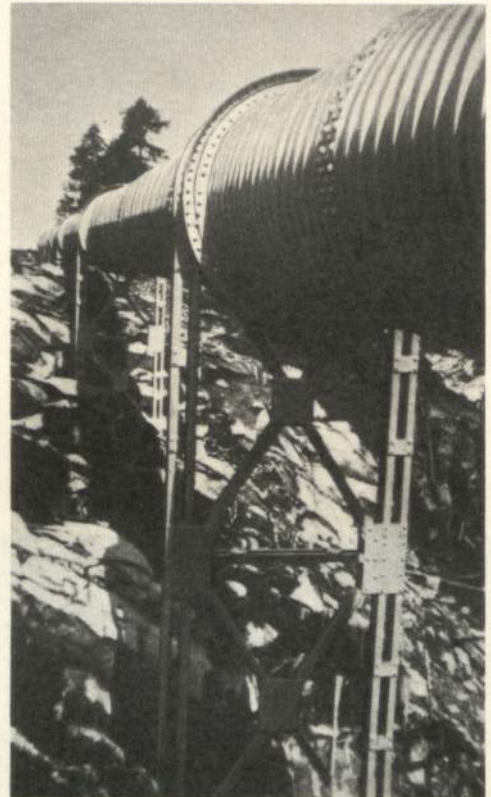


Abb. 33. Pendelstützen (Anlage Skjerka)

oder, ohne Dehnungsstücke, als ununterbrochener Rohrstrang, der am Wasserschloß und am Krafthaus fest mit dem Boden verbunden ist, aufgebaut werden. Bei der zuerst genannten Bauart, der nachgiebigen, lassen sich die Spannungen sicherer beherrschen; sie hat sich daher heute fast überall mit Ausnahme von Frankreich, wo die starre Bauart auch verwendet wird, durchgesetzt.

Meinungsverschiedenheiten bestehen bei der nachgiebigen Bauart zum Teil über den Platz der Dehnungsstücke, entweder unmittelbar unterhalb, unmittelbar oberhalb, oder in der Mitte zwischen zwei Festpunkten (vergl. Abb. 32). Ausgeführt wurden alle drei Möglichkeiten, die Anordnung der Dehnungsstücke unmittelbar unterhalb der Festpunkte ist die Regelausführung, weil die Leitungsmontage leichter durchgeführt werden kann, die Stopfbüchsen der Dehnungsstücke niedrigere Drücke erhalten, und die Rohrverbindungen nicht zusätzlich durch Rohr- und Wassergewicht auf Zug beansprucht sind. Die Rohre erhalten aber in der Längsrichtung eine Druckbeanspruchung, die bei guter Rohrlagerung unbedenklich ist. Das Dehnungsstück zwischen den Festpunkten läßt für gewisse Fälle eine raschere Montage der Leitung zu.

Die Verlegung der Leitungen, offen oder eingebettet, hängt von den örtlichen Verhältnissen ab. Bei felsigem, schwierigem Gelände ohne Steinschlag ist die offene Verlegung besonders angezeigt, da hier mit Pendelstützen erhebliche Vorteile erzielt werden können. Die

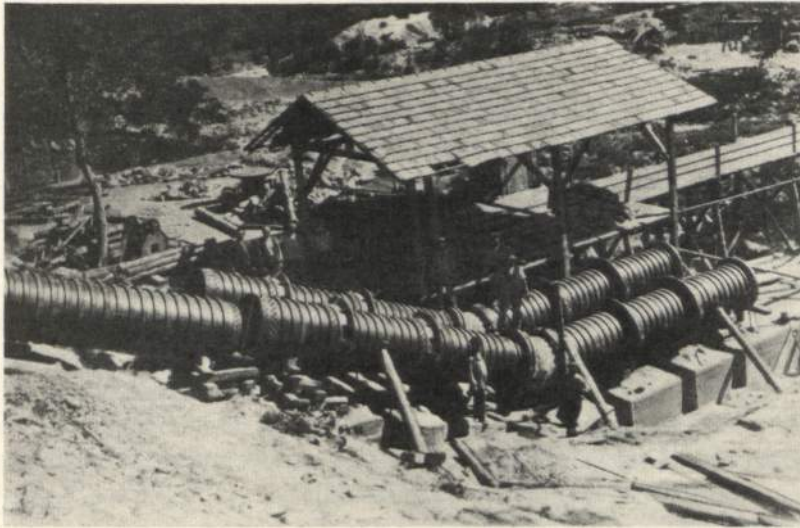


Abb. 35. Rohrleitung Ponale (Italien)

Rohrleitung abhängig ist und ausfällt, wenn sie einmal nachgesehen wird. Ansichten von der Montage einiger von Ferrum ausgeführter Kraftrohrleitungen mit Bandagenrohren sind in den Abbildungen 34 (Venaus, Italien), Abbildung 35 (Ponale, Italien), und Abbildung 36 (Fusenko, Japan) wiedergegeben. Die vier Rohrstränge der Fusenko-Rohrleitung wiegen zusammen rund 11 100 Tonnen.

G. Schlußbemerkungen

Durch die Steigerung der Leistungen und die Forderungen, Sonderaufgaben bei Kraftrohrleitungen zu befriedigen, wurden neue Rohrbauarten, neue Rohrverbindungen, neue Sonderteile usw. geschaffen. Die 1908 einsetzende Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen. Bis heute ist von den Neuschöpfungen an Rohren für Hoch- und Höchstgefälleleitungen das Bandagenrohr mit wassergasgeschweißtem Kernrohr und auf das unbearbeitete Kernrohr geschrumpften nahtlosen Bandagen führend, es wird auch weiter durch seine große Anpassungsfähigkeit und seine Betriebssicherheit seine Stellung behaupten. Die Ausbildung der Sonderteile ist noch nicht abgeschlossen, da immer wieder neue Aufgaben auftreten.

erste große von Ferrum ausgeführte Bandagenleitung auf Pendelstützen, Anlage Skjerka (Norwegen) zeigt Abb. 33.

Die Weiterentwicklung der Rohrbauarten zu Höchstleistungsrohren ermöglichte bei den neueren Anlagen die Rohrstranzahl zu vermindern, und den Rohrdurchmesser zu vergrößern, wodurch sowohl Leitungspreis wie Gefällsverluste sanken. Zu weit gegangen darf aber hier nicht werden, damit eine große Kraftzentrale nicht von einer einzigen



Abb. 36. Rohrleitung Fusenko (Japan)

Die Gleichgewichte im System $Li_2O-SiO_2-CO_2$

(Aus dem Institut für Chemische Technologie der Technischen Hochschule Breslau)

Von Carl Kröger und Ernst Fingas in Breslau

Für die Beurteilung der Vorgänge, die sich zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Phasen abspielen, ist die Kenntnis des das fragliche System beherrschenden Zustandsdiagramms unbedingt erforderlich. Solange für einen technischen Prozeß oder einen geologischen Vorgang diese Grundlage fehlt, wird man nie zu einer systematischen Beantwortung auftauchender Fragen gelangen können. Während nun für eine Reihe von technischen Prozessen die zugehörigen Zustandsdiagramme, ich erinnere hier an das Hochofendiagramm $Fe-C-O$, die Röstdiagramme für Zink, Blei usw., genügend erforscht sind, so ist dies keineswegs der Fall, für die dem Erschmelzen der Gläser zugrunde liegenden Systeme Alkalioxyd- $CaO-SiO_2-CO_2$, Systeme, deren Kenntnis auch zur Beantwortung vieler geologisch-mineralogischer Fragen wichtig ist.

Wir haben uns nun die systematische Bearbeitung der in diesen Systemen auftretenden Gleichgewichte zum Ziele gesetzt. Es ist verständlich, daß infolge der Kompliziertheit dieser Systeme eine solche Bearbeitung nur schrittweise erfolgen kann. Hier soll nun über die Ergebnisse berichtet werden, die wir an dem ternären System $Li_2O-SiO_2-CO_2$, insbesondere an dem Teilsystem $Li_2O-SiO_2-Li_2CO_3$ erhalten haben. Von den diesem ternären System zugrunde liegenden drei binären Systemen ist nur das System Li_2O-SiO_2 genauer bekannt. F. C. Kracek¹⁾ konnte nachweisen, daß sich aus den homogenen Schmelzen dieses Systems nur die Verbindung Li_2SiO_3 (Sp. 1201°) kongruent abschneidet, während $Li_2Si_2O_5$ und Li_4SiO_4 inkongruent bei 1036° und 1255° schmelzen. Die Eutektika liegen bei 1028 und 1024°. Das Eutektikum zwischen Li_2O (Sp. > 1625°) und Li_2CO_3 (Sp. 735°) berechnet sich nach der Formel von Kordes²⁾ zu ~726°. Die Dissoziation des Lithiumkarbonats tritt nach unsern früheren Untersuchungen³⁾ erst oberhalb seines Schmelzpunktes ein und weist dementsprechend bivalenten Charakter auf. Bei 1074° beträgt der anfängliche Dissoziationsdruck ~ 200 mm, um mit steigendem Li_2O -Gehalt der Schmelze bis auf 14 mm bei 20 Molprozent Li_2O abzusinken. Eine Sättigung der Schmelze an Li_2O war jedoch noch nicht erreicht.

Die Erfassung des ternären Systems erfolgt demnach am besten und einfachsten derart, daß man die bei der Einwirkung von SiO_2 auf Lithiumkarbonat auftretenden Gleichgewichte bestimmt. Versuche in dieser Richtung haben schon v. Wittorf und vor allem Niggli⁴⁾ unternommen. Sie hofften durch Bestimmung des Gewichtsverlustes, den eine homogene Schmelze bei Lösung bestimmter Quarzmengen erfährt, eine Klärung der den Umsetzungen zugrunde liegenden Gleichgewichte erreichen zu können. Niggli fand, daß bei 900° unter 1 Atm. CO_2 -Druck bei Zusatz von Quarz zu Li_2CO_3 -Schmelzen mindestens 2 Mole CO_2 pro Mol SiO_2 ausgetrieben werden. Mit fallenden SiO_2 -Mengen tendierte dieser Wert gegen 4 Mol CO_2 . Er glaubte daraus qualitativ auf das Vorliegen des Gleichgewichtes $Li_4SiO_4 + 2Li_2CO_3 = Li_8SiO_6 + 2CO_2$ schließen zu können; obgleich er selbst seine Versuche aus verschiedenen Gründen (Tiegelreaktion usw.) für fehlerhaft hält und quantitative Angaben vermeidet. Die Befunde von Wittorf stimmen dementsprechend auch nur qualitativ mit denen Niggli überein, insofern als auch er einen stärkeren Umsatz als einer Bildung von Li_4SiO_4 entspricht, findet. Unter 0,07 Atm. CO_2 bei ~ 950°⁵⁾ erhielt er einen

¹⁾ F. C. Kracek, J. phys. Chem. 34 (1930) 2641.

²⁾ Kordes, Z. f. anorg. u. allg. Chem. 154 (1926), 93, 168 (1927), 177.

³⁾ C. Kröger und E. Fingas, Z. f. anorg. u. allg. Chem. 213 (1933), 14.

⁴⁾ v. Wittorf, Z. f. anorg. u. allg. Chem. 39 (1904) 187. — Niggli, Z. f. anorg. u. allg. Chem. 84 (1914) 229, vgl. auch Literaturangaben bei C. Kröger und E. Fingas, Z. f. anorg. u. allg. Chem. 213 (1933) 12.

⁵⁾ Die Temp.-Angaben v. Wittorfs (800 und 900°) sind nach Niggli um 50–100° zu niedrig.

CO_2 -Verlust von 2,26 Mol/Mol SiO_2 , unter 1 Atm. CO_2 bei $\sim 850^\circ$ *) einen solchen von 2,06 Mol CO_2 . Die Messungen Niggli und v. Wittorf geben also nur einen ungefähren Anhalt über die im ternären System im Bereich der homogenen Schmelzen, also in dem stark basischen Teil des Systems stattfindenden Umsetzungen. Für das Erschmelzen der Gläser wichtiger ist die Kenntnis der Umsetzungen in den SiO_2 -reicheren und bei den fraglichen Temperaturen heterogenen Teilen des Systems.

Dazu war zunächst erforderlich, festzustellen, was sich eigentlich primär bei der Umsetzung von Lithiumkarbonat mit Quarz bildet, wann diese Umsetzung beginnt, ob sie zu einem Gleichgewicht führt und, wenn dies der Fall ist, ob dann ein stabiles Gleichgewicht vorliegt. Der experimentellen Prüfung der Frage standen drei Wege offen. Der erste Weg der analytischen Erfassung der Reaktionsprodukte weist infolge der noch unzureichenden Analysemethoden erhebliche Mängel auf. Die zweite Möglichkeit besteht in der Messung der thermischen Effekte, die bei den Umsetzungen auftreten, durch Aufnahme von Erhitzungs- und Abkühlungskurven, einer Methode, die von Tammann zur Untersuchung der Reaktionen im festen Zustand näher ausgebildet worden ist. Dieser und der dritte Weg der genauen manometrischen Erfassung⁶⁾ der Gleichgewichte ist von uns eingeschlagen worden. In diesem Zusammenhang von Interesse ist die Feststellung von Krause und Weyl⁷⁾ anlässlich ihrer Versuche mit *Na-Ba*-Karbonat-Kieselsäuregemischen, daß eine Untersuchung der Proben mittels Röntgenstrahlen keine nutzbringenden Auskünfte über die chemischen Vorgänge ergab.

Unsere Messung der sich an Gemischen von Lithiumkarbonat und Kieselsäure in den molaren Mischungsverhältnissen 2 : 1, 1 : 1 und 1 : 2 einstellenden Drucke hat nun gezeigt, daß sich unabhängig vom Mischungsverhältnis konstante Enddrucke einstellen, deren Temperaturabhängigkeit die Kurve a der Abbildung 1 gibt. Die Umsetzung erfolgt also immer zu ein und demselben Silikat, dem Metasilikat, wie wir zeigen konnten. Dagegen ist die Geschwindigkeit der Druckeinstellung vom Mischungsverhältnis abhängig.

Die primäre Einwirkung von Quarz auf Lithiumkarbonat folgt also der Gleichung $Li_2CO_3 + SiO_2 = Li_2SiO_3 + CO_2$. Die Frage nach der Stabilität des Gleichgewichtes läßt sich nur auf Grund der inversen Reaktion prüfen. Nur wenn sich dabei dieselben Enddrucke einstellen, liegt ein stabiles Gleichgewicht vor.

Die Einwirkung von CO_2 auf Li_2SiO_3

Das Lithiummetasilikat wurde durch Sintern eines äquimolekularen Gemisches von SiO_2 und Li_2CO_3 bei 850° mit folgendem Einschmelzen bei 1200° nach dem Abkühlen kristallin erhalten.

Nach dem Einfüllen von 1 g Li_2SiO_3 in die Manometerapparatur wurde ein Feuchtigkeitsdruck von 10 mm bei 400° abgepumpt und darauf bei ungefähr 470° 967 mm CO_2 vorgelegt. Eine CO_2 -Aufnahme fand noch nicht statt, ein Beweis dafür, daß trotz des flachen Schmelzmaximums die Dissoziation des Li_2SiO_3 in der Schmelze bei der Kristallisation restlos rückgängig gemacht worden war. Die dann bei $\sim 500^\circ$ einsetzende Absorption der Kohlensäure beruht also auf ihrer Bindung durch Li_2SiO_3 . Aus der Kurve 1, Abbildung 2 ist zu ersehen, daß diese CO_2 -Aufnahme bei einem Druck von 722 mm bei 545° nach 330 Stunden zum Stillstand kommt. Danach wurde die Temperatur auf 490° erniedrigt, der CO_2 -Druck abgezogen. Es stellten sich dann folgende Drucke ein.

t°	p mm	Einstellungsdauer in Std.	Konstanz Std.	Bemerkungen
490	21	120	24	
510	31	96	24	Druck abgezogen

*) C. Kröger und E. Fingas, Z. f. anorg. u. allg. Chem. 212 (1923) 270, 213 (1933) 14.

7) Krause und Weyl, Z. f. anorg. u. allg. Chem. 163 (1927) 355.

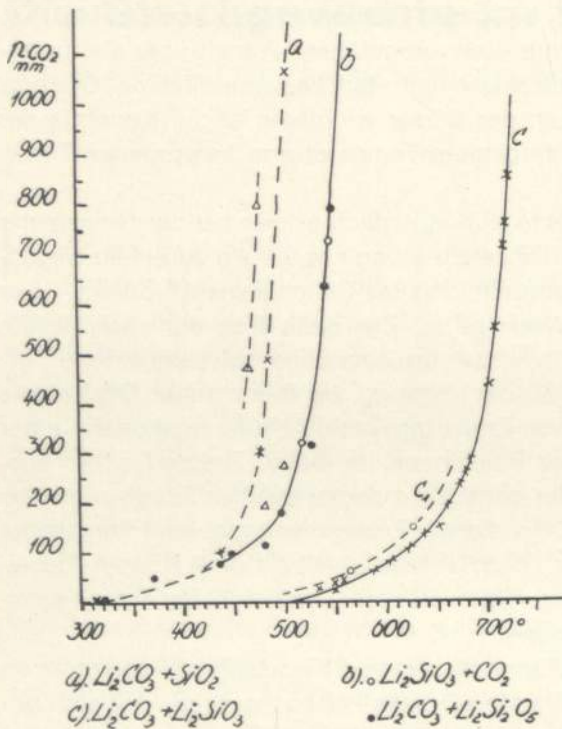


Abb. 1

Es wird also nicht die gesamte aufgenommene CO_2 -Menge abgegeben, sondern bemerkenswerterweise stellen sich nur die Drucke der Umsetzung von Li_2SiO_3 mit Li_2CO_3 ein (vergl. Kurve c, Abb. 1).

Jetzt wurden noch bei 515° ein CO_2 -Druck von 365 mm vorgelegt. Die eintretende Absorption gibt die Kurve 2, Abbildung 2. Die Absorption kommt nach etwa 300–330 Stunden bei einem Druck ~ 317 mm zum Stehen.

Die beiden Endpunkte, bei denen die CO_2 -Absorption bei 545° und 515° zum Stehen kommt, sind als Kreise in der Abb. 1 eingezeichnet. Diese Drucke fallen auf die Kurve b, die also das stabile Gleichgewicht wiedergibt und auf die im folgenden noch näher eingegangen wird. Die Drucke der Kurve a gehören demnach einem instabilen Gleichgewicht an, dessen Einstellung nur dadurch gegeben ist, daß die inverse Reaktion der CO_2 -Aufnahme bei den vorliegenden Temperaturen so überaus langsam erfolgt.

Die Einwirkung von $Li_2Si_2O_5$ auf Li_2CO_3

Nach F. C. Kracek besitzt Lithiumdisilikat gerade keinen kongruenten Schmelzpunkt mehr. Es zerfällt bei 1033° in viel Schmelze und wenig Lithiummetasilikatkristalle, die bei 1035° verschwinden. Zur Herstellung des $Li_2Si_2O_5$ wurden daher SiO_2 und Li_2CO_3 im Molverhältnis 2 : 1 bei 1000° , also dicht unterhalb der Temperaturhorizontalen des monovarianten Zerfallsgleichgewichtes, getempert. Durch Analyse^{*)} konnte keine freie Kieselsäure mehr nachgewiesen werden.

Mit Li_2CO_3 im Molverhältnis 1 : 1 gemischt ergab dies $Li_2Si_2O_5$ nach dem Abpumpen des ersten bei 400° sich einstellenden Druckes nach 148 Stunden einen Druck von 467 mm bei 465° , der jedoch in den nächsten 15 Stunden auf 222 mm zurückging. Bei einer zweiten Einwage (0,75 g $Li_2Si_2O_5$ + 0,37 g Li_2CO_3) zeigte sich dieselbe Erscheinung. Nach dem Abpumpen des ersten Druckes bei 400° ergab sich bei 465° in 212 Stunden ein Druck von 468 mm (vergl. Abb. 1). Dieser wurde abgepumpt, die Temperatur auf 478° erhöht. Nach 120 Stunden hatte sich ein Druck von 796 mm eingestellt, der in den nächsten 40 Stunden auf 477 mm, in weiteren 24 Stunden auf 429 mm fiel und dann 8 Stunden konstant blieb. Nach Evakuieren stellte sich innerhalb 75 Stunden ein Druck von 195 mm ein, nach nochmaligem Evakuieren bei 500° ein Druck von 270 mm in 312 Stunden. Bei weiter steigenden Temperaturen ergaben sich nach dem Abpumpen Drucke, die dem Meta-Orthosilikat-Gleichgewicht entsprechen (Kurve c, Abb. 1).

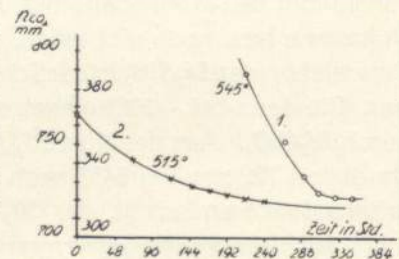


Abb. 2

Um nun zu einem einheitlichen Disilikat (gesättigtem Mischkristall) zu gelangen, wurde von vornherein dem Karbonat-Kieselsäure-Gemisch 1 : 2 10% Li_2CO_3 mehr zugegeben (1,6277 g Li_2CO_3 , 2,412 g SiO_2) und 20 Stunden bei 1000° getempert. Dabei wurden 0,8547 g CO_2 entbunden, gegenüber 0,968 g im eingewogenen Karbonat. Nach dem Verreiben der Substanz und weiterem 20stündigem Erhitzen bei 1000° war die Kohlensäure vollständig entbunden.

*) Vgl. Treadwell, Analytische Chemie II, 1927, S. 435.

Das so hergestellte $Li_2Si_2O_5$ ergab mit Li_2CO_3 im Molverhältnis 1 : 1 gemischt die folgenden Drucke, nachdem bei 200° ein erster Druck von 20 mm 5 Minuten abgepumpt worden war (vergl. Kurve b, Abb. 1).

t°	p mm	Einstellungsdauer in Std.	Konstanz Std.	Bemerkungen
318	10	2		
370	50	72	24	
445	90	48	24	
495	174	72	18	
540	633	378	18	Das lockere Substanzpulver neu verrieben
435	70	24	6	
550	784	402	48	Temperatur erniedrigt
(465	784	6	—)	Druck abgezogen
520	309	440	24	

Die Drucke sind also nach zweimaligem Einstellen und Absaugen von 1 Atm. CO_2 -Druck noch reproduzierbar. Um Aufschluß über das entstehende Reaktionsprodukt zu erhalten, wurde so lange bei ungefähr 600° CO_2 abgebaut, bis der sich einstellende Druck erheblich hinter dem der Kurve b, Abbildung 1 zurückbleibt. Das war, wie die folgende Fortsetzung der Tafel zeigt, nach zweimaligem CO_2 -Entzug bei 590° und 620° erreicht.

t°	p mm	Einstellungsdauer in Std.	Konstanz Std.	Bemerkungen
590	913	28	nicht eingestellt	abgepumpt, Substanz: lockeres Pulver
620	864	72	nicht eingestellt	abgepumpt
480	111	96	24	entspricht noch Kurve b, Fig. 1
625	189	40		Druck bleibt merklich hinter der Kurve b zurück
570	140	3		Reversibel
690	310	4	$\frac{1}{2}$	Es stellt sich ein Druck der Kurve c, Fig. 1 ein, abgepumpt.

Die Substanz war gesintert, es hat sich also eine gewisse Menge Schmelze gebildet. Alles Karbonat ist verbraucht, mit HCl erfolgt keine CO_2 -Entwicklung mehr. Die Substanz wird erneut mit 1 Mol Lithiumkarbonat verrieben. Mit weiter steigenden Temperaturen werden dann folgende, sich rasch einstellende und reproduzierbare Drucke erhalten, die der Umsetzung von Li_2SiO_3 zu Li_4SiO_4 (vergl. Kurve c, Abb. 1) entsprechen⁹⁾.

⁹⁾ Vgl. C. Kröger und E. Fingas, Z. f. anorg. u. allg. Chem. 213 (1933) 21.

t°	p mm	Einstellungsdauer in Std.	Konstanz Std.	Bemerkungen
706	342	7	nicht eingestellt	Temperatur erniedrigt
655	178	20	1	Druck abgezogen
665	201	5	1	
710	498	18	2	

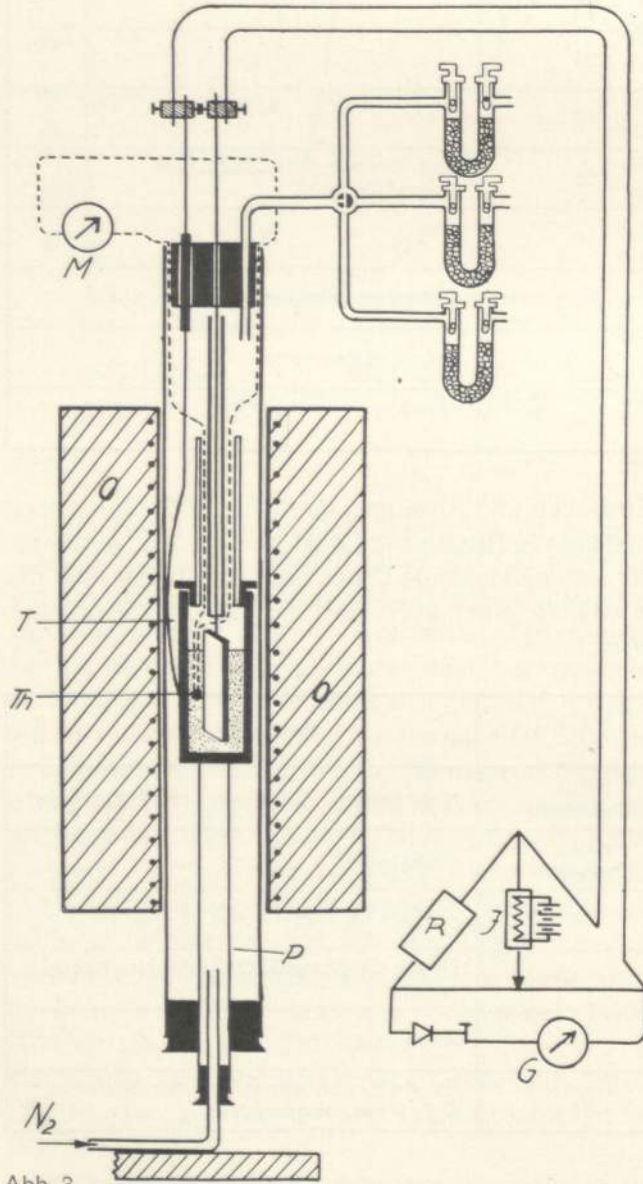


Abb. 3

Die Reaktionen im festen Zustand

Bei den Umsetzungen $Li_2CO_3 + SiO_2 = Li_2SiO_3 + CO_2$ und $Li_2Si_2O_5 + Li_2CO_3 = 2 Li_2SiO_3 + CO_2$ bleibt das Substanzgemisch ein lockeres Pulver, das nur infolge der Reaktion etwas zu-

¹⁰⁾ W. Weyl, Glastechnische Berichte 9 (1931) 650.

Die Substanz ist stark zusammengesintert, es mußte also ein erheblicher Anteil flüssiger Schmelze vorgelegen haben.

Bei der Umsetzung von Lithiumdisilikat mit Lithiumkarbonat werden also die Drucke der Kurve b, Abb. 1 erhalten. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist etwa von gleicher Größenordnung, wie die von Quarz mit Karbonat. Der Umsatz erfolgt im Molverhältnis $Li_2CO_3 : Li_2Si_2O_5$ wie 1 : 1, da bei dem Übergang von den höheren Drucken der Kurve b zu denen der Kurve c das erstmalig zugesetzte Li_2CO_3 verbraucht ist.

Da nun die Absorption von CO_2 durch Li_2SiO_3 auch bei den Druckwerten der Kurve b haltmacht, so scheint die Gleichung $Li_2Si_2O_5 + Li_2CO_3 = 2 Li_2SiO_3 + CO_2$ das stabile Gleichgewicht wiederzugeben, es sei denn, daß nicht noch ein SiO_2 -reicheres Silikat vorliegt. Messungen, die hierüber Aufschluß geben sollen, sind gegenwärtig noch nicht abgeschlossen.

Es mag noch darauf hingewiesen werden, daß W. Weyl¹⁰⁾ beim Behandeln von Li_2SiO_3 mit CO_2 unter 751 Atm. Druck bei 1250⁰ nur eine CO_2 -Aufnahme von 0,2% erhielt. Diese Tatsache wird nun auf Grund der Lage der Kurve b, Abbildung 1 verständlich.

sammenbackt. Flüssige Phasen treten dabei nicht auf. Um dies zu zeigen, wurden noch von Gemischen von Lithiumkarbonat und Kieselsäure sowie von den Einzelkomponenten Erhitzungskurven unter gleichzeitiger Messung des elektrischen Widerstandes aufgenommen. Es war zu erwarten, daß die Bildung von flüssiger Phase sich durch eine starke Abnahme des Widerstandes auf einen konstanten Wert bemerkbar machen würde. Die Versuchsanordnung gibt die Abb.3 wieder. Der Nickeltiegel T (Durchmesser innen 16, außen 22 mm, Länge 65 mm) mit dem Substanzgemisch befindet sich innerhalb eines Rohres aus innenglasiertem Porzellan inmitten eines elektrischen Ofens O (Heizraum 40 mm Durchmesser, 400 mm Länge), ruhend auf einem zweiten Porzellanrohr P, das gleichzeitig zum Einleiten eines Stickstoffstromes dient. Die entwickelte Kohlensäure wird durch diesen Stickstoffstrom durch drei gewogene Natronkalk-U-Rohre geleitet, die nacheinander eingeschaltet werden. Aus ihrer Gewichtszunahme kann damit der bis zu gewissen Zeiten eingetretene Umsatz bestimmt werden. Die Temperaturmessung erfolgte mit dem in der Substanz liegenden Thermoelement Th. Zur Messung des elektrischen Widerstandes war noch inmitten der Substanz eine Nickelplatte (10 mm Breite, 35 mm Länge, 3 mm Dicke) als zweite Elektrode eingebaut. Der Widerstand, der zwischen Tiegelwand und Platte sich befindlichen Substanz wurde dann in einer Brückenschaltung mit Detektor und Galvanometerablesung ermittelt. Die Messung erfolgte derart, daß beim Anheizen mit einem konstanten Strom alle zwei Minuten der Zeigerausschlag des Millivoltmeters M und die Brückennullstellung abgelesen wurden. Die Ablesungen wurden dann auf Temperatur und reziproke Ohm umgerechnet. In der Abbildung 4 gibt Kurve 1 die Erhitzungskurve des Ofens (Tiegel mit Quarz gefüllt), Kurve 2 die des reinen Li_2CO_3 und Kurve 3 die eines Gemisches von 1 Li_2CO_3 zu 1 SiO_2 . Wie man sieht, liegt ein deutliches Abknicken der Kurve 2 und 3 gegenüber 1 bei etwa 700° vor, hervorgerufen durch das Schmelzen des Karbonates. Die Reaktion selbst macht sich durch keinen Knick auf der Kurve 3 bemerkbar. Die Kurven 4 und 5 geben die reziproken Werte der gemessenen Widerstände, Kurve 4 für Li_2CO_3 und für das Gemisch 1 Li_2CO_3 : 1 Li_2SiO_3 , Kurve 5 für das Gemisch 1 Li_2CO_3 : 1 SiO_2 . Eine starke Abnahme des Widerstandes tritt in allen Fällen erst bei Temperaturen oberhalb 600° ein. Der konstante Wert für die Karbonatschmelze wird beim Li_2CO_3 und $\text{Li}_2\text{CO}_3 - \text{Li}_2\text{SiO}_3$ -Gemisch bei 730° erreicht. Der Schmelzpunkt des Karbonats beträgt 735° , der Schmelzbeginn läßt sich also auf diese Art gut festlegen. Beim Gemisch $\text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{CO}_3$ wird der konstante Wert schon bei 700° erreicht. Bei dieser Temperatur tritt also die Bildung eutektischer Schmelze ein. Da der Umsatz schon bei 679° 13% erreicht hat, so beweist dies auch, daß die Einwirkung von SiO_2 auf Li_2CO_3 im festen Zustand vor sich geht. Trotzdem der CO_2 -Druck dieser Reaktion bei 550° schon 1 Atm. erreicht, wird infolge des geringen Reaktionsgeschwindigkeit bis 585° nur 1,58% umgesetzt. Dementsprechend ist er auch weiter nicht verwunderlich, wenn die Reaktion nicht durch einen Knick auf der Erhitzungskurve merklich ist.

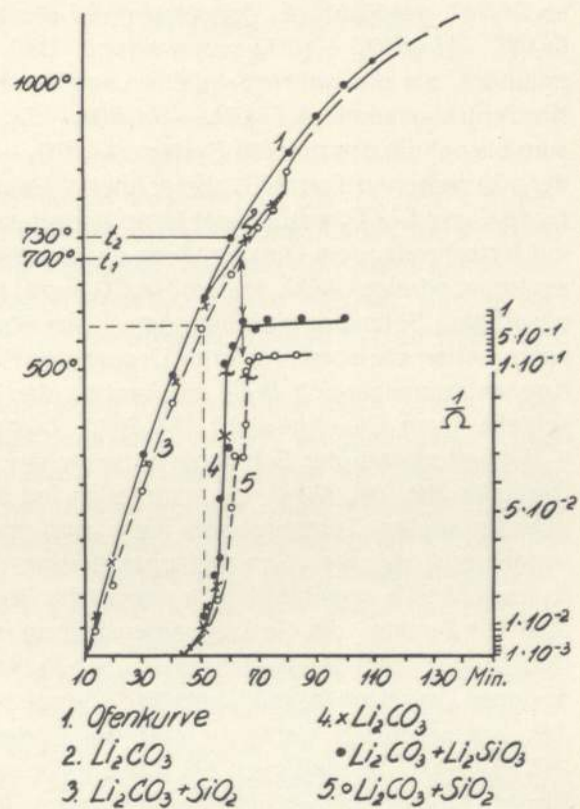


Abb. 4

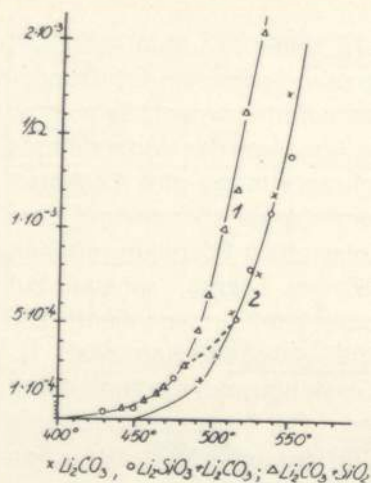


Abb. 5

Dagegen ruft dieser geringe Umsatz schon eine merkliche Erhöhung des Leitvermögens des Gemisches 1 Li_2CO_3 : 1 SiO_2 gegenüber dem des reinen Li_2CO_3 oder des Gemisches 1 Li_2CO_3 : 1 Li_2SiO_3 hervor, wie aus den beiden Kurven der Abb. 5 hervorgeht, die die Änderung des Leitvermögens von Li_2CO_3 , $Li_2SiO_3 + Li_2CO_3$ (Kurve 2) und $Li_2CO_3 + SiO_2$ (Kurve 1) im Temperaturgebiet zwischen 400 bis 600° wiedergibt. Der Widerstand des Quarzes ist hier noch so groß, daß er in unserer Meßanordnung noch nicht bestimmbar war.

Beim $Li_2SiO_3 + Li_2CO_3$ -Gemisch trat der erste Umsatz von 6,85% im Temperaturgebiet von 648°—758°, also mit dem Schmelzen des Karbonates ein. Dementsprechend zeigt auch die Leitfähigkeitskurve dieses Gemisches den gleichen Verlauf wie die des reinen Li_2CO_3 .

Die Reaktionen unter Mitwirkung flüssiger Phasen

Wie schon erwähnt, treten bei der Einwirkung von Li_2CO_3 auf Li_2SiO_3 Schmelzerscheinungen auf. Trotzdem sind die Drucke der Kurve *c*, Abbildung 1, reversibel und reproduzierbar. Das verlangt, daß die an der Reaktion beteiligte Karbonatschmelzphase sowohl an Li_2SiO_3 , als auch an Li_4SiO_4 gesättigt ist. Denn nur unter diesen Bedingungen ist das Gleichgewicht $[Li_2SiO_3] + Li_2CO_3 = [Li_4SiO_4] + (CO_2)$ monovariant. Daß das in der Tat der Fall ist, mag die Abbildung 6 erläutern, die die wahrscheinliche Lage der Kurven für die doppelt gesättigten Schmelzen im Konzentrationsdreieck $Li_2CO_3 - Li_2SiO_3 - Li_4SiO_4$ wiedergibt. Die eutektischen Temperaturen sind bis auf die des binären Systems $Li_4SiO_4 - Li_2SiO_3$, die experimentell bestimmt ist, auf Grund der Kordesschen Formel¹¹⁾ berechnet. Geht man also vom äquimolekularen Verhältnis von Li_2SiO_3 und Li_2CO_3 aus, (Punkt H) so ändert sich die Zusammensetzung des Reaktionsproduktes mit fortschreitendem Umsatz längs der Graden HA. Diese Grade durchschneidet erst das Konzentrationsdreieck BCG_1 , in dem $[Li_2CO_3]$ und $[Li_2SiO_3]$ im Gleichgewicht mit der ternären zweifach gesättigten Schmelze sich befinden. Dies Gleichgewicht ist zwischen ~500—662° möglich, ihm entsprechen die etwas höheren Drucke der Kurve *c*₁, Abbildung 1, jedoch wird der zugehörige Konzentrationsbereich BCG_1 mit wachsender Temperatur immer kleiner, da G_1 gegen F sich verschiebt. Dem Gleichgewicht $[Li_4SiO_4]$, $[Li_2SiO_3]$ + doppelt gesättigter Schmelze entsprechen die Dreiecke AG_1 (G_2 , G_3) C, die sich auch mit 500° übersteigenden Temperaturen mehr und mehr verkleinern, da die Schmelzkonzentration von G_1 nach D sich verschiebt. Wie man sieht, liegen aber die Punkte, die die Zusammensetzung des Reaktionsgemisches wiedergeben, schon nach geringen Umsätzen (etwa 5%) bei 500° übersteigenden Temperaturen stets innerhalb des Dreiecks AG_1 (G_2) (G_3) C, so daß auch bei fortschreitendem Umsatz im gemessenen Temperaturbereich stets an Li_2SiO_3 und Li_4SiO_4 gesättigte Schmelze und damit das oben formulierte monovariante Gleichgewicht vorliegt. Dem bis zur Sättigung an Li_4SiO_4 bivalenten Gleichgewicht entsprechen dann die Drucke zwischen den Kurven *c*₁ und *e* der Abbildung 1.

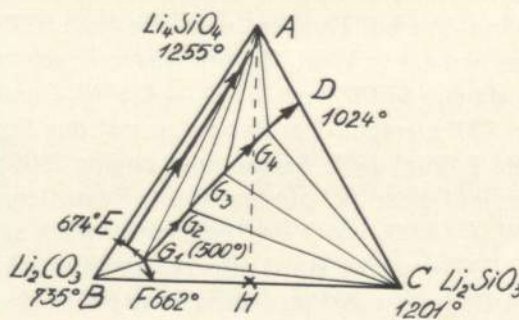


Abb. 6

¹¹⁾ E. Kordes, l. c.

Die Einwirkung von Li_2CO_3 auf Li_4SiO_4

Li_4SiO_4 schmilzt inkongruent bei 1255° . Dargestellt wurde es von uns durch ungefähr 40 stündiges Tempern eines fein gepulverten, innigst verriebenen Gemisches von 1 Mol SiO_2 mit 2 Molen Li_2CO_3 bei 650 bis 700° im Pt-Tiegel, so daß alle Kohlensäure entbunden ist. Tempert man nun ein so hergestelltes Li_4SiO_4 mit Li_2CO_3 , (1 : 1) bei 850° , so schmilzt das Gemisch ein. Der CO_2 -Verlust beträgt nach 16 Stunden 50 Molprozent, bei weiterem 20 stündigem Tempern bei derselben Temperatur tritt nur noch Sinterung ein, bei nochmaligem Verreiben und Tempern bleibt die Substanz ein lockeres Pulver, das bei etwa 1000° schmilzt. Eine weitere CO_2 -Abspaltung fand dabei in nennenswerterweise (ungefähr 2%) nicht mehr statt. Li_4SiO_4 reagiert also in Übereinstimmung mit den Befunden von Niggli und v. Wittorf (siehe oben) ebenfalls mit Li_2CO_3 .

In der Druckapparatur wurden nun an diesem so erhaltenen Produkt folgende Drucke beobachtet:

t°	800	890	1000
p mm	16	6	33

Diese Drucke nach 50%igem Abbau sind also erheblich niedriger, als die von uns¹²⁾ früher bei der Einwirkung von Li_2CO_3 auf Li_4SiO_4 in mehreren Versuchen beobachteten, deren Temperaturabhängigkeit durch die Kurve *d* in Abbildung 7 gegeben ist. Um nun einen genaueren Aufschluß über die bei dieser Umsetzung vorliegenden Bedingungen zu erhalten, wurden die bei der Einwirkung von Li_2CO_3 auf Li_4SiO_4 in Abhängigkeit von Umsetzungsgrad sich einstellenden Drucke bestimmt.

Zum besseren Verständnis der erhaltenen Resultate sei jedoch vorerst noch kurz auf das wahrscheinlich vorliegende Schmelzdiagramm Li_2CO_3 - Li_8SiO_6 - Li_4SiO_4 eingegangen. Liegt neben Li_2CO_3 und Li_4SiO_4 nur noch die Verbindung Li_8SiO_6 vor, dann würde ein Diagramm wie es die Abbildung 8 darstellt, die Verhältnisse schematisch wiedergeben. Die stark ausgezogenen Kurven geben die Zusammensetzung der doppelt gesättigten Schmelzen wieder, die schwachen Kurven die Isothermen. Ein Reaktionsgemisch $1 \text{Li}_2\text{CO}_3 + 1 \text{Li}_4\text{SiO}_4$ würde seine Zusammensetzung mit steigendem Umsatz dann auf der Geraden *DE* ändern. Wie man sieht, gelangt man auf dieser Geraden stets, auch bei höheren Temperaturen, in die Dreiecke AC_1 (C_2 C_3 ...) *B*, die dem Gleichgewicht $[\text{Li}_4\text{SiO}_4]$, $[\text{Li}_8\text{SiO}_6]$ mit gesättigter Schmelze entsprechen, d. h. man müßte bei steigendem Umsatz auch bei höheren Temperaturen, nachdem zuerst tri- und bivariate Gleichgewichte aufgetreten sind, zu Druck eines monovarianten Gleichgewichtes gelangen.

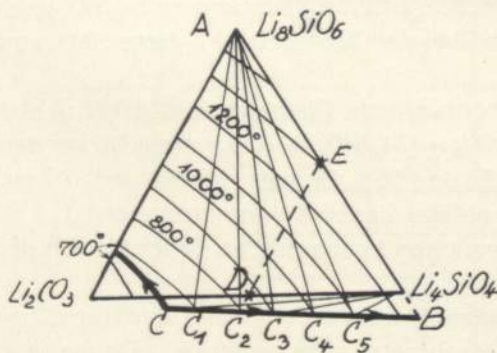
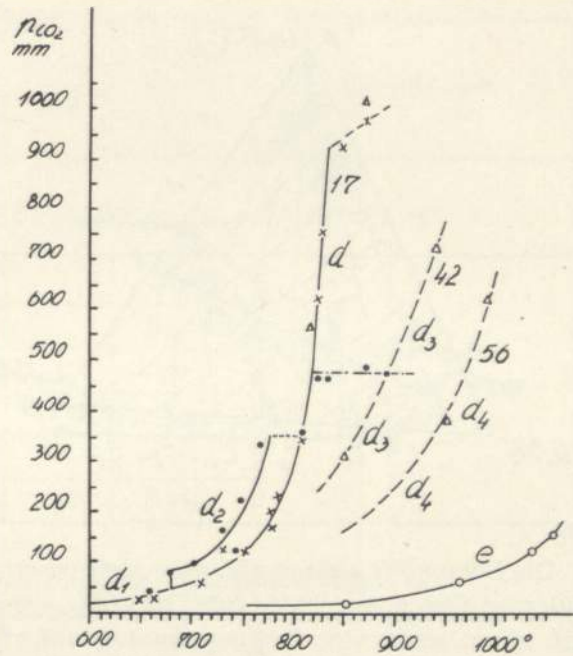


Abb. 8



d). $\text{Li}_4\text{SiO}_4 + \text{Li}_2\text{CO}_3$
e). $\text{Li}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Li}_2\text{O} + \text{CO}_2$

Abb. 7

¹²⁾ C. Kröger und E. Fingas, Z. f. anorg. u. allg. Chem. 213 (1933) 24.

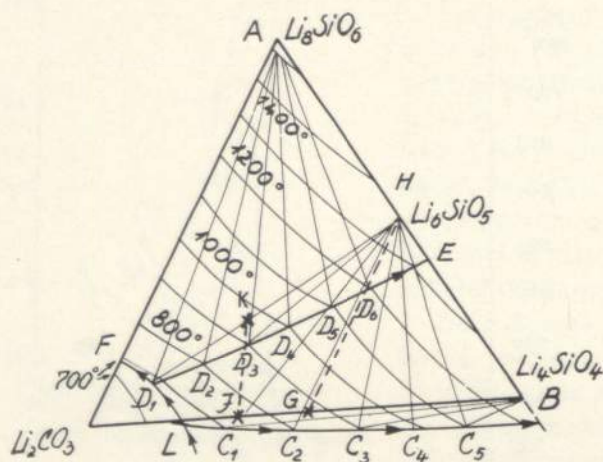


Abb. 9

Die Gerade GH verläuft entweder stets innerhalb der Dreiecke $HC_1(C_2C_3 \dots)B$, die dem monovarianten Gleichgewicht $[Li_4SiO_4] + [Li_6SiO_5] +$ gesättigter Schmelze entsprechen oder aber oberhalb einer bestimmten Temperatur stets außerhalb dieser Dreiecke. Im letzteren Falle verläuft GH zuerst im Gebiet der homogenen Schmelzen, bis sie die Sättigungskurven an Li_6SiO_5 ($D_3C_3, D_4C_4 \dots$) schneidet. Man wird in diesem Falle also erst ein tri-, dann ein divariantes Gleichgewicht beobachten.

In der Tat wurden an einem solchen Gemisch $Li_4SiO_4 : Li_2CO_3$ 1 : 1 bis zu 675° (der eutektischen Schmelztemperatur L , Abb. 9) reproduzierbare Drucke beobachtet (vergl. Kurve d_1 , Abb. 7), die demnach dem monovarianten Gleichgewicht $[Li_2CO_3] + [Li_4SiO_4] = [Li_6SiO_5] + (CO_2)$ angehören. Oberhalb $675-780^\circ$ etwas höhere reproduzierbare Drucke eines andern monovarianten Gleichgewichtes (vergl. Kurve d_2 , Abb. 7) die der Umsetzung $[Li_4SiO_4] + Li_2CO_3 = [Li_6SiO_5] + (CO_2)$ (vergl. Dreieck $HC_1(C_2 \dots)B$ Abb. 9) entsprechen. Nach dem Überschreiten von $\sim 780^\circ$ nimmt der Druck kaum mit weiter steigender Temperatur zu, d. h., es liegt ein trivariantes Gleichgewicht vor, bis mit steigendem Umsatz die Drucke des bivalenten Gleichgewichtes $Li_4SiO_4 + Li_2CO_3 = [Li_6SiO_5] + (CO_2)$ [vergl. Dreieck $HD_3(D_4 \dots)C_3(C_4 \dots)$] sich einstellen. Diese Drucke geben die Kurven d, d_3, d_4 Abb. 7 für 17-, 42- und 56%igen Umsatz wieder.

Gelangt ein Gemisch $Li_4SiO_4 : Li_2CO_3$ 1 : 2 zum Umsatz, dann gibt die Gerade IK die Änderung der Zusammensetzung während der Reaktion wieder. Oberhalb 700° bewegt sich diese Gerade stets außerhalb der Dreiecke $HC_1(C_2 \dots)B$, dementsprechend beobachtet man auch nicht die reproduzierbaren Drucke des zugehörigen monovarianten Gleichgewichtes. Dafür erhält man in einem kurzen Temperaturintervall Drucke der Kurve d , Abbildung 7 (vergl. die folgende Tafel), d. h. es liegt mit steigender Temperatur zuerst noch Sättigung an Li_6SiO_5 vor. Bei Temperaturen oberhalb $\sim 770^\circ$ ist das Gleichgewicht aber trivariant. Bei 825° tritt die Sättigung an Li_6SiO_5 nach ungefähr 27%igem Umsatz (vergl. die Tafel) ein, während bei dem Gemisch 1 : 1 diese Sättigung schon bei 17%igem Umsatz erreicht worden war.

Nach 50%igem Umsatz (1 : 2) müßte bei 825° das monovariante Gleichgewicht AD_2H , Abbildung 9, entsprechend der Umsetzung $[Li_6SiO_5] + Li_2CO_3 = [Li_8SiO_6] + (CO_2)$ erreicht werden. Damit in Übereinstimmung würde stehen, daß die bei 52 und 55% Umsatz mit 158 und 147 mm bei 825 und 820° beobachteten Drucke (vergl. Tafel) ungefähr dieselbe Höhe erreichen.

Die folgende Tafel gibt nun die in verschiedenen Versuchen beobachteten Drucke, nach den verschiedenen Gleichgewichten geordnet, wieder.

Die sich bei der Einwirkung von Li_2CO_3 auf Li_4SiO_4 einstellenden Verhältnisse sind also durch die teils gesättigte, teils ungesättigte Natur der Karbonatschmelze sehr verwickelt. Daher ist es auch nicht möglich, die genaue Formel des sich bildenden höheren Lithiumsilikates festzulegen.

Dies konnte jedoch nicht beobachtet werden. Es muß sich also bei der Einwirkung von Li_2CO_3 auf Li_4SiO_4 noch eine andere Verbindung, höchstwahrscheinlich Li_6SiO_5 bilden. Die dann vorliegenden Verhältnisse gibt die Abbildung 9 schematisch wieder, unter der Annahme, daß auch das Li_6SiO_5 inkongruent schmilzt. Die stark ausgezogenen Kurven geben wieder die doppelt gesättigten Schmelzen, die schwachen Kurvenzüge die Isothermen. Die gestrichelten Linien GH und IK geben die Änderung in der Zusammensetzung, die ein Gemisch 1 Li_4SiO_4 : 1 Li_2CO_3 (GH) und ein Gemisch 1 Li_4SiO_4 : 2 Li_2CO_3 (IK) mit steigendem Umsatz erfährt.

Vers. Nr.	$Li_2CO_3 : Li_4SiO_4$	t°	p mm	Zeit Std.	Konst. Std.	Umsatz Mol % Li_6SiO_5	Bemerkungen
Das monovariante Gleichgewicht $[Li_2CO_3] + [Li_4SiO_4] = [Li_6SiO_5] + (CO_2)^{-1}$							
1	1 : 1	630	21	5	—	Beginn	Reversibel und reproduzierbar
		660	42	15	—	Beginn	
		640	35	24	—	19%	
2	1 : 1	660	40	15	—	5%	
4	2 : 1	608	9	15	—	Beginn	
		670	50	23	20	4%	
Das monovariante Gleichgewicht $Li_2CO_3 + [Li_4SiO_4] = [Li_6SiO_5] + (CO_2)^{-1}$							
1	1 : 1	680	85	6	3	Beginn	Reversibel und reproduzierbar
		705	101	0,5	0,25	Beginn	
		735	165	24	—	Beginn	
3	1 : 1	750	222	1	—	5%	
2	1 : 1	770	336	6	—	5%	
Das bivariate Gleichgewicht $Li_2CO_3 + Li_4SiO_4 = [Li_6SiO_5] + (CO_2)$							
1	1 : 1	820	412	7	4	4%	Nur in einem Punkt zu erreichen, daran anschließend gleich trivariant
		830	469	29	7	4%	
2	1 : 1	810	357	2	0,5	5%	
4	2 : 1	775	180	18,5	17	2%	
		780	138	31	7	4%	
2	1 : 1	815	563	15	4	17,5%	
		870	1024	3	1	17,5%	Druck abgezogen
		850	314	26	4	42,0%	
		940	733	96	—	42,0%	Druck abgezogen
		960	381	50	3	56,0%	
3	1 : 1	830	470	18	16	17,4%	
4	2 : 1	(832	530	18	16	17,0%)	noch trivariant Druck abgezogen
		825	670	54	6	27,0%	Druck abgezogen
		825	440	24	6	40,0%	Druck abgezogen
		820	270	20	3	48,0%	Druck abgezogen
		825	158	9	3	52,0%	Druck abgezogen
		820	147	18	1	55,0%	

¹⁾ Die eckigen Klammern bedeuten wie üblich den festen Zustand, die runden den gasförmigen. Für die Schmelzphase werden keine Klammern gesetzt.

Aus den Messungen folgt jedoch, daß primär sich nicht im fraglichen Temperaturbereich das Silikat Li_8SiO_6 bildet, sondern höchstwahrscheinlich Li_6SiO_5 . Hinzu kommt noch, daß die Druckmessungen erhebliche experimentelle Schwierigkeiten machen, verursacht durch das Hochkriechen der Schmelzen in den Nickel- oder Kupfereinsatzrohren, das durch das Abpumpen noch begünstigt wird. Dadurch können an den kälteren Stellen Verkrustungen auftreten, die ein Absinken der Drucke vortäuschen können. Auch können mitunter Schichtenbildungen eintreten, die dann die Ergebnisse verfälschen.

Zusammenfassung

Die in dem System $Li_2O-SiO_2-CO_2$ auftretenden Gleichgewichte wurden manometrisch bestimmt. Es konnte nachgewiesen werden, daß bei der Einwirkung von Quarz auf Lithiumkarbonat unter Metasilikatbildung sich ein instabiles Gleichgewicht einstellt. Sowohl bei der Aufnahme von Kohlendioxyd durch Li_2SiO_3 , als auch bei der Umsetzung von $Li_2Si_2O_5$ mit Li_2CO_3 konnten reproduzierbare Enddrucke ein und derselben Kurve erhalten werden, die höchstwahrscheinlich dem monovarianten Gleichgewicht $Li_2Si_2O_5 + Li_2CO_3 = 2 Li_2SiO_3 + CO_2$ entspricht.

Die Einstellung der Gleichgewichtsdrucke erfolgt sehr langsam. Die Reaktionen erfolgen im festen Zustand. Dies konnte noch durch Aufnahme von Erhitzungskurven unter gleichzeitiger Messung der elektrischen Leitfähigkeit erhärtet werden. Ferner konnte gezeigt werden, daß durch das Eintreten der Reaktionen eine merkliche Leitfähigkeitserhöhung hervorgerufen wird.

Das erste Gleichgewicht, daß sich unter Mitwirkung flüssiger Phase einstellt, ist das Meta-Ortho-Silikat-Gleichgewicht. Durch Bestimmung der CO_2 -Drucke in Abhängigkeit vom fortschreitenden Umsatz konnten weiterhin noch die sich bei der Einwirkung von Li_2CO_3 auf Li_4SiO_4 einstellenden Gleichgewichte unter Zuhilfenahme phasentheoretischer Betrachtungen geklärt werden.

Der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaften und Herrn Prof. Neumann danken wir für die Bereitstellung von Mitteln zur Durchführung dieser und weiterer Untersuchungen.

Magnetische Z-Variometermessungen am Serpentin der Költchenberge bei Schweidnitz (Schlesien)

Von Werner Loibl und Ernst-Friedrich Kutter in Breslau

Die Költchenberge heben sich ungefähr 7 km östlich von Schweidnitz aus der flachen, diluvialbedeckten Landschaft heraus und erreichen mit der Johannistafel (466,0 m über NN) ihre höchste Erhebung. Sie erstrecken sich in West-Ost-Richtung und bilden den südwestlichen Ausläufer des Zobtengebirges.

Die Költchenberge werden wesentlich aus Serpentin aufgebaut, der aus einem Diallagperidotit hervorgegangen ist. Das Gestein hat in frischem Zustande eine olivgrüne Farbe mit dunklen Flecken und mattem Glanz. Eine einheitliche Paralleltexur ist in dem Serpentin nicht zu beobachten und seine Klüftung ist ausgesprochen unregelmäßig. An der Oberfläche ist das Gestein stark verwittert und nimmt eine bräunliche, seltener eine weißlich-gelbe Färbung an. Der Serpentin steht in vielen kleinen Felsgruppen auf dem Kamme des Bergrückens an und ist durch zahlreiche Steinbrüche aufgeschlossen. Abbildung 1.

Die chemische Zusammensetzung des Serpentins geht aus nachfolgender Analyse hervor, die von H. Franke ausgeführt worden ist¹⁾.

<i>SiO₂</i>	39,42%	<i>CaO</i>	1,56%
<i>Al₂O₃</i>	1,62%	<i>MgO</i>	34,19%
<i>Fe₂O₃</i>	4,70%	<i>H₂O</i>	12,29%
<i>FeO</i>	4,73%	<i>CO₂</i>	0,37%
<i>MnO</i>	0,89%		

Das Gebiet ist ferner durch zahlreiche Schurfschächte und Tiefbohrungen, die von Herrn Prof. Dr. H. Cloos, dem früheren Direktor des Breslauer Geologischen Institutes, aus praktischen Gründen ausgeführt worden sind, geologisch sehr gut bekannt. Die Ergebnisse dieser Bohrungen waren uns z. Zt. der magnetischen Vermessung und Auswertung der Ergebnisse nicht bekannt.

Auf Veranlassung von Herrn Prof. Dr. Bederke, Direktor des Geologischen Institutes Breslau, wurde die magnetische Vermessung des Gebietes durchgeführt.

Aufgabe der Vermessung war besonders, die Grenzen des Serpentins gegen das Nebengestein festzustellen, die zum allergrößten Teile unter diluvialen und tertiären Deckschichten verborgen sind.

In das Meßtischblatt 3014 (Weizenrodau) wurden von Herrn Prof. Dr. Bederke Meßstrecken eingezeichnet, die uns bei der Vermessung richtunggebend sein sollten. Hochspannungsleitungen und andere Störungsursachen, die in der Nähe der vorgezeichneten Strecken lagen, ließen eine einwandfreie Durchführung der Messung genau in der verlangten Richtung nicht immer zu, sondern bedingten gelegentlich kleine Abweichungen. Die endgültige Lage der Meßstrecken im Gelände geht aus Abbildung 2 hervor.

Die Vermessung des Gebietes wurde in der Zeit vom 13. bis 20. September 1934 ausgeführt. Das Instrument, eine Schmidtsche Z-Feldwaage Nr 88 055 der Askaniawerke Berlin, wurde uns entgegenkommenderweise vom Institut für Markscheidkunde und Geophysik der Technischen Hochschule Breslau zur Verfügung gestellt.

Das vermessene Gebiet erstreckt sich etwa 5 km in West-Ost- und 6 km in Nord-Süd-Richtung. Insgesamt wurden 418 Aufstellungen mit zahlreichen Wiederholungen gemacht. Zur Kontrolle

¹⁾ H. Traube, Beiträge zur Kenntnis der Gabbros, Amphibolite und Serpentine des niederschles. Gebirges.

der Messungen wurde morgens, mittags und abends an den Punkten 46 und 300 angeschlossen, um den Gang des Instrumentes zu beobachten. Die Anschlußmessungen sowie die Vergleichsbeobachtungen innerhalb der Meßstrecken ergaben ein durchaus zufriedenstellendes Arbeiten des Instrumentes während der Dauer der Messung. Diese Kontrollaufstellungen erreichten im Höchstfall eine Abweichung von $\pm 10 \gamma$.

Zahlreiche Aufstellungen südlich von Pfaffendorf und nördlich von Klein Wierau ergaben im Mittel den gleichen Ablesungswert. Sämtliche Störungswerte wurden auf diesen Ablesungswert als „Nullhorizont“ oder „Normalfeld“ bezogen.

Bei der Berechnung der Störungswerte konnten in Anbetracht der hohen Störungswerte, die zwischen -1464γ und $+4332 \gamma$ liegen, sämtliche Korrekturen, wie Temperatur-Tagesvariationskorrektur und Instrumentenstandsänderung, vernachlässigt werden, da selbst bei Einbeziehung dieser Korrekturwerte in die Berechnung eine wesentliche Änderung der Ergebnisse nicht eintritt. Der Korrekturwert beträgt im Maximalfall $\pm 20 \gamma$, bleibt also auf die Störungswerte ohne nennenswerten Einfluß.

Die rechnerisch ermittelten Störungswerte wurden in den magnetischen Profilen graphisch dargestellt. Abbildung 3. Die Gebirgsprofile geben das bisherige geologische Bild wieder. Aus den graphischen Darstellungen wurden die aus der magnetischen Karte ersichtlichen Isomalen konstruiert. Abbildung 4.

Aus Abbildung 3 und 4 ergibt sich folgendes Bild der Verbreitung der magnetischen Störungswerte. Südlich des Kammes der Költchenberge erreichen die Störungswerte einen Mittelwert von $+2000 \gamma$. Bei Annäherung an das Nebengestein steigen sie bis auf $+3000 \gamma$ und mehr an, um fast senkrecht abzufallen. Nördlich der Kammlinie zeigt das Gebiet einen sehr unruhigen und wechselnden Verlauf der magnetischen Intensität innerhalb sehr eng begrenzter Gebiete und läßt starke magnetische Störungen erkennen. Auch sind die Störungswerte im allgemeinen nicht so hoch, und der Abfall der Intensität ist bei der Annäherung an das Nebengestein ein allmählicher. Im Westen des vermessenen Gebietes liegen die höchsten Störungswerte, die $+4000 \gamma$ und darüber erreichen. Die Isomalen von 0 bis $+4000 \gamma$ drängen sich hier stark zusammen, und der Abfall gegen das Nebengestein erfolgt ziemlich senkrecht.

Die in der magnetischen Karte eingezeichnete Grenze des Serpentin gegen das Nebengestein ist durch Verbindung der Punkte festgelegt worden, die in den magnetischen Profilen durch einen Kreis gekennzeichnet sind. Zu dieser Annahme berechtigt der in Profil 3 gelegene geologische Aufschluß von Serpentin gegen den gneisartigen Granit bei dem Dorfe Goglau, der in einigen Steinbrüchen gut aufgeschlossen ist. Es ergab sich beim Übermessen dieses Aufschlusses — bei Annäherung an den Serpentin — ein allmählicher Abfall der Intensität ins Negative. Etwa 50 m vor der Kontaktgrenze wird der Abfall steiler und steigt bei Überschreitung der Gesteinsgrenze fast senkrecht ins Positive an. In den Profilen 1, 3, 4, 5, 8 zeigt die Intensitätskurve das gleiche charakteristische Bild. Die Vermutung, daß an der Stelle des Steilanstieges der Kurve die Grenze des Serpentin gegen das Nebengestein liegt, wurde dann durch die Kenntnis der in diesem Gebiete vorhandenen geologischen Aufschlüsse, deren Ergebnisse uns von Herrn Prof. Dr. Bederke zur geologischen Auswertung der Meßergebnisse dankenswerterweise zur Verfügung gestellt worden sind, voll und ganz bestätigt.

Bei der geologischen Auswertung der magnetischen Meßergebnisse hat uns Herr Prof. Dr. Bederke mit Rat und Tat zur Seite gestanden. Zunächst ergab sich, daß die von uns magnetisch festgestellte Serpentinergrenze gegen das Nebengestein mit den Ergebnissen der Schürfungen und Bohrungen gut übereinstimmt. Abbildung 5. Besonders klar liegen die Verhältnisse auf der Südseite der Költchenberge. Hier kennzeichnet der plötzliche schroffe Abfall der magnetischen Intensität die Serpentinergrenze gegen den Gneis des Sudetengebirges. Der fast senkrechte Absturz der Intensitätskurve deutet auf ein steiles Einfallen des Serpentin hin. Auch die Westgrenze des Serpentin tritt sehr deutlich aus den Meßergebnissen hervor. Schwieriger ist die Nordgrenze des Serpentin festzulegen. Die allmähliche Abnahme der Intensität in dieser Richtung läßt auf

eine Verjüngung des Serpentin-Körpers schließen, d. h. auf ein ziemlich flaches Einfallen des Serpentin-Granitkontaktes nach Süden. Das paßt gut zu der tatsächlich beobachteten Lage des Granitkontaktes weiter östlich im mittleren Teil der Zobtengruppe. Die Lage des Steilanstieges in der magnetischen Intensitätskurve, die schon im geophysikalischen Teil der Arbeit erwähnt worden ist, steht auch hier in guter Übereinstimmung mit der durch die Bohrungen eingegengten geologischen Grenze. Abbildung 5.

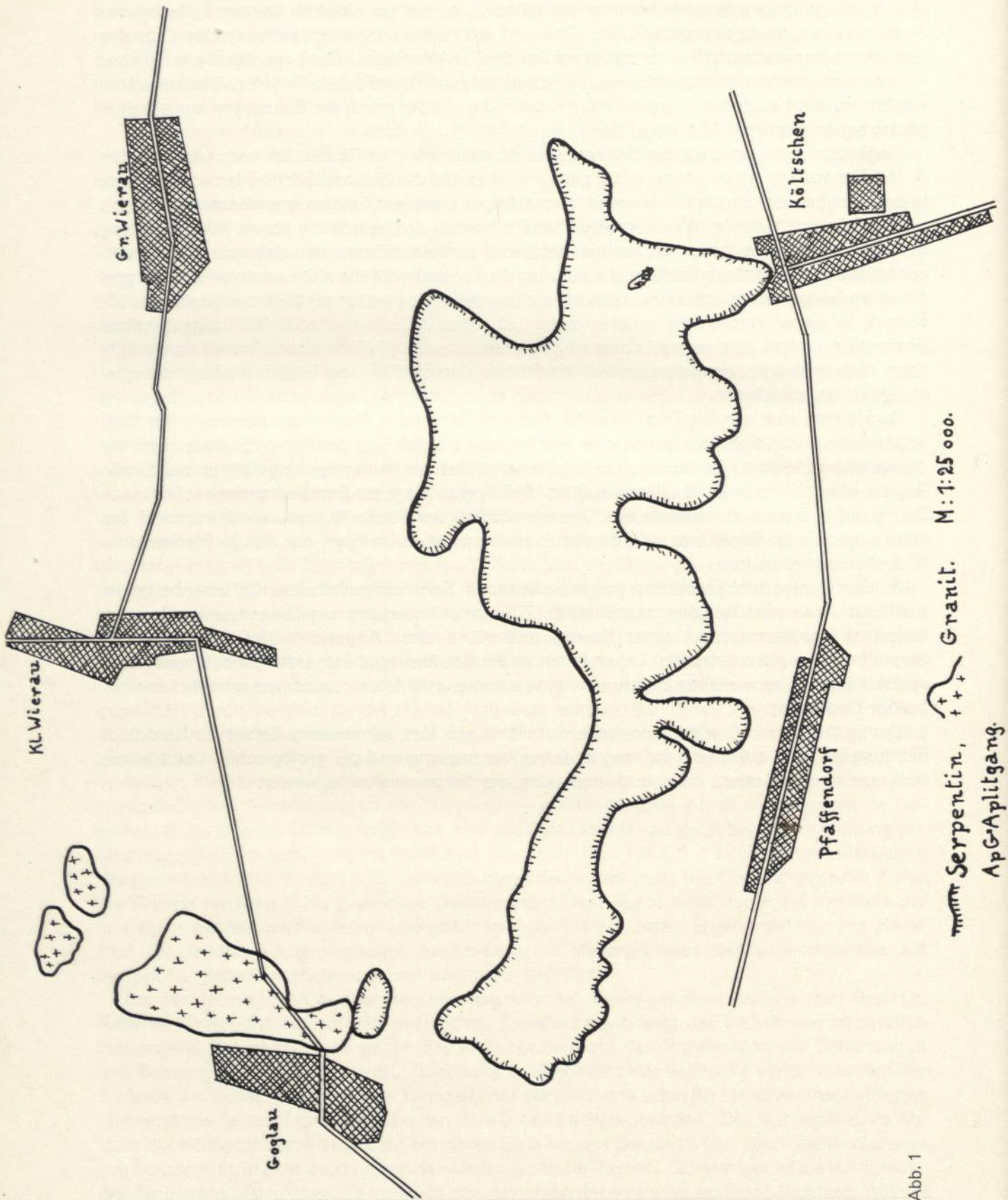
Besonders interessant ist aber der Vergleich des magnetischen Profiles 3 mit den geologischen Aufschlüssen. Die größte Störung fällt genau mit dem Ort des Schurfschachtes Nr. 4 zusammen, in dem inmitten des Serpentin ein stark zersetztes, gneisartiges Gestein erschlossen worden ist.

Die Störungen, die im West-Ost-Streichen im Norden der Kammlinie liegen, können analog dem im Profil 14 übermessenem Aplitgange darauf zurückzuführen sein, daß auch hier Granitapophysen im Serpentin aufsetzen, die nur hier die Tagesoberfläche nicht erreichen. Diese granitischen Gänge wären von dem Granit abzuleiten, der etwas weiter nördlich bei Goglau, Abbildung 1, in weiter Verbreitung aufgeschlossen ist. Das im Schurfschacht Nr. 4 aufgefundene gneisartige Gestein, das wegen hochgradiger Zersetzung nicht näher zu bestimmen war, würde dann dem gneisartig, parallelstruierten Granitstock, der nördlich von Goglau anstehend zu beobachten ist, angehören.

Abgesehen aber von der Frage, welcher Natur die störenden Massen am Nordhang der Költchenberge sind, zeigt die magnetische Vermessung an, daß sich der Serpentinstock unter der diluvialen und tertiären Bedeckung noch weiter erstreckt und im Norden ungefähr an der Straße Goglau—Klein Wierau—Groß Wierau aufhört. Bei Goglau biegt die Serpentinergrenze scharf nach Süden um und verläuft ungefähr ein Kilometer östlich der Straße Goglau—Weißkirschdorf, um dann abermals im Bogen nach Osten abzubiegen und etwa im Zuge der Straße Pfaffendorf—Költchen zu verlaufen.

In dem geologisch besonders gut erschlossenen Serpentinegebiet der Költchenberge ist somit die Anwendbarkeit der magnetischen Z-Variometermessung zur Unterstützung der geologischen Forschung erneut unter Beweis gestellt worden. Angesichts der zahlreichen an Serpentin geknüpften nutzbaren Lagerstätten ist die Bewährung dieser Untersuchungsmethode, selbst bei relativ verwickelten Lagerungs- und Verbandsverhältnissen, auch von erheblicher praktischer Bedeutung.

Der in Abbildung 6 wiedergegebene Schnitt durch das vermessene Gebiet in Nord-Süd-Richtung gibt den auf Grund der magnetischen Vermessung und der geologischen Verhältnisse sich ergebenden Aufbau und die Ausdehnung des Serpentinstockes wieder.




 Serpentin,
  Granit. M: 1:25 000.



Abb. 2

S = Serpentin, D + T = diluviale und tertiäre Bedeckung, Gr = Granit

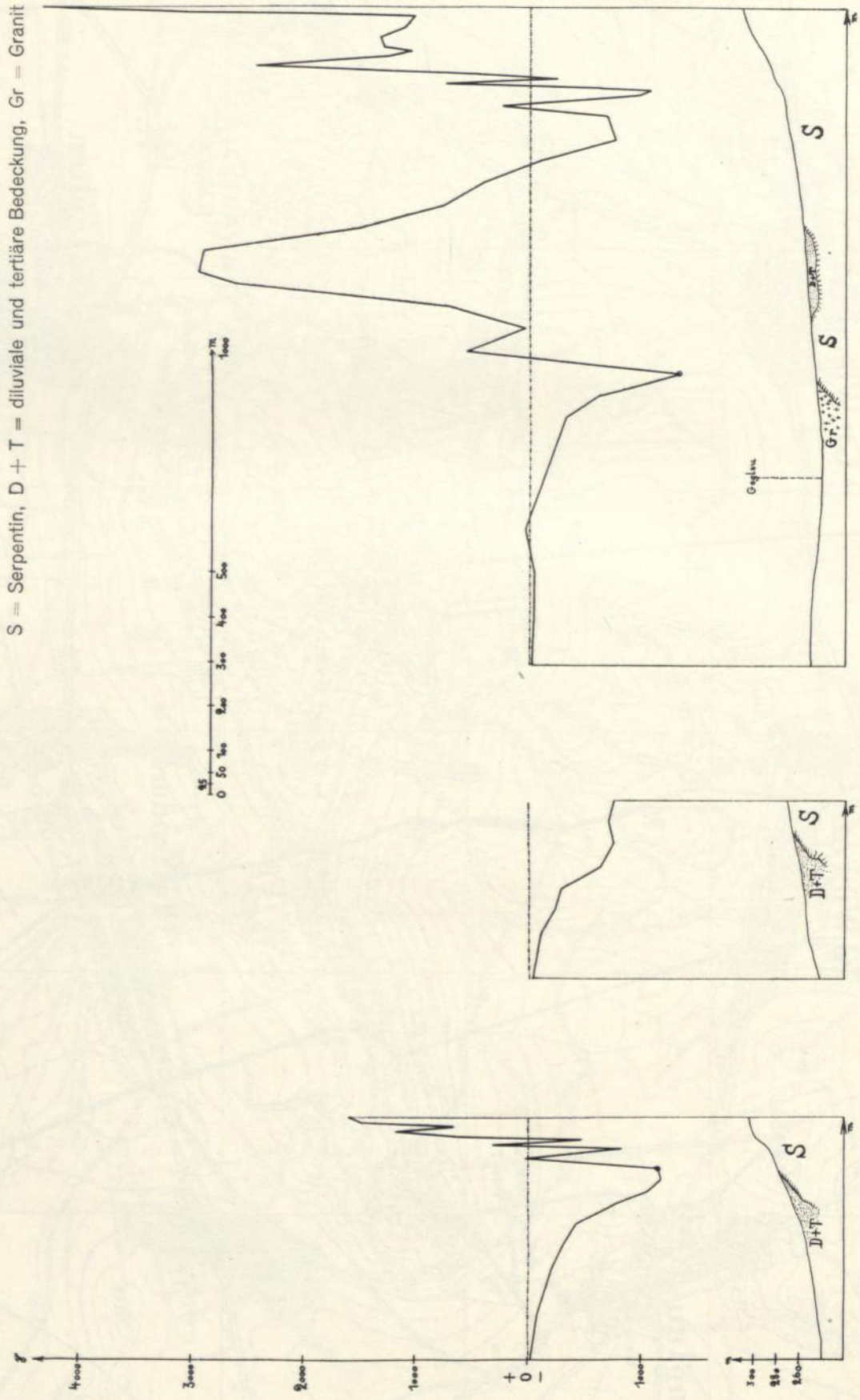
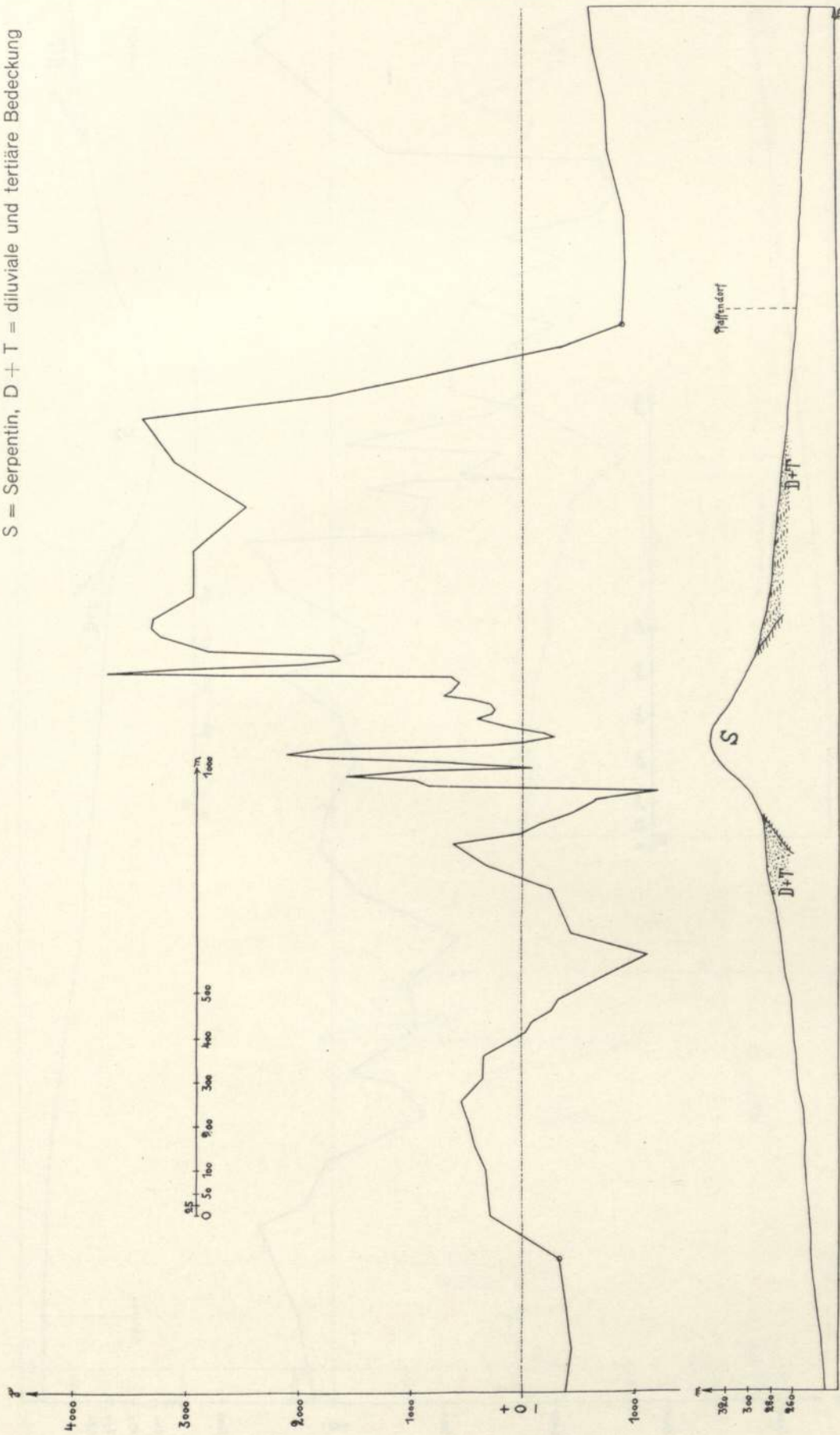


Abb. 3. (Profil 1, 2, 3)

S = Serpentin, D + T = diluviale und tertiäre Bedeckung



313 Abb. 3 (Profil 4)

S = Serpentin D + T = diluviale und tertiäre Bedeckung

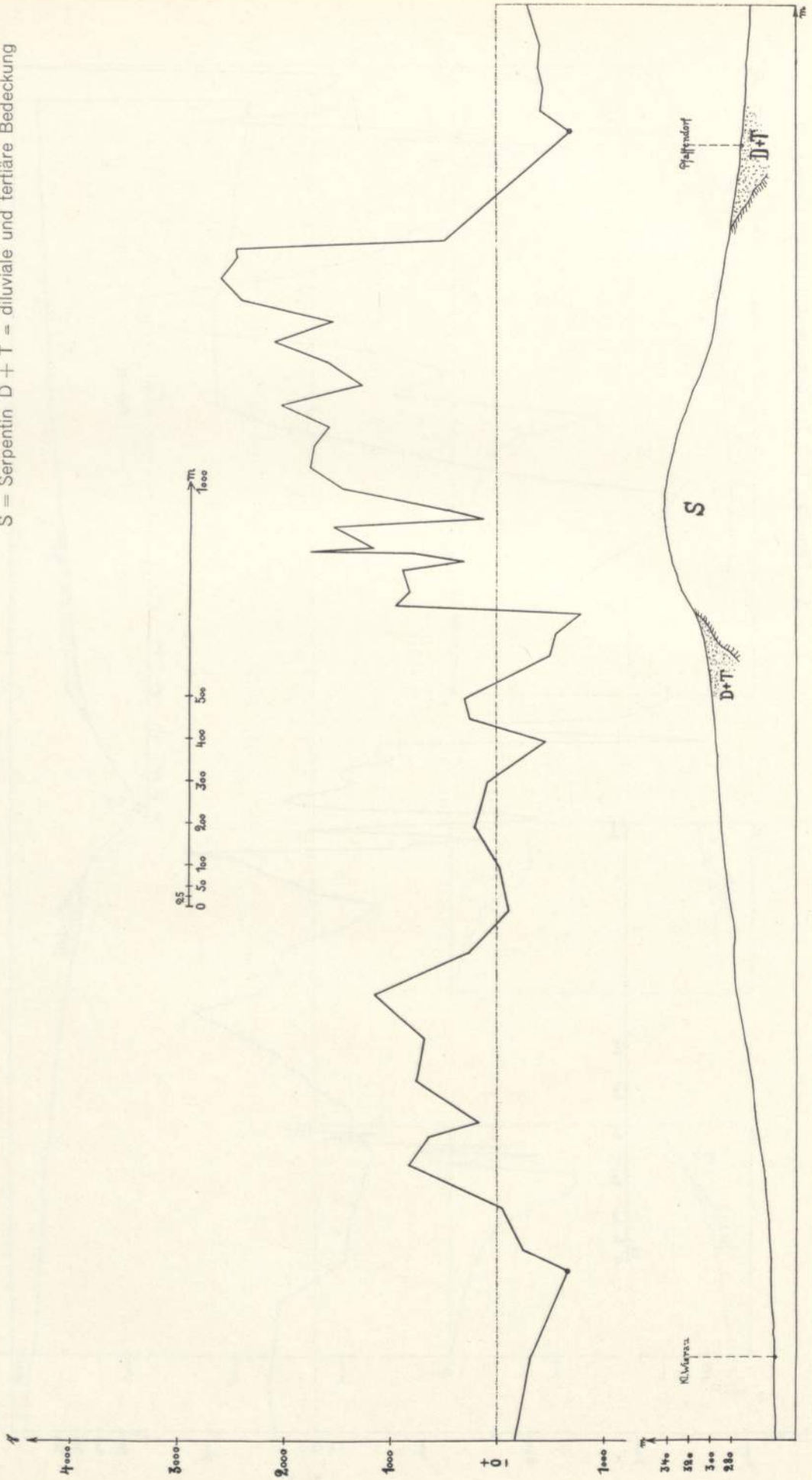
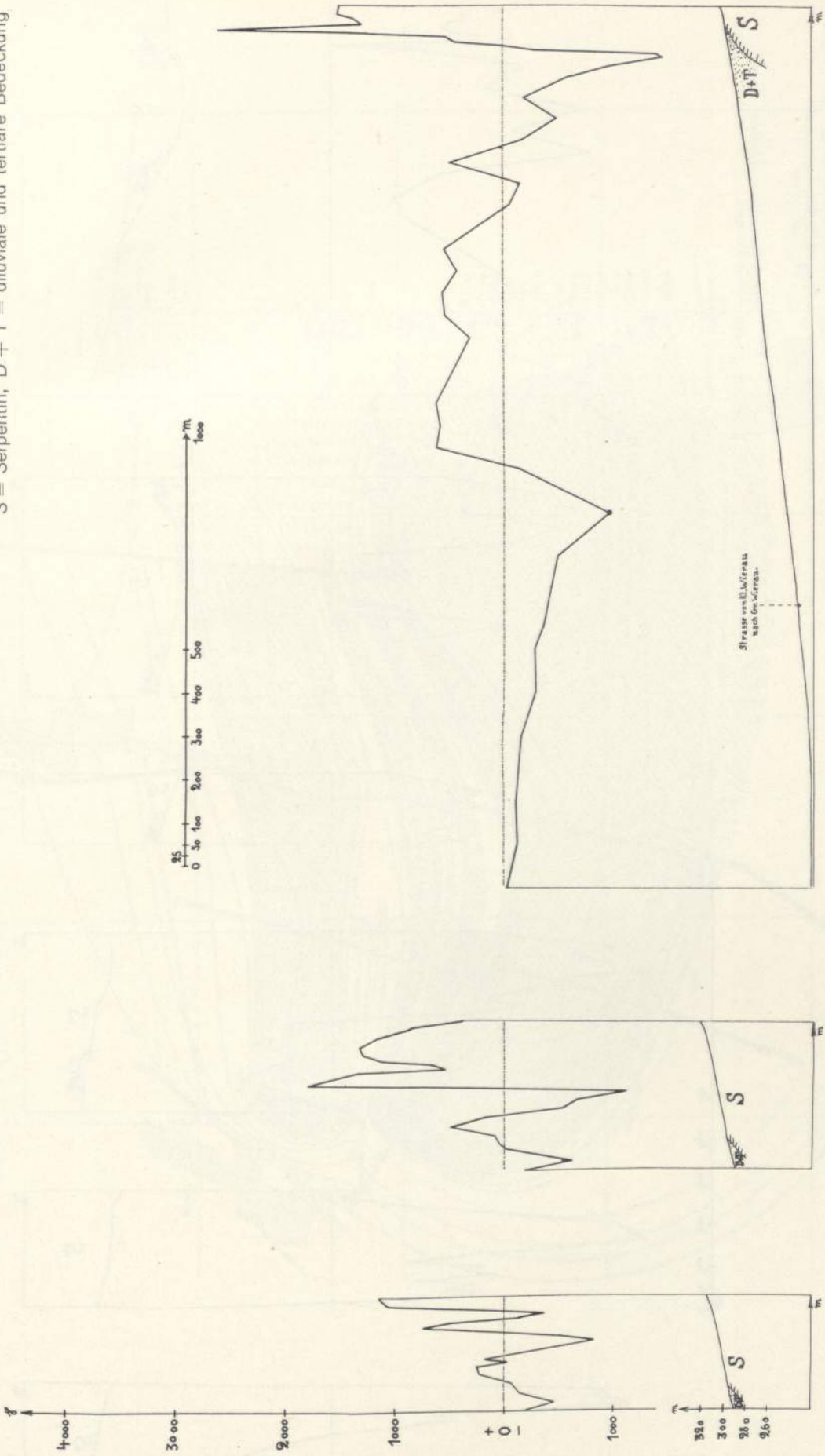


Abb. 3 (Profil 5)

S = Serpentin, D + T = diluviale und tertiäre Bedeckung



315 Abb. 3 (Profil 6, 7, 8)

S = Serpentin, D + T = diluviale und tertiäre Bedeckung, Ap = Aplit

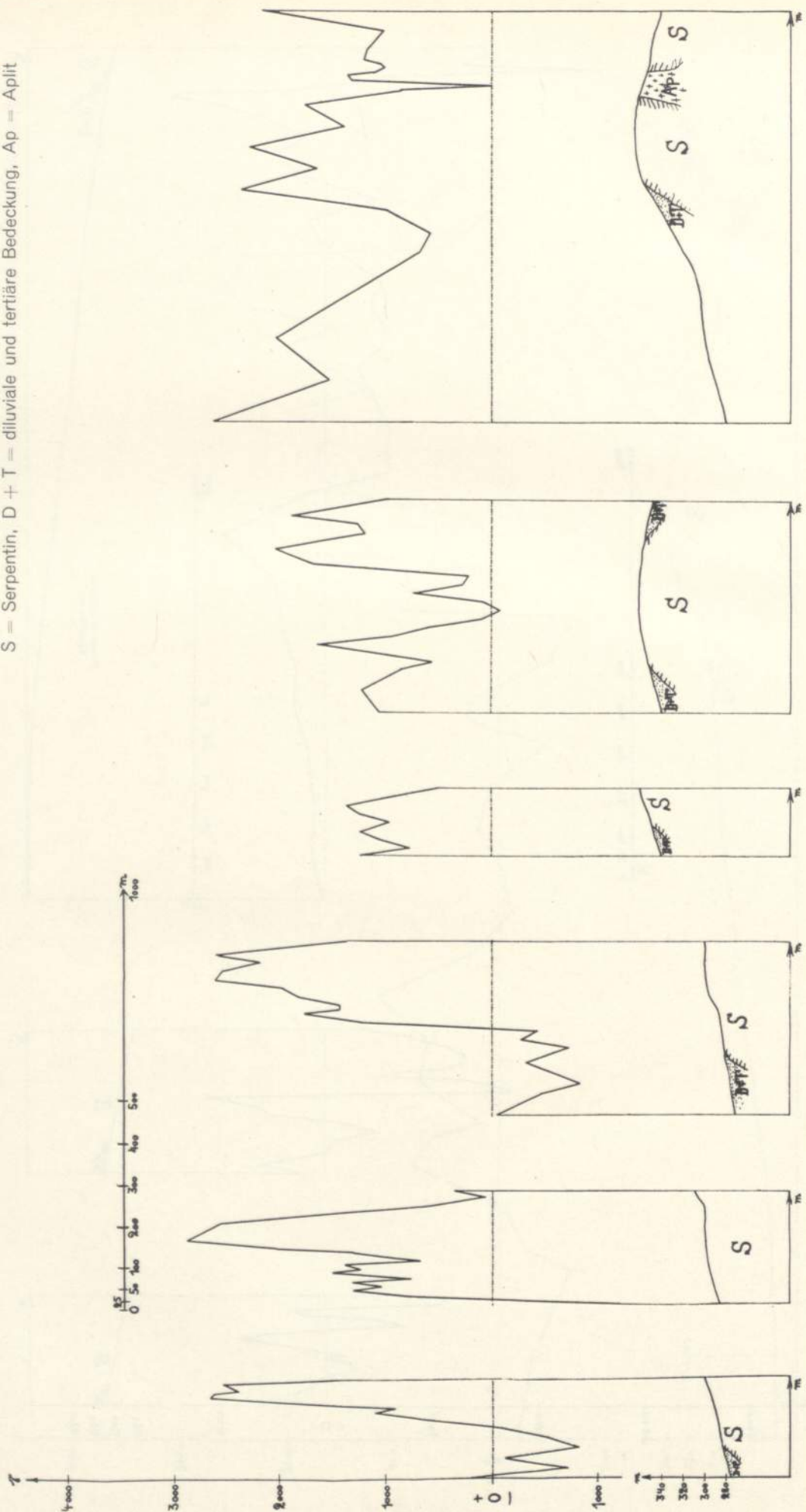


Abb. 3 (Profil 9, 10, 11, 12, 13, 14)

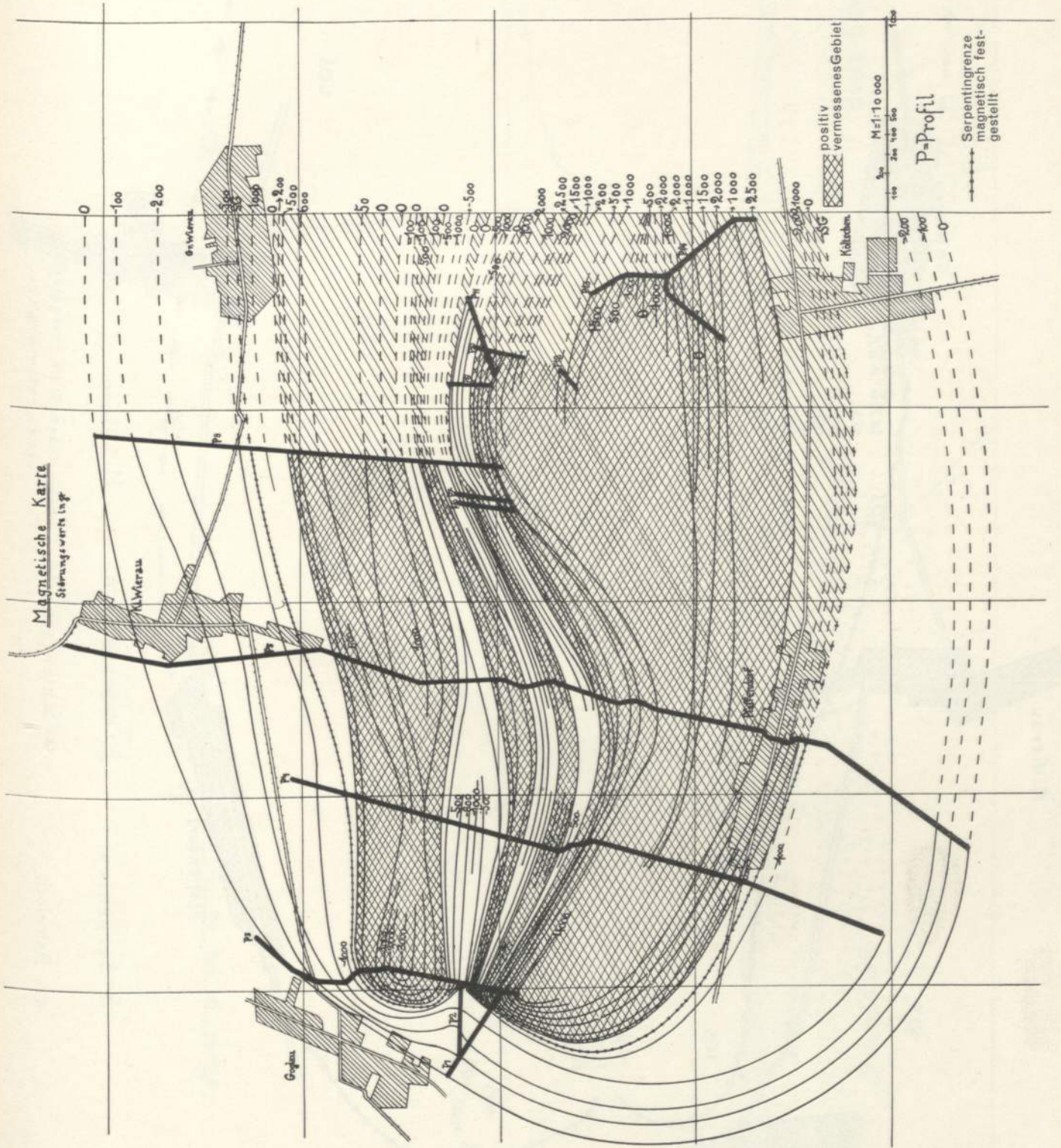


Abb. 4

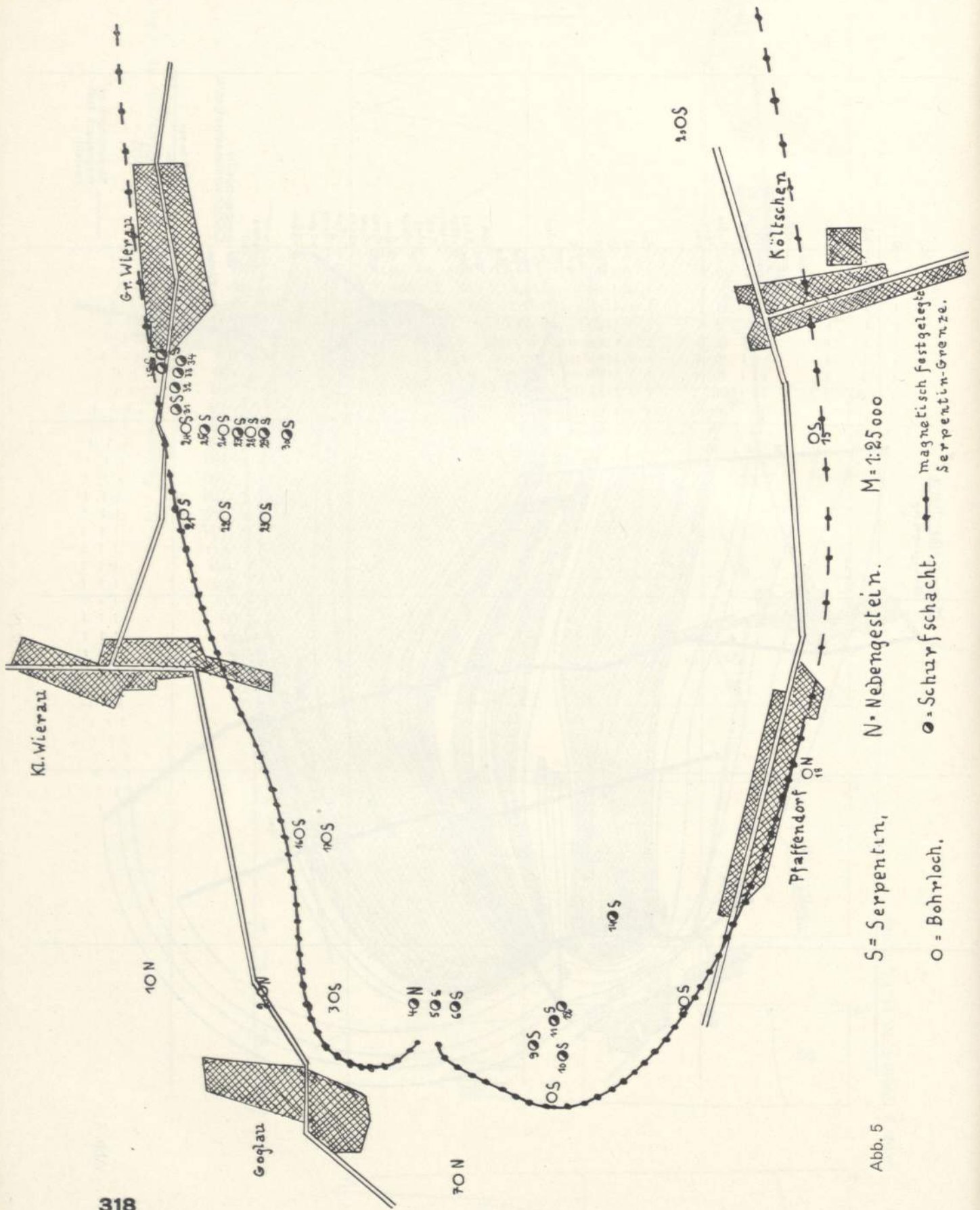


Abb. 5

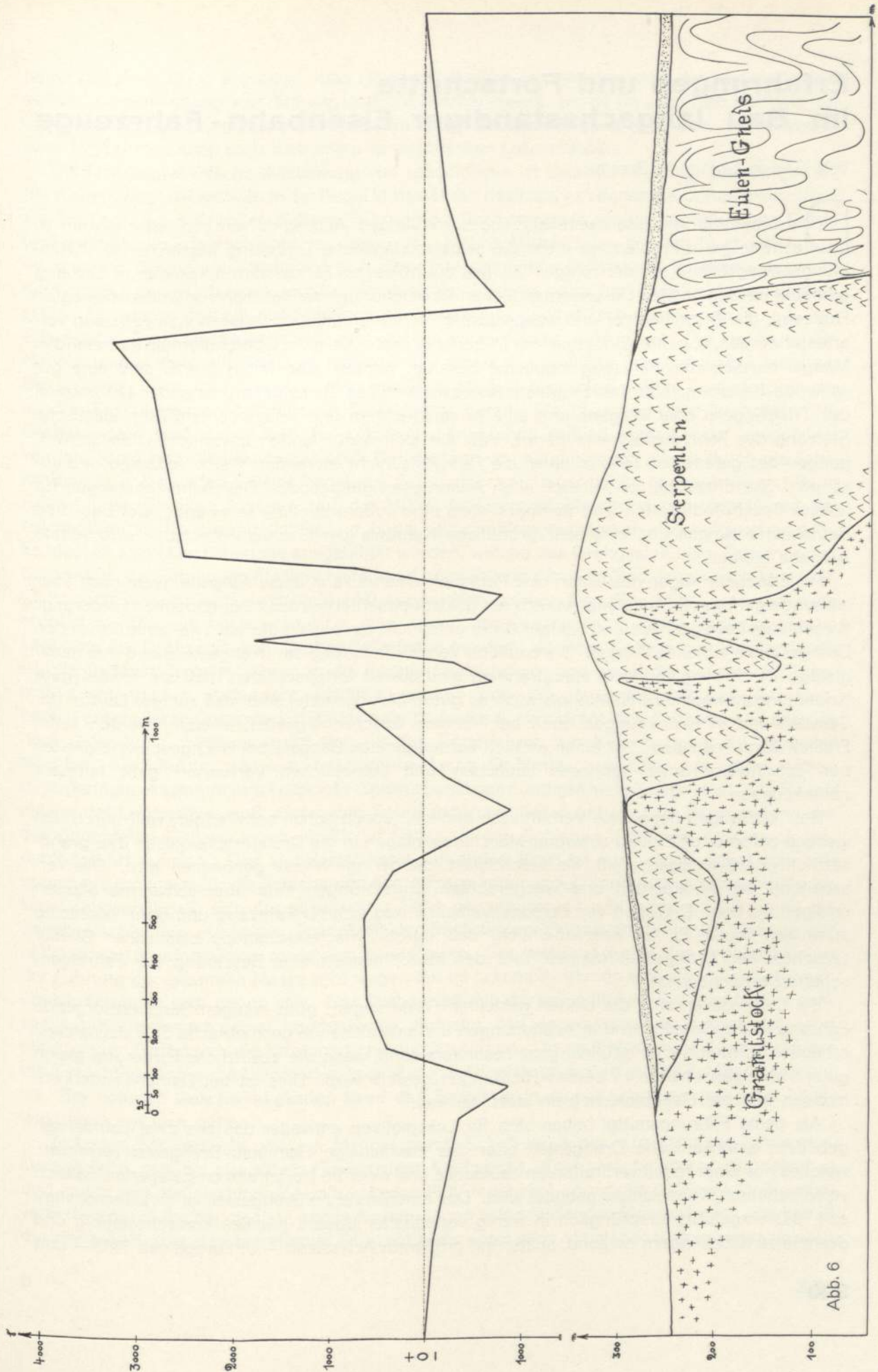


Abb. 6

Erfahrungen und Fortschritte im Bau langachsständiger Eisenbahn - Fahrzeuge

Von Georg Lotter in Breslau

Die Erbauung von Eisenbahn-Fahrzeugen mit langem Achsstand war von jeher ein um so schwierigeres Problem, je mehr die selbstverständliche Forderung ausreichender Krümmungsbeweglichkeit mit der ruhigen Ganges bei höheren Fahrgeschwindigkeiten in Einklang gebracht werden mußte. Die unvermeidlichen Abweichungen der Fahrbahn unter dem bewegten Fahrzeug, die in senkrechter und waagerechter Richtung eintreten, müssen vom Fahrzeug verarbeitet werden, d. h. die Wirkungen der früher oder später bei allen Oberbauformen eintretenden Mängel müssen vom Fahrzeug möglichst beseitigt werden. Die Mittel hierzu sind eine gut wirkende Federung, eine fahrzeugtechnisch zweckmäßige Gesamtanordnung der Lokomotive, des Triebwagens oder Wagens und eine in senkrechtem und waagrechtem Sinn elastische Stützung des Fahrzeugrahmens derart, daß die sich ausbildenden unvermeidlichen Schwingungen des gefederten Teils in einer die Fahrgäste nicht störenden Weise verlaufen und abklingen. Die Erbauung von wirklich allen Ansprüchen genügenden Eisenbahn-Fahrzeugen für höhere Geschwindigkeiten wird demnach stets eine außerordentlich schwierige, viel Bau- und Betriebserfahrungen und eine sehr gründliche Kenntnis der Eisenbahnmechanik erfordernde Aufgabe bleiben.

Für Eisenbahnwagen des Güter- und Personenverkehrs kann diese Aufgabe heute nach über einhundertjähriger Entwicklung nahezu als gelöst betrachtet werden. Der doppelten Forderung: Krümmungsbeweglichkeit und ruhiger Gang entspricht am besten der auf zwei amerikanischen Drehgestellen laufende Wagen. Die bauliche Vervollkommnung der Drehgestelle und ihre nachgiebige Verbindung mit dem Hauptrahmen sind soweit fortgeschritten, daß sie sowohl gute Krümmungsbeweglichkeitsmittel als auch so gute Führungsmittel sind, daß ruhiger Lauf in der Geraden und in Krümmungen auch bei höheren Geschwindigkeiten erreicht werden kann. Freilich kann man dem Ziel einer wirklich befriedigenden Gangart bei Hochgeschwindigkeiten nur schrittweise unter zahllosen baulichen und betrieblichen Versuchen ganz langsam näherkommen.

Bei Triebwagen liegen die Verhältnisse ähnlich, jedoch schon schwieriger, weil durch den vielfach geforderten Einbau schwerer Maschinenanlagen in die Drehgestelle diesen ihre grundsätzlich günstige Eigenschaft, die Leichtigkeit, die geringe Masse genommen wird. Die Verarbeitung der senkrechten und waagerechten Laufstörungen muß über schwerere Massen erfolgen als beim D-Wagen des Personenverkehrs, was sich für Fahrzeug und Bahn nachteilig auswirken muß. Es ist wahrscheinlich, daß durch Zwischenschaltung elastischer Glieder zwischen den Drehgestell-Rahmen und den Maschinensatz eine Besserung der Fahreigenschaften erreichbar ist.

Bei Lokomotiven sind die beiden gestellten Forderungen: gute, ruhigen Gang verbürgende Führung in der Geraden und in Krümmungen und ausreichende geometrische Schmiegsamkeit erheblich schwieriger zu erfüllen, ganz besonders dann, wenn die zusätzliche Forderung gleich guter Fahreigenschaften in beiden Richtungen gestellt wird. Dies ist bei Dampf-Tenderlokomotiven und bei Elektrolokomotiven stets der Fall.

Als beste Führungsmittel haben sich für Lokomotiven entweder das aus zwei Laufachsen gebildete amerikanische Drehgestell oder das zweiachsige Helmholtz-Drehgestell erwiesen, welches aus einer radial verdrehbaren Laufachse und einer im Hauptrahmen gelagerten, seitlich verschiebbaren Kuppelachse gebildet wird. Das amerikanische Drehgestell ist im Lokomotivbau seit 1833 eingeführt, ursprünglich in wenig vorteilhafter Bauart, nämlich kurzachsständig und deshalb zum Schlingern neigend, später mit größerem Achsstand — in Europa seit 1862 — und

damit ruhigeren Gang ergebend. Das Helmholtz-Drehgestell, welches eine der beiden Gestellachsen zur Gewinnung von Reibungsgewicht nutzbar macht, wurde im Jahr 1888 erstmals mit Erfolg versucht und hat seither bei vielen Bahnverwaltungen Eingang gefunden, in den letzten zwei Jahrzehnten auch ganz besonders im elektrischen Lokomotivbau.

Die fahrzeugtechnische Ausbildung von Lokomotiven ist deshalb erheblich schwieriger als bei Wagen, weil Lokomotiven in der Regel Mittelachsen besitzen, von denen bei Dampflokomotiven die Treibachse aus Gründen sicherer Führung der Treibstange in der ihr zugewiesenen Ebene im Hauptrahmen unverschiebbar zu lagern ist. Solche Mittelachsen bringen in engen Krümmungen die Gefahr des Klemmens, d. h. des Überschneidens der inneren Fahrkante mit sich, ein Vorgang, der im Interesse der Spurerhaltung des Geleises unbedingt ausgeschlossen werden sollte. Es werden deshalb alle Mittelachsen, soweit dies geometrisch erforderlich ist, mit verschwächten Spurkränzen versehen oder seitlich verschiebbar angeordnet. Die Lagerung der Kuppelstangen kann allerdings im letzteren Fall manchmal bauliche Schwierigkeiten bereiten. Bei größeren Gesamtachsständen, etwa von 10 m ab, tritt noch eine weitere Forderung an die an den Fahrzeugenden befindlichen Drehgestelle heran. Die Lagerung ihrer Drehzapfen im Gestellrahmen muß gegenüber der Lokomotiv-Längsachse seitlich verschiebbar ausgebildet werden, damit sich die Lokomotive beim Durchfahren von Krümmungen an die durch die Fahrkanten der gekrümmten Geleise gegebene Führungsbahn einigermaßen anpassen kann. Beim Fahren in der Geraden dagegen muß das Mittel der Drehzapfenlagerung naturgemäß mit der Lokomotivmittellinie zusammenfallen, d. h. die seitliche Verschiebbarkeit muß aufgehoben sein. Es müssen also Maschinenteile ausgebildet werden, welche das Drehgestell beim Fahren in der Geraden in der Fahrzeugmittellinie halten und beim Fahren durch Krümmungen nach innen hin (d. h. nach dem Krümmungsmittelpunkt) ausweichen lassen. Derartige Mittel sind mehrfach erdacht worden, am besten hat sich eine unter der Gegenwirkung einer Feder elastische Lagerung des Drehzapfens im Drehgestellrahmen bewährt, da diese Feder außerdem imstande ist, die Seitenstöße beim Fahren in der Geraden aufzufangen und damit die Gangart der Lokomotive wesentlich zu verbessern. Leider ist nun die Größe der genannten seitlichen Verschiebbarkeit bei größeren Gesamtachsständen sehr bedeutend: sie beträgt 70 bis 100 mm und darüber nach jeder Seite. Hieraus ergibt sich für das Durchfahren von Krümmungen ein schwerer Nachteil: Die Führung geht vom Drehgestell auf eine der Mittelachsen über, wozu diese infolge ihres geringen Abstands vom Lokomotiv-Schwerpunkt ganz und gar nicht geeignet ist. Die Hauptmasse der Lokomotive muß durch den Spurkranzdruck dieser Achse unter Überwindung der quergerichteten Gleitreibungen sämtlicher Räder auf den Schienen durch die Krümmung hindurchgeführt werden. Der Hebelarm dieser führenden Kraft ist kurz, diese selbst also entsprechend groß, was für die Schiene und den in Frage kommenden Spurkranz sehr nachteilig ist. Das Drehgestell paßt sich der gekrümmten Bahn geometrisch an und sucht mit der durch die Seitenverschiebung geweckten Spannkraft der Rückstellvorrichtung die führende Wirkung der Mittelachse zu unterstützen, diese also zu entlasten. Der wirkliche Anteil des Drehgestells an der Führung der gesamten Masse wird wegen der im Lokomotivrahmen eintretenden elastischen Formänderungen sehr gering sein. Das Drehgestell mit starker seitlicher Verschiebbarkeit geht somit in Krümmungen seines Hauptzweckes verlustig, den Hauptrahmen an langem Hebelarm mit geringer Kraft durch die Krümmung hindurchzuführen. Dieser Übelstand fällt um so stärker ins Gewicht, je länger die Lokomotive, je größer ihre Überhänge und je größer ihr Dienstgewicht ist. Bei höheren Geschwindigkeiten kann das Einfahren in eine Krümmung nur unter Stoßwirkungen vor sich gehen.

Verfasser hat versucht, diesem Mangel durch Schaffung eines dreiachsigen Lokomotiv-Drehgestells, gebildet aus einem zweiachsigen Laufgestell, einer verschiebbaren Kuppelachse und einem den Hauptrahmen beeinflussenden Führungshebel, abzuheben. Dieses Drehgestell verliert weder in flachen noch in engen Krümmungen seine führenden Eigenschaften und behält die Herrschaft über das betreffende Fahrzeugende unter allen Umständen ohne Heranziehung

irgendeiner Mittelachse, und zwar in beiden Fahrtrichtungen. Spurkränze und Gleise werden somit in bester Weise geschont.

Veranlassung zur Schaffung dieser neuen Drehgestellbauart gab die Elektrisierung der schlesischen Gebirgsbahn Breslau—Königszelt—Hirschberg—Lauban—Görlitz, einer durch ihre außergewöhnlichen Steigungs- und Krümmungsverhältnisse besonders schwierigen Hauptbahnstrecke. Die von Anfang an beabsichtigte Beschleunigung des Schnellzugverkehrs führte nach eingehenden Vorstudien im Jahre 1912 zum Entwurf einer siebenachsigen Schnell- und Personenzug-Lokomotive von 3000 PS Stundenleistung bei 55 km/h, für welche es weder in Europa noch jenseits des Ozeans irgendwelche Vorbilder gab. Die Leitung der Entwurfsarbeiten lag in Händen von Geheimrat Wittfeld, der elektrische Teil mit dem größten bisher erbauten Lokomotivmotor von 3000 PS wurde von Professor Dr. Paul Müller, damals bei den Bergmann-El.-Werken, Berlin, entwickelt, der Entwurf des Fahrzeugs oblag dem Verfasser, damals Oberingenieur der Lokomotivfabrik Krauß, München. Die hohe Leistung, die großen Zugkräfte, die geforderte Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h bei nur 1250 mm Treibraddurchmesser, die schwierigen Streckenverhältnisse mit zahlreichen, von D-Zügen zu befahrenden Krümmungen bis 180 m Halbmesser herab stellten eine Fülle von maschinentechnischen Problemen, von denen hier die Verwirklichung einer passenden Achsanordnung besprochen sei. Die preußische Staatsbahnverwaltung legte beim Entwurf der Lokomotive allergrößten Wert auf Schonung des Oberbaus, d. h. auf Vermeidung außergewöhnlicher Inanspruchnahme des Gleises durch die ihrer Leistung entsprechend schwere und lange Lokomotive, auf stoßfreie Einfahrt in die Krümmungen und möglichst schlingerfreien Lauf. Die erforderlichen Zugkräfte bedingten bei dem größten damals zulässigen Achsdruck von 16 t vier gekuppelte Achsen, die Größe der zu beherrschenden Triebkräfte führte zur erstmaligen Anwendung des Doppel-Parallel-Kurbelgetriebes im Lokomotivbau, dessen kräftetechnische Eigenschaften kurz vorher von Kleinow entwickelt waren. Die Gewichtsansprüche des elektrischen Teils und der damals noch üblichen Dampfheizungseinrichtung mit kohlegefeuerten Kessel auf der Lokomotive, Wasser- und Brennstoffvorräten erforderten drei weitere Laufachsen, somit die Achsanordnung **2 D 1**. So entstand die erste Schnellzug-Lokomotive dieser Achsfolge in Europa, Abb. 1. Ansichten der Lokomotive finden sich in „Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen“ 1918, Seite 143, Abb. 100 und 101. Die Erbauung dieser Lokomotive — zunächst in einem Stück —, erfolgte durch die Bergmann-El.-Werke Berlin und durch die Linke Hofmann-Werke Breslau, die Fertigstellung zog sich infolge des Krieges bis zum Jahr 1917 hinaus. Die Probelokomotive bewährte sich so gut, daß in der Folgezeit bis zum Jahr 1923 weitere 17 Stück dieser Lokomotivtype für die schlesische Gebirgsbahn beschafft wurden. Seit etwa 1926 ist man mehr und mehr zum Einzelachsantrieb übergegangen, so daß der Typ mit dem 3000 PS.-Motor nicht mehr erforderlich war.

Die Achsanordnung der Lokomotive ist unsymmetrisch, die Fahrbedingungen für die beiden Richtungen — vor- und rückwärts —, für welche die nämliche Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h vorgeschrieben war, somit verschieden. Eine Unsymmetrie der Achsfolge ist nach Auffassung des Verfassers grundsätzlich vorteilhaft. Sehr oft werden allerdings Dampf-Tender- und Elektrolokomotiven in den Achsanordnungen **2 C 2**, **1 D 1**, **2 D 2**, also symmetrisch, selbst mit genau gleichen Teilachsständen ausgeführt, zuweilen sogar unter Hinzufügung einer aus Gewichtsgründen nicht erforderlichen Laufachse, nur um ganz gleichmäßige Fahreigenschaften in beiden Richtungen zu erreichen. Eine Unsymmetrie verkleinert jedoch die Neigung zum Schlingern in der Geraden, eine Tatsache, die seit den sechziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts vereinzelt beobachtet wurde und die sich auch im vorliegenden Fall wieder als zutreffend erwiesen hat. Die Führung an beiden Fahrzeugenden sollte ursprünglich durch Drehgestelle erfolgen. Nach dem damaligen Stand der fahrzeugtechnischen Erkenntnisse hätte man an dem einen Ende ein amerikanisches, am anderen ein Helmholtz-Drehgestell, beide mit entsprechend starker seitlicher Verschiebbarkeit der Drehzapfenlagerung ausführen können. Indes ergab die Untersuchung, daß die Führung durch ein dreiachsiges Drehgestell der oben gekenn-

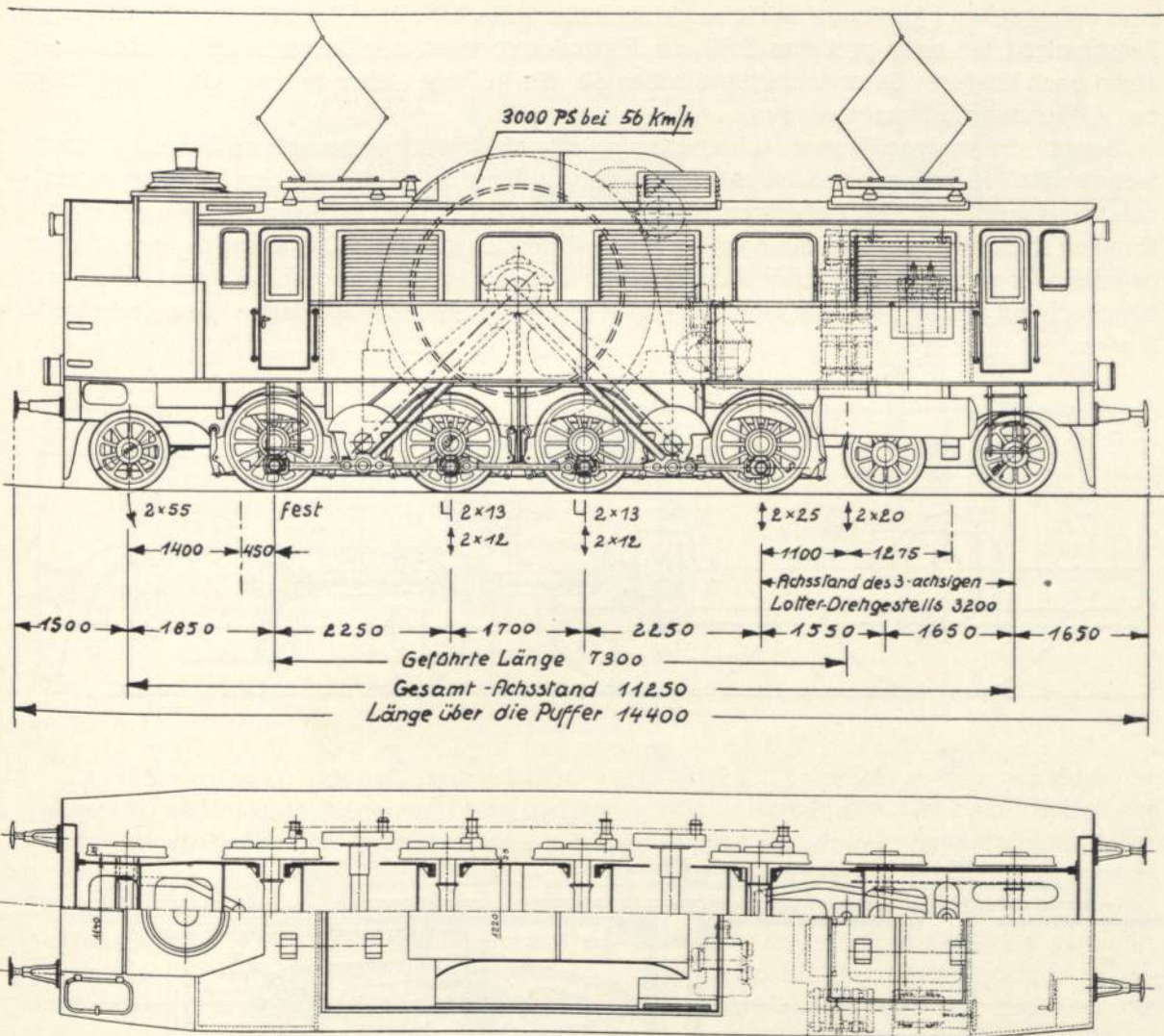


Abb. 1

gezeichneten Bauart ein besseres Verhalten in der Geraden und in Krümmungen und vor allem eine stoßfreie Einfahrt in alle Krümmungen — enge und flache — mit Sicherheit erwarten ließ. Da die gelegentlich beobachtete einseitige Spurkranzabnutzung bei der Laufachse des Helmholz-Drehgestells damals noch nicht ganz zuverlässig vermieden werden konnte, wurde das andere Lokomotivende durch eine feste Achse geführt, durch die Endkuppelachse. Die Laufachse, als Radialachse in einem Bisselgestell gelagert, wurde möglichst nahe an die Kuppelachse herangerückt, um den nicht vollwertig — nur durch die Rückstellfeder — geführten Teil an diesem Fahrzeugende möglichst kurz zu halten. Das Klemmen der beiden mittleren Kuppelachsen wurde durch eine ebenfalls bei dieser Lokomotive erstmals ausgeführte Maßnahme ausgeschlossen: durch Abdrehen der Spurkränze auf die zulässige Mindeststärke und gleichzeitige seitliche Verschiebbarkeit dieser Achsen um einen relativ kleinen Betrag. Verfasser hielt es im vorliegenden Fall nicht für ratsam, den bisher üblichen Weg zu gehen, um das Klemmen zu vermeiden, nämlich eine entsprechend große seitliche Verschiebbarkeit der betreffenden Achsen bei Regelform ihrer Spurkränze vorzusehen, da derartige Radsätze nach mannigfachen Beobachtungen wegen des großen Seitenweges derselben bei rascher Fahrt in der Geraden ganz unvermittelt an das Gleis scharf anprallen und wieder zurückgeworfen werden. Vielmehr wurde der geometrisch erforderliche Betrag auf die größte zulässige Spurkranzverschwächung und

eine entsprechend geringere seitliche Verschiebbarkeit verteilt. Diese Maßnahme ist in der Zwischenzeit bei einer größeren Zahl von Elektrolokomotiven der Deutschen Reichsbahn, die einen noch längeren Gesamtachsstand haben als die in Rede stehende Lokomotive, mit Erfolg zur Anwendung gebracht worden.

Sowohl die vorgeschlagene Achsanordnung wie die hierbei erstmals versuchten fahrzeugtechnischen Neuerungen fanden die Zustimmung Wittfelds. Der Erfolg der getroffenen Maßnahmen war eine mit den bisherigen Mitteln nicht erreichte Ruhe des Gangs, insbesondere vollkommen stoßfreie Einfahrt in die Krümmungen mit dem dreiachsigen Drehgestell voraus. Später gelieferte Lokomotiven ähnlicher Anordnung mit normalem amerikanischen Drehgestell und entsprechend großer Seitenverschiebung seiner Drehzapfen-Lagerung hatten diese vorteilhafte Eigenschaft nicht mehr.

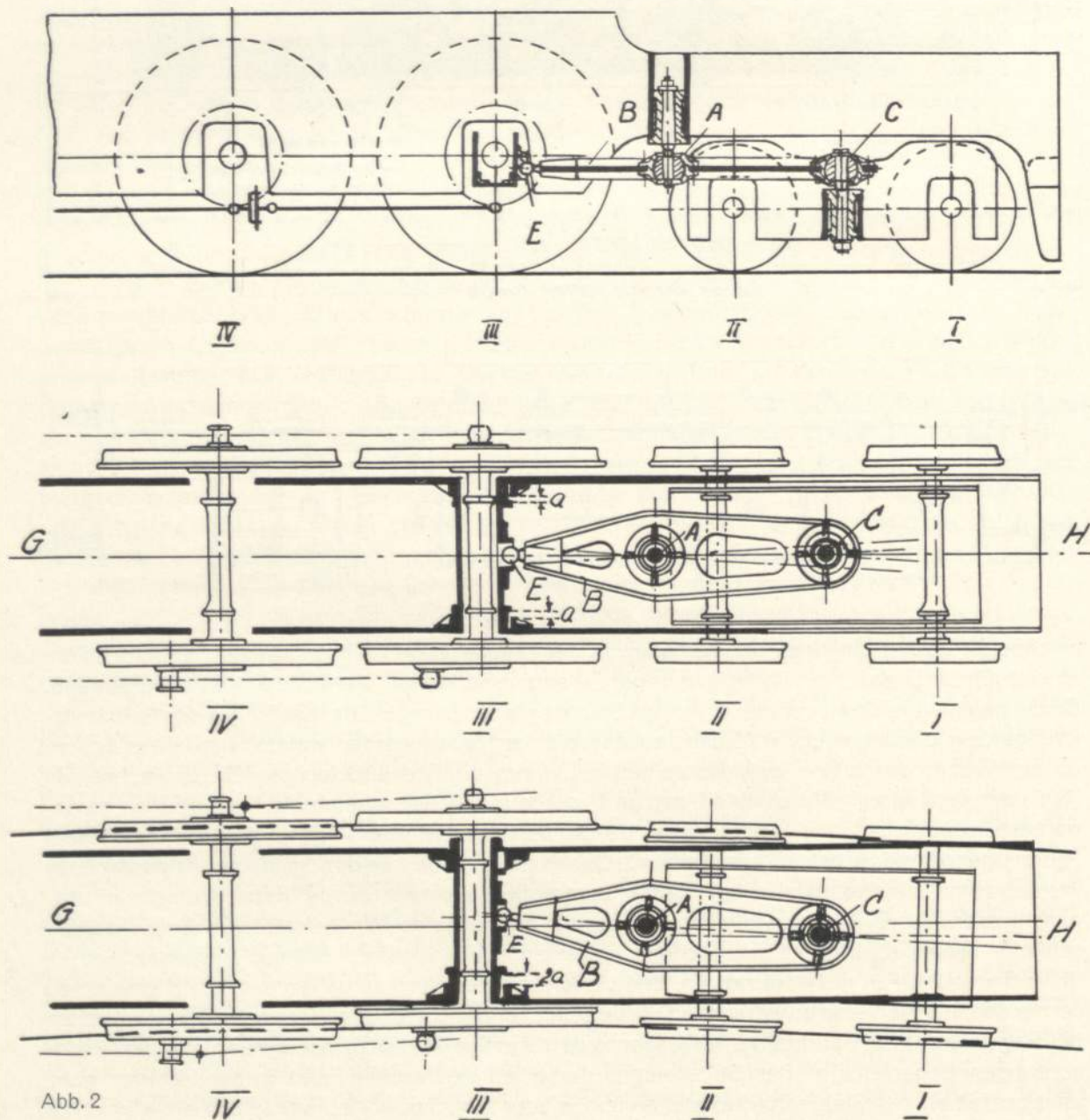


Abb. 2

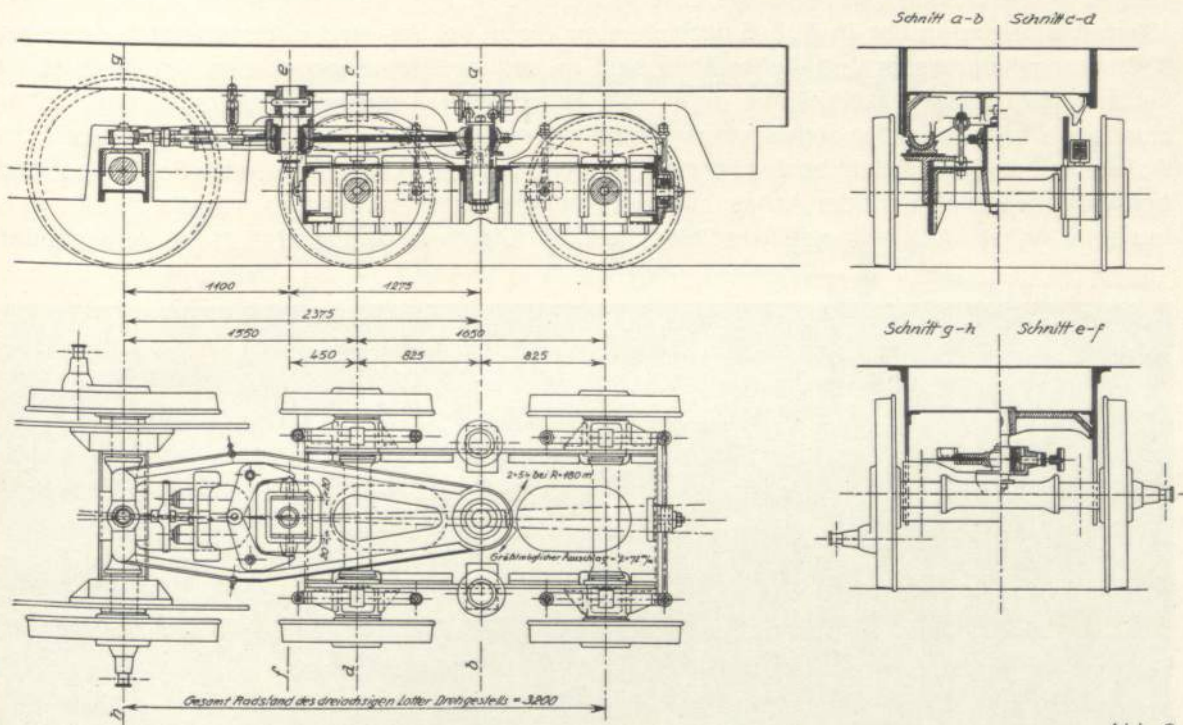


Abb. 3

Das dreiachsige Drehgestell, Bauart Lotter, wurde für 2 C 1 Lokomotiven des süddeutschen Netzes ebenfalls vorgeschlagen und kam dort schon 1914 in Betrieb, ein Teil dieser Maschinen auf der schwierigsten Gebirgsstrecke des Deutschen Reichs: Bad Reichenhall—Berchtesgaden.

Abb. 2 zeigt die grundsätzliche Anordnung dieses dreiachsigen „Führungs- und Drehgestells“. Ein zweiachsiges amerikanisches Laufgestell mit den Achsen I und II ist mit der benachbarten Kuppelachse III durch den Führungshebel *CAE* zu einem dreiachsigen Fahrzeug vereinigt, welches das betreffende Lokomotivende im Führungszapfen *A* führt und gleichzeitig in hohem Grad krümmungsschmiegsam macht. Bei sehr langen Lokomotiven wird die Lagerung des Führungszapfens *A* im Führungshebel *B* seitlich elastisch verschiebbar angeordnet. Der Betrag dieser Verschiebbarkeit ist auch bei außergewöhnlich großen Gesamtachsständen nicht über 2×30 mm, also außerordentlich gering. In diesem Punkt ist dieses Drehgestell dem gewöhnlichen amerikanischen weit überlegen. Das Gestell mit den Achsen I und II ist ein selbständiges Fahrzeug mit mittlerem Drehzapfen, der in *C* an den Führungshebel *B* angelenkt ist. Dieses Laufgestell kann den kleinen Unebenheiten der Bahn unabhängig vom übrigen Fahrzeug in waagerechter und senkrechter Richtung frei folgen und bei Fahrt durch den Übergangsbogen und in der Krümmung einen führenden Einfluß auf die Hauptmasse des Fahrzeugs mit Hilfe des Übersetzungshebels *CAE* ausüben. Letzterer ist an seinem anderen Ende in *E* an die seitlich verschiebbare Kuppelachse in einer vom Helmholtz-Drehgestell her bekannten Form kugelig angelenkt und in *A* mit dem Hauptrahmen bei kürzeren Lokomotiven drehbar, bei längeren unter Gegenwirkung einer Federung seitlich verschiebbar und verdrehbar verbunden. Alle führenden Kräfte werden von den Drehgestellachsen auf den Hauptrahmen mit Hebelübersetzung übertragen, fallen somit relativ klein aus. Die bauliche Durchbildung des dreiachsigen Drehgestells der schlesischen 2 D 1-Lokomotiven ist nach Ausführung der Linke-Hofmann-Werke, Breslau, aus Abb. 3 ersichtlich. Abb. 4 zeigt eine spätere Ausführung der Berliner Maschinenbau A. G. vormals L. Schwartzkopff in Seitenansicht, schräger Vorderansicht und Draufsicht. Der Einfluß eines derartigen Drehgestells auf die Führung einer langachsständigen Lokomotive ist in Abb. 4 an der 2 D 1-Schnellzuglokomotive der schlesischen Gebirgsbahn, jetzt Gattung E 50 der

Deutschen Reichsbahn, gezeigt. Die Lokomotive wird sich mit ihren einzelnen Achsen in einer 180 m Krümmung in der in Abb. 5 gezeichneten Weise bei Vor- und Rückwärtsfahrt einstellen. Krümmungshalbmesser und Achsstände sind in der von Roy angegebenen Art maßstäblich verzerrt, die Spurkranzspielräume gegen die Fahrkanten unverzerrt eingetragen, vgl. Lotter, Handbuch zum Entwerfen regelspuriger Dampflokomotiven, Seite 168. Das Laufgestell mit den Achsen I und II führt sich in beiden Fahrrichtungen mit einer Achse am äußeren Schienenstrang, bei der Vorwärtsfahrt mit der Achse I, bei der Rückwärtsfahrt mit der Achse II; die jeweils nachlaufende Achse läuft in ungefähr radialer Stellung. Die Kuppelachse III läuft bei Vorwärtsfahrt

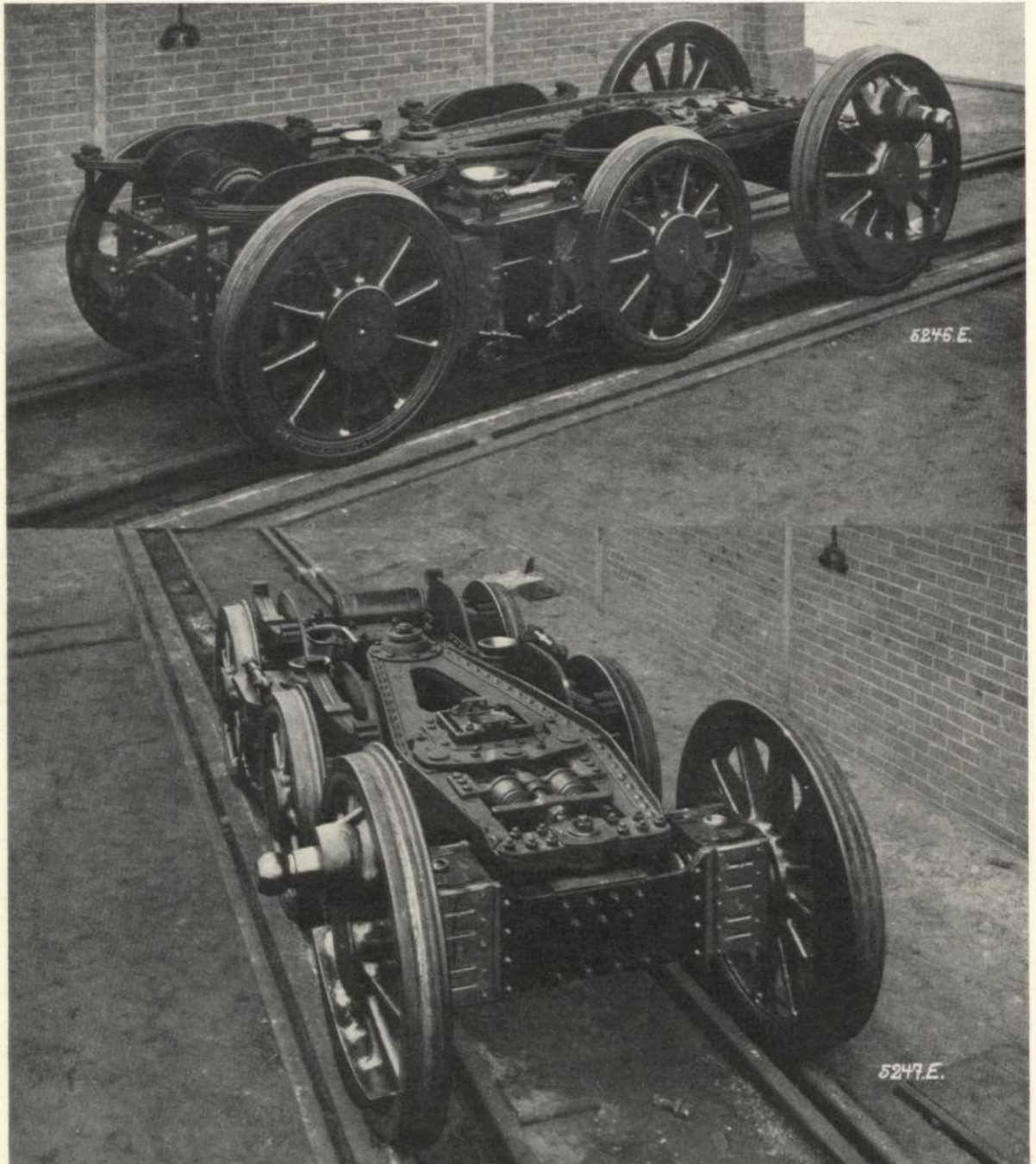


Abb. 4

Statische Krümmungseinstellung $R = 180 \text{ m}$.

Maßstäbe nach Roy: $\frac{1}{2}$; $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{8}$; $\frac{1}{16}$; $\frac{1}{32}$; $\frac{1}{64}$.

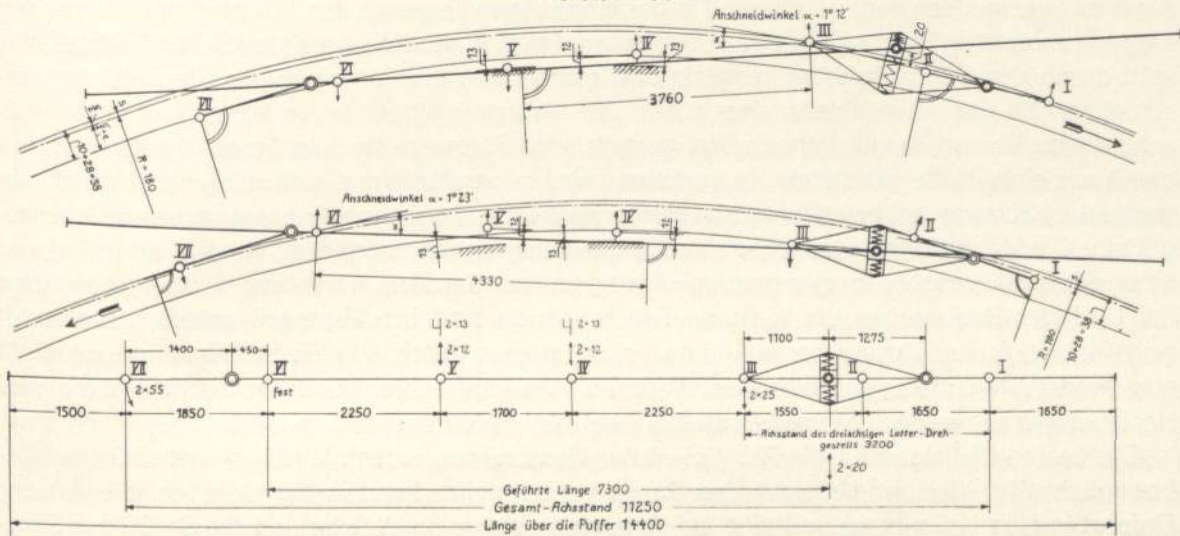


Abb. 5

am äußeren, bei Rückwärtsfahrt am inneren Strang an, überträgt also ihren statischen Seitenschub auf das Geleise und stützt sich mit ihrem Spurkranz auf dasselbe. Der jeweilige Stützpunkt wird zum Drehpunkt des Führungshebels, dessen anderes Ende vom amerikanischen Laufgestell beeinflusst wird. Mit der Hebelübersetzung $CE : AE$ der Abb. 1 wird der Hauptrahmen sowohl bei Fahrt mit dem Gestell voran wie bei nachlaufendem Gestell in günstiger Weise, d. h. mit relativ geringen Kräften durch die Krümmung geführt. Bei Vorwärtsfahrt geht die führende Einwirkung über die bei Einfahrt in den Übergangsbogen stärker angespannte Rückstellfeder, die Hauptrahmen-Mittellinie wird in der erforderlichen Weise nach innen gezogen. Bei Fahrt mit dem Gestell am hinteren Fahrzeugende läuft das Laufgestell unter allen Umständen nach außen und zieht über den Führungshebel die Lokomotivmittellinie hinten ebenfalls nach außen, wodurch der Anschneidewinkel am vorausfahrenden Lokomotivende in vorteilhafter Weise verkleinert wird. In dieser Beziehung unterscheidet sich das dreiachsige Lotter-Drehgestell grundsätzlich von dem sonst so vorzüglichen Helmholz-Drehgestell. Dieses vermag — am hinteren Lokomotivende laufend — das vordere Fahrzeugende nicht in die Krümmung hineinzudrehen, da seine beiden Achsen, die Kuppelachse und die Laufachse, bei kurzem Gesamtachsstand radial, bei längeren Fahrzeugen aber ungünstigerweise beide am inneren Strang anlaufen. Das tatsächliche Eintreten der gezeichneten Krümmungseinstellung ist durch zahlreiche Beobachtungen in mehr als zwanzigjährigem Betrieb bestätigt.

Das besprochene dreiachsige Lokomotivdrehgestell ist gemäß seinem Aufbau nach den „Technischen Vereinbarungen des Vereins mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen“ für alle Geschwindigkeiten zugelassen. Die seit 1914 vorliegenden Betriebserfahrungen haben hinsichtlich der Sicherheit der Führung, der Ruhe des Gangs, der Größe der Spurkranzabnutzung erwiesen, daß die Überlegungen, welche seinerzeit zur Konstruktion geführt haben, richtig waren. Das Gestell läuft infolge seines großen Achsstandes — stets über 3 m — in der Geraden schlingerfrei. Bei Einfahrt in einen Übergangsbogen erfolgt eine stoßfreie, sanfte Ablenkung der Hauptmasse aus der Geraden — dieser Punkt ist von den berichtenden Dienststellen immer besonders hervorgehoben worden —, und bei Durchfahrt durch die Krümmung wird die geometrische Stellung der drei Drehgestellachsen und des den Hauptrahmen führenden Zapfens durch die Wirkung der Kräfte an den sechs Rädern des Drehgestells eindeutig bestimmt und in dieser Lage so lange festgehalten, bis die Ausfahrt aus der Krümmung geometrisch eine Änderung der bisherigen, durch die Krümmung hindurch beibehaltenen Lage der drei Radsätze

erfordert. Die Ursache für den bemerkenswert ruhigen Lauf der mit diesem Drehgestell versehenen Lokomotiven liegt vorwiegend in der eindeutigen Lage des den Hauptrahmen führenden Zapfens unter allen Fahrbedingungen. Der bekannt gute Einfluß des amerikanischen Drehgestells wird durch den Führungshebel verstärkt und nicht durch eine übermäßig große seitliche Verschiebbarkeit des Laufgestells gegenüber der Fahrzeugmittellinie verschlechtert. Der entscheidende Vorzug des Helmholtz-Drehgestells, den Führungsdruck auf zwei Spurkränze und damit auf eine große Gleislänge zu verteilen, wird in verstärktem Grade ausgenutzt. Die geometrische Krümmungsbeweglichkeit ist stärker als bei den sonstigen Krümmungsbeweglichkeitsmitteln. Die Mängel der Radialachsen und Radialachsgruppen: mangelhafte, nur auf der Wirkung einer Rückstellvorrichtung beruhende Führung in der Geraden, verkehrte Wirkung derselben bei Lauf der Radialachse am hinteren Fahrzeugende sind ins Gegenteil gekehrt: unbedingt zuverlässige, feste Führung der Hauptmasse bei großer, durch eine Rückstellvorrichtung nicht erschwelter Nachgiebigkeit aller Gestellachsen in waagerechtem und senkrechtem Sinn und Nachaußendrängen der Lokomotivmittellinie bei hinten laufendem Drehgestell.

Die besten Maßstäbe für die Richtigkeit der Konstruktion eines Führungs- und Krümmungsbeweglichkeitsmittels sind die Art des Gangs bei schneller Fahrt in der Geraden, die Art der Einfahrt in eine Krümmung und eine auf Ablenkung stehende Weiche und die Größe der Spurkranzabnützung. In diesen Punkten hat das dreiachsige Lotter-Drehgestell derart entsprochen, daß es im Jahre 1921 — schon nach siebenjährigen Betriebserfahrungen — vom Verein deutscher Eisenbahnverwaltungen mit einem Preis ausgezeichnet wurde.

Die bauliche Einfachheit ist so groß und die Betriebserfahrungen sind derart, daß seine Anwendung auch im Dampf-Lokomotivbau mit gutem Gewissen befürwortet werden kann. Der zur Zeit angestrebte Übergang zu höheren Fahrgeschwindigkeiten bietet hierzu manche Gelegenheit.

Vom Schicksal der Musik im Zeitalter der Technik

Von Hermann Matzke in Breslau

Niemand wird leugnen wollen, daß die moderne Technik, der wir alle mehr oder weniger verhaftet sind, an der Kunst schlechthin vorbeigeht. Tatsächlich können wir unschwer beobachten, wie die große schicksalhafte Eigentümlichkeit unserer Zeit, eben die technische Entwicklung, die vor keinem Gebiet menschlicher Lebens- und Ausdrucksform haltmacht, auch die Musik, die seelenvolle Kunst der Töne, in ihre umfassende Beeinflussung einbezogen hat. Zweifellos ist die Frage erlaubt: Sind Musik und Technik nicht zwei im tiefsten Grunde ihres Wesens voneinander wegstrebende Gegensätze? Einander zwangsläufig meidende Bezirke wie Poesie und Prosa, Idealismus und Materialismus? Vielleicht gar feindliche Welten wie gut und böse? Solche krasse Gegenüberstellungen, so sehr die eine oder andere bei oberflächlicher Betrachtungsweise vielleicht berechtigt erscheinen mag, hinken dennoch samt und sonders wie die meisten Vergleiche, ja sie gehen sehr zum Schaden beider völlig am Kern der Sache vorbei. Wiederum erscheint das natürlich, denn die sich allzu leicht in der Hast des Tages, im Kampf ums Dasein bildende sogenannte Volksmeinung erhält ihre Richtung meist nicht aus dem wirklichen Umfang der Probleme, nicht von den in der Tiefe liegenden Entwicklungsmöglichkeiten der Dinge, sondern sie bildet sich ihr Urteil häufig vorschnell und dann fast unabänderlich an zeitlich bedingten Unvollkommenheiten oder beklagenswerten Auswüchsen neuer Erscheinungswelten, gelegentlich sogar an ausgesprochenen Irrtümern oder Zufälligkeiten. Hinzu kommt vielfach eine menschlich verständliche Abwehrpropaganda gegenüber tiefgreifenden technischen Neuerungen seitens unmittelbar davon betroffener oder geschädigter Berufs- und Bevölkerungskreise. Es ist also sicherlich nicht ganz leicht, in dem Für und Wider einer Verbreiterung technischer Grundlagen für die Lebensführung weiter Schichten und Daseinsbezirke den Kopf von Vorurteilen und verzerrten Anschauungen freizuhalten und dem jeweiligen Gegenstand an sich durch alle zeitgebundenen Stadien hindurch gerecht zu werden.

In voller Würdigung dieser Schwierigkeiten wollen wir versuchen, dem Schicksal der Musik im Zeitalter der Technik aufrechten Sinns und mit vertretbaren Mitteln vor unseren Zeitgenossen nach dem Maß unserer Kräfte gerecht zu werden. So mag uns vorerst einmal das bisherige Schicksal der Musik beschäftigen, und zwar mehr von ihrer technischen Seite, d. h. von der Kompositions- und Aufführungstechnik her. Unter Musik verstehen wir Europäer heute ein gleichzeitiges Zusammenwirken von Rhythmus, Melodie, Harmonie und Klangfarbe. Aber das war keineswegs immer so und ist auch heute noch nicht überall selbstverständlicher Brauch. Die alten Kulturvölker, wie Griechen und Römer z. B., kannten keine Mehrstimmigkeit und damit auch keine Harmonie, wie gleicherweise im Bereich der östlichen und fernöstlichen Kulturvölker, aber auch bei den Primitiven eine geordnete Mehrstimmigkeit in unserem Sinne nicht festgestellt werden konnte. Für unsere Zwecke genügt es durchaus, sich des geschichtlich beglaubigten Entwicklungszuges der europäisch-abendländischen Musik, namentlich nach der formalen Seite hin, zu erinnern. — Wir machen dabei immer wieder, und zwar in steigendem Maße, die Wahrnehmung eines Nebeneinanders von menschlicher Stimme und Instrument, den beiden überhaupt möglichen technischen Ausdrucksmitteln der Musik. Dieses wechselseitige Verhältnis von Stimme und Instrument im Abendlande ist von höchstem Reiz, wenn man sich vergegenwärtigt, daß im Orient von jeher ein Vorrang der Stimme als dem wesentlichen Träger des musikalischen Ausdrucks besteht. Im Abendlande, das durch die Völkerwanderung zu einer germanisch getönten Einheit wurde, gab es zunächst einmal auf dem Boden der christlichen Kirchenmusik — ähnlich wie schon in alttestamentlicher Zeit in Tempel und Synagoge — aus klimatischen, ethnologisch-rassischen Ursachen einen grundsätzlichen Kampf

zwischen Gesangsstimme und Instrument. Das Instrument galt in der Lehrmeinung auch der Kirche als Träger heidnisch-weltlicher Gedanken und Gefühle und daher als ungeeigneter Vermittler liturgischer Musik. Dem germanischen Volkstum aber, das von der christlichen Missionierung mehr und mehr erfaßt wurde, waren Musikinstrumente, insbesondere Blechblas- und Saiteninstrumente, zweifellos vertraut und offenbar Träger arteigenen Ausdrucks. Daß Instrumente und eine selbständige Instrumentalmusik sich in Europa so auffallend spät entwickelt haben, ist neben sekundären Gründen zweifellos auf diese ablehnende Haltung der alten und zumindest mittelalterlichen Kirche zurückzuführen, wobei es geradezu als Gegenprobe für den germanisch-deutschen Musikwillen gelten kann, daß die deutsche und germanisch beeinflusste Instrumentalmusik im Zeitalter der Klassiker (Alt-Klassik wie Wiener Klassik) diese Entwicklung in Sonate, Sinfonie, Kammermusik und Konzert fast mit dem Ungestüm eines entfesselten Sturzbaches in geschichtlich einzigartiger Weise nachholte. Wir haben es also in der Frühzeit abendländischen Werdens beinahe mit einem Zeitalter veränderter Instrumentaltechnik in der Musik zu tun. Denken wir hierbei auch daran, daß ja die weltlichen fahrenden Spielleute, also die besonderen Träger volkstümlich-weltlicher Instrumentalmusik noch in den frühdeutschen Rechtsbüchern der kirchlichen Auffassung entsprechend rechtlos, ja vogelfrei waren, so können wir die Stoßkraft der instrumentengegnerischen Argumente und Kräfte einigermaßen ermessen.

Noch ein anderes Ereignis von weltgeschichtlicher Bedeutung wurde für die Entwicklung und Eigenart der Kompositions- und Aufführungstechnik in Europa entscheidend: das Aufkommen der Mehrstimmigkeit. Uns Späteuropäern will es bei naiver Betrachtung kaum faßbar erscheinen, daß es einmal eine Zeit gegeben haben soll, in der man eine mehrstimmige Musik nicht gekannt hat. Dabei liegt diese Zeit, weltgeschichtlich gesehen, keineswegs sehr lange zurück. Noch deutlicher als bei der Instrumentalmusik können wir hier beobachten, wie die mehrstimmige Entwicklung aus dem germanischen Volkstum, also aus weltlichen Bezirken, in mühevolem Ringen mit den noch lateinisch hörenden Mönchen der germanischen Missionskirchen sich Bahn brach und voller Durchbruch ihr erst gelang, als sie sich zu einer mehrstimmigen Ausschmückung und Verbrämung des offiziellen Kirchengesanges, des einstimmigen gregorianischen Chorals, herbeiließ und die Träger der Kirchen in den germanischen Ländern selber germanisch-deutsch geworden waren. Dennoch dauert der Kampf um die Selbstbehauptung der abendländisch-germanischen Mehrstimmigkeit, die Papst Johann XXII. noch im Jahre 1322 feierlich verbot, mehrere Jahrhunderte. Erst Palestrina, der aus der Lombardei gebürtige große päpstliche Kapellmeister und Komponist aus dem 16. Jahrhundert mußte gegenüber Auswüchsen der Zeit zeigen, daß man auch mit den Mitteln der Mehrstimmigkeit in einem gut kirchlichen und tiefreligiösen Stil schaffen könne. Damit „rettete“ Palestrina zwar nicht die Kirchenmusik schlechthin, wie es ihm eine populäre Musikgeschichtsschreibung lange genug angedichtet hat, wohl aber rettete er die Mehrstimmigkeit für die Kirche, deren Verbot durch das Konzil von Trient (1545—1563) damals in gefährdender Weise erwogen wurde. Damit erst war die Technik der mehrstimmigen Komposition für das Abendland weltlich und geistlich sanktioniert und somit der Weg für die volle Entwicklung des mehrstimmigen Stils freigegeben. Wird diese Tatsache für immer mit dem Namen Palestrina verknüpft bleiben (trotz seiner vielen großen Vorgänger und Zeitgenossen z. B. unter den Niederländern), womit übrigens im Kern auch eine praktische Abkehr von der mittelalterlichen Kompositionslehre, der Lehre von den auf bloße Einstimmigkeit berechneten „Kirchentonarten“ verbunden war, so rückten nunmehr als nächste logische Folgerungen kompositionstechnischer Entwicklung die folgenden hervor: einmal das Zusammenwachsen von Vokalmusik und Instrumentalmusik auf der Ebene der Mehrstimmigkeit und sodann das Entstehen einer selbständigen mehrstimmigen Instrumentalmusik. In der Tat keimte beides auf und formte sich in jenem Zeitraum, an dessen Anfang etwa die Zeit Luthers stand und deren Krönung das Werk von

Johann Sebastian Bach wurde. In seinen Hunderten von Kantaten, in seinen Passionen, vor allem aber in der urgewaltigen h-moll-Messe hat Bach die vokalinstrumentale Synthese des Abendlandes begründet und stabilisiert (wiederum trotz seiner hochbedeutenden Vorgänger und Zeitgenossen, mit keinen Geringeren als Heinrich Schütz und Georg Friedrich Händel an der Spitze). In den großen Orgelwerken aber tut Bach gleichzeitig im Rahmen berühmter Orgelmeister den Mund auf zu einer tönenden Sprache ohne Worte, deren Freiheit, Kühnheit und Größe bis dahin kaum für möglich gehalten worden war und die uns heute vielleicht mehr denn je zu erschüttern imstande ist. Aber damit nicht genug, Bach wurde auch in besonderem Sinne ein Pionier der modernen musikalischen Kompositionstechnik. Im „Wohltemperierten Klavier“ drückte er langwierigen Versuchen etlicher Generationen um die Gewinnung ungehemmter Bewegungsfreiheit durch alle Dur- und Molltonarten den Stempel des Gelungenseins auf, womit die Kirchentonalarten endgültig das Ende ihrer Herrschaft fanden und die in Dur und Moll gegründete Musik praktisch alle Möglichkeiten freier Betätigung erhielt.

Hatte Bach mit dem hier Angeführten alle grundsätzlichen Vorbedingungen für die moderne Kompositionstechnik geschaffen, so wurde nun der Boden von zahlreichen Kleinmeistern bis in den Bereich der Wiener Klassik im Sinne der neuen Möglichkeiten aufgelockert und teilweise umgepflügt, auf dem nun Haydn, Mozart und Beethoven den technischen Wunderbau der klassischen Sinfonie und Sonate errichten konnten, der als rein orchestrales bzw. instrumentales Vermächtnis des deutschen Genius an die Welt eine neue ureigen deutsche Ausprägung musikalischer Energien darstellt. Und noch einmal fand der deutsche Musikgeist eine technisch neue Synthese der Kunstmittel auf bewußt universeller Grundlage in Richard Wagners „Gesamtkunstwerk“ von Musik, Wort und Szene. Fürwahr ein Gesamtweg der germanisch-abendländischen Musik, der — abgesehen von allen unverzichtbaren gemütsch-moralischen Eigenschaften — auch in seiner rein technischen Folgerichtigkeit einzig dasteht.

Aus all dem Angeführten geht hervor, daß die überkommene Musik bereits eine reiche technische Erfahrung hinter sich hat. Diese bezieht sich bei laufender Vervollkommnung und steigender Ausnutzung der musiktechnischen Mittel auf die Wechselwirkung von Kompositionstechnik und Aufführungstechnik. Die Entwicklung der Kompositionstechnik haben wir in großen Zügen bereits aufgezeigt. Es obliegt uns nun, den Werdegang der musikalischen Aufführungstechnik in den wesentlichen Hauptpunkten gedrängt zu umreißen, womit wir dann in folgerichtig gezogener Linie den Anschluß an die Gegenwart und ihre musiktechnischen Probleme erreichen.

Zur Aufführungstechnik müssen wir für den Zweck unserer Untersuchung zählen die Musikinstrumente (einschließlich der menschlichen Singstimme), die Spieltechnik (sowohl in der Beherrschung der einzelnen Instrumente wie hinsichtlich des Zusammenspiels) und gewisse akustische Erfahrungen.

Schon das früheste geschichtliche Altertum besitzt Schlag-, Blas- und Saiteninstrumente. Die ersten gebräuchlichen Instrumente überhaupt waren vermutlich Schlaginstrumente, wie ausgehöhlte Baumstämme und ähnliches, die ja noch kaum einen Tonsinn, sondern nur rhythmisches Gefühl voraussetzen. Alsdann mögen primitive Blasinstrumente aufgetreten sein, vielleicht aus Muscheln, Schilfrohr oder Tierzähnen. Auf einen entwickelteren Klangsinn lassen die einer willkürlichen Stimmung unterworfenen Saiteninstrumente schließen. Der Streichbogen, der die Saiteninstrumente zu Streichinstrumenten machte, läßt sich mit Sicherheit erst im Mittelalter feststellen und tritt, wie manche Forscher glauben, mit Vorliebe bei germanischen Völkern auf. Die Schlaginstrumente sind im Gegensatz zu ihrer reichen Ent-

wicklung bei primitiven und exotischen Völkern in der europäisch-abendländischen Musik niemals zu einer herrschenden Rolle gelangt. Die Blasinstrumente, insbesondere aus Metall, haben nach einem kräftigen Anlauf im römischen und germanischen Altertum im frühchristlichen Mittelalter einen Niederbruch erlitten. Die römische Technik z. B., beim Trompetenbau dünne Röhren herzustellen und zu biegen, ging während der Völkerwanderung verloren und mußte später neu erworben werden. Bildquellen zufolge kommen etwa bis ins 10./11. Jahrhundert in Europa am häufigsten vor Harfe, Rotta, Crowth (Vorläufer der Geige), das Kriegshorn und die Flöte; die Orgel findet seit dem 8. Jahrhundert zuweilen Erwähnung. Selbstverständlich spielten diese Instrumente — mit Ausnahme der Orgel — eine ausschlaggebende Rolle nur in der von der Kirche ignorierten oder abgelehnten weltlichen Musik. Daß die Erwerbung einer instrumentalen Spieltechnik unter solchen Umständen mehr Privatsache bleiben mußte, wird kaum zu leugnen sein. Anders stand es um die Singstimme. Mit Hilfe von lateinischen bzw. italienischen Sängern wurden in der Karolinger Zeit zahlreiche klösterliche Sängerschulen besonders am Rhein entlang errichtet, die natürlich nur liturgische Musik, also einstimmigen gregorianischen Gesang, nebst der dazu gehörigen Technik lehrten. Diese maßgebliche Beeinflussung durch südliche Gesangstechnik ist in Deutschland erst mit Wagners Werk weithin beseitigt worden. Ganz ist die sogenannte „italienische Gesangsmethode“ (worunter sich manches Fragwürdige verbirgt) bekanntlich bis heute noch nicht in Deutschland verschwunden. Einen stärkeren Gebrauch von Musikinstrumenten dürfte die Mehrstimmigkeit mit sich gebracht haben, wenn auch nur zur Stütze und Füllung der einzelnen Stimmen. Hiermit mag auch der sogenannte chorische Bau ganzer Instrumentenfamilien zusammenhängen. Man baute z. B. Diskant-, Alt-, Tenor- und Baßflöten, Sopran-, Alt-, Tenor- und Baßposaunen usw., die dann den Part der Singstimmen in gleicher Tonhöhe zwanglos übernehmen konnten. Bei dieser Stützpraxis ist es mit Ausnahme der instrumental selbständigeren Kriegs- und Feldmusiken und vielleicht mancher Tänze einige Jahrhunderte lang in der Hauptsache geblieben. Die Entwicklung der Tasten- und Streichinstrumente bedurfte einer freieren Ausdrucksmöglichkeit. Auch in der frühen Mehrstimmigkeit einschließlich der niederländischen Schulen war die Orgel Stütze des Gesanges. Gewiß versuchte sie durch Umspielung und Kolorierung der Hauptmelodien und der Harmonie dem vokalen Zwange nach Möglichkeit zu entgehen. Aber eine selbständige Orgelmusik war an die Voraussetzung einer anderen Aufführungspraxis, nämlich ohne Gebundenheit ans Wort, geknüpft. Ähnlich erging es den Streichinstrumenten, die ebenfalls lange Zeit nur die Singstimmen mitspielten. Es ist doch gewiß kein Zufall, daß die berühmte Blütezeit des klassischen Geigenbaus erst mit der Frühzeit der geigerischen Virtuosität, überhaupt mit der instrumentalen Emanzipation der abendländischen Musik zusammenfiel, ähnlich wie die Hochzeit des alten Orgelbaus mit den großen Meistern selbständiger Orgelmusik vor und um Bach parallel ging!

Diese Befreiung des Musikinstruments von der Vorherrschaft des gesungenen Wortes wurde in dem Augenblick grundsätzlich eingeleitet, als nur noch eine Singstimme der gesamten instrumentalen Harmonie, auf der Grundlage des Generalbasses gegenübergestellt wurde. Nach einer während des 16. Jahrhunderts anzusetzenden Keim- und Übergangszeit war die Gleichberechtigung von Singstimme und Instrument erreicht. Und so loyal und sorglos war das Verhältnis von Instrument und Singstimme in der Frühzeit der Instrumentalmusik noch immer, daß die alte Praxis der Vertauschbarkeit beider durch den altbekannten Vermerk: „Kann gesungen oder gespielt werden!“, ausdrücklich oder stillschweigend für weite Kompositionsbezirke von den Komponisten noch beibehalten wurde. In dieser Zeit war es auch, wo das Klavier bzw. sein Vorläufer, das Cembalo, (dazu hier etwa Orgel und Laute) seine Hochblüte freier Entfaltung erlebte. Denn zu jeder typischen Musik dieses Generalbaßzeitalters — das erst mit dem jungen Beethoven endete — war eine aus der bezifferten Baßstimme improvisierte harmonische Füllstimme, nicht selten bis zu virtuoser Kontrapunktik gesteigert, auf einem der genannten

Harmonieinstrumente unerlässlich. Ohne diese traditionelle klavieristische Vorarbeit von etwa anderthalb oder mehr Jahrhunderten sind die selber noch häufig wie titanenhafte Improvisationen anmutenden phantasiegeladenen Klaviersonaten Beethovens in ihrer geschichtlichen Entwicklung z. B. kaum richtig einzuschätzen. Daß diese vom Wort losgelöste „absolute“ Musik in den Sinfonien Haydns, Mozarts und Beethovens ihren großen orchestral-synthetischen Triumph feierte, ist allbekannt. Die Romantiker, wie Schubert, Weber, Schumann, fügten nun noch in bewußter Ausgiebigkeit und Auslese die Klangfarbe der einzelnen Instrumente dem Gesamtklange bei. Zugleich trat mit der stilwandelnden Aufnahme von nunmehr einwandfrei konstruierten Ventiltrompeten, Ventilhörnern und klappenreichen Holzblasinstrumenten die modulationsbewegte Chromatik im schillernden Orchesterklange des 19. Jahrhunderts Hand in Hand mit einer wesentlichen Vergrößerung des Orchesters nachdrücklichst in Erscheinung. Die Marksteine dieser Entwicklung von Weber, Berlioz, Liszt und Wagner bis auf R. Strauß reichen bis in unsere Tage hinein. Parallel zu dieser technisch hochgesteigerten Klangpalette geht die Vergrößerung der Orgel zur dynamischen Orchesterorgel mit Liszt und Reger als unverzichtbaren Höhepunkten.

Im Rahmen dieser reichen Entwicklung vollzog sich die Ansammlung eines immerhin erstaunlichen Besitzes akustischer Erfahrungen und zum Teil bewundernswerter kunsthandwerklicher Fertigkeiten insbesondere im Instrumentenbau. Die Entdeckung der Urkonsonanz, der konsonierenden Oktave, und die damit zusammenhängende Zentralisierung des Tonmaterials im Zuge der melodischen Erfindung um einen Hauptton herum, den wir heute als Tonika bezeichnen würden, gehört zweifellos schon einer gewissen vorgeschichtlichen Periode an. Die noch halbtönlöse Fünfstufenleiter (Pentatonik) reicht bereits in die Frühzeit des griechischen Altertums hinein. Das geschichtliche Zeitalter der Musik beginnt gleichwohl erst mit der akustischen und ästhetischen Entdeckung der Halbtöne. Mit der instrumentalen Darstellung und dem gesanglichen Treffenkönnen von Halbtönen ist bereits ein gewaltiges musiktechnisches Problem bewältigt. Das sogenannte „Überblasen“ bei röhrenartigen Instrumenten hat zweifellos schon in vorgeschichtlicher Zeit zur Auffindung der überaus wichtigen Obertonreihe (Naturtonreihe) geführt. Aber, wenn man sich die altehrwürdigen bronzenen Luren aus den Ostseemooren vor Auge und Ohr hält, so haben wohl nur die alten Germanen frühzeitig (d. h. vielleicht schon 2000—3000 Jahre vor Christus) diese Entdeckung musikalisch grundlegend verwertet, wie überhaupt die Obertonreihe für die Entwicklung der abendländischen Musik von größter Bedeutung wurde. Mit den erwähnten Luren verbindet sich zugleich eines der bedeutsamsten Zeugnisse, vielleicht überhaupt (trotz der mit Recht vielbewunderten altägyptischen Harfen) das erstaunlichste Beispiel frühalter Instrumentenbaukunst, das in seiner Einzigartigkeit auch in unserer Zeit weder musikalisch noch bautechnisch befriedigend nachgebildet werden konnte. Richard Wagners Nibelungen-Tuben sind ein intuitives Tasten auf diesem Wege.

Daß man zur Zeit der alten Griechen und Römer bereits über eine Raumakustik großen Stils verfügte, beweisen die teilweise heute noch erhaltenen antiken Freilichttheater, die in ihren Abmessungen und akustischen Ergebnissen auch heutiger Nachprüfung standhalten. Von größter Gelehrsamkeit und auch offenbar praktischer Erfahrung getragen sind die Arbeiten des römischen Baumeisters Vitruv aus der Zeit des Kaisers Augustus, der auf Grund eingehender Berechnungen in den Theatern unter den Sitzen entsprechend der Tonleiter abgestimmte Schallgefäße („*vasa echea*“, eine Art Resonatoren) zur Verbesserung der Akustik aufstellte und eine ganze raumakustische Theorie hinterlassen hat, deren Problemstellung noch heute gelten kann, wenn er verlangt, „daß jeder Stimmlaut, welcher Tonart er auch immer angehöre, von der Bühne aus heller und wohlklingender (als der Naturlaut selbst) zu den Ohren der Zuschauer gelange.“ Dabei stützt sich Vitruv bereits auf „alte Meister“, die zur besseren Vernehmbarkeit

der Stimmlaute für die Herstellung der Theater auf Grundlage der Wissenschaft der Harmonie der Töne bereits fest berechnete graphische Formeln ersonnen! So wird es uns nicht verwundern, wenn wir aus einer Beschreibung des Jesuitenpaters Athanasius Kircher glaubwürdig erfahren, daß bereits Alexander d. Gr. im vierten vorchristlichen Jahrhundert ein Wunderhorn, eine Art Lautsprecher besessen habe, mit dem er auf eine Entfernung von $18\frac{1}{2}$ km sein Heer zusammenrufen konnte. Diese Lautsprechertechnik hat der genannte Jesuit im 17. Jahrhundert durch Vorschlag einer Schneckenform noch theoretisch verbessert, wodurch er eine Reichweite bis zu 29 km erzielen zu können glaubte, was ein moderner elektrischer Lautsprecher kaum zu leisten imstande ist. Praktisch erreichte Kircher mit eigenen Versuchen in der Nähe von Rom vom Eustachiusberg aus mit Hilfe großer Trichter aus Eisenblech eine Hörweite von 2 bis 7 km, wobei er die Trichter als Sender und Hörer für die Antwort benutzt zu haben scheint. Auch von der Möglichkeit, Unbefugte vom Mithören auszuschließen, spricht der mit seinen praktischen Versuchen übrigens nicht allein dastehende Kircher bereits. Sogar die unsichtbare Übertragung von Musik in kleinerem Maßstabe, und natürlich ohne Elektrizität, war Kircher schon bekannt.

Neben den bekannten hervorragenden Fähigkeiten auf dem Gebiet des klassischen Streichinstrumentenbaus hatten frühere Zeiten noch besondere Erfahrung im Bau von Orgeln und mechanischen Musikinstrumenten. Für den Orgelbau hat die in Verbindung mit der Nachkriegs-„Orgelbewegung“ einsetzende nachdrückliche Orgelforschung bereits heute einen Hochstand feststellen können, der manchen Enthusiasten in vollem Umfange auch für unsere Zeit nachahmenswert erscheint. Was die mechanischen Musikinstrumente anbelangt, wie Glockenspiele, Spieluhren, automatisch blasende Flötisten, Trompeter usw., ferner Drehorgeln, zwitschernde Vögel und ähnliches, so befindet sich auch darunter manches erstaunliche Werk.

Für alle diese älteren musiktechnischen Dinge sind wir übrigens an alten Quellschriften nicht arm, wenn wir fürs erste etwa außer dem schon erwähnten Vitruv an spätere wie Theophilus presbyter, Virdung, Schlick, Ornithoparch, Agricola, Mersenne, Praetorius, Kircher, Mattheson neben den ungezählten Instrumentenbauern und Mechanikern denken, die uns insgesamt ein sehr vielseitiges Bild der Musiktechnik in früherer Zeit vermitteln.

Die bisherige Betrachtung, so summarisch sie sein mag, war nötig, um unsere Sinne für die Aufnahme der modernen musiktechnischen Erscheinungen zu schärfen und ihren Problemen ein von Schlagworten des Tages befreites Verständnis entgegenzubringen.

Der physikalisch-technische Weg der Musik geht in alter und neuerer Zeit durch die Mechanik und eine intuitive Primitiv-Akustik. Nun, im „technischen Zeitalter“ führt dieser Weg durch die Gebiete der Elektrizität, der Elektrotechnik und Elektroakustik, ja selbst in weiterem Umfange stellenweise durch die Optik und sogar die Chemie und Kosmologie, sozusagen als ein neuer, qualifizierter Appell der Musik an die Natur.

Die moderne Musiktechnik beginnt mit der Verwendung von Elektrizität im Instrumentenbau. Die Geburtsstunde der reinelektrischen Musikerzeugung und damit auch der modernen Elektroakustik bezeichnet aber erst die Einführung der Elektronenröhre. Die Verwendung von Elektrizität als Hilfskraft bei der Musikerzeugung ist schon einige Jahrzehnte alt, man denke nur an Klavierspielapparate wie Pianola, Phonola, an die durch elektrische Bewegung angestrichene Hupfeld-Violine, an das Orchestrion, an Orgeln mit elektrisch angetriebenem Windmotor, an elektrisch betriebene Glockenspiele, an die mit elektrischer Selbstspielvorrichtung versehene Welte-Mignon-Orgel, oder an die elektrische Orgeltraktur. Diese

und andere technische Errungenschaften der Vorkriegszeit sind heute in den Hintergrund gedrängt durch die viel radikalere Entwicklung, die die unmittelbare Erzeugung und Übertragung von Musik auf rein elektrischem Wege inzwischen genommen hat. Es handelt sich dabei um das Hervorbringen von musikalisch verwendbaren Tönen mit Hilfe der Hochfrequenztechnik, die erst mit der Benutzbarkeit der Elektronenröhren in den Bereich der praktischen Verwendbarkeit gerückt ist. Hier liegt das absolut Neue im Bereich der musiktechnischen Gesamtentwicklung. Es berechtigt uns tatsächlich, in materialer Hinsicht von einer neuen Epoche der Musik, eben der elektrischen, zu sprechen. Während bei aller bisherigen Klangerzeugung eine physikalische Masse in einen gewissen Spannungszustand, in schwingende Bewegung versetzt wurde, die sich durch Schallwellen unserem Ohre hörbar mitteilt, hat es mit der Klangerzeugung auf elektrischem Wege etwa folgende Bewandnis. In jedem elektrischen Schwingungskreis, wie z. B. in jeder Sendeantenne, fließt ein seine Richtung in der Sekunde bis millionenmal ändernder Wechselstrom, der wegen der Schnelligkeit seines Wechsels für uns nicht hörbar ist. Dank der Elektronenröhre kann aber die Geschwindigkeit dieses Wechsels so sehr herabgedrückt und reguliert werden, daß wir den derart gewonnenen Wechselstrom mit Hilfe eines Lautsprechers hörbar reproduzieren können. Die Tonhöhe ändert sich dann automatisch mit der jeweiligen Schwingungszahl des Wechselstroms. Aber nicht nur die Tonhöhe, sondern auch die Klangfarbe kann grundsätzlich und in sehr starkem Umfange auf dem gleichen Wege beeinflußt werden. Ähnlich wie bei der bisherigen Musikerzeugung, neben anderen Vorgängen, das Hervortreten bestimmter Obertöne oder Obertongruppen in jedem Falle für die Klangfarbe eines Tones entscheidend war, kann man hier den Klangcharakter des vom Lautsprecher übermittelten Tones ändern. Man vermag das dadurch, daß man einem im Lautsprecher wirksamen Wechselstrom weitere Wechselströme höherer Frequenz beigesellt oder aber indem man einen qualifizierten Wechselstrom benutzt, der außer der Grundfrequenz zugleich Wechselströme höherer Frequenz aufweist, aus denen man dann gewisse Hochfrequenzströme aussiebt. Auf diese Weise ist es möglich sowohl Klangfarben der bisherigen mechanischen Musikinstrumente glaubhaft zu treffen als auch überhaupt neue Klangfarben zu gewinnen. Damit erhält die reinelektrische Musik ihr eigenes Klanggesicht, wodurch sie zugleich eine neue instrumental-individuelle, aber auch synthetische Phase der Klangästhetik einzuleiten imstande ist. Auch gewisse Zusammenhänge zwischen Ton und Farbe, zwischen Ton- und Lichtempfinden gehören bis zu einem gewissen Grade hierher, obwohl man die psychische Allgemeinverbindlichkeit dieser Querverbindungen nicht überschätzen dürfen.

Als wichtigster Bundesgenosse bei der Erzeugung reinelektrischer Musik hat sich der Elektronenröhre die Photozelle in jüngster Zeit hinzugesellt. Sie wirkt dadurch, daß sie die Intensitätsschwankungen des auf sie fallenden Lichts bei ebenfalls hochelastischer Ansprache in elektrische Wechselströme umsetzt, wobei die Stärke des sie durchfließenden Stromes mit der auf sie gerichteten Lichtmenge wächst oder sinkt. Auch die Glimmlampe bedarf in diesem Zuge der Erwähnung.

Fassen wir das grundsätzlich Neue an der reinelektrischen Tonerzeugung der Klarheit halber noch einmal zusammen, so ergeben sich als Summe die folgenden Möglichkeiten: Nachahmung bereits bekannter Klänge, Erzeugung neuer Klangfarben, Gewinnung neuartiger Spieleigenschaften, schnelle Veränderbarkeit des Klangcharakters, Erzielung bisher unerreichter Lautstärken. Die Ausschöpfung dieser Begebenheiten versuchen auf verschiedenen Wegen und in teilweise verschiedenen Richtungen die mehr oder weniger bekannt gewordenen Apparaturen bzw. Forscher wie der Russe Thérémin mit seiner „Ätherwellenmusik“, Trautwein mit seinem „Trautonium“, Spielmann mit seinem „Superpiano“, Lertes und Helberger mit ihrem „Hellertion“, das bereits mehrstimmig spielbar ist und durch Einführung von federnden Spielwiderständen

eine Regulierung von Höhe und Stärke des Tons durch Fingerdruck zuläßt. Reinelektrische pfeifenlose Orgeln nach dem gleichen Prinzip bauten u. a. mit dem Forscher Martenot an der Spitze die Franzosen Coupleux und Givelet (von denen bereits Instrumente in Pariser Kirchen, in Lausanne und im Pariser Rundfunk stehen), ferner der Prager Ingenieur Hiebsch und die Deutschen Jörg Mager, Vierling u. a. Während die französische Konstruktion noch aus 350 Radioröhren-Schwingapparaten zusammengesetzt ist, benutzt Mager für ein solches Instrument, das er „Partiturophon“ nennt, nur fünf solcher Kästen, wodurch er glaubt, ein billiges Volksmusikinstrument geschaffen zu haben, das den Zwischenraum zwischen dem „einfarbigen“ Klavier und dem vielfarbigen Orchester ausfüllen soll. In einer anderen Konstruktion, dem „Omni-tonium“, strebt Mager durch Synthese elektrischer Partialtöne einer Klangfarbenpalette zu, die letzten Endes Tonfarben-, Skalen-, Akkord-, Crescendo-, Vibrato- und Chroma-Dynamik ermöglichen soll. Hier begegnet sich Mager mit einer gewissen Richtung im heutigen Orgelbau, die aus einer Reihe ausgesuchter, sich gut mischender Stimmen (Register) neue synthetische Klangwerte gewinnen will. Ein bereits praktisch, insbesondere liturgisch voll verwendbares Instrument elektrischer Natur scheint auch ein österreichischer Instrumentenbauer, Rudolf Stelzhammer, mit dem „Magneton“ hergestellt zu haben. Es soll von eigenem Toncharakter, großer klanglicher Elastizität und akustisch für schwierige Räume besonders brauchbar sein, dazu hervorragend ansprechen und sich bei stets haltender Stimmung mit Leichtigkeit um jedes Intervall transponieren lassen. Für eine gesunde zeitgemäße Einstellung zu musiktechnischen Dingen mag schon hier angeführt werden, wie ein bekannter katholischer Kirchenmusiker, Hofrat Vinzenz Goller, in der „Zeitschrift für Instrumentenbau“ über dieses Instrument urteilt: „Was mir das Magneton besonders sympathisch macht, obwohl ich mit der Pfeifenorgel aufgewachsen und mit ihr seit 50 Jahren unzertrennlich verbunden bin, ist die Erkenntnis, daß dieses neue Instrument der historischen Orgel nicht feindlich gegenübertritt, sondern diese in vielen Fällen zu ergänzen und zu bereichern vermag, weshalb die Orgelbauer und Orgelfachleute ohne Scheu dem neuen Instrument näherzutreten können.“

Neben diesen reinelektrischen Instrumenten, deren Entwicklung noch im Anfang steht, sind gleichsam als Halbgeschwister auch teilelektrische Musikinstrumente aufgetreten, deren technische Eigenart meist in einer Ersetzung des Resonanzbodens durch mikrofonartige Aggregate unter Zuhilfenahme des Lautsprechers besteht. Hier sind vor allem zu nennen der bekannte Neo-Bechstein, das Vierlingsche „Elektrochord“, das „Lautsprecherklavier“ von Beier und v. Dräger, bei dem die Saiten von pulsierendem Gleichstrom durchflossen sind, wobei die durch das Anschlagen der magnetisierenden Saiten hervorgerufenen akustischen Schwingungen in elektromagnetische umgewandelt und von einem Lautsprecher wiedergegeben werden. Klangfarbenänderungen von der Pikkoloflöte über den Cembaloton bis zur Orgel sollen durch Parallel- oder Serienschaltung von Kondensatoren leicht hervorzurufen sein. Ferner gehört hierher die Kraftvioline des Russen Makhonin, des Österreicher Henning und verschiedener Amerikaner, dazu die „Supervioline“ des Franzosen Bizos. Die klanglichen Besonderheiten bestehen hier vor allem in der Möglichkeit ungeahnter Vergrößerung und Biegsamkeit des Tons, erheblicher Klangfarbenmodulation und, bei Hammerinstrumenten, der Tonverlängerung, ja nachträglichen Verstärkung.

Was hat uns das technische Zeitalter der Musik an weiteren wesentlichen Eigentümlichkeiten bereits beschert? Wenden wir uns zunächst den bekanntesten Erscheinungen: Rundfunk, Schallplatte und Tonfilm zu.

Der Rundfunk erzeugt, im Gegensatz zu den im Vorangegangenen angeführten Apparaturen, Musik nicht selber (soweit es nicht die bekannten Störgeräusche sind), wohl aber vermag er alles Akustische vom Geräusch bis zur Musik auf drahtlos elektrischem Wege zu übertragen.

Auch seine Entwicklung ist an die der Elektronenröhre gebunden. Nachdem dem berühmten Physiker Heinrich Hertz seit dem Jahre 1886 die bewußte Erzeugung elektrischer Schwingungen von hoher Schwingungszahl und zugleich der Nachweis gelang, daß diese Schwingungen sich wellenförmig mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum fortpflanzen, wobei sie an Spiegeln zurückgeworfen und durch Prismen gebrochen werden können, bedurfte es im Grunde nur noch der Elektronenröhre (mit der seit 1916 in Deutschland gearbeitet wurde) um der Erzeugung, d. h. der Sendung dieser Wellen die für die Rundfunkpraxis nötige Stärke und Steuerungsfähigkeit dienstbar zu machen. Nach Überwindung der üblichen Kinderkrankheiten konnten im Jahre 1924 die ersten Rundfunksender dem Verkehr übergeben werden. Den Aufschwung des Rundfunkwesens haben wir seitdem als Zeitgenossen, bei einer Hörerzahl von zurzeit über 6,7 Millionen allein in Deutschland, staunend miterleben dürfen. Die technische Entwicklung kann auch der Laie in den alljährlich stattfindenden großen Funkausstellungen in anschaulicher Weise mitverfolgen. Während die verwendeten Wellen ursprünglich zwischen 300 und 30 000 m Länge sogenannte Langwellen waren, ist man heute aus praktischen Gründen daneben mehr und mehr zur Kurzwellen von 10 bis 50 m Länge übergegangen und im vordersten Interesse der wissenschaftlichen Gegenwart steht heute die Erforschung und Anwendbarkeit der Ultrakurzwellen (50 cm bis 2 m). Der Nachteil der heute bereits für die Praxis brauchbar darzustellenden Ultrakurzwellen ist ihre geringe Reichweite; als Vorteile sind zu buchen, daß bei ihrer Benutzung viele Sender störfrei unterzubringen sind, daß sie mittels parabolischer Reflexspiegel und Richtantennen auf gewisse Ziele hin gerichtet werden können und daß offenbar mit ihrer Anwendung erst ein befriedigendes Fernsehen zu erwarten ist. Schließlich müssen wir uns daran erinnern, daß auch der moderne elektrische Lautsprecher ohne die Elektronenröhre nicht denkbar ist.

Haben wir bei den Elektro-Musikinstrumenten als Wesentliches die neuartige Erzeugung und beim Rundfunk die quantitativ fast unerschöpfliche Übertragung von Musik, so setzen uns Tonfilm und Schallplatte in den Stand, einmal bereits gespielte Musik zu konservieren, um sie zu beliebiger Zeit, an beliebigem Ort, eine große Reihe von Malen als mehr oder weniger naturgetreue Wiederholung erneut erklingen zu lassen.

Von der Schallplatte wissen wir, daß sie die charakteristischen Schwingungskurven angespielter oder angesungener Membrane im Rahmen der Gesamtapparatur des „Grammophons“ in zuverlässigen Eingravierungen festhält und diese auf umgekehrtem Wege wieder der Membran zuführt, die diese Schwingungen als Töne an unser Ohr dringen läßt. Mit Hilfe der Elektrodose an Stelle der erwähnten mechanischen geht diese wechselseitige Übertragung verstärkt, naturgetreuer und elastischer vor sich. Beim Tonfilm ist meist die schon erwähnte lichtelektrische Zelle (Photozelle, Kerrzelle) Steuer der Konservierung und Rückübertragung. Das angespielte Mikrophon, das künstliche Elektro-Ohr, steuert durch seine elektrischen Spannungsschwankungen bei entsprechender Verstärkung eine Lichtquelle, deren Strahl durch eine Photozelle hindurch muß, und je nach der vom Mikrophon diktierten Stärke wird ein neben dem optischen Hauptfilm laufender Streifen in genauester graphischer Fixierung (Zackenverfahren oder Dichteschrift) mehr oder weniger stark belichtet. Diese wechselnde Belichtung steuert bei der Wiedergabe letztlich den Lautsprecher. Auch die in der heutigen Elektrotechnik wichtig gewordene, ihre Helligkeit elastisch einer ändernden Stromstärke anpassende Glimmlampe gelangt hier an Stelle der Photozelle zur Anwendung.

Mit dieser andeutungsweisen Aufzählung sind die großen in die Musik hineinragenden technischen Erscheinungen der Gegenwart gekennzeichnet. Freilich wird damit nur die große Linie und auch diese nur in groben Strichen aufgezeigt. Denn heute, schon kaum noch überblickbar für einen Fachmann, weisen diese Gebiete und ihr besonderer physikalisch-technischer

Untergrund bereits einen stattlichen Kreis von Spezialforschern, eine Reihe von charakteristischen Erkenntnissen und eine Fülle neuer Arbeitsprobleme auf. Zu den technischen und musikalischen Fragen gesellen sich weiterhin organisatorische, wirtschaftliche, soziale, rechtliche und auch politische und weltanschauliche Folgen und Forderungen. So ist es in der Tat nicht leicht, wahrscheinlich sogar unmöglich, ohne ein weites und tiefes Ausholen, wie wir es hier unternommen haben, zu gewissen klaren und zuverlässigen Ergebnissen über das Schicksal der Musik im Zeitalter der Technik zu gelangen. Andererseits werden sich manche Fragen nach unserem Rundblick über das Werden der Musiktechnik und der Kompositionstechnik ganz von selbst beantworten, da auch die radikalste Gegenwart noch immer zwangsläufig zur Speiche im Rad der Weltgeschichte wird und somit geschichtlicher Betrachtung auch unmittelbar post statum nascendi nicht völlig entraten kann.

In diesem Stadium unserer Betrachtung ist es Zeit, die grundsätzliche Frage nach dem Wesen der Technik zu stellen und so die organische Großverbindung mit der Musiktechnik herzustellen. Materiell und statisch betrachtet „ist die stoffliche, physikalisch-chemische Welt das Reich der Technik“. Dynamisch gesehen hat die Technik durch Arbeitserleichterung und „Schaffung zweckmäßiger Werte“ dem Menschen zu dienen. Diese Bindung an den Menschen, die anthropozentrische Richtung vernunftgemäßer Technik ist nicht zu übersehen. Sie darf freilich nicht in spießbürgerliche oder schulmeisterliche Pseudophilosophie aus der Froschperspektive umgemünzt, nicht durch kurzsichtige Dogmatik vernebelt und damit um ihre gesunden Früchte gebracht werden. Hinsichtlich der Musiktechnik ist die Urteilsbildung im Sinne einer notwendigen Wertung besonders erschwert insofern, als die stoffliche Welt der Apparaturen, die unsichtbare Welt der akustischen und elektrischen Energien zusammengebracht mit der ideellen Welt der Musik auf den ersten Blick hin leicht wie eine Zwangskoalition mit teilweise sensationellem Einschlag anmuten mag. Gleichwohl hat die moderne Musiktechnik vor der lediglich materiell gebundenen Technik in erkenntnistheoretischem Sinne eins voraus. Wenn nicht alle Zeichen trügen, können wir von der Musiktechnik her, in der das technische Allgemeinziel menschlicher Arbeitersparnis und Großversorgung quantitativ irgendwie bereits erreicht ist, wesentliche Rückschlüsse auch für das gesamte technische Leben herleiten. Das menschliche Ohr hat bereits jegliche Erdenferne überwunden, die moderne Musikmaschine trägt die Musik in jedes Haus und jede Musik kann zu jeder Zeit an jedem beliebigen Orte und für jeden Menschen unseres Erdballs durch ein paar Handgriffe wieder zum Erklingen gebracht werden. Wer wollte nach alledem ernstlich leugnen, daß die moderne Musiktechnik als erste unter ihren technischen Schwestern an ihrem rein technischen Ziel tatsächlich angelangt ist? Aber wir sehen bei allem Hochgefühl über das Erreichte auch die Kehrseite dieses großartigen Erfolges. Damit tritt zugleich die neue Aufgabe der ebenso umfangreich wie dringlich anstürmenden Gefahr gegenüber: alles Erreichte durch katastrophale Übersteigerung und unzulängliche Ökonomie im Grunde wieder unnütz zu sehen, wobei sich in der Musik noch die künstlerisch-ästhetische Qualitätsfrage in besonderer Weise geltend macht. Und so können wir den Satz wagen: Beherrschte Technik im Sinne organischer Bindung ist Kultur, Technik ohne solche Bindung birgt den Keim der Zerstörung in sich. In diesem Zusammenhange sind es vor allem drei Dinge, die der Musik im Zeitalter der Technik ihren Stempel aufdrücken: die soziale Frage, die ästhetische Qualität und die innermusikalische Erziehung des Menschen in Verbindung mit dem Ruf nach neuem Schöpfertum.

Die soziale Frage im Musikleben habe ich vor Jahren als das Problem erklärt¹⁾: Wie es zu ermöglichen sei, den musikalischen und musikliebenden Volksteilen die ihnen angemessene Teilnahme am Musikgut insgesamt und der Musikerschaft gleichwohl einen auskömmlichen

¹⁾ Vgl. Matzke, Musikökonomik und Musikpolitik. Grundzüge einer Musikwirtschaftslehre; 1927.

Lebensunterhalt zu gewährleisten. Der erste, äußerlich umfassende Teil dieses Problems darf heute, zumal in Deutschland mit seinem dichten Rundfunkhörernetz und in Verbindung mit dem Volksempfänger, als technisch fürs erste gelöst angenommen werden. Andererseits ist im gleichen Zuge von Rundfunk, Tonfilm und Schallplatte ein wesentlicher Teil der nicht in Kulturorchestern tätigen Musiker — und auch der Musiklehrerschaft — brotlos geworden und nur in relativ geringerem Umfange in den neuen technisch-musikalischen Institutionen untergekommen. Diese Tatsache wird, wie die Dinge liegen, bei aller damit verbundenen einzelpersönlichen Tragik, zu einem erheblichen Teil für unsere Zeit als unabänderlich hingenommen werden müssen. Hauptsächlich erklärt sich diese schwierige Lage daraus, daß mit dem raschen Aufkommen seinerzeit der stummen Filmtheater plötzlich sehr viele Musiker gebraucht wurden, so daß nicht wenige eigentlich Berufsfremde hier eine Versorgung fanden, die dann mit der jähren Einführung des Tonfilms für fast die gesamte Berufsgruppe ein bitteres Ende fand. Für die Zukunft wird, wie beim akademischen Hochschulstudium, zumindest vorübergehend, wohl nur eine Art Numerus clausus für die Berufsmusikerlaufbahn oder einzelne ihrer Zweige soziale Hilfe bringen können. Vielleicht darf man in einer Verfügung der Reichsmusikkammer, wonach neue Berufsorchester nicht mehr gegründet werden sollen, eine Frucht ähnlicher Erwägungen erblicken. Im übrigen verlangt und begünstigt die Technik in besonderem Maße ein strenges Ausleseverfahren. Je mehr eine Maschine leistet, um so intelligenter und leistungsfähiger muß ihr Erbauer, Pfleger, Bedienungsmann und nicht zuletzt der im Endergebnis mit ihr konkurrierende Musiker sein, da ja die Musikmaschine einem geübten Spezialisten gleicht. Zugleich hat im Instrumentenbau die frühere Handarbeit im durchrationalisierten Fabrikbetriebe ihre Tätigkeit in größerem Ausmaß an die Fabrikation abgetreten. Allerdings nicht so völlig, wie in vielen anderen Gebieten, weil hier eben noch sehr viel kunsthandwerkliche Kleinarbeit (wie z. B. allein beim Intonieren im Orgelbau) zu leisten bleibt, die ein spezialisiertes Meistertum als selbständige Erscheinung wie auch im Rahmen des Großbetriebes nicht entbehren kann weder heute noch in absehbarer Zukunft.

Wenden wir uns der ästhetischen Qualitätsfrage in musiktechnischen Bezirken zu. Wenn man seit Jahren immer wieder die Schallplatte im Rundfunk als besonders beliebt rühmen hört, so zeigt das, wie verwöhnt der Geschmack des Publikums bereits geworden und wie sehr die gute Schallplatte hier schon erfreuliche Arbeit an der musikalisch-klanglichen Erziehung weiter Kreise geleistet hat. Wie sehr und wie schnell sich die kompositionstechnischen und selbst ästhetischen Forderungen unter dem Einfluß der technischen Entwicklung im Fluß befinden, möge das folgende Beispiel dartun. Vor einigen Jahren noch glaubte man in klanglichem Sinne alles Heil von einer lebhaft betriebenen neuen Rundfunkmusik hauptsächlich linearer Prägung erwarten zu sollen. Wagner und Straußsche Orchestermusik galten als unfunkisch. Heute, unter dem Einfluß wesentlich verbesserter Aufnahmemikrophone und Senderäume wird niemand mehr diese zweifellos bereits veraltete Anschauung vertreten wollen. Obwohl wir wissen, daß auch eine kleine Kapelle im Rundfunk gut klingen kann, sehnen wir uns doch nach dem heute in Fülle und Klarheit zur Übertragung gelangenden Klange eines großen Orchesters, unbeschadet der hervorragend intimen Wirkung von Kammermusik. Die Übertragungstechnik ist eben weiter fortgeschritten und läßt uns sogar Sopranstimmen jetzt mit Genuß anhören, wobei freilich gerade ein Problem fast beherrschend in den Vordergrund rückt: die reine Qualität der Aufführung selber, sowohl nach der musikalischen Seite hin wie in Richtung sorgfältigster Übertragungsmaßnahmen. Somit hängt der ästhetische Erfolg des Rundfunks von der Auslese seiner Künstler und der Art wie Ausführung seines Programms ab, wobei er selbst sich mit seinen eigenen Darbietungen dauernd der ästhetischen Konkurrenz der nebenher von ihm gebotenen hochwertigen Industrieschallplatten mit allerersten Künstlernamen ausgesetzt sieht. Auch im Tonfilm überwiegt die Aufnahme qualitativ gut klingender Musik, wobei über den Wert der Tonfilmkompositionen an sich hier nichts ausgesagt sein soll. Daß an der weiteren Verbesserung des

reinen Klanges namentlich von der physikalischen Forschung her mit Nachdruck gearbeitet wird, zeigt die rege Ausnutzung der Möglichkeit, Töne in graphischer Darstellung als Kurven zu photographieren, und ein anderes Verfahren, jeden Ton in seinem Klangspektrum analysieren zu können. Von dieser Seite der reinen Klangästhetik her wird uns die technische Musik der Zukunft zweifellos nicht enttäuschen.

Das wichtigste Kapitel unserer Betrachtungen, das auch über den musikalischen Wert der Musik im technischen Zeitalter und damit letztlich über ihr hier eingebettetes Schicksal entscheiden wird, muß den innermusikalischen Energien der Erziehung und des lebendigen Schöpfungstums gewidmet sein. Die Technik bringt zweifellos eine stark zwangsläufige Entwicklung mit sich, aber ebenso sehr bleibt auch im Rahmen dieser Entwicklung genug Spielraum für eine traditionsorganische Verknüpfung und kulturverbundene gegenseitige Durchdringung. Die musiktechnische Gegenwart kann daher weder den Musikwissenschaftler noch den Ingenieur erschrecken. Sie sind ja hier beide vor eine Aufgabe gestellt, deren volle Lösung nur als Gemeinschaftsarbeit möglich ist und die somit zu den großen Aufbauarbeiten der Gegenwart gehört. Im Hinblick auf die beiden unausweichlichen Grundtatsachen unserer Gegenwart: Maschine und Masse der Menschen, bleibt uns gar nichts anderes übrig als die Technik zu bejahen. Aber indem wir sie bejahen, erwerben wir als Musiker ein moralisch unveräußerliches Mitbestimmungsrecht! Und dieses Mitbestimmungsrecht angemessen auszuüben wird die vornehmste Pflicht derjenigen sein müssen, die durch musiksöpferischen Instinkt und tiefe musikwissenschaftliche Erkenntnisse für diese natürliche Führerrolle berufen sind. Das ist nämlich nach wie vor auch im Zeitalter der technischen Musik das Entscheidende, daß wir an unsere großen Meister aller Zeiten glauben und von der Gegenwart und Zukunft die organische Fortsetzung ihrer Führerreihe erhoffen und erwarten. In diesem Sinne muß auch unsere musikalische Volkserziehung folgerichtig verankert werden. Der allzuoft beschworene Durchschnitt besagt in der Kunst nichts; nur der wirkliche Meister hat das Recht im Lande gehört zu werden. Der deutsche Musikwille vollends hat, so gewissenhaft er jahrhundertlang bei den verschiedenen Völkern in die Lehre gegangen ist, die Ausprägung seiner eigenen Wesensform nie vergessen. Stets hat sich gerade die weltanschaulich so tief gegründete deutsche Musik als stark genug erwiesen, um sich den Anstürmen neuer oder fremder Einflüsse elastisch anzupassen, ohne ihr Inneres aufzugeben. Auf diese Unversehrtheit des Innern, die ganze seelische und geistige Haltung aber kommt es immer wieder an. Hier, im entscheidenden Zentralpunkt, muß die Technik, wenn nötig, sogar zeitweise dienender Rahmenfaktor werden für den Menschen, seine Musikbegabung und sein Musikbedürfnis. Damit entfällt auch die ästhetische Isolierung des Kunstwerks unter der einschränkenden Forderung *l'art pour l'art*! Bewußte Bindung an Mensch und Erde, auch in allen metaphysischen Folgerungen, diese Grundforderung muß sich die Musik im „technischen“ Zeitalter ebenso sehr wieder zu eigen machen wie die Technik im Hinblick auf die Musik. Dann wird die Vorbedingung für kulturelles Neuland, für eine kulturwürdige „Neumusik“ auch in unseren Tagen gegeben sein.

Über die Periodizität der Gebirgsschläge im westoberschlesischen Steinkohlenbezirk

Von Ludger Mintrop in Breslau

Beim Abbau der oberschlesischen Steinkohlenflöze brechen die unterirdischen Hohlräume häufig urplötzlich zusammen. Wegen der Heftigkeit der dabei auftretenden Gebirgsbewegungen bezeichnet der Bergmann die Vorgänge als Gebirgsschläge. Als Folge der schlagartigen Auslösung von Gebirgsspannungen und des damit verbundenen plötzlichen Absetzens von Kohle- und Gesteinsmassen treten starke Erschütterungen des Grubengebäudes und der Tagesoberfläche auf. Die Erschütterungen sind zuweilen so stark, daß sie an kleine Erdbeben erinnern. Die Ausläufer der Gesteinsschwingungen werden zuweilen noch von der 160 km vom Zentrum des oberschlesischen Bergbaus entfernten Erdbebenwarte der Technischen Hochschule in Breslau aufgezeichnet. In Oberschlesien selbst sind die mit den Gebirgsschlägen verbundenen Erderschütterungen u. a. Gegenstand von seismischen Untersuchungen der erdwissenschaftlichen Landeswarte in Ratibor mit ihren Nebenstationen durch Prof. Dr. Mainka und Bergassessor Mann.

Von bergmännischer Seite ist die Erscheinung der Gebirgsschläge in zahlreichen Abhandlungen in der in- und ausländischen Literatur behandelt worden¹⁾.

In seiner Abhandlung: „Die Erdbebenforschung im Dienste des Bergbaus“²⁾ bringt Rellensmann Häufigkeitskurven der Gebirgsschläge und Erderschütterungen in Westoberschlesien für die Zeit von 1927 bis 1933. Der Darstellung liegt ein auf Veranlassung des Oberbergamtes Lindemann, jetzigem Dezernenten für den bergmännischen Sicherheitsdienst im Preußischen Ministerium für Wirtschaft und Arbeit, beim Oberbergamt in Breslau geführtes Verzeichnis der Gebirgsschläge und Erschütterungen, insgesamt 87 Gebirgsschläge und 138 Erschütterungen, zugrunde. Während bei den Gebirgsschlägen die Grubenbaue in Mitleidenschaft gezogen waren, sind unter Erschütterungen diejenigen Erderschütterungen zu verstehen, die nur über Tage gefühlt, bei denen ein Zubruchegehen von Grubenbauen jedoch nicht bekannt geworden ist.

Die Häufigkeitskurve „Gebirgsschläge und Erderschütterungen zusammengefaßt“, ergibt nach Rellensmann ein außerordentlich stark ausgeprägtes Maximum in den Wintermonaten November bis Februar, dem ein besonders im Juni scharf ausgeprägtes Sommerminimum gegenüber liegt. Während der Monatsmittelwert 19 beträgt, liegt das Juniminimum bei 7 und das Dezember-Januar-Minimum bei 33 Gebirgsschlägen und Erderschütterungen. Die tägliche Häufigkeitskurve ergibt eine ausgesprochene Bevorzugung der Nachtstunden von 0—3 Uhr, der Vormittagsstunden von 9—12 Uhr und der Nachmittags- bzw. Abendstunden von 16—21 Uhr. Die Spitzen der Maxima liegen zwischen 1 und 2 Uhr, 10—11 Uhr und 18—19 Uhr. Rellensmann bemerkt, daß das Maximum zwischen 18 und 19 Uhr besonders deutlich ausgeprägt und auch von Mainka in den seismischen Aufzeichnungen der Gebirgsschläge und Erderschütterungen gefunden worden sei. Die Ursache dieser auffälligen Erscheinung sei noch nicht völlig geklärt.

Es ist mehrfach die Vermutung aufgetaucht, daß die Gebirgsschläge, wenigstens zum Teil, durch tektonische Erdbeben bzw. durch seismische Bodenunruhe ausgelöst werden. Auch die Frage der auslösenden Wirkung starker Luftdruckschwankungen ist erörtert worden. Andererseits spielen naturgemäß Art und Fortschritt des Abbaues für das Zustandekommen der Gebirgs-

¹⁾ S. u. a. Lindemann, „Gebirgsschläge und Bodenerschütterungen im westoberschlesischen Steinkohlenbezirk.“ Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen in Preußen, 1930.

Spackeler, Bracht, Marx, „Untersuchungen über Gebirgsschläge“. Ebenda 1931.

Kampers, Druckverschiebungen durch Abbau als Entstehungsursache von Spannungsunterschieden und Gebirgsschlägen im Oberschlesischen Steinkohlenbergbau. Ebenda 1934.

²⁾ Rellensmann, Die Erdbebenforschung im Dienste des Bergbaus. Ebenda 1934.

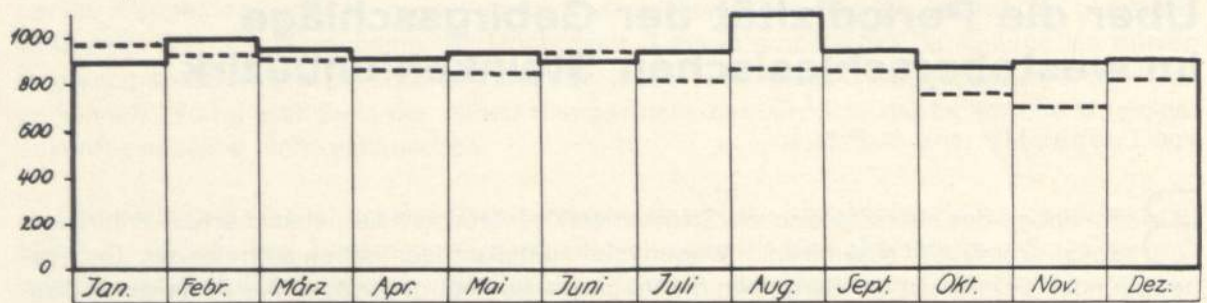


Abb. 1. Monatsmittel der Anzahl der Unfälle durch Stein- und Kohlenfall im rheinisch-westfälischen Steinkohlenbezirk in den Jahren 1909 und 1910. — 1909 - - - 1910

schläge eine entscheidende Rolle. Vielleicht sind auch die Schütterwirkungen der zahlreichen Sprengschüsse, welche in den Aus- und Vorrichtungsbetrieben sowie beim Abbau gelöst werden, von Bedeutung. Professor Hausmann schreibt z.B.³⁾, daß die Knappschafts-Berufsgenossenschaft in Tarnowitz auf Grund der Aachener monatlichen Erdbebenberichte und in Verbindung mit der Aachener Station aus zweijährigen Beobachtungen (1906—1908) gefunden habe, daß im gesamten oberschlesischen Bergbaubezirk in Bebenstunden zwischen 31% und 45%, im Mittel 38% mehr Unfälle durch Stein- und Kohlenfall — soweit dieselben durch plötzlichem Absetzen von Gebirgsmassen hervorgerufen werden — vorgekommen sind als in den bebenfreien Stunden. Durch dieses Ergebnis angeregt hat die Erdbebenstation in Bochum in Gemeinschaft mit der Knappschafts-Berufsgenossenschaft, Sektion II in Bochum, gleichartige Untersuchungen im rheinisch-westfälischen Steinkohlenbezirk angestellt⁴⁾. Die statistischen Feststellungen, die sich auf den fünfjährigen Zeitraum von 1909—1913 erstreckten, ergaben, daß zwischen Erdbeben und Schlagwetterexplosionen kein Zusammenhang besteht. Die Erscheinung, daß Erdbeben und Schlagwetterexplosionen vielfach zeitlich annähernd zusammenfallen, ist zufällig und nicht

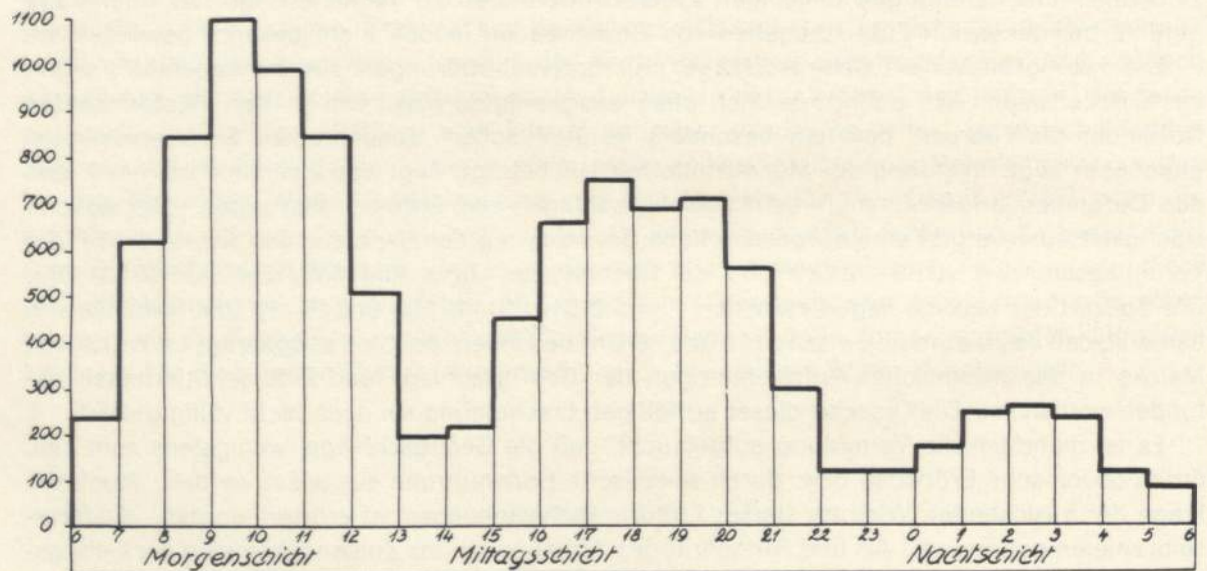


Abb. 2. Jahresstundenmittel der Anzahl der Unfälle durch Stein- und Kohlenfall im rheinisch-westfälischen Steinkohlenbezirk im Jahre 1909.

³⁾ Haußmann, Die Erdbebenstation der Kgl. Technischen Hochschule zu Aachen. Mitteilungen des Aachener Bezirksvereins Deutscher Ingenieure, 1909, Nr. 7.

⁴⁾ Mintrop, Erdbeben, Schlagwetterexplosionen und Stein- und Kohlenfall", Glückauf 1914, Nr. 9.

häufiger, als nach der Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens zweier von einander unabhängigen Erscheinungen erwartet werden kann. Ebenso wenig wie bei Erdbeben ergab sich ein Zusammenhang zwischen seismischer Unruhe und Schlagwetterexplosionen.

Das gleiche negative Ergebnis hatten die Untersuchungen über den Einfluß von Erdbeben und seismischer Unruhe auf den Stein- und Kohlenfall, wenigstens soweit durch letzteren Unfälle hervorgerufen waren. Die von der Knappschafts-Berufsgenossenschaft aufgestellte Statistik erstreckte sich auf die Jahre 1909 und 1910. Sie umfaßte 11192 bzw. 10439, zusammen 21631 Einzelunfälle, die nach Jahr, Monat, Tag und Stunde geordnet in einem Verzeichnis zusammengestellt wurden. Die Belegschaft betrug im Jahre 1909 263000 und im Jahre 1910 266000 Mann.

Wenngleich, wie bereits bemerkt, eine Zunahme der Unfälle zu den Zeiten, in denen die Ausläufer ferner Beben den rheinisch-westfälischen Steinkohlenbezirk durchzogen bzw. die Gebirgsschichten infolge der seismischen Unruhe stunden- und tagelang Schwingungen wechselnder Periode und Amplitude ausführten, nicht nachweisbar ist, so können die Ergebnisse der Statistik doch im Vergleich mit einer Statistik der Gebirgsschläge in Oberschlesien herangezogen werden. In beiden Fällen ergibt sich nämlich eine ziemlich weitgehende Übereinstimmung in den täglichen Perioden. Dagegen ist weder im rheinisch-westfälischen Bezirk noch in Oberschlesien, wie gezeigt werden wird, eine jährliche Periode festgestellt worden.

Die Abb. 1 stellt die Monatsmittel der Unfälle durch Stein- und Kohlenfall im rheinisch-westfälischen Steinkohlenbezirk im Mittel der Jahre 1909 und 1910 dar. Das Monatsmittel beträgt 901. Um diesen Mittelwert schwanken die einzelnen Monatswerte nur um wenige Prozent, im Höchsfalle um 20%. Eine Periodizität der Zahl der Unfälle während des Jahres ist nicht zu erkennen. Ganz anders dagegen verläuft die in der Abb. 2 dargestellte Tageskurve der Unfälle, welche je drei ausgesprochene Maxima und Minima zeigt. Die Maxima fallen mit den Zeiten der größten Betriebsintensität in den Morgen-, Nachmittags- und Nachtschichten zusammen, während die Minima bei den einzelnen Schichtwechseln liegen. Die Amplitude der Tageskurve ist am größten in der Morgenschicht, danach folgt die Nachmittagschicht, während nachts die wenigsten Unfälle eintreten. Diese Ergebnisse waren zu erwarten, weil die Morgenschicht am stärksten und die Nachtschicht am schwächsten belegt sind. Andererseits befinden sich zur Zeit der Schichtwechsel nur wenige Leute in den Abbaubetrieben und dementsprechend ist auch die Zahl der Unfälle gering.

Für die Untersuchung der zeitlichen Verteilung der Gebirgsschläge im westoberschlesischen Steinkohlenbezirk stellte das Oberbergamt in Breslau das statistische Material aus den Jahren

Verteilung der Gebirgsschläge auf die einzelnen Jahre und Monate

Jahr	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Summe
1927	—	—	1	—	—	2	1	3	1	—	—	—	8
1928	1	1	1	3	—	—	2	1	2	—	—	—	11
1929	—	—	—	1	1	—	2	1	2	3	1	2	13
1930	2	—	—	—	2	1	1	—	1	—	—	3	10
1931	1	4	—	2	1	—	3	—	3	5	2	1	22
1932	1	—	—	3	1	—	—	—	1	—	2	2	10
1933	1	2	—	1	1	2	—	1	—	—	1	4	13
Zusammen	6	7	2	10	6	5	9	6	10	8	6	12	87
Durchschnitt	0,86	1,00	0,29	1,43	0,86	0,71	1,29	0,86	1,41	1,14	0,86	1,71	12,43
Monatsmittelswert													1,036

Verteilung der Gebirgsschläge auf die einzelnen Jahre und Tagesstunden

Jahr	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12
1927	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	1
1928	1	—	—	—	1	—	1	1	—	—	1	—
1929	—	—	—	—	1	—	—	—	1	2	1	—
1930	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	2	—
1931	—	1	3	1	—	—	1	1	2	1	—	1
1932	—	—	—	—	—	1	—	1	—	—	—	—
1933	1	1	2	—	—	—	—	—	—	1	—	1
Zusammen	2	2	6	1	2	1	2	3	3	6	4	3
Durchschnitt	0,29	0,29	0,86	0,14	0,29	0,14	0,29	0,43	0,43	0,86	0,57	0,43
Jahresstundenmittelwert												

1927—1933 zur Verfügung. In den vorstehenden Tafeln sind nur diejenigen Gebirgsschläge aufgeführt, die nach Ausweis der Akten des Oberbergamts einwandfrei als Gebirgsschläge erkannt worden sind. Dagegen sind diejenigen Fälle, in denen nur Erschütterungen, aber keine sichtbare Beeinflussung der Grubenbaue beobachtet worden sind, außer Betracht gelassen worden. Die erste Tafel zeigt die Verteilung der Gebirgsschläge auf die einzelnen Jahre und Monate. Im ganzen liegen 87 Gebirgsschläge vor. Die zweite Tafel enthält die Verteilung der Gebirgsschläge auf die einzelnen Jahre und auf die Tagesstunden. Sie weist nur eine Gesamtzahl von 70, d. h. 17 Gebirgsschläge weniger auf als die erste Tafel, obgleich beide Tafeln sich über den gleichen Zeitraum erstrecken. Der Grund für den Unterschied liegt darin, daß in den fehlenden 17 Fällen die Tagesstunde nicht genau bekannt ist.

Die Abb. 3 stellt die Monatsmittel der Anzahl der Gebirgsschläge im Durchschnitt der Jahre 1927—1933 dar. Das Jahres-Monatsmittel beträgt 1,036. Um diesen Mittelwert schwanken die einzelnen Monatswerte erheblich (bis zu 75%), ohne daß indessen eine Periodizität zu erkennen ist. Insbesondere zeigen die Wintermonate keine höheren Werte als die Sommermonate. Die Summe über die Monate Oktober bis März ist mit 6,06 noch etwas kleiner als die Summe 6,37 über die Sommermonate.

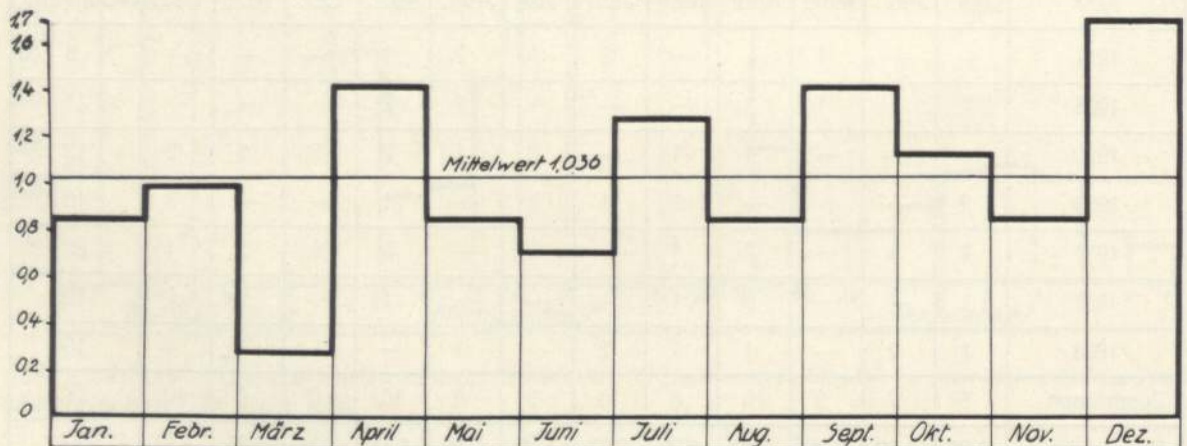


Abb. 3.
Monatsmittel der Anzahl der Gebirgsschläge in West-Oberschlesien im Durchschnitt der Jahre 1927—1933.

12—13	13—14	14—15	15—16	16—17	17—18	18—19	19—20	20—21	21—22	22—23	23—24	Summe
—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	1	5
—	—	—	—	1	1	—	—	—	1	—	—	8
—	—	—	2	2	—	—	1	—	—	—	—	10
—	—	—	—	—	1	2	1	—	—	—	—	7
—	1	—	—	1	3	1	1	2	—	—	—	20
1	—	—	—	2	2	—	—	—	—	—	—	7
—	—	—	1	—	—	2	2	—	2	—	—	13
1	1	—	3	6	7	5	6	2	3	—	1	70
0,14	0,14	—	0,45	0,86	1,00	0,71	0,86	0,29	0,43	—	0,14	10,00
												0,417

Die Verteilung der Anzahl der Gebirgsschläge auf die einzelnen Tagesstunden, welche in der Abb. 4 dargestellt ist, weist je drei ausgesprochene Maxima und Minima auf. Die Maxima fallen mitten in die Schichtzeiten, während die Minima bei den einzelnen Schichtwechseln liegen. Das Ergebnis entspricht dem Ergebnis der Untersuchungen an Stein- und Kohlenfall im nieder-rheinisch-westfälischen Steinkohlenbezirk, wie ein Vergleich der Abb. 2 und 4 zeigt. Die Übereinstimmung ist sehr weitgehend, die Spitzen der Maxima fallen in die gleichen Tagesstunden, ebenso decken sich die Zeiten der Minima. Unterschiede in den beiden Häufigkeitskurven bestehen jedoch darin, daß in Oberschlesien das Nachmittagsmaximum das Vormittagsmaximum überragt und auch das nächtliche Maximum stärker ausgeprägt ist. Von den 70 Gebirgsschlägen, die sich auf die Jahre 1927—1933 verteilen, fallen 33% auf die Morgenschicht, 46% auf die Mittagschicht und 21% auf die Nachtschicht. Bei den Unfällen durch Stein- und Kohlenfall im rheinisch-westfälischen Bezirk ergeben sich die Verhältniszahlen 49% für die Morgenschicht, 39% für die Mittagschicht und 12% für die Nachtschicht.

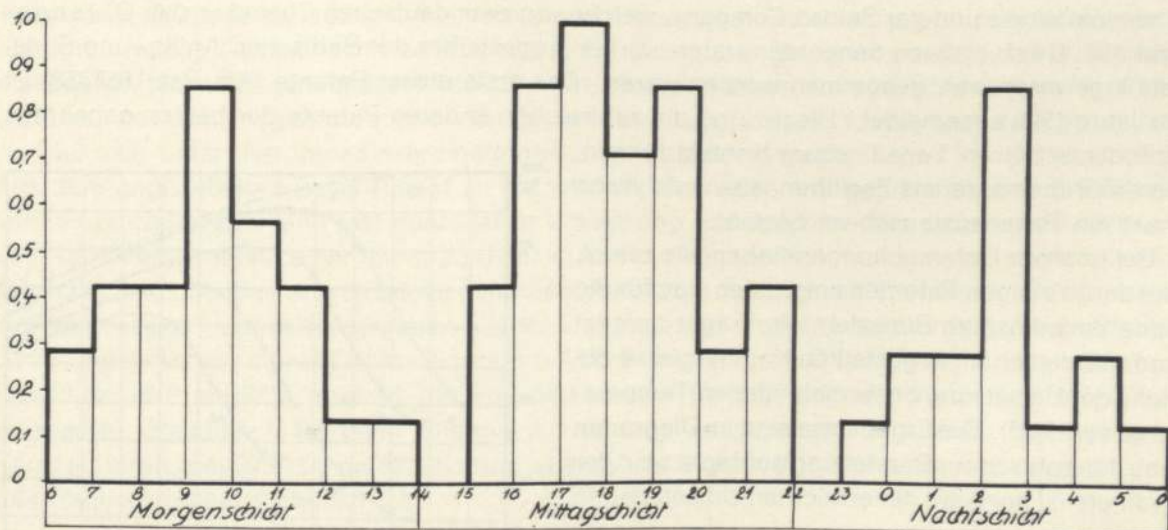


Abb. 4. Jahresstundenmittel der Anzahl der Gebirgsschläge in West-Oberschlesien im Durchschnitt der Jahre 1927—1933.

Vanadinsäure als Schwefelsäure-Katalysator

Von Bernhard Neumann in Breslau

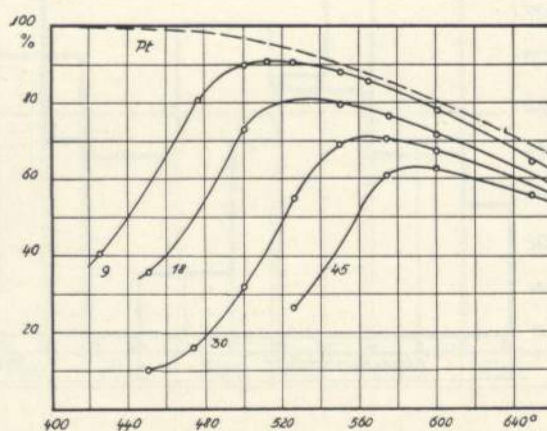
Seit einer Reihe von Jahren wird im Institut für Chemische Technologie auch das Gebiet der katalytischen Gasreaktionen bearbeitet mit Hinsicht auf technisch wichtige chemische Prozesse. Ein Teil der wissenschaftlichen Untersuchungen auf diesem Gebiete betrifft die Schwefelsäure-Katalyse, d. h. die Vereinigung gasförmiger schwefliger Säure mit Sauerstoff der Luft zu Schwefelsäureanhydrid unter Verwendung von Kontaktsubstanzen.

Von den vielen vorgeschlagenen Schwefelsäurekatalysatoren sind eigentlich nur zwei Substanzen allgemein in Gebrauch, nämlich feinverteiltes Platin (Platinschwarz), auf irgendeiner Trägermasse, oder in neuerer Zeit vielfach auch Vanadinsäure oder vanadinsaure Salze.

Die Schwefelsäureerzeugung der Welt betrug im Rekordjahr 1929 etwa 13 Millionen Tonnen, diejenige Deutschlands 1,7 Millionen Tonnen. Von dieser Menge sind 35—40% nach dem Kontaktverfahren gewonnen worden. Hieraus ersieht man ohne weiteres die Wichtigkeit dieses Herstellungsverfahrens. Eine große Anzahl Anlagen arbeitet heute mit Vanadinsäure-Kontaktmassen (in Amerika erzeugten derartige Anlagen 1929 0,4 Millionen Tonnen Schwefelsäure). Trotz dieser ausgedehnten technischen Verwendung ist der Chemismus der Vanadinsäure-Katalyse verhältnismäßig wenig aufgeklärt. Es beschäftigen sich deshalb eine Anzahl Arbeiten aus unserem Institute auch mit Fragen der Vanadinsäure-Katalyse.

Auf die Verwendung von Vanadinsäure als Katalysator hat zuerst 1899 ein deutscher Chemiker R. Meyers hingewiesen. 1900 nahm die Firma de Haën in Hannover das erste Patent (DRP. 128616) auf die Verwendung reiner Vanadinsäure als Katalysator. Auch die Badische Anilin- und Sodafabrik (jetzt I. G. Farbenindustrie) beschäftigte sich bald mit dieser Frage und sie stellte schon 1913 (F. Slama und H. Wolf) brauchbare Vanadinkontaktmassen her (DRP. 291792, Schweizer Patent 71326), welche seit 1915 großtechnisch Verwendung finden. 1915 hat weiter die Permutit-Gesellschaft in ihren Patenten (DRP. 298981, 300209) auf die Verwendung von komplexen Vanadinsilikaten bzw. auf basenaustauschende Zeolith-Kontaktmassen hingewiesen. Die Soc. Anon. Conidelon hat 1912 ein Patent (DRP. 266190) auf Mischkatalysatoren aus Eisen und Vanadin-oxyd, die Farbenfabriken Fr. Bayer & Co. in demselben Jahre (DRP. 280960) auf Silbervanadinverbindungen erhalten. Die Vanadinsäure-Katalysatoren wurden aber erst allgemeiner bekannt durch die Einführung derselben in die amerikanische Praxis auf Grund der Patente der Monsanto Chemical Works und der Selden Company, welche von zwei deutschen Chemikern, A. O. Jaeger und J. A. Bertsch, von denen der erstere vorher Angestellter der Badischen Anilin- und Sodafabrik gewesen war, genommen worden waren. Das erste dieser Patente (Am. Pat. 1657753) ist im Jahre 1926 angemeldet. Dieses und die zahlreichen anderen Patente der beiden genannten Erfinder schützen Vanadinsäure-Kontaktmassen, deren Grundmasse aus Zeolithen, also katalytisch inaktiven Basenaustauschern besteht.

Bei unseren Untersuchungen haben wir zuerst, wie das in einigen Patenten empfohlen war, für die reine Vanadinsäure Bimsstein als Träger benutzt und mit dieser so hergestellten Kontaktmasse die Höhe der Umsetzung bei verschiedenen Temperaturen verfolgt¹⁾. Die Ergebnisse sind im Diagramm Abb. 1 graphisch zur Darstellung gebracht. Auf der Ordinate ist der Grad der erreichten Umsetzung in



¹⁾ Neumann, Panzner, Goebel, Z. f. Elektrochem. 34, 701 (1928).

Abb. 1

Prozenten aufgetragen, auf der Abszisse die Temperaturen. Die vier verschiedenen Kurven geben die Umsetzungen wieder, die mit verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten, nämlich 9, 18, 30 und 45 Liter in der Stunde erhalten worden sind. Das verwendete Gasgemisch entsprach einem Röstgas mit 7% SO_2 , 19,5% O und 73,5% N . Das Kurvenbild zeigt folgendes: Mit geringen Gasgeschwindigkeiten von etwa 10 Litern wurden maximal 90% Umsetzung erreicht, und zwar bei etwa 510°, während, wie aus der miteingezeichneten, mit Platinschwarz erhaltenen Gleichgewichtskurve, mit Platin schon bei 425° das Optimum mit 99,5% erreicht wird. Die Vanadinsäure erreicht also erst bei einer um 85° höher liegenden Temperatur ihre volle Wirksamkeit. Besonders auffällig ist, daß schon bei verhältnismäßig geringer Vergrößerung der Gasgeschwindigkeit die Ausbeuten sehr rasch abfallen, was bei Platin-Katalysatoren nicht in dieser Weise der Fall ist. Vanadinsäure gehört also (wie alle oxydische Katalysatoren) zu den träge reagierenden Katalysatoren. Derselbe Abfall, welchen die Umsetzung bei Verwendung von Vanadinsäure bei einer Vergrößerung der Strömungsgeschwindigkeit von 1 : 2 erleidet, tritt bei Platin erst bei einer Vergrößerung des Strömungsverhältnisses von etwa 1 : 50 ein.

Sowohl in deutschen wie in amerikanischen Patenten finden sich schon zeitig Angaben, daß man in der Praxis mit Vanadinsäure-Kontaktmassen bei üblichen Geschwindigkeiten Umsätze bis 96% oder sogar bis 98% erreichen könne, während mit unserer auf Bimsstein niedergeschlagenen reinen Vanadinsäure bestenfalls nur 90–92% erhalten werden konnten. Wir haben dann Vanadinsäurekatalysatoren auf die verschiedenartigste Weise hergestellt und haben dabei feststellen können, daß sich tatsächlich mit Vanadinsäure Kontaktmassen bereiten lassen, welche die genannten hohen Ausbeuten liefern. Worauf diese Unterschiede bzw. die gesteigerte Wirkung dieser technischen Vanadinsäure-Katalysatoren beruht, ist bis jetzt unaufgeklärt. Die Patentschriften kümmern sich nicht um den Chemismus, sie geben nur mehr oder weniger genaue Vorschriften für die Herstellung von Massen. Bei unseren weiteren Studien ist dann die Aufklärung gefunden worden und sie wird nachher näher besprochen werden.

Bei den Versuchen mit verschiedenen Trägern und mit verschiedenen Katalysatormischungen war mir aufgefallen, daß sich Unterschiede ergeben, wenn man zwar mit reiner Vanadinsäure operiert, aber verschiedene Trägermassen oder Gemische von Vanadinsäure mit Zusatzstoffen verwendet. Ich habe deshalb in einer Arbeit²⁾ über den Reaktionsmechanismus bei der Schwefelsäurekatalyse schon Ende 1928 angegeben: „Sehr ungünstig fielen dabei merkwürdigerweise die Versuche mit einem gefällten und ohne Verwendung von Bimsstein zu Kugeln geformten Vanadiumpentoxyd aus.“ Der weitere Verfolg dieser Beobachtung führte schließlich zu der Erkenntnis, daß reine Vanadinsäure andere Umsetzungsverhältnisse liefert, und zwar schlechtere als irgendwelche Gemische mit Vanadinsäure. Daraus mußte gefolgert werden, daß in den verschiedenen technisch verwendeten Vanadinsäure-Kontaktmassen nicht die Vanadinsäure als solche, sondern irgendwelche Vanadinverbindung das katalysierende Agens ist.

Daß sich unter den Vanadinverbindungen auch besonders gut wirkende finden, war schon aus dem angegebenen Bayer-Patent zu entnehmen, in welchem angeführt ist, daß die Silbervanadinverbindungen eine fast quantitative Umsetzung ermöglichen. Wir haben deshalb auch sehr bald Versuche mit einer mit 5% Silbervanadinat getränkten Asbestmasse angestellt und tatsächlich so günstige Umsetzungen gefunden, wie sie die anderen später untersuchten Vanadin-Kontaktmassen³⁾ nicht mehr ergeben haben. Das Ergebnis dieser Untersuchung (für 9 l/Stunde Strömungsgeschwindigkeit) ist im Diagramm Abb. 2 eingetragen. Das Maximum der Umsetzung wurde bei 450° mit 97% erreicht, das sind 98,5% bzw. bei 500° 99% der theoretisch möglichen Ausbeute. Erstaunlich ist beim Silbervanadinat der ausgezeichnete Umsatz bei niederen Temperaturen (bei 325° schon 82,5%) und ebenso der eigenartige Kurvenverlauf, welcher dem des Platins durchaus ähnlich ist.

²⁾ Neumann, Z. f. Elektrochem. 35, 50 (1929).

³⁾ Neumann, Panzner, Goebel, Z. f. Elektrochem. 34, 700 (1928).

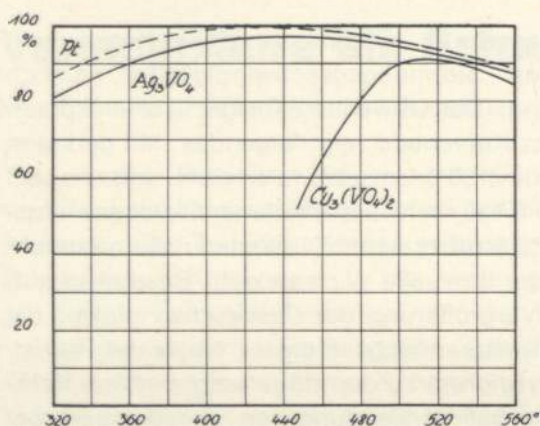
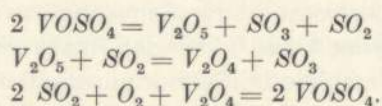


Abb. 2

ist nur wenig besser. Neuere, eingehende, noch nicht veröffentlichte Versuche über das Dreistoffsystem Vanadinsäure-Kupferoxyd-Kieselsäure⁴⁾ bestätigen diesen Befund. Beim Kupfervanadinat fallen die Ausbeuten mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit in der gleichen Weise ab, wie bei der Vanadinsäure, das Silbervanadinat verhält sich im Gegensatz hierzu ganz anders.

Zur Erklärung dieser Vorgänge ist folgendes zu bemerken. Die Katalyse von Gasen an festen Kontaktmassen kann entweder durch Adsorptionsvorgänge oder durch Bildung labiler chemischer Zwischenverbindungen, die als Reaktionsvermittler dienen, vor sich gehen. Adsorptionskatalyse findet in der Hauptsache an Edelmetallen statt, Zwischenproduktkatalyse an oxydischen Katalysatoren. An letzteren geht dauernd unter Valenzwechsel eine Reduktion der höheren Oxydationsstufe durch schweflige Säure zu einer niederen Stufe vor sich mit nachfolgender Oxydation der niederen Oxydationsstufe zur höheren unter gleichzeitiger Abspaltung des Schwefelsäureanhydrids. Für den Chemismus der Vanadinsäure-Katalyse habe ich gezeigt, daß das Vanadylsulfat der eigentliche Zwischenreaktionskörper ist, und ich habe für die Vorgänge am Katalysator folgendes Reaktionsschema⁵⁾ aufgestellt.



Vanadinsäure-Kontaktmassen brauchen erst einige Zeit der Einstellung bis das Höchstmaß ihrer von der Temperatur abhängigen Leistung erreicht wird, d. h. es muß sich erst in der Vanadinsäure-Masse eine bestimmte Menge Vanadylsulfat aus dem Pentoxyd gebildet haben. Diese Einstellung geht bei Vanadinsäure-Kontaktmassen viel langsamer vor sich als bei anderen oxydischen Katalysatoren.

Die viel bessere katalytische Wirkung des Silbervanadinsates bzw. einer Mischung von Silber mit Vanadinsäure gegenüber der reinen Vanadinsäure beruht darauf, daß sich hier das Silber als Sauerstoffüberträger betätigt. An keinem Katalysator verlaufen nämlich die beiden nebeneinander hergehenden Vorgänge der Reduktion und Oxydation gleich schnell; der zu langsam verlaufende Vorgang bedingt dann den Grad der Geschwindigkeit des gesamten Reaktionsablaufes. Setzt man dem katalysierenden Stoffe einen zweiten zu, welcher die Möglichkeit besitzt, die zu langsam verlaufende Teilreaktion zu beschleunigen, so aktiviert und beschleunigt er die ganze Reaktion. An der Vanadinsäure geht nun die Reduktion vom Pentoxyd leichter und schneller vor sich als die Wiederoxydation von der 4wertigen zur 5wertigen Stufe; als Aktivatoren können sich also nur Stoffe betätigen, welche den Oxydationsvorgang erleichtern. Das besorgt, wie wir gesehen haben, das Silber ganz ausgezeichnet, es wirkt als Sauerstoffüberträger. Silber

⁴⁾ Diss. Iwanowski, Breslau, 1935.

⁵⁾ Neumann, Z. f. Elektrochem. 35, 46 (1929).

nimmt nämlich auch unterhalb seines Schmelzpunktes Sauerstoff auf; diese Sauerstoffmengen, die leicht wieder abgegeben werden, sind bei den bei der Katalyse in Frage kommenden Temperaturen völlig ausreichend, um die Oxydation vom Tetroxyd zum Pentoxyd ganz erheblich zu beschleunigen.

Setzt man der Vanadinsäure umgekehrt Stoffe zu, welche den Reduktionsvorgang beschleunigen, welcher in diesem Falle an sich schon genügend schnell verläuft, so können diese Stoffe selbstverständlich den Gesamtvorgang nicht beschleunigen, sie bleiben unwirksam. Das haben wir in einem Beispiele durch Zusatz von Zinnoxidul zu einem Vanadinsäurekatalysator gezeigt.

Eine technisch außerordentlich wichtige Frage ist es nun, wie sich in dieser Beziehung die Arsenoxyde verhalten. In den Kies- und Zinkblende-Röstgasen finden sich nämlich kleine Mengen von Arsentrioxyd, welche bei Verwendung von Platinkontaktmassen sorgfältig entfernt werden müssen, was mit erheblichen Kosten verbunden ist. Entfernt man das Arsentrioxyd nicht aus den Gasen, so verschlechtert sich die Wirkung der Platinkontaktmassen mit zunehmender Dauer der Verwendung. Die Ursache dieser sogenannten „Vergiftung“ des Platins ist, wie wir nachgewiesen haben⁶⁾, darin zu suchen, daß bei Gegenwart von Arsen sich bei den notwendigen hohen Temperaturen ein leicht sinterndes oder schmelzendes Platin-Arsen-Eutektikum ausbildet; hierdurch wird die Oberflächenentwicklung des katalysierenden Platinmetalls verdorben.

Bei den Anpreisungen von Vanadinsäure-Kontaktmassen für die technische Verwendung wird ziemlich reklamehaft die „Unvergiftbarkeit“ dieser Katalysatoren durch Arsen hervorgehoben. Unsere Untersuchungen haben sich auch mit solchen mit Arsenoxyden versetzten Vanadinsäure-Kontaktmassen beschäftigt, und wir können bestätigen, daß tatsächlich das Arsen die katalytische Wirksamkeit der Vanadinsäure in keiner Weise schädigt. Diese Erscheinung ist mit den von uns vertretenen Anschauungen über die Vorgänge in Mischkontakten völlig im Einklang. Die Unvergiftbarkeit der Vanadinsäure-Kontaktmassen ist jedoch nicht der Erfolg einer patentierbaren erfinderischen Denktätigkeit, sondern liegt in der Natur der Sache. Die Unvergiftbarkeit betrifft auch nur, wie sich gleich zeigen wird, die Kontaktmassen mit reiner Vanadinsäure, nicht aber solche, welchen Schwermetalle einverleibt sind oder welche Schwermetallvanadinate enthalten.

Wir haben nämlich bei weiteren Versuchen sowohl die Vanadinsäure-Katalysatoren (auf Bimssteinträger) wie auch die Silbervanadinat- und Kupfervanadinat-Katalysatoren mit 10% Arsenoxyden vergiftet und die Umsetzungsverhältnisse studiert. Dabei hat sich folgendes ergeben. Bei der Vanadinsäure bleibt der Umsatz bei der vergifteten Masse derselbe wie bei der unvergifteten, beim Silbervanadinat dagegen tritt durch die Vergiftung eine ganz erhebliche Verschlechterung ein, beim Kupfervanadinat ist der Rückgang verhältnismäßig gering, wie auch schon vorher der Unterschied des unvergifteten Kontaktes gegen einen Vanadinsäurekontakt unerheblich war. In nachstehender Tabelle sind die verschiedenen erhaltenen Werte zum Vergleich nebeneinandergestellt.

V_2O_5		$V_2O_5 + As_2O_3$		$Ag_3VO_4 + As_2O_3$		$Cu_3(VO_4)_2 + As_2O_3$	
475°	80,5 %	440°	48,9 %	448°	52,3 %	455°	54,3 %
500°	88,0 %	470°	77,3 %	498°	87,3 %	495°	84,9 %
512°	90,0 %	514°	90,3 %	518°	86,5 %	518°	89,6 %
550°	88,1 %	530°	88,0 %	560°	83,8 %	535°	87,4 %
600°	78,0 %	567°	85,1 %			575°	81,2 %
650°	64,3 %					600°	75,2 %

⁶⁾ Neumann und Jüttner, Z. f. Elektrochem. 36, 94 (1930).

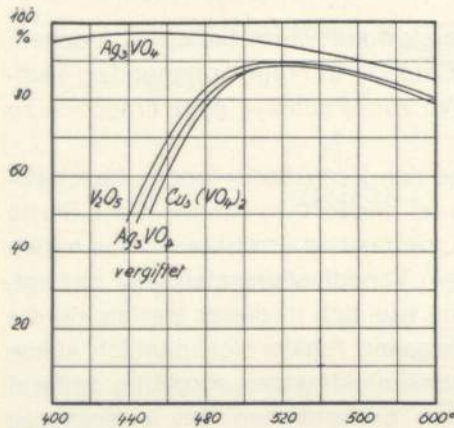


Abb. 3

Das Diagramm zeigt die Kurven der drei vergifteten Massen und zum Vergleich die Kurve des unvergifteten Silbervanadinats. Bei den metallhaltigen Kontaktmassen treffen wir dieselbe Erscheinung wieder an wie bei der Vergiftung der Platinkontakte; das Edelmetall geht mit dem Arsen Verbindungen oder Legierungen ein. Bei den Metall-Vanadinen bleibt jedoch auch nach der Vergiftung des Metalles die Wirkung der reinen Vanadinsäure bestehen. Beim Silbervanadinat wird die Vergiftung des Silbers bewiesen durch den Farbenübergang der ursprünglich grauen Silbervanadinatmasse in das grünlichgelbe Silberarsenit. Auffällig ist in dem Diagramm, daß die Kurven sämtlicher vergifteter Vanadinsäurenmassen annähernd aufeinanderfallen, und zwar mit der Kurve der unvergifteten Vanadinsäure zusammentreffen. Daß die drei Kurven nicht völlig aufeinander liegen, liegt daran, daß die Versuchsbedingungen (Trägermasse, Konzentration) bei den vier Versuchsreihen nicht ganz die gleichen waren. Die Tatsache, daß bei einer Vergiftung von metallhaltigen Vanadinsäure-Kontakten zwar eine Verschlechterung der Umsetzung herbeigeführt wird, daß dieselbe aber nicht über die eigene Wirksamkeit der Vanadinsäure heruntergeht, ist durch die Kurven unverkennbar belegt.

Die schädigende Wirkung des Arsens auf die Silber-Vanadinsäure-Kontakte beruht also darauf, daß dem Silber durch Bildung von Silberarsenit die Möglichkeit genommen wird, als Sauerstoffüberträger zu wirken; infolgedessen muß nach der Vergiftung eine solche Masse wieder die der Vanadinsäure eigene langsamere Reaktionsgeschwindigkeit zeigen; eine weitere Verschlechterung durch Arsen kann nicht eintreten.

Oberhalb 520° verschwindet auch bei den vergiftbaren Metallvanadinen der Einfluß des Arsens, und die Ausbeuten nähern sich der theoretisch möglichen Grenze.

In den Patentschriften finden sich fast immer Angaben, daß feinverteilte poröse Stoffe wie Bimsstein, Kieselgur, Quarzmehl, kolloidale Kieselsäure, auch Tuff, Traß, Zeolithe usw. der Kontaktmasse einverleibt oder als Träger oder als Verdünnungsmittel verwendet werden. Vielfach wird eine Lösung von vanadinsaurem Alkali mit Wasserglas vermischt und durch Zersetzung des letzteren mit Säure kolloidale Kieselsäure in großen Mengen ausgefällt. Die erwähnte bessere Wirkung der technischen Vanadinsäure-Kontaktmassen wird dadurch erklärt, daß die sehr weitgehende feine Verteilung der Vanadinsäure in und auf der groboberflächigen Trägersubstanz die Ursache hierfür sei, indem hierdurch Sinterungserscheinungen und Vergrößerungen der katalysierenden Substanz hintangehalten werden. Das ist in vielen Fällen bis zu einem gewissen Grade auch zutreffend, die hierdurch zu erreichende Verbesserung kann aber nicht so groß sein, um den erheblichen Unterschied gegenüber der Wirksamkeit der reinen Vanadinsäure zu bedingen.

Auch die in den Patenten öfter ausgesprochene Behauptung, daß den Vanadin-Kieselsäure-Verbindungen eine besondere Wirksamkeit zukommt, ist ein Irrtum.

Es sind von uns Differentialerhitzungskurven zwischen Kieselsäure und Vanadinsäure bzw. Kieselsäure und Vanadinsäure-Kieselsäure aufgenommen worden⁷⁾, sie zeigen, wie das Diagramm Abb. 4 darlegt, bis zum Schmelzpunkt der Vanadinsäure bei 650°, also in dem für die Katalyse in Frage kommenden Temperaturbereich, keinerlei Wärmeeffekt, erst oberhalb des Schmelzpunkts tritt zwischen 650 und 750° eine Wärmetönung auf. In der Abbildung sind die Ofenkurve und die Abweichungen nebeneinander gezeichnet.

⁷⁾ Diss. Iwanowski, Breslau, 1935.

Die Ergebnisse sind im Diagramm Abb.3 graphisch dargestellt. Das Diagramm zeigt die Kurven der drei vergifteten Massen und zum Vergleich die Kurve des unvergifteten Silbervanadinats. Bei den metallhaltigen Kontaktmassen treffen wir dieselbe Erscheinung wieder an wie bei der Vergiftung der Platinkontakte; das Edelmetall geht mit dem Arsen Verbindungen oder Legierungen ein. Bei den Metall-Vanadinen bleibt jedoch auch nach der Vergiftung des Metalles die Wirkung der reinen Vanadinsäure bestehen. Beim Silbervanadinat wird die Vergiftung des Silbers bewiesen durch den Farbenübergang der ursprünglich grauen Silbervanadinatmasse in das grünlichgelbe Silberarsenit. Auffällig ist in dem Diagramm, daß die Kurven sämtlicher vergifteter Vanadinsäurenmassen annähernd aufeinanderfallen, und zwar mit der Kurve der unvergifteten Vanadinsäure zusammentreffen. Daß die drei Kurven nicht völlig aufeinander liegen, liegt daran, daß die Versuchsbedingungen (Trägermasse, Konzentration) bei den vier Versuchsreihen nicht ganz die gleichen waren. Die Tatsache, daß bei einer Vergiftung von metallhaltigen Vanadinsäure-Kontakten zwar eine Verschlechterung der Umsetzung herbeigeführt wird, daß dieselbe aber nicht über die eigene Wirksamkeit der Vanadinsäure heruntergeht, ist durch die Kurven unverkennbar belegt.

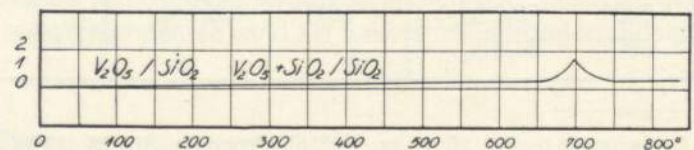


Abb. 4

Daß die Kieselsäure in keinerlei Weise aktivierend auf die Vanadinsäure einwirken kann, ist von uns auch noch durch vergleichende Druckmessungen⁸⁾ an Vanadylsulfat und an einem Gemisch aus Vanadylsulfat und Kieselsäure bewiesen worden. Die gemessenen Gesamtdrucke waren in beiden Fällen folgende:

$VOSO_4$		$VOSO_4 + SiO_2$	
473°	22 mm	472°	22 mm
525°	131 mm	525°	136 mm
543°	230 mm	547°	258 mm
553°	302 mm	550°	300 mm

Die Werte fallen vollkommen zusammen. Es kann also gar keine Rede von einer besonderen Wirkung einer Vanadinsäure-Kieselsäure-Verbindung sein.

Wenn, wie eben angegeben, nach den Patentvorschriften Alkalivanadate mit Wasserglas vermischt werden und letzteres zersetzt wird, und wenn nachher der entstandene Niederschlag nur durch Tücher abfiltriert wird, so müssen reichliche Mengen Alkali in dem entstehenden Kieselsäure-Gel verbleiben. Das brachte mich auf den Gedanken, daß vielleicht Alkalivanadinate für die bessere Wirkung verantwortlich sein könnten; ihre katalytische Wirkung müßte demnach eine bessere sein als die der reinen Vanadinsäure. Dieser Gedanke erwies sich als richtig.

Daraufhin wurde sehr sorgfältig die katalysierende Wirkung ganz reiner Vanadinsäure, ohne jede Trägermasse, studiert. Die Vanadinsäure wurde mit etwas Wasser zu Kugeln geformt, diese getrocknet und 60 g davon in unserer Kontaktapparatur (welche etwas anders eingerichtet ist als die früher von uns beschriebene⁹⁾), der Einwirkung des 7%igen SO_2 -Luftgemisches unterworfen. Die Einstellzeit, d. h. diejenige Zeit, bis sich ein Gleichgewichtsverhältnis zwischen $VOSO_4$ und V_2O_5 gebildet hat, war außerordentlich lang und nahm mehrere Wochen in Anspruch; auch die Einstellung jedes einzelnen Temperaturpunktes erforderte bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten ganze Tage.

Die erhaltenen Umsetzungswerte bei verschiedenen Gasgeschwindigkeiten (bezogen auf 100 ccm Kontaksubstanz) sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

Reine Vanadinsäure ohne Träger:					
10 Liter		100 Liter		200 Liter	
474°	18,17 %	494°	27,09 %	505°	29,05 %
487°	28,24 %	498°	33,40 %	511°	34,12 %
500°	43,01 %	501°	34,61 %	515°	40,90 %
504°	45,93 %	512°	51,08 %	522°	57,39 %
508°	57,00 %	518°	67,77 %	526°	65,79 %
520°	87,20 %	520°	68,25 %	544°	68,56 %
528°	92,20 %	524°	82,54 %	580°	66,46 %
536°	89,95 %	536°	84,79 %		
538°	90,13 %	555°	82,02 %		
549°	89,52 %	564°	82,02 %		
566°	85,77 %	592°	75,51 %		

⁸⁾ Diss. Sonntag, Breslau, 1935.

⁹⁾ Neumann, Panzner, Goebel, 1. c.

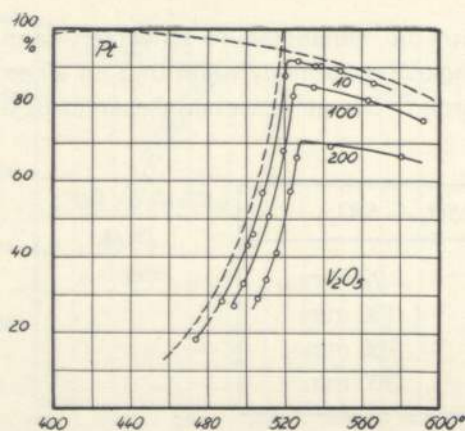


Abb. 5

Für die reine Vanadinsäure sind maßgebend die Dissoziationsdrücke des Vanadylsulfates¹⁰⁾. In der folgenden Tafel sind die Drücke als Partialdrücke des SO_3 angegeben und hieraus sind wieder für ein 7%iges Gasgemisch die Höchstgrenzen der Umsetzung von $SO_2 + O = SO_3$ berechnet. Diese mit der statischen Methode erhaltenen Werte sind als gestrichelte Kurve in das Diagramm Abb. 5 mit eingezeichnet. Man sieht, daß die von uns bei den katalytischen Versuchen mit strömendem Gasgemisch erreichten Werte sich sehr schön an die theoretische Gleichgewichtskurve anschließen.

Nach diesen Versuchen mit der reinen Vanadinsäure wurden auch die Umsetzungen mit verschiedenen Natriumvanadaten studiert, von denen jedoch hier nur diejenigen mit Natriummetavanadat wiedergegeben werden sollen, weil sie zur Aufklärung der Wirkung der technischen Vanadinsäurekatalysatoren wichtig sind.

Das Natriummetavanadat wurde entwässert und die stückig gewordene Masse ohne Träger als Katalysator benutzt. Das Salz brauchte zur Einstellung ebenfalls erheblich lange Zeit, es schmolz schließlich bei 500–520° im Rohre zu einer grünschwarzen Masse zusammen. Es mußte deshalb anders vorgegangen werden. Es wurden aus feinsten Diatomeenerde durch Befeuchten Kugeln geformt und diese noch feucht in gepulvertem Metavanadat gewälzt, wodurch die Kugeln mit einer Schicht Metavanadat überzogen wurden, die beim Trocknen und im Ofen sich ganz gut hielt. Das ursprünglich weiße Salz geht bei der Katalyse in eine dunkelgrüne Verbindung über.

Die Versuche mit dem Natriummetavanadat haben (mit 10 Liter Gasgeschwindigkeit) nachstehend angegebene Umsetzungen ergeben.

Natriummetavanadat		SO_3 -Partialdrücke und Umsatz		
398°	24,20 %	360°	3 mm	5,7 %
400°	26,18 %	380°	10 mm	19,0 %
420°	53,21 %	400°	20 mm	38,2 %
435°	76,51 %	425°	37 mm	71,4 %
440°	85,70 %	440°	50 mm	95,2 %
452°	97,79 %			
482°	96,82 %			

Zur Kontrolle sind auch Druckmessungen mit Natriummetavanadat und schwefliger Säure ausgeführt worden. Aus den gemessenen Gesamtdrücken sind wieder die SO_3 -Partialdrücke berechnet und hieraus die höchst mögliche prozentische Umsetzung ermittelt worden. Die erhaltenen Werte sind oben mit in der Tabelle über die katalytische Wirkung des Natrium-

¹⁰⁾ Neumann und Sonntag, Zeitschr. f. Elektrochem. 39, 799 (1933).

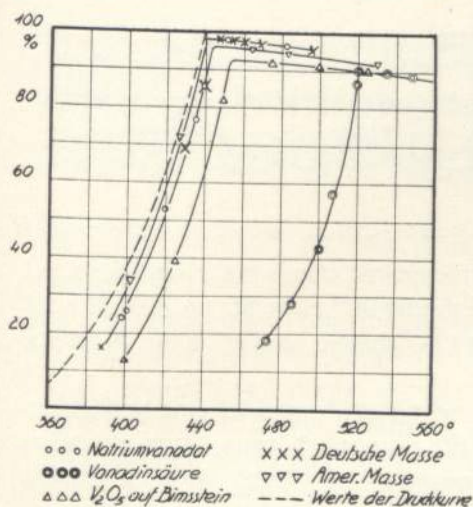


Abb. 6

metavanadats eingetragen. Die beiden Kurven der Katalysenwerte und der Druckwerte sind in dem Diagramm Abb. 6 zusammengestellt und ergeben einen recht guten Anschluß der strömend bestimmten Katalysenwerte an die statisch ermittelten Druckwerte. In das Kurvenblatt ist auch die Kurve der reinen Vanadinsäure eingezeichnet und es ergibt sich sehr deutlich der Unterschied der katalytischen Wirkung des Natriumsalzes gegenüber der des Pentoxyds.

Sehr merkwürdig ist es nun, daß eine Reihe von technischen Vanadinkatalysatoren Umsetzungen liefern, welche fast genau auf die Kurve des Natriummetavanadats fallen. Nachstehend sollen ein paar solche Beispiele angeführt werden. Die eine Kontaktmasse ist nach einem Jaeger-Patent der Seiden Co. hergestellt, der andere ist eine deutsche technische Vanadinkontaktmasse und der dritte wurde hergestellt durch Aufbringen von Ammonvanadinat auf Bimsstein und nachfolgendes Glühen.

Amerikanische Masse 13 Liter		Deutsche Masse 10 Liter		Vanadinsäure—Bimsstein 9 Liter	
402°	33,9 %	388°	15,75 %	400°	11,75 %
427°	71,9 %	430°	69,15 %	425°	39,50 %
445°	96,5 %	440°	86,24 %	450°	82,00 %
465°	69,0 %	448°	98,09 %	465°	93,00 %
485°	96,5 %	454°	98,08 %	475°	92,00 %
530°	92,4 %	460°	97,13 %	500°	91,80 %
		469°	97,08 %	525°	90,30 %
		480°	96,34 %		
		496°	95,57 %		

Auch diese Werte sind graphisch in das Diagramm mit eingezeichnet. Die Kurve des amerikanischen Kontaktes liegt eine Spur über der des Natriumvanadats, aber noch ein klein wenig unter den berechneten Druckwerten, die Werte der deutschen Masse fallen genau auf unsere Natriumvanadatkurve. Die auf Bimsstein niedergeschlagene Vanadinsäure liegt etwas unter der Natriumvanadatkurve, weil offenbar der Alkaligehalt des Bimssteins nicht ganz ausreichende Mengen Natriumvanadat geliefert hat.

Diese Zusammenstellung und besonders die graphische Aufzeichnung im Kurvenblatte ergibt unzweideutig, daß die technischen Vanadinsäure-Katalysatoren sämtlich die höheren Umsetzwerte des Natriummetavanadats ergeben, und nicht die Werte der reinen Vanadinsäure. Selbst die auf Bimsstein niedergeschlagene Vanadinsäure (durch Glühen von Ammonvanadinat erhalten) liefert eine dem Natriumvanadat sehr nahekommende Kurve, d. h. das wenige im Bimsstein vorhandene Alkali reicht schon aus, diese Verbesserung gegenüber der reinen Vanadinsäure hervorzubringen.

Der Bimsstein ist also einerseits wegen seines Alkaligehaltes, andererseits wegen der großen Menge aufgeschlossener Kieselsäure niemals ein einwandfreier, sondern ein stets mit Vorsicht zu gebrauchender Träger für Katalysatoren.

Daß bei diesen Vanadinsäure-Katalysatoren, die alle reichlich Kieselsäure enthalten, die Kieselsäure sehr nützlich sein kann, auch wenn sie nicht chemisch wirkt, ergibt sich aus

folgendem. Wir haben bei Druckversuchen an einem Gemisch von Natriummetavanadat und Kieselsäure beobachtet, daß hier durch die Kieselsäure die vorzeitige Sinterung des abgebauten Metavanadats verhindert wird. Das reine Natriummetavanadat zeigt nämlich schon oberhalb 450° Sinterungserscheinungen und schmilzt bei 500—520°; die Zusätze von Kieselsäure verhindern aber diese Sinterung bis zur letztgenannten Temperatur. (In der Gegend von 600° tritt Silikatbildung unter Ausscheidung von V_2O_5 ein.)

Unter den amerikanischen Vanadinsäure-Katalysatoren hat ein von Holmes und Elder hergestellter Katalysator einiges Aufsehen erregt, dessen Wirksamkeit durch Kalziumvanadat verursacht sein soll. Der Katalysator gibt nach Angabe der Erfinder 98 % Umsatz bei 500°. Scott und Layfield haben in gleicher Weise ein Bariumvanadat hergestellt und erhielten mit demselben bei 500° 97,4 % Umsatz.

Es erschien mir nicht sehr wahrscheinlich, daß Kalzium- oder Bariumvanadat eine besondere Wirkung hervorbringen könnten, da sie bei Gegenwart von SO_3 unmöglich sehr lange existenzfähig bleiben. Ich habe deshalb reines Kalziumvanadat hergestellt, und dieses, da die pulverige Substanz anders nicht in stückige Form zu bringen ist, auf Kugeln aus Diatomeenerde aufgetragen. Bei der Prüfung dieser Masse trat ein, was zu erwarten war: das Kalziumvanadat zersetzte sich mit SO_3 in $CaSO_4$ und freie Vanadinsäure. Das war schon äußerlich beim Versuch daran erkennbar, daß weißes an der Rohrwand verstäubtes Kalziumvanadatpulver beim Versuch bald eine ausgesprochene Gelbfärbung annahm, die nachher in eine Grünfärbung überging, veranlaßt durch geringe Mengen von bläulichem Vanadylsulfat, welches sich bei der Katalyse bildet. Der weiße Kalziumvanadatüberzug auf den Kugeln war nach dem Versuche in schön hellbraune Vanadinsäure übergegangen und die gefundenen Werte entsprechen ganz denen der reinen Vanadinsäure. Bei 10 Liter Gasgeschwindigkeit wurden folgende Umsetzungen erhalten:

Kalziumvanadat.	
444°	13,97 %
503°	35,29 %
506°	37,98 %
520°	53,49 %
533°	85,22 %
550°	82,42 %

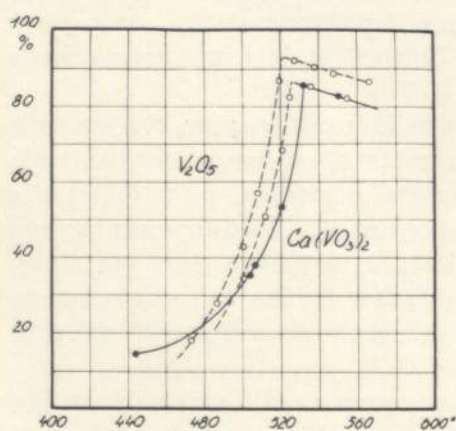


Abb. 7

Diese Werte sind im Diagramm Abb. 7 eingezeichnet, und zwar zusammen mit der Kurve der reinen Vanadinsäure bei 10 bzw. 100 Liter Strömungsgeschwindigkeit. Die Kalziumvanadatkurve fällt ungefähr mit der 100-Literkurve der Vanadinsäure zusammen. Das ist auch ganz verständlich, da sich die Vanadinsäuremengen bei der Untersuchung der reinen Säure (massive Kugeln) zu der Vanadinsäuremenge des dünnen Kalziumvanadatüberzuges auch etwa wie 10:1 verhalten.

Mit diesen Befunden stimmt nun scheinbar die eigene Angabe der Erfinder mit ihrer Ausbeute von 98 % nicht überein. Diese Unstimmigkeit klärt sich aber wie folgt in ganz natürlicher Weise auf. Bei der Herstellung der Masse wird eine Kaliumvanadatlösung mit einer Kalziumchloridlösung vermischt und ziemlich große Mengen Natriumsilikat zugesetzt. Der entstehende Niederschlag wird einfach durch ein Tuch abgepreßt und getrocknet. Auch hier ist also ganz sicher das vorhandene bzw. entstehende Kalium- oder Natriummetavanadat der eigentliche Katalysator. Hierzu paßt auch ganz gut der von den Erfindern für die Temperatur von 500° angegebene Wirkungsgrad von 98 %. Die 98 % sind allerdings etwas zu optimistisch angenommen, denn die theoretische Höchstgrenze des Umsatzes bei dieser Temperatur ist nur 96 %.

Auf weitere Untersuchungen über die katalytische Wirksamkeit anderer Vanadin-Verbindungen soll hier nicht eingegangen werden.

Zur wirtschaftlichen Wechselwirkung zwischen Werkstoff und Werkzeug bei der Metallbearbeitung

Von Walter Reichel in Breslau

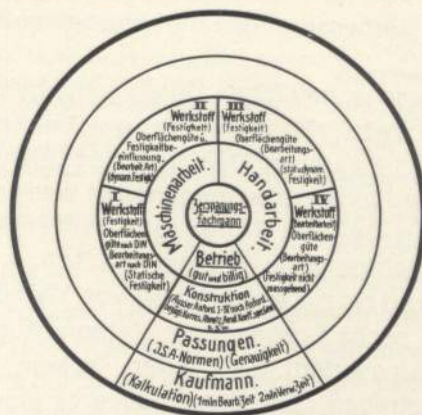
Die deutschen Forschungsarbeiten über wirtschaftliche Metallbearbeitung haben, wie die vielen Veröffentlichungen im Schrifttum der letzten Jahre zeigen, einen derartigen Umfang angenommen, daß derjenige, der sich nicht im besonderen mit diesen Arbeiten beschäftigen muß, an ihnen häufig vorübergeht, und zwar wegen der nicht immer klar ersichtlichen praktischen Auswirkungsmöglichkeit ihrer Ergebnisse. Der hier zur Verfügung stehende Raum gestattet es nicht, auf alle wichtigen diesbezüglichen deutschen Forschungsarbeiten einzugehen. Es sollen daher vorwiegend nur diejenigen Arbeiten kurz besprochen werden, an denen sich auch das Werkzeugmaschinen-Laboratorium der Technischen Hochschule Breslau in den letzten zehn Jahren beteiligt hat.

Zweck und Ziel solcher Forschungsarbeiten muß es sein, nicht nur dem Werkzeugmaschinen- oder dem Werkzeughersteller neue Wege zur Qualitätssteigerung seiner Produkte zu zeigen, sondern auch allgemein im Betrieb einer Maschinenfabrik zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit beizutragen. Dabei muß in Zukunft noch mehr als bisher beim Maschinenhersteller das Interesse für die Zerspanungsforschungen geweckt werden, so schwer ihm das Verfolgen dieser Arbeiten infolge Mangels an Zeit auch fallen mag.

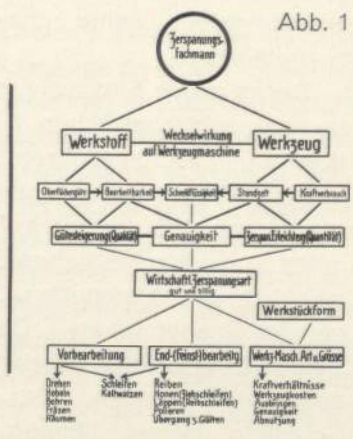
Konstrukteur, Betriebsmann und kaufmännischer Ingenieur müssen sich heute die Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen über spanabhebende Metallbearbeitung in gleicher Weise zunutze machen (Abb. 1). Der kaufmännische Ingenieur benötigt Kalkulationsunterlagen, die, soweit die Fertigung in Betracht kommt, vom Zerspanungsfachmann in handlicher und leicht verständlicher Form geschaffen werden sollen. Je

geeigneter diese Unterlagen dem Kaufmann geliefert werden, um so weniger Verwaltungszeit wird er für die preisliche Festlegung und den Vertrieb des Produktes benötigen. Durch die Güteanforderungen, die durch den Verwendungszweck des Produktes bedingt sind, ferner durch die vorherige Festsetzung des Preises für ein Produkt von seiten des kaufmännischen Ingenieurs wird der Betriebsmann und der Konstrukteur gezwungen, das betr. technische Erzeugnis mit sparsamsten Mitteln fertigzustellen. Konstrukteur und Betriebsmann müssen versuchen, das Produkt innerhalb der durch den Verwendungszweck gegebenen Passungen bestens und billigst zu schaffen.

Der Konstrukteur wird natürlich seine Anforderungen nicht direkt an den Zerspanungsfachmann, sondern indirekt über den Betriebsmann stellen. Man kann hierbei nach dem augenblicklichen Stande der Konstrukteurbildung die Konstrukteure zu vier großen Gruppen, nach großen Meßbereichen vorgenommen, zusammenfassen:



Anforderungen des Maschinenherstellers an den Zerspanungsfachmann



Art der Zerspanungsuntersuchung

Abb. 1

Die erste Gruppe berücksichtigt nur die statische Festigkeit und richtet sich in ihren Bearbeitungsvorschriften nur nach den üblichen DIN-Bezeichnungen. Die zweite Gruppe legt ihren Konstruktionen bereits statisch-dynamische Festigkeitsgesichtspunkte zugrunde und kümmert sich dementsprechend auch mehr um die Bearbeitungsarten. Die dritte Gruppe berücksichtigt hauptsächlich die dynamische Festigkeit hinsichtlich des zu wählenden Werkstoffes und dementsprechend die Bearbeitungsarten hinsichtlich Oberflächengüte wie auch die Bearbeitbarkeit des Werkstoffes selbst. Die letzte, vierte Gruppe von Konstrukteuren berücksichtigt in erster Linie die Bearbeitbarkeit eines Werkstoffes, während die Festigkeit desselben eine untergeordnete Rolle spielt (z. B. Türklinkeherstellung, bei der es hauptsächlich auf Erreichung guter Oberflächengüte, günstigste Bearbeitbarkeit usw. ankommt).

Diese vier Gruppen von Konstrukteuren werden natürlich in der Praxis nicht so streng voneinander zu unterscheiden sein. Sie werden sich mitunter gegenseitig ergänzen bzw. ineinander übergehen, wobei bezüglich der Wahl des Werkstoffes auch andere Gesichtspunkte als die der Festigkeit u. ä. berücksichtigt werden, z. B. in der Elektrotechnik Anforderungen an hohe elektrische Leitfähigkeit, bei Magneten hohe Remanenz, in der chemischen Industrie die Widerstandsfähigkeit gegen Säuren (Korrosionsbeständigkeit), im Flugzeugbau ein geringes spezifisches Gewicht verbunden mit Korrosionsbeständigkeit u. ä.

Um dem Betriebsmann und Zerspanungsfachmann die Arbeiten nicht zu erschweren, muß der Konstrukteur eine technologische Einstellung besitzen und die Forschungsergebnisse über Metallzerspanung in seinem Arbeitsbereich zur Anwendung bringen. Die restlichen Anforderungen an den Zerspanungsfachmann von seiten des Betriebsingenieurs ergeben sich aus der Forderung nach guter und billiger, also wirtschaftlicher Herstellung. Hierbei soll ergänzend zu den obigen Ausführungen der Betriebsingenieur auch konstruktives Interesse besitzen, um in arbeitstechnischer Hinsicht Verbesserungen durchführen zu können, ohne die Konstruktion zu gefährden.

Sechs große Klassen von wissenschaftlichen Untersuchungen sind es, die, wie Abb. 1 zeigt, zu einer wirtschaftlichen Wechselwirkung zwischen Werkstoff und Werkzeug auf der Werkzeugmaschine führen und die zu einer Qualitäts- und Quantitätssteigerung der Fertigung, also die Wege zu einer guten und billigen Zerspanungsart weisen sollen. Es sind dies die Untersuchungen über Oberflächengüte- und Genauigkeitssteigerung bei Werkstücken, Hilfsmittel zur wirtschaftlichen Spanabtrennung in Form von Schneidflüssigkeiten, Bearbeitbarkeit von Werkstoffen, Standzeit (Lebensdauer) von Werkzeugen und Kraftverbrauch bei der Spanabnahme. Diese sechs Gruppen von Untersuchungen sind bei den klassischen Bearbeitungsarten (Vorbearbeitungsarten), wie Drehen, Hobeln, Bohren, Fräsen und Räumen, ausprobiert worden. Das Bestreben, bei den Endbearbeitungsarten, als da sind Reiben, Schleifen, Honen, Läppen, Polieren und Glätten, die Nachteile der Vorbearbeitungsarten zu beseitigen, wird auch in Zukunft in das Forschungsprogramm nach obigen Gesichtspunkten hineinbezogen werden müssen, um sich ein abschließendes Urteil über die wirtschaftliche Aufeinanderfolge von Bearbeitungsarten bilden zu können. Parallel zu den Untersuchungen über die reine Wechselwirkung zwischen Werkstoff und Werkzeug gehen die Untersuchungen über den Einfluß dieser Wechselwirkung auf die Werkzeugmaschine selbst. Im folgenden werden die obigen sechs Gruppen von Untersuchungen kurz behandelt.

1. Oberflächengüte

Die Vorteile einer Oberflächengütesteigerung haben zur Folge:

- | | | |
|--------------------------------|---|----------------------------|
| 1. glattes Aussehen der Fläche | } | ohne Genauigkeitsansprüche |
| 2. Schutz gegen Korrosion | | |
| 3. gute Laufeigenschaften | } | mit Genauigkeitsansprüchen |
| 4. geringe Anfangsabnutzung | | |

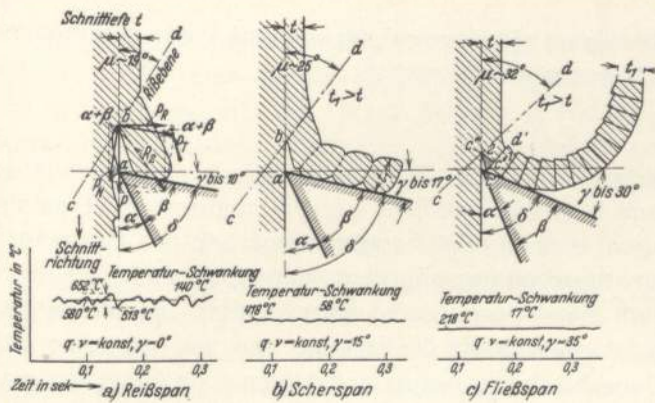


Abb. 2

Schematische Darstellung der drei typischen Spanformen. Übergang vom Reiß- über den Scher- zum Fließspan wird bei gleichbleibender Geschwindigkeit durch Veränderung des Spanwinkels oder bei gleichem Spanwinkel durch Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit erreicht. Der Abscherwinkel μ , unter dem die Spänelemente abgeschert werden, erreicht beim Fließspan eine optimale Größe mit günstigstem Kraftverbrauch. Größerer Abscherwinkel μ entsteht durch geringere Verformung des Spans infolge sinkender Schneidtemperaturen, so daß ein Leistungsgewinn je Späneinheit erzielt wird. Steigerung der Oberflächengüte liegt in dem Kleinerwerden des der Werkzeugschneide voraus-eilenden Anrisses mit wachsender Schnittgeschwindigkeit.

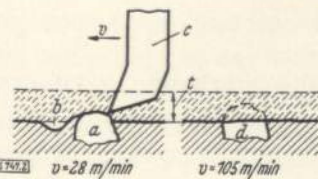


Abb. 3
Gefügeerhaltende und gefügezerstörende Zerspanung

Die große Durchschlagskraft der Werkzeugschneide bei hohen Schnittgeschwindigkeiten durchschneidet auch die härtesten Gefügebestandteile (d) der Werkstoffe (gefügeerhaltende Zerspanung), während bei niedrigen Schnittgeschwindigkeiten das Werkzeug über die harten Bestandteile (a) hinwegfedert und hinterher in die Werkstückoberfläche (b) einhakt, oder dieselben lockert und herausbröckelt (gefügezerstörende Zerspanung).

höherer Schnittgeschwindigkeiten¹). Dem heutigen wirtschaftlichen Zerspanungsvorgang ist nur noch der Fließspan zugrunde zu legen (Abb. 2), zumal so grobe Schruppschnitte, wie sie zu dem natürlichen Reiß- und Scherspan führen, nur noch selten vorkommen. Die Erzielung einer bedeutend besseren Oberfläche durch den Fließspan beruht nicht allein auf der Schälwirkung des Werkzeuges bei Spanlocken bildenden Werkstoffen, sondern vielmehr auch bei nicht Spanlocken bildenden Werkstoffen (Gußeisen) auf der großen Durchschlagskraft des mit hoher Schnittgeschwindigkeit arbeitenden Werkzeuges (Abb. 3). An Stelle der gefügezerstörenden erhalten wir eine gefügeerhaltende Zerspanung. Nachteilige Schwingungserscheinungen durch Aufbau-schneide²) (falsche Schneide), Abb. 4, vorzeitiger Werkzeugverschleiß durch Auskolkung²), Abb. 5, werden bei höheren Schnittgeschwindigkeiten als 120 m/Min. vermieden.

Eine weitere Steigerung der Schnittgeschwindigkeit findet ihre Begrenzung in der Lebensdauer der heutigen Werkzeugqualitäten. Um die Vorteile der Schnittgeschwindigkeitssteigerung noch weiter auszunutzen, mußte schließlich zu dem bisher bekannten härtesten Werkzeug, dem Diamanten³), gegriffen werden. Die Eigenschaft des Diamanten gestattet es, die spanabhebende Formgebung mit einer spanlosen Formgebung zu vereinigen, indem, wie Abb. 6 zeigt, die Hauptschneide (a) zur reinen Zerspanungsarbeit und die Nebenschneide (b) unter einem Anstellwinkel von etwa 2° zu einer Glättungsarbeit benutzt wird. Der erzielte Glanzschnitt hinterläßt nur noch mittlere Unebenheiten von 0,0005 mm. Eine weitere Oberflächengütesteigerung ist schließlich im Übergang zum Prägepolieren zu suchen, das neben der Glanzsteigerung der Oberfläche gleich-

Abb. 4
Aufbauschneide (a)
b) Überhängender Teil der Aufbauschneide.
c) Abgewandeter Teil der Aufbauschneide

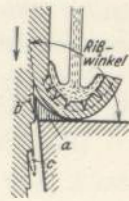


Abb. 5. Auskolkung (a)
b) Fase durch Abstumpfung
c) Bruchlinie bei zu großer Auskolkung

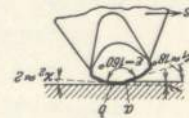


Abb. 6
Glanzschnitt mit Diamant

Hierbei unterscheidet man als Mittel:

A. Alte

Zerspanungsverfahren

I. Drehen

Die wachsende Erkenntnis, die Endbearbeitungsgänge an einem Werkstück (Feinstbearbeitung) dadurch wirtschaftlicher zu gestalten, daß schon die Zerspanungsvorarbeiten wie Drehen, Fräsen usw. eine möglichst gute Oberfläche hervorbringen, bedingt die Anwendung

zeitig eine Verdichtung erzeugt. Diese Übergänge zur Anwendung von spanloser Formgebung sind in ihrer näheren Auswirkung ein noch wenig durchforschtes Gebiet.

II. Bohren

Die Vorteile der gefügeeerhaltenden Zerspanung durch hohe Schnittgeschwindigkeit haben auch eine Verbesserung in dem Bohrprozeß hervorgerufen und zum Feinbohren⁴⁾ mit Einstahlwerkzeug geführt (Abb. 7). Die Bestrebungen, eine Oberflächengütesteigerung nur durch Feinbohren zu schaffen ohne nachfolgende Feinstbearbeitungsoperation, haben insbesondere einen Kampf zwischen dem Feinbohren und dem sonst noch häufig angewandten nachfolgenden Honen und Schleifen ausgelöst.

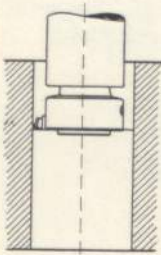


Abb. 7
Einstahl zum
Feinbohren

Besonders die Erkenntnisse, wie nachteilig sich eine unsachgemäß geschliffene Fläche in bezug auf dynamische Festigkeit auswirkt gegenüber einer rein gedrehten oder gebohrten Oberfläche, haben das Feinbohren in seinen Anwendungsmöglichkeiten weit vorgeschoben. Die vollkommene Klärung, ob das Feinbohren ohne nachfolgendes Honen oder Schleifen wirtschaftlicher ist, ist in Angriff genommen, wobei auf Grund der Erkenntnisse der bisherigen Vorarbeiten auch die Anwendung einer Prägepolierrolle nach dem Feinbohrprozeß in Betracht gezogen werden soll. Man verspricht sich hiervon eine Verdichtung und Vergrößerung von tragenden Flächen der durch den Feinbohrvorgang zurückgelassenen Vorschuberrhöhungen. Inwieweit die Bohrarbeiten mit Einstahl gegenüber dem Messerkopf (Abb. 8) bevorzugt werden sollen, wird ebenfalls hierbei geklärt werden.

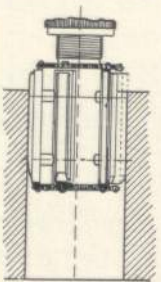


Abb. 8
Messerkopf
zum Bohren

III. Fräsen und IV. Hobeln

Der Fräsvorgang hat durch Anwendung von Hartmetall-Werkzeugen und durch die Verbesserung ihrer Anschleifmethoden, insbesondere bei Messerköpfen (Planfräsen), sich weitere Anwendungsgebiete erobert (Abb. 9), so daß er einerseits dem Planschleifen und andererseits dem Hobeln Konkurrenz zu machen versteht. Nur im Hinblick darauf, daß bei sehr sperrigen Werkstücken und schweren Schnitten die notwendigen Fräsmaschinen und -werkzeuge einschl. Spannvorrichtung zu teuer kommen, ist die Wirtschaftlichkeit des Hobelns für dieses Zerspanungsgebiet aufrecht erhalten worden⁵⁾.

V. Schleifen

Die Steigerung der Schleifscheibenqualitäten beim Planschleifen und der hierzu erforderlichen Schleifmaschinen hat selbst bei mittleren Schnitten und mittleren Werkstückgrößen das Planfräsen zu verdrängen gesucht, so daß sich heute das Planschleifen an die Abnahme von 3 mm Spantiefe heranwagt (Abb. 9). Nur bei sehr langen und größeren Flächen ist in bezug auf Wirtschaftlichkeit bei höchster Genauigkeit das Handschaben im Vorteil geblieben. Der Streit zwischen Schleifen und Schaben ist bisher nicht zugunsten einer dieser Bearbeitungsarten entschieden, sondern wird heute für zwei zusammengehörige, aufeinander gleitende, flache Werkstücke dadurch entschieden, daß das bewegliche Werkstückteil geschabt, das feststehende geschliffen wird. Bei sehr langen Werkstücken, etwa über zwei Meter, wird auch der feststehende Teil (z.B. Werkzeugmaschinenbetten) geschabt, während beim Flächenschleifen solcher Werkstücke infolge der hohen lokalen Erwärmungen durch die Schleifscheibe zu viel neue, innere Spannungen und damit ein nachträgliches Werfen entstehen würde.

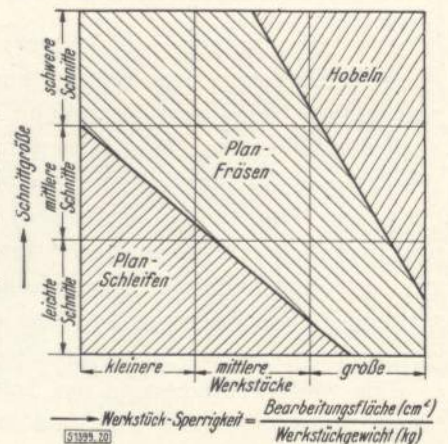


Abb. 9
Die Arbeitsgebiete für Planschleifen,
Planfräsen und Hobeln (nach Reichel)

Um obige Zerspanungsverfahren in ihren einzelnen Verfeinerungsstufen besser bewerten zu können, und um sich von den veralteten, allgemeinen Bearbeitungsangaben nach DIN loszulösen und objektiver zu urteilen, ist die Schaffung von Oberflächengütemessern mit zahlenmäßiger Bewertung notwendig. Bisherige Versuche haben noch nicht zu einem billigen Betriebsgerät geführt. Wege hierzu sind aber durch das DRP. Nr. 600 443 gewiesen worden⁶⁾.

B. Neue Zerspanungsverfahren

Honen und Läppen verfolgen den Zweck, nicht eine Formänderung von Oberflächen hervorzubringen, sondern die von den alten Zerspanungsverfahren zurückgebliebenen Unebenheiten einer Fläche zu verkleinern und zu glätten. Während das Honen mit Werkzeugen aus keramisch gebundenen Scheiben oder Schleifleisten arbeitet, so daß die Befürchtung besteht, ausgebröckelte Schleifscheibenteilchen würden sich in den Poren des Werkstückmaterials einbetten und beim Laufen der Maschine durch Herauslösen zu einer vorzeitigen größeren weiteren Anfangsabnutzung beitragen können, ist beim Läppen mit einem Werkzeug aus metallenen Scheiben oder Segmenten das Auftreten der eben erwähnten Nachteile des Honens weniger zu befürchten, es sei denn, daß das benutzte Läppmittel neben der Polierflüssigkeit noch Schmirgelpulver jeglicher Art enthält. Wie durch Honen und Läppen eine Vergrößerung der tragenden Fläche eines Werkstückes bewerkstelligt wird, geht aus Abb. 10 hervor. Ungeklärt ist das Problem, in welcher kürzester Zeit man mit diesen Verfahren eine gewünschte Genauigkeit bei den verschiedensten Werkstoffen erreichen kann. Erschwert wird die Lösung dieses Problems dadurch, daß hier neben der Wechselwirkung zwischen Werkstoff und Werkzeug die konstruktive Form des Werkstückes mit eine Rolle spielt. Da die Werkstücke beim Honen und Läppen erhöhten Reibungstemperaturen ausgesetzt sind

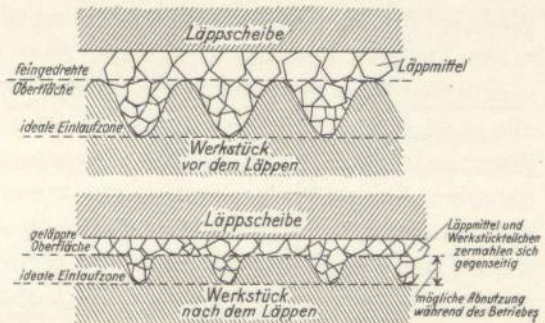


Abb. 10. Läppen

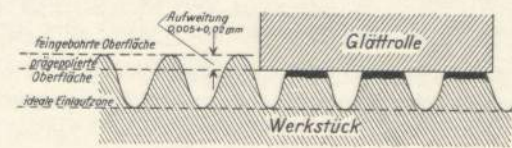


Abb. 11. Prägepolieren

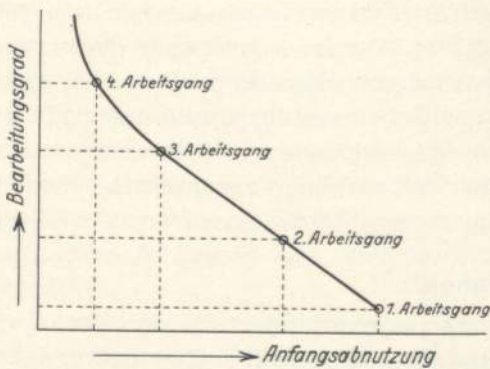


Abb. 12. Ersatz von mehreren Arbeitsgängen durch 1 Arbeitsgang bei derselben Anfangsabnutzung

und infolge ihrer mitunter verschiedenartigen Massenverteilung sich dementsprechend ungleichmäßig ausdehnen, so ist eine ebenfalls ungleichmäßige Spanabnahme und damit eine Ungenauigkeit in den Durchmessern zu erwarten.

Der Idealzustand für eine wirtschaftliche Bearbeitung der Werkstücke wäre, das Honen und Läppen wie auch das Schleifen bei der zukünftigen Entwicklung der deutschen Metallbearbeitung nach Möglichkeit immer mehr auszuschalten und an ihre Stelle nur die veredelten, alten Zerspanungsverfahren zu setzen, gegebenenfalls hinterher nur noch eine spanlose Formgebung anzuwenden, etwa wie eine Glättrolle zum Verdichten einer feingebohrten Bohrungswand (Abb. 11). Hierdurch würden die

Anfangsabnutzungen auf ein Minimum heruntergedrückt, die Einlaufzone möglichst schon während der Bearbeitung erreicht und damit die Lebensdauer einer Maschine auf ein Maximum heraufgesetzt werden. Nach Abb. 12 muß das Bestreben ferner dahin gehen, an Stelle von z. B. vier hintereinander geschalteten Arbeitsgängen mit einer geringsten Anfangsabnutzung, dieselbe

Abnutzung mit nur einem Arbeitsgang hervorzubringen, während heute bei einem Arbeitsgang die Abnutzung eine vielfach größere ist. Untersuchungen über letztgenannten Gedankengang sind in Vorbereitung.

2. Genauigkeit

Die Erreichung einer hohen Genauigkeit eines Werkstückes geht, soweit man nur die reine Wechselwirkung zwischen Werkstoff und Werkzeug betrachtet, meistens Hand in Hand mit einer hohen Oberflächengüte. Umgangen kann jedoch hierbei nicht der Teil werden, auf dem diese Wechselwirkung ausgetragen wird, die Werkzeugmaschine. Die hohen Anforderungen, die der allgemeine Maschinenbau durch die immer häufigere Anwendung der Edelpassungen an den Werkzeugmaschinenbau stellt, haben gezeigt, daß die im Prüfbuch für Werkzeugmaschinen festgelegten Abnahmetoleranzen nicht mehr genügen und neue Feinstbearbeitungsmaschinen entwickelt werden mußten, die mit Meßuhren mit $\frac{1}{1000}$ mm Anzeige abgenommen werden. Es ist sicher, daß Werkzeugmaschinen mit derartigen Genauigkeiten auch ein genaueres Werkstück ergeben je nach ihrem Wirkungsgrad, wobei nicht der Wirkungsgrad der Kraft-, sondern der Genauigkeitsverhältnisse von belastetem zu unbelastetem Zustande zu verstehen ist. Ist denn das genaue Arbeiten einer Werkzeugmaschine einzig und allein abhängig von ihrer Formgenauigkeit im Herstellungszustande? Wird bei der weiteren Emporschraubung zu überzüchteten Genauigkeiten nicht gleichzeitig der Verkaufspreis der Maschine und damit der Unkostenteil auf das gefertigte Werkstück so hoch, daß ein Absatz solcher Werkzeugmaschinen wie der mit ihnen angefertigten Werkstücke in Zukunft auf Schwierigkeiten stoßen würde? Die Genauigkeitsprüfungen bei der Abnahme einer Werkzeugmaschine ermöglichen zwar eine Kontrolle der durch die

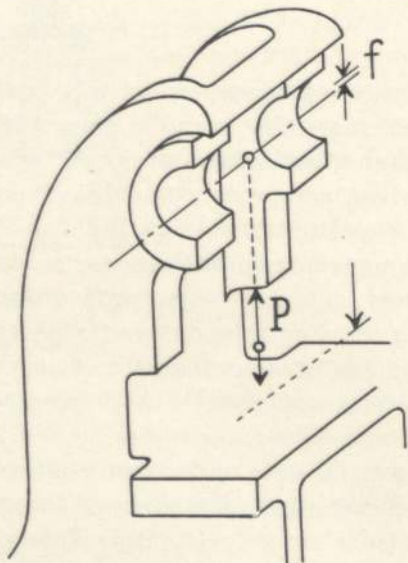


Abb. 13
Symbolische Darstellung des Starrheitsgrades an einer Exzenterpresse

Durchfederung f bei maximaler Höchstbelastung von $P = 40\,000$ kg beträgt $0,4$ mm, infolgedessen
 der Starrheitsgrad $= \frac{\text{Belastung}}{\text{Durchfederung}} = \frac{40\,000}{0,4} = 100\,000$

Zeichnung vorgeschriebenen Genauigkeit, sie geben jedoch kein Bild von der Richtigkeit und Zweckmäßigkeit der Maschinenkonstruktion bzw. ihrer Arbeitsgenauigkeit im vollbelasteten Zustande. Diese Gesichtspunkte haben zu Untersuchungen über die Starrheit von Werkzeugmaschinen geführt mit dem Ergebnis, daß für denjenigen Werkzeugmaschinenteil, der der größten Beanspruchung während des Arbeitens ausgesetzt und von dem die Arbeitsgenauigkeit abhängig ist, ein Prüfwert geschaffen wird in dem „Starrheitsgrad“, der mit Leichtigkeit die Bewertung einer Werkzeugmaschine unter dynamischen Verhältnissen⁷⁾ gestattet (Abb. 13). Im Vergleich stehende Werkzeugmaschinen werden so durch eine einzige Kennziffer erfaßt werden, wobei es das Geheimnis des Werkzeugmaschinenherstellers bleiben soll, mit welchen Mitteln, bzw. unterteilten Genauigkeiten der einzelnen zusammenarbeitenden Maschinenelemente er den Starrheitsgrad erreicht.⁸⁾

3. Schneidflüssigkeit⁸⁾

Um den Zerspanungsvorgang zu erleichtern und günstiger zu gestalten, wird ein Hilfsmittel verwendet in Form von Schneidflüssigkeiten. Sie haben den Zweck, die bei der Zerspanung entstehenden Wärmemengen abzuführen, also zu kühlen, um die Standzeit der Werkzeuge zu

erhöhen und die Werkstückoberfläche selbst durch die Zerspanungstemperatur nicht ungünstig zu beeinflussen. Andererseits sollen sie die Reibung zwischen den einzelnen Spanelementen und die zwischen Span, Schneidenbrust und Werkstück herabsetzen (schmieren), um dadurch ein schwingungsfreieres Arbeiten und eine glattere Oberfläche zu schaffen. Hinzu kommt, daß die

Schneidflüssigkeiten nicht korrosionsbildend für Werkstück und Maschine, ferner hygienisch bei ihrer Benutzung und in ihrer Wirkung den verschiedenen Werkstoffen und Geschwindigkeiten anpassungsfähig sein sollen. Die verschiedenen Arten von Schneidflüssigkeiten haben in den letzten Jahren eine weitere Klärung hinsichtlich ihrer Wirkung erfahren⁹⁾. Die Kühlwirkung kann mittels thermoelektrischer Messungen¹⁰⁾ (Abb. 14), die Schmierwirkung durch Schnittdruckmessungen und Oberflächen-gütebetrachtungen²⁾ bestimmt werden. Hierbei hat sich gezeigt, daß eine mehr kühlende Schneidflüssigkeit (z. B. Bohröl) den Span so sehr abschreckt, daß er auf dem Werkzeug eine Auskolkung erzeugt unter gleichzeitiger Bildung einer Fase an der schneidenden Kante infolge Abnutzung (Abb. 5). Die wäßrigen Lösungen ermöglichen also die genauere Einhaltung eines bestimmten Werkstückdurchmessers, weil die Schneidkante des Werkzeuges

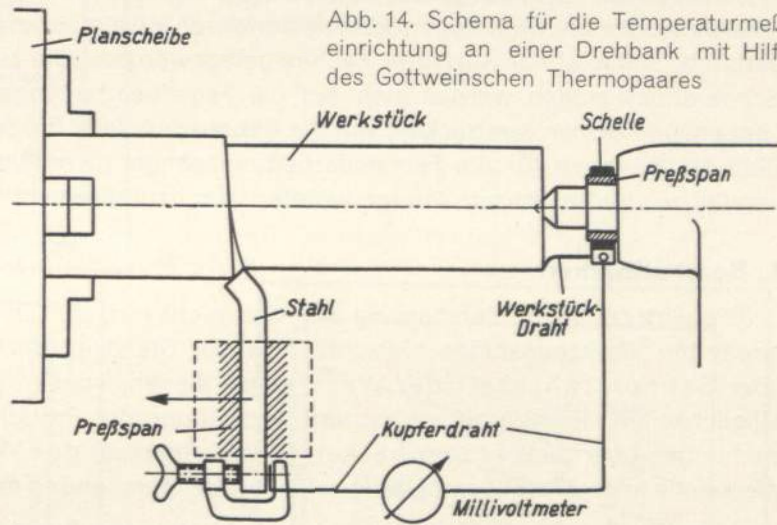


Abb. 14. Schema für die Temperaturmeßeinrichtung an einer Drehbank mit Hilfe des Gottweinschen Thermopaars

Die Schnittstelle wird als Lötstelle eines Thermoelementes aufgefaßt. Durch den Schnitt entsteht eine elektromotorische Kraft, die durch ein zwischen Werkstück und Werkzeug eingeschaltetes Millivoltmeter gemessen wird.

das Werkstück nachschneiden kann²⁾. Bei einem Schneidöl, einem reinen Fettöl oder Mineralöl, wird der Span infolge der weniger großen Abschreckwirkung der Schneidflüssigkeit sich weniger zusammenziehen, also flacher auf die Spanbrust auflaufen, so daß ein Hohlraum zwischen Span, Werkzeugbrust und abgetrennter Werkstückfläche entsteht. In diesem Hohlraum bildet sich aus abgelösten und komprimierten Werkzeugteilchen eine zusammengeschweißte Aufbauschneide (Abb. 4), die an Stelle der Werkzeugschneidkante den Span zum Abschälen bringt. Hierdurch wird nicht der theoretisch gewünschte Werkstückdurchmesser eingehalten, sondern je nach Größe der Aufbauschneide entsteht ein kleinerer Werkstückdurchmesser²⁾. Da die Aufbauschneide periodisch anwächst und der über die Schneidkante herüberragende Teil periodisch abläuft, wird eine mehr zerrissene Oberfläche geschaffen. Die Aufbauschneide hat aber den Vorteil, daß sie die Schneidstahlspitze schont und somit zu einer hohen Lebensdauer des Werkzeuges beiträgt. Diese beiden Auswirkungen einer mehr kühlenden und andererseits einer mehr schmierenden Schneidflüssigkeit kann man bei demselben Arbeitsvorgang dahingehend ausnutzen, daß z. B. bei einem mit einer wäßrigen Schneidflüssigkeit abgestumpften (angefasten) Schneidstahl durch Abstellen der Kühlflüssigkeit und Umstellen auf ein Schneidöl wieder der anfangs gewünschte Werkstückdurchmesser erreicht werden kann. In der Automobilindustrie wird beim Ausreiben von Zylinderbohrungen dieses Ergebnis ja bereits mit Vorteil ausgenutzt.

Schneidflüssigkeiten müssen in ihrer Zusammensetzung so beschaffen sein, daß sie bei dem raschen Spanablauf sich möglichst schnell in ihrem molekularen Aufbau orientieren¹¹⁾, d. h. möglichst schnell an dem Span haften und mit möglichst großer Geschwindigkeit zwischen die einzelnen Spänelemente hineinkriechen, welche Eigenschaften man in der Schmiertechnik unter hoher Adhäsions- bzw. Kapillarwirkung zusammenfaßt. Die Versuche hierüber haben eine völlige Umstellung in den Schneidflüssigkeitskomponenten hervorgerufen. Bei niedrigen Schnittgeschwindigkeiten sind Schnittgeschwindigkeitserhöhungen von 30–40% gegenüber Trockenschnitt möglich, um die Kühl- und Schmierwirkung auszunutzen. Bei höheren Schnittgeschwindigkeiten (etwa von 180 m/Min. ab) ist die Kühl- und Schmierwirkung der heutigen Schneidflüssig-

keiten infolge ihrer nicht mehr genügenden hohen Kapillarkräfte so gering, daß ihre Anwendung hier nicht mehr denselben Zweck verfolgt wie früher.

Neue Aufschlüsse haben die Untersuchungen über den Stabilitätsbereich¹²⁾ von zusammengesetzten Schneidflüssigkeiten (Bohrölen) gebracht insofern, als sie dem Betriebsmann gestatten, in kürzester Zeit die geeignete Konzentration seiner Schneidflüssigkeiten festzulegen. Ebenso kann die Korrosionswirkung von Schneidölen durch ein einfaches Auftropfverfahren¹²⁾ auf eine aufgerauhte Stahlplatte in kürzester Zeit festgelegt werden. Die zukünftigen Untersuchungen über Schneidflüssigkeiten werden sich auf die Feinstbearbeitungsgänge, wie Schleifen, Polieren, Läppen und Honen, erstrecken, um die Gebrauchstafel⁸⁾ für Schneidflüssigkeiten, siehe AWF-Blatt Nr. 37, auch für die Feinstbearbeitungsgänge zu ergänzen. Die Untersuchungen sind parallel zu den im Absatz 1 angedeuteten durchzuführen.

4. Bearbeitbarkeit

Die wirtschaftliche Zerspanung erfordert nicht nur, sich in den Schneidenformen u. ä. den gewählten Werkzeugstoffen hinsichtlich langer Standzeit anzupassen, wozu Untersuchungen über Schneidfähigkeit der Werkzeuge dienen, sondern in bezug auf Werkstoffwahl alle Möglichkeiten einer Verbesserung und Verbilligung des Produktes auszuschöpfen, wozu Untersuchungen über die Zerspanbarkeit (Bearbeitbarkeit) der Werkstoffe notwendig sind. Die Werkstoffe in der Metallbearbeitung sollen bei der Zerspanung möglichst folgende Vorteile bieten:

- a) kleine Späne (keine langen, arbeitsbehindernden Spanlocken),
- b) gute Oberfläche oder Maßhaltigkeit oder beides zugleich,
- c) Anwendung großer Schnittgeschwindigkeiten,
- d) lange Lebensdauer (Standzeit) des Werkzeuges,
- e) geringen Kraftverbrauch.

Man sieht aus vorstehenden Anforderungen an einen modernen Werkstoff, daß sich unter dem Begriff „Bearbeitbarkeit“ ein ganzer Fragenkomplex verbirgt, so daß eine eindeutige Ableitung der Bearbeitbarkeit und die Aufstellung einer von Werkzeugmaschinenart, Schnittgeschwindigkeit und Spanquerschnitt losgelösten und unabhängigen Kennziffer (etwa wie die Zugfestigkeit k_z eines Werkstoffes) nicht möglich ist. Hinzu kommt der weitere schwierige Umstand, daß die bei jeder Bearbeitungsart gefundenen Kennziffern nur auf diese selbst anzuwenden und nicht übertragbar sind. Bearbeitbarkeits-Kennziffern, die zusammenfassend ausdrücken sollen, inwieweit der eine Werkstoff sich besser zerspanen läßt als der andere, werden nach verschiedenen Verfahren ermöglicht.

Die Erfahrung, daß die obengenannten gewünschten Eigenschaften eines Werkstoffes, also die günstigere Bearbeitbarkeit, nicht allein von der Festigkeit, der Brinellhärte oder den Legierungsbestandteilen eines Werkstoffes abhängig sind, haben die Frage auftauchen lassen, welchen ursächlichen Zusammenhang die Faktoren bei der Zerspanung besitzen, die zu obengenannten Vorteilen führen sollen. Nicht die Aufstellung einer Bearbeitbarkeits-Kennziffer in Abhängigkeit von einem dieser Faktoren erscheint angebracht (wie bei verschiedenen Bearbeitbarkeits-Prüfverfahren), sondern die Aufstellung einer Bearbeitbarkeits-Kennziffer, die allen in Betracht kommenden Faktoren Rechnung trägt. Die an der Schneide der Werkzeuge bei einer bestimmten Schnittgeschwindigkeit sich entwickelnde Schneidentemperatur¹³⁾ kann nun offenbar als eine solche Kennziffer für die Bearbeitbarkeit eines Werkstoffes aufgefaßt werden. Unter diesen Gesichtspunkten wurde hier ein Verfahren von Gottwein-Reichel entwickelt, das gestattet, von der Bearbeitbarkeits-Kennziffer auf die zugehörige wirtschaftliche Schnittgeschwindigkeit zu schließen (Abb. 16). Hiernach kann die Metallindustrie für ihre Werkstoffe Bearbeitbarkeits-Kennziffern und gleichzeitig Schnittgeschwindigkeitskurven selbst festlegen. Große Mengen an Werkstoff und Werkzeugen werden dadurch gespart werden, womit auch den Bestrebungen unserer deutschen Wirtschaft in bezug auf Rohstoffersparnis entsprochen würde.

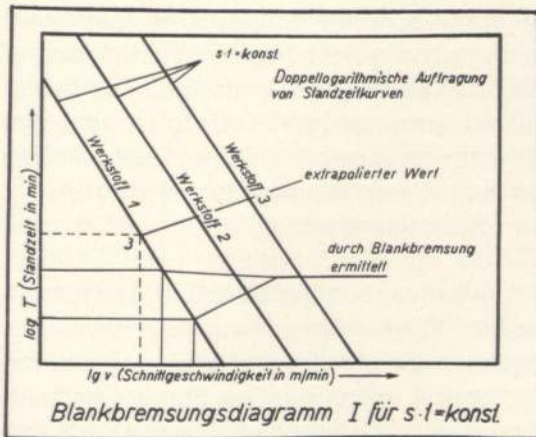


Abb. 15

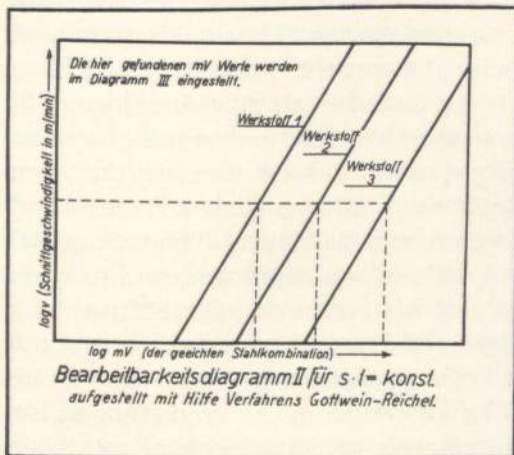


Abb. 16

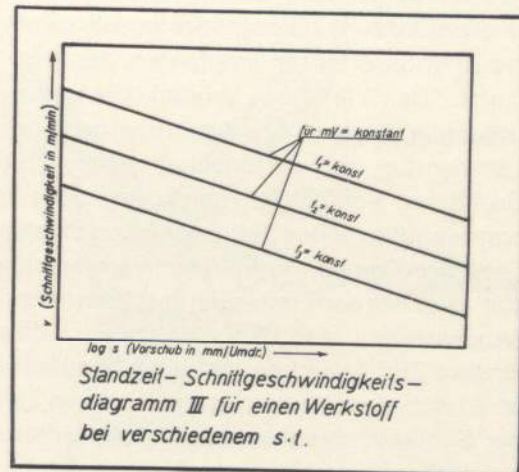


Abb. 17

5. Standzeit

Die Standzeit oder Schneidhaltigkeit eines Werkzeuges hat besonders in den letzten Jahren eine eingehende Würdigung gefunden. Die weitere Hochzüchtung der Hartmetalle, die immer höhere Schnittgeschwindigkeiten fordern, und die große Menge von Werkzeugsorten aus Kohlenstoff- und Schnellstahl ergaben die Notwendigkeit, nicht mehr mit irgend einer Schnittgeschwindigkeit zu arbeiten und die Wahl derselben dem Arbeiter zu überlassen, sondern technologisch bestimmte wirtschaftliche Schnittgeschwindigkeiten festzulegen, um vor allen Dingen auch genauer kalkulieren zu können.

Bisher wurden in Taschenbüchern usw. die Schnittgeschwindigkeiten für die einzelnen Bearbeitungsarten nur in Form einer unteren und oberen Schnittgeschwindigkeitsgrenze angegeben, so daß es unmöglich war, die günstigste Schnittgeschwindigkeit herauszufinden. Schnittgeschwindigkeitsformeln wurden mannigfach entwickelt, und mit dem Streit über ihre Brauchbarkeit wurde die Schnittgeschwindigkeitswahl noch vergrößert. Hinzu kam der Umstand, daß die einzelnen Werkzeugqualitäten sich in ihren Leistungen so weit unterschieden, daß ein einigermaßen gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen Werkstoff, Werkzeug und Schnittgeschwindigkeit nicht gefunden werden konnte. Durch den Ausschluß für wirtschaftliche Fertigung (AWF.) wurden in dankenswerter Weise schließlich auf Grund praktischer Drehversuche, die jeweils bis zum Ausgeben (Blankbremsen) des Werkzeuges durchgeführt wurden, Schnittgeschwindigkeitskurven in Abhängigkeit von den einzelnen Spanquerschnitten aufgestellt. Diesen Schnittgeschwindigkeitswerten lag eine Lebensdauer des Werkzeuges von 60 Minuten zugrunde. Durch neuere Forschungsergebnisse wurde festgestellt, daß die Schnittgeschwindigkeit bei einem bestimmten Werkstoff nicht allein von dem Spanquerschnitt abhängig gemacht werden kann,

sondern daß ihre Abhängigkeit von dem nach Vorschub und Schnitttiefe unterteilten Spanquerschnitt festzustellen ist¹⁴). Je größer die Schnitttiefe, um so günstiger ist die Wärmeabfuhr an der Schneide, während bei größerem Vorschub die umgekehrten Verhältnisse eintreten. Auf Grund dieser Erkenntnisse wurden die Schnittgeschwindigkeitswerte des AWF. korrigiert und von Wallichs zu Schnittgeschwindigkeits-Gebrauchstafeln zusammengefaßt. Diese Tafeln fußen auf der Durchführung von Blankbremsungen und auf einem weiteren, hieraus entwickelten Gesetz, daß durch Verdoppelung des Vorschubes der Abfall an Schnittgeschwindigkeit doppelt so groß ist wie bei Verdoppelung der Spantiefe.

Da Blankbremsungen mit großen Kosten und Zeitaufwand verbunden sind, und die Schnittgeschwindigkeitswerte bei anderen Werkstoffen, anderen Werkzeuglegierungen, anderen gewünschten Standzeitlängen und unter Berücksichtigung von Schneidflüssigkeiten sich ändern, ist es empfehlenswert, wenn jeder Betrieb selbst billig und schnell einige Standzeitschnittgeschwindigkeitskurven ermittelt, wozu abgekürzte Standzeitschnittgeschwindigkeits-Verfahren (Kurzverfahren) dienen. So wurde vom Verfasser¹⁵) in letzter Zeit ein abgekürztes Standzeitermittlungsverfahren empfohlen, das sich lediglich auf die gemessenen Schneidentemperaturen stützt. Das Verfahren scheint, wie aus neueren Versuchen hervorgeht, eine ziemlich einfache Lösung zu bieten. Die Abschmelzung der Schneidkante wurde bisher als eine Auswirkung der Temperatur und der mechanischen Abnutzung gekennzeichnet. Rechnungsmäßig und auf Grund von Versuchen konnte man aber zu dem Schluß gelangen, daß bei den jetzt durchweg angewandten hohen Schnittgeschwindigkeiten die mechanische Abnutzung nur eine Folge von auftretenden Temperaturen oder Wärmemengen ist. Eine Abnutzung, die beim Aufeinandergleiten von zwei Körpern mit niedriger Geschwindigkeit entsteht, ist auch nur die Folge von Reibungstemperaturen, nur daß diese hier auftretenden niedrigen Temperaturen eine entsprechend längere Zeit brauchen, um eine Abnutzung hervorzurufen. Die Erweichung einer Schneidkante wird nach einer kürzeren oder längeren Zeit eintreten und abhängig sein von der jeweiligen Größe der Schneidentemperatur. Der Schnittdruck zerstört insofern endgültig das Werkzeug, als das Korngefüge des Werkzeuges eine solche Erweichung gefunden hat, daß es nicht mehr dem Schnittdruck standhalten kann. Die jeweilige Schnittgeschwindigkeit ist gleichzusetzen der Einhaltung einer konstanten Schneidentemperatur. Bisherige Blankbremsungs-Standzeitkurven wurden mit Hilfe dieses Verfahrens nachgeprüft und ergaben eine gute Bestätigung. Man hat also heute in einem Betriebe, um die günstigste Schnittgeschwindigkeit zu ermitteln, nur noch notwendig, nach Durchführung von zwei Blankbremsungen die einer gewünschten Standzeit zugeordnete Schnittgeschwindigkeit durch Extrapolation aus dem Diagramm der Abb. 15 abzulesen, die dieser Geschwindigkeit zugeordnete Schneidentemperatur zu ermitteln (nach Abb. 16) und für verschiedene Spanquerschnitte die Schnittgeschwindigkeiten so zu regulieren, daß stets derselbe EMK-Wert (Schneidentemperatur) gemessen wird (Abb. 17). Das Auftragen von einigen solchen Punkten genügt, um für sämtliche Spanquerschnitte mit Unterteilungen eine Gebrauchstafel aufzustellen¹⁵). Die Untersuchungen gelten für den Schrupp- wie für den Schlichtschnitt.

6. Kraftverbrauch

Da die Hartmetalle weit höhere Drehzahlen erfordern, so ist erklärlich, daß die zulässige Leistung von älteren Werkzeugmaschinen bald überschritten sein wird, noch bevor eine Ausnutzung des Werkzeuges stattgefunden hat⁹). Wenn auch prozentual zu der Schnittgeschwindigkeitserhöhung der Kraftverbrauch eine geringere Zunahme erfährt (wobei bei größeren Spanquerschnitten der prozentuale Leistungsgewinn sogar noch größer wird infolge Sinkens des spez. Schnittdruckes), so ist dennoch die Frage höchst aktuell: Mit welchen Mitteln kann man die Leistung (in PS ausgedrückt) für eine aufzuwendende Arbeit herunterdrücken? Die Gleichung

$$N = \frac{W \cdot v}{60 \cdot 75} \text{ (PS)}$$
 besagt, daß zur Niedrighaltung des Leistungswertes N der Schnittdruck W

heruntergesetzt werden müßte, während andererseits ein Herunterdrücken auch der Schnittgeschwindigkeit v nicht statthaft ist, weil der Gütegrad der Fertigung mit Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit zunimmt. Die beiden Faktoren W und v haben also eine gewünschte, gegenseitige Tendenz. Da Versuche gezeigt haben, daß eine Schnittdruckerniedrigung durch Werkzeugform sowie durch Kühlung und Schmierung²⁾ nur in bescheidenen Grenzen möglich ist und bald eine Grenze findet, und daß der Schnittdruck fast unabhängig von der Schnittgeschwindigkeit ist und nur in bescheidenem Umfange bei Steigerung der Schnittgeschwindigkeit sinkt, so bleibt für die Heruntersetzung der Leistungsgleichung nichts anderes übrig, als den Faktor v einer näheren Betrachtung zu unterziehen. Wie oben bereits unter „Standzeit“ auseinandergesetzt¹⁵⁾, ist der wirtschaftliche Schnittgeschwindigkeitswert nach dem heutigen Forschungsstand nur durch praktische Versuche und nicht durch theoretische Formeln zu klären. Auch hier erscheint es notwendig, neue Zusammenhänge zwischen dem Schnittdruck, der Schnittgeschwindigkeit und der Wechselwirkung zwischen Werkstoff und Werkzeug aufzufinden. Wie Abb. 18 zeigt, setzt sich die zur Zerspanung aufgewandte Arbeit an der Werkzeugschneide in Wärme bzw. Schneidentemperatur um, so daß ein Leistungsgewinn von dem Maße der Temperaturbeherrschung abhängig ist. Nach neuesten Versuchen des Verfassers³⁾ unterscheidet man die in Abb. 18 eingetragenen vier Arten von Schneidentemperaturen. Die Temperaturen T_3 und T_4 am Werkzeug können bei niedrigen Schnittgeschwindigkeiten durch Kühl- und Schmiermittel heruntergesetzt werden (siehe oben unter „Schneidflüssigkeiten“). Bei höheren Schnittgeschwindigkeiten versagen dieselben¹⁵⁾. Die Temperatur T_2 , die durch Zusammenstauchung und durch Verformung des Spanes entsteht, äußert sich hauptsächlich in dem Schnittdruck und ist in ihrer Höhe von der Verformungsgröße, also der Bearbeitungsart, abhängig. Wie Abb. 2 zeigt, fällt mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit zwar diese Temperatur infolge immer geringer werdender Verformung des Spanes, sie wird jedoch schließlich auch eine untere Grenze finden, wenn der Span durch den Druck weniger verformt wird und sich nur noch durch eine Art Abschälvorgang infolge innerer Reibungen erwärmt. Die Temperatur T_1 , die an der dem Werkzeug vorausseilenden Einrißstelle im Werkstück entsteht, ist abhängig von der Geschwindigkeit, mit der das Auseinanderreißen der Werkstoff-Moleküle vollzogen wird. Wie Abb. 2 zeigt, wird der Einriß in das Werkstück mit zunehmender Geschwindigkeit kleiner, infolgedessen rückt dieser Temperaturpunkt T_1 der Spitze der Werkzeugschneide immer näher. Da die Einrißtemperatur T_1 etwas höher liegt als die nach dem Gottweinschen Thermopaar¹³⁾ gemessenen Temperaturen T_4 und T_3 , also bei einer Höchstgeschwindigkeit mit diesen beiden Temperaturen zusammenfällt, so ist daraus ersichtlich, daß die Beherrschung dieser Schnittgeschwindigkeitstemperatur T_1 nur noch eine Frage der Werkzeugqualität ist. Je höhere Schneidentemperaturen die Werkzeuge vertragen, mit um so höherer Geschwindigkeit kann die Zerspanung vor sich gehen und damit eine Qualitätssteigerung erreicht werden.

Man ersieht aus obigem, daß in Zukunft mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit die Schnittdrucktemperatur wenig heruntergedrückt und damit nur ein geringer Leistungsgewinn erzielt werden kann, daß aber andererseits durch die Heraufschraubung der Schnittgeschwindigkeiten

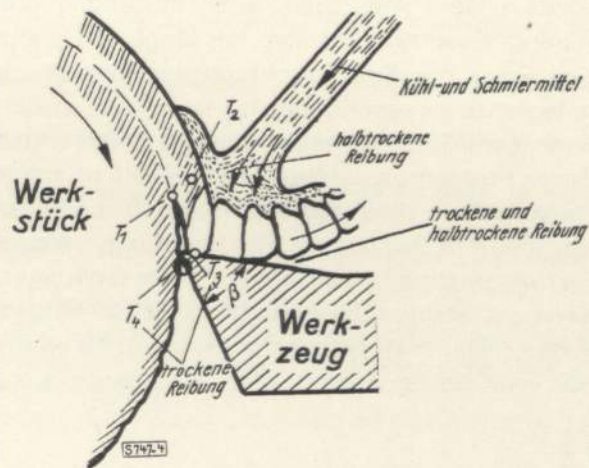


Abb. 18
 Beim Zerspanen auftretende Schneidentemperaturen
 T_1 Schneidentemperatur an Einrißstelle (Schnittgeschwindigkeitstemperatur),
 T_2 Schneidentemperatur im Span (Verformungs- oder Schnittdrucktemperatur),
 T_3 Schneidentemperatur an der Spanfläche,
 T_4 Schneidentemperatur an der Freifläche.

und damit ihrer Temperatur dieser kleine prozentuale Leistungsgewinn ins Gegenteil verwandelt wird. Dies besagt, daß der Leichtschnitt als Funktion der Schnittdrucktemperatur nicht kommen wird und daß ihre weitere wissenschaftliche Durchforschung von weniger großem Nutzen sein wird, daß dagegen die Entwicklung des Schnellschnittes einzig und allein von der Beherrschung der Schnittgeschwindigkeits-temperatur an der Einrißstelle (T_1) abhängig ist, wozu die jeweils erforderliche Antriebsleistung bereitgestellt werden muß.

Auswirkungen auf die Zukunft

Welche Wege wird die Metallbearbeitung, damit auch die wissenschaftlichen Untersuchungen hierüber, in Zukunft beschreiten müssen, um die Forderung nach Qualitätssteigerung und nach Verbilligung der Produkte zu erfüllen? Daß die Frage der Qualitätssteigerung außer von der Güte der Werkzeugmaschine in erster Linie abhängig sein wird von der Schnittgeschwindigkeits-erhöhung, bedingt, daß die Werkzeuge in ihren Qualitäten weiter verbessert werden müssen. Sollen unsere Automobil- und Flugzeugmotoren, sollen unsere Maschinen jeglicher Art mit höheren Geschwindigkeiten bei längerer Lebensdauer arbeiten, dann ist dies einzig und allein eine Frage der Emporzüchtung der Herstellungsgenauigkeiten. Inwieweit hier eine Genauigkeitsgrenze vorgeschrieben ist, ist noch ungeklärt und damit auch noch die Frage, bis zu welcher Höhe eine Schnittgeschwindigkeitssteigerung durchgeführt werden muß. Ob man z. B., um dieses Problem zu verdeutlichen, Metall so schnell wie Holz zerspanen muß (dies wäre ungefähr die 60 fache Schnellstahl-Schnittgeschwindigkeit), ist ungeklärt. Aus Abb. 19 geht hervor, daß vom Jahre 1903—1934 die Stückzeit für ein Werkstück gefallen ist unter gleichzeitiger Steigerung der Spanmenge in kg/Stunde. Untersuchungen des Verfassers haben gezeigt, daß sich Gußeisen und Stahl mit Holzbearbeitungs-Schnittgeschwindigkeiten (3000 m/Min.) werden bearbeiten lassen, wenn es Werkzeuge geben wird, die eine Schneidentemperatur von etwa 1000°C vertragen, während die heutigen besten Werkzeuge aus Hartmetall nur eine Schneidentemperatur von maximal 900°C zulassen (Abb. 19). Während mit gewöhnlichem Werkzeugstahl im Jahre 1903 eine Spanmenge von 4,5 kg/Stunde abgenommen werden konnte, ist dieselbe mit Hartmetall-Werkzeugen im Jahre 1934 auf 96 kg/Stunde gestiegen. Um Stahl so schnell wie Holz zu bearbeiten, müßten 250 kg/Stunde Spanmenge abgenommen werden. Der extrapolierte Verlauf der Kurven in Abb. 19 zeigt, daß eine verhältnismäßig kleine Gütesteigerung des Werkzeuges eine bedeutende Vergrößerung der Schnittgeschwindigkeit und damit der Spanmenge pro Stunde zuläßt. In welchen zukünftigen Zeitabschnitten man mit verbesserten Werkzeugen die Schneidentemperatur-Differenz von 900°C bis 1000°C wird beherrschen können, ist nicht vorauszusehen.

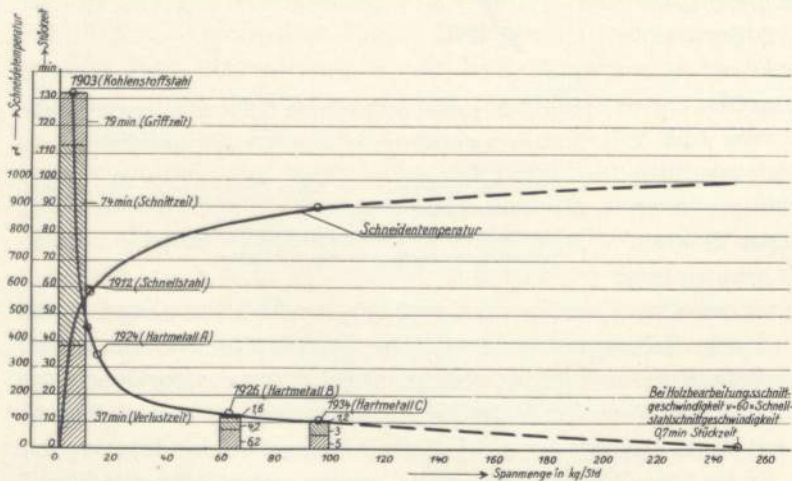


Abb. 19. Leistungsdiagramm für verschiedene Werkzeugqualitäten hinsichtlich Steigerung der Spanmenge in Kilogramm pro Stunde und der zulässigen Schneidentemperatur (Reichel)

geschwindigkeit und damit der Spanmenge pro Stunde zuläßt. In welchen zukünftigen Zeitabschnitten man mit verbesserten Werkzeugen die Schneidentemperatur-Differenz von 900°C bis 1000°C wird beherrschen können, ist nicht vorauszusehen.

Um gegebenenfalls nicht auf die Verbesserung der Werkzeugqualitäten zu warten, weil dieser Weg wahrscheinlich sehr dornenvoll sein wird, müssen die Werkstoffe in bezug

auf bessere Bearbeitbarkeit eine solche Steigerung erfahren, daß hierdurch der extrapolierte (gestrichelte) Verlauf der Spanmengenkurve der Abb. 19 beschriftet werden kann. Man denke an Leichtmetalle, die sich mit den heutigen Werkzeugen schon so schnell wie Holz bearbeiten lassen, jedoch zur Anwendung als allgemeine Maschinenbaustoffe noch eine Verbesserung in ihren Festigkeitseigenschaften erfahren müssen ohne Beeinträchtigung der Bearbeitbarkeit. Der Einwand, daß eine Steigerung der Schnittgeschwindigkeiten die Gesamtfertigungszeit (Stückzeit) herunderdrücken würde zum Nachteil des Beschäftigungsgrades unserer deutschen Metallarbeiter, ist nicht berechtigt, da die Einrichtezeiten (Verlustzeiten) infolge der gefährlicheren und umständlicheren Bedienung hochtouriger Maschinen wie auch wegen der notwendigen, unterteilten Aufeinanderfolge der Arbeitsoperationen eher zunehmen und so einen Ausgleich für den Gewinn an Schnittgeschwindigkeit schaffen werden.

Literatur

1. Reichel: „Schnittgeschwindigkeitserhöhung und Fließspanbildung in ihrem Einfluß auf Oberflächengüte und Werkzeugmaschine“, Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, H. 10/11, 1932.
2. Gottwein: „Zur Wirkung der Kühl- und Schmiermittel beim Abdrehen von Stahl“, Berichte über betriebswissenschaftliche Arbeiten, Bd. 3, Berlin 1930, VDI-Verlag.
3. Reichel: „Qualitätssteigerung im deutschen Werkzeugmaschinenbau“, Maschinenbau, Bd. 13 (1934), H. 5/6, S. 110—122.
4. Reichel: „Feinst-, Lehren- und Waagrechtbohrmaschinen“, Maschinenbau, Bd. 13 (1934), H. 11/12, S. 317—321.
5. Reichel: „Konstruktive Neuerungen im Fräsmaschinenbau“, Maschinenbau, Bd. 13 (1934), H. 23/24, S. 624/632 und Bd. 14 (1935), H. 1/2, S. 19/20.
6. Reichel: „Ein neues Verfahren zur zahlenmäßigen Bewertung der Oberflächengüte“, AWF-Mitteilungen 1933, H. 6, S. 49, und
Reichel: „Oberflächenmessung“, Maschinenbau, Bd. 12 (1933), H. 13/14, S. 360.
7. Reichel: Doktor-Dissertation „Experimentelle und rechnerische Untersuchung einer Gewinderollmaschine“, v. 5. Juli 1930, Techn. Hochschule Breslau (s. Dr.-Ing. Karl Krug, Besprechung über die Doktorarbeit Reichel, Maschinenbau, Bd. 10 (1931), H. 15, S. 505, und
Reichel: „Der Starrheitsgrad von Werkzeugmaschinen“, Maschinenbau, Bd. 10 (1931), H. 8, S. 265, und
Reichel: „Die Kaltgewindewalzmaschinen, ihre Entwicklung und Arbeitsweise“, Die Werkzeugmaschine, 1931, H. 20, S. 403, S. 425.
8. Gottwein: „Kühlen und Schmiermittel bei der Metallbearbeitung“, 1928, VDI-Verlag, Berlin NW 7.
9. Reichel: „Schneid- und Bohrrolle für die Metallbearbeitung“, Maschinenbau, Bd. 12 (1933), H. 3, S. 61.
10. Gottwein: „Zur Kühlung und Schmierung der Schneidwerkzeuge“, Maschinenbau, Bd. 6 (1927), S. 221.
11. Reichel: „Untersuchung von Schneidflüssigkeiten für Werkzeugmaschinen auf Kühl- und Schmier-eigenschaften“, Die Werkzeugmaschine, 1932, H. 22, S. 411.
12. Reichel: „Der Stabilitätsbereich von Bohrrollen“, Werkstattstechnik, XXVI. Jg. (1932), H. 24, S. 478.
13. Gottwein: „Die Messung der Schneidentemperatur beim Abdrehen von Flußeisen“, Maschinenbau, Bd. 4 (1925), S. 1007, und
Gottwein: „Temperaturen der Meißelschneide beim Schruppdrehen von Metallen“, Maschinenbau, Sonderheft Zerspanung 1926, S. 26.
14. Gottwein: „Die Schneidentemperatur beim Drehen in Abhängigkeit von der Form des Spanquerschnittes“, Maschinenbau, Bd. 5 (1926), S. 505.
15. Reichel: „Abgekürztes Standzeitermittlungsverfahren für spangebende Werkzeuge“, Maschinenbau, Bd. 11 (1932), H. 22, S. 473, und
Gottwein und Reichel: „Werkzeugmaschinen für spanabhebende Metallbearbeitung“ in Dubbel, Bd. II, Taschenbuch für Maschinenbau, 6. Auflage, Verlag Julius Springer, Berlin, 1935.

Über die Veränderungen der Erdoberfläche beim Abbau von Steinkohlenflözen

Von Otto Rellensmann in Breslau

Beim Abbau von Steinkohlenflözen entstehen Hohlräume, die bei einer gewissen Ausdehnung eine Störung des Gleichgewichtszustandes der überlagernden Gebirgsschichten und damit Veränderungen der Erdoberfläche hervorrufen. Unter dem Einfluß der Schwerkraft biegen sich die Deckschichten nach unten durch, die einzelnen Teilchen der hangenden Gebirgsschichten wandern in Richtung auf den Abbauschwerpunkt.

Nach den Beobachtungen von Klose im Waldenburger Bezirk treten merkbare Veränderungen auf, wenn die abgebaute Fläche so groß ist, daß sie einem Quadrat mit der Seitenlänge $\frac{T}{4}$ ($T =$ Abbauteufe) gleichkommt; d. h. für die im Waldenburger Bezirk vorliegenden Verhältnisse kann man in roher Annäherung annehmen, daß bei 100 m Abbauteufe $\left(\frac{100}{4}\right)^2 \text{ qm} = 625 \text{ qm}$ und bei 400 m Abbauteufe $\left(\frac{400}{4}\right)^2 \text{ qm} = 10\,000 \text{ qm}$ abgebaut werden können, ehe Veränderungen an der

Erdoberfläche festzustellen sind. Nach den aus allen Steinkohlenbezirken vorliegenden Erfahrungen gibt es keine unschädliche Abbauteufe, d. h. bei gewisser Ausdehnung des Abbaus machen sich in jedem Falle Veränderungen der Erdoberfläche bemerkbar.

Die Größe dieser Veränderungen ist neben der Versatzart in der Hauptsache von den petrographischen Eigenschaften der überlagernden Schichten, der abgebauten Flözmächtigkeit, der Abbauteufe und den Lagerungsverhältnissen abhängig.

Insgesamt wurden vier Arten von Bodenveränderungen festgestellt; als Folge der räumlichen Lageveränderung der Erdoberfläche entstehen erstens Bodensenkungen und zweitens Bodenverschiebungen. Mit der räum-

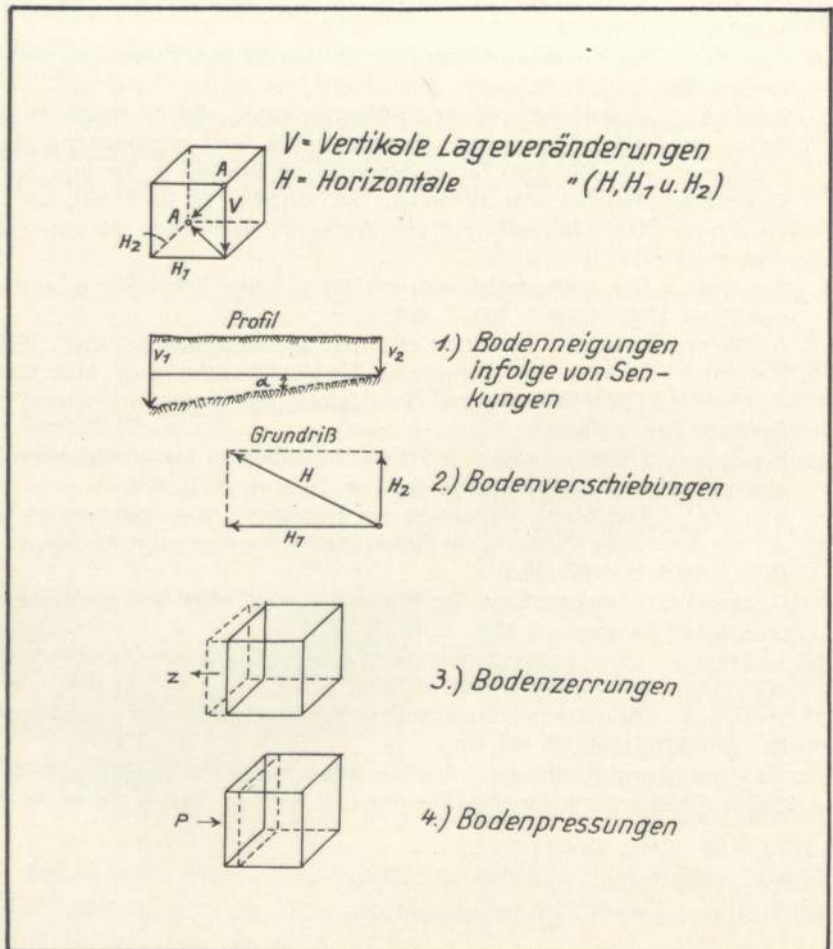


Abb. 1. Schematische Darstellung der 4 Arten von Veränderungen der Erdoberfläche.

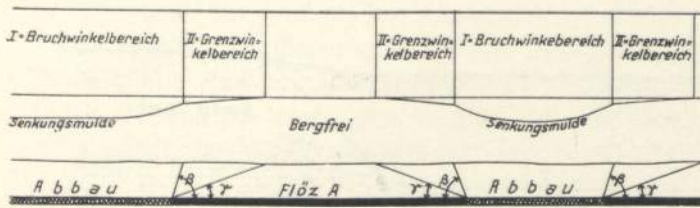


Abb. 2. Die Bruch- und Grenzwinkelbereiche beim Abbau von Steinkohlenflözen

Verschiebungen — sowie die beiden Komponenten der dynamischen Beanspruchung — Bodenzerrungen und Bodenpressungen — schematisch dargestellt. Bei den Zerrungen entsteht eine Volumenvergrößerung, bei den Pressungen eine Volumenverminderung der ursprünglichen, im vorliegenden Falle würfelförmig angenommenen Oberflächenteilchen.

Der Verlauf der durch Abbau hervorgerufenen obertägigen Senkungen ist in Abb. 2 dargestellt.

Über dem Abbau bildet sich eine Senkungsmulde mit flachem Muldenboden und steilerem Muldenrand. Die obertägige Begrenzung dieser Senkungsmulde (Bruchwinkelbereich) wird durch die wechselnde Größe des Bruchwinkels bestimmt; dabei ist unter Bruchwinkel der Winkel gegen die Horizontale an der Abbaukante zu verstehen, dessen steilgerichteter Schenkel auf die Zone der größten Zerrungen an der Erdoberfläche gerichtet ist. In der genannten Zone entstehen bei starker Beanspruchung der Erdoberfläche Erdrisse, Erdspalten oder auch Erdbrüche. Die Größe des Bruchwinkels ist in der Hauptsache von den petrographischen Eigenschaften und von den Lagerungsverhältnissen der Gebirgsschichten abhängig. (Vergl. die Abbildungen 3 und 4, die z. T. entnommen sind aus „Nieß, Gebirgsdruck und Grubenbetrieb unter besonderer Berücksichtigung des Steinkohlenbergbaus“, Zschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen im Preuß. Staate, 1910.)

An den mit der Senkungsmulde zusammenfallenden Bruchwinkelbereich schließt sich nach außen der Grenzwinkelbereich an. In diesem Bereiche nehmen die Senkungen ganz allmählich bis zum Nullbetrage ab.

Die meßtechnische Feststellung der Bodensenkungen erfolgt durch geometrische Nivellements, die in Bergbaubezirken zum Zwecke der Feststellung der fortschreitenden Veränderungen der Erdoberfläche von Zeit zu Zeit wiederholt werden. In manchen Bergbaubezirken ist die Ausführung solcher Nivellements durch die Bergbehörde in der Weise vorgeschrieben, daß diese in Richtung bestimmter Linien periodisch ausgeführt werden müssen. Bodenverschiebungen ergeben sich aus trigonometrischen und polygonometrischen Messungen; auch Präzisionslängenmessungen zwischen besonders angelegten Festpunkten können zur meßtechnischen Festlegung der Verschiebungen herangezogen werden. Für die meßtechnische Ermittlung der auftretenden Bodenzerrungen und -pressungen werden heute fast ausschließlich Präzisions-Längenmessungen in kurzen Festpunktabständen von etwa 15—30 m ausgeführt.

Das geometrische Nivellement ist die einfachste und am häufigsten angewandte Methode zur Feststellung des Zusammenhanges zwischen Abbau und Veränderung der Erdoberfläche; für die Gewinnung einer tieferen Erkenntnis der Bodenbewegungs- und Bodenspannungsvorgänge sind jedoch die Präzisions-Längenmessungen zwischen den Festpunkten eines engmaschigen Netzes notwendig. Die Frage, ob die Risse eines Hauses in der Nähe von Abbaugeländen vom Abbau selbst herrühren, oder ob es sich um einen Pseudobergschaden handelt, hervorgerufen durch schlechten Baugrund, schlechte Bauart, Hangrutsch, durch Erschütterungen, Frost oder sonstige Ursachen, kann in den meisten Fällen einwandfrei entschieden werden, wenn nicht nur Nivellements, sondern auch Zerrungs- und Pressungsmessungen zur Durchführung gekommen sind. Damit rückt eine wesentliche Herabminderung der oft langwierigen Bergschadensprozesse in den Bereich der Möglichkeit.

lichen Lageveränderung ist gleichzeitig eine dynamische Beanspruchung der Erdoberfläche durch Zug- und Druckkräfte verbunden, es entstehen drittens Bodenzerrungen und viertens Bodenpressungen.

In der Abbildung 1 sind die beiden Komponenten der Lageveränderung — Senkungen und

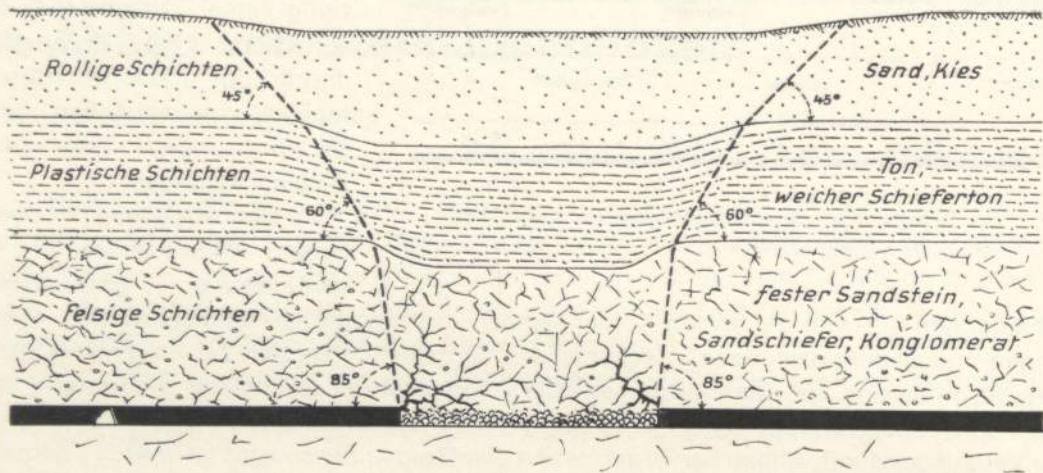


Abb. 3. Wechsel des Bruchwinkels in felsigen, plastischen und rolligen Gebirgsschichten.

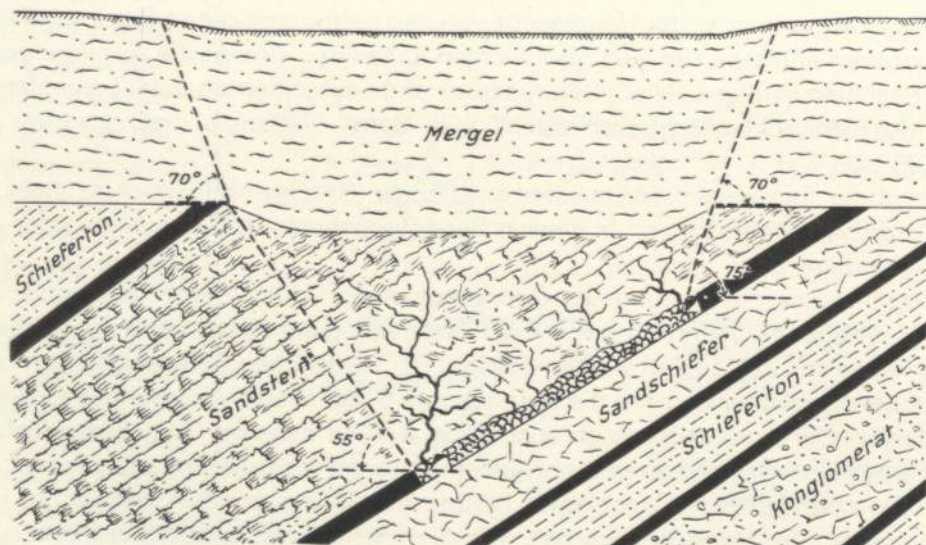


Abb. 4. Wechsel des Bruchwinkels in steil einfallenden Schichten.

Zur Feststellung der Gesetzmäßigkeiten, welche zwischen den einzelnen Arten der Bodenveränderungen bestehen, sind die obengenannten Messungen schon häufig in solchen Fällen periodisch ausgeführt worden, in denen lediglich ein einziges Flöz abgebaut wurde und wo seitliche Einwirkungen durch die Abbaue von Nachbargruben nicht eintreten konnten. Die vier Arten der Bodenveränderungen zeigen folgende Gesetzmäßigkeiten:

1. Das Gebiet der größten Senkung im Muldenboden fällt etwa mit dem Gebiet der größten Pressung zusammen; die Bodenverschiebung ist hier gleich Null.
2. Das Gebiet der größten Verschiebung fällt mit jenem Gebiet zusammen, in welchem weder Zerrungen noch Pressungen auftreten.

3. Das Gebiet der größten Zerrung liegt in der Nähe des äußeren Muldenrandes; nach außen hin nehmen die Zerrungen bis zum Nullbetrage ab.
 4. Sämtliche Bodenverschiebungen sind in Richtung auf den Abbauschwerpunkt gerichtet.
 5. Die Summe der Zerrungen ist gleich der Summe der Pressungen.
- Die genannten Gesetzmäßigkeiten sind in Abbildung 5 schematisch dargestellt.

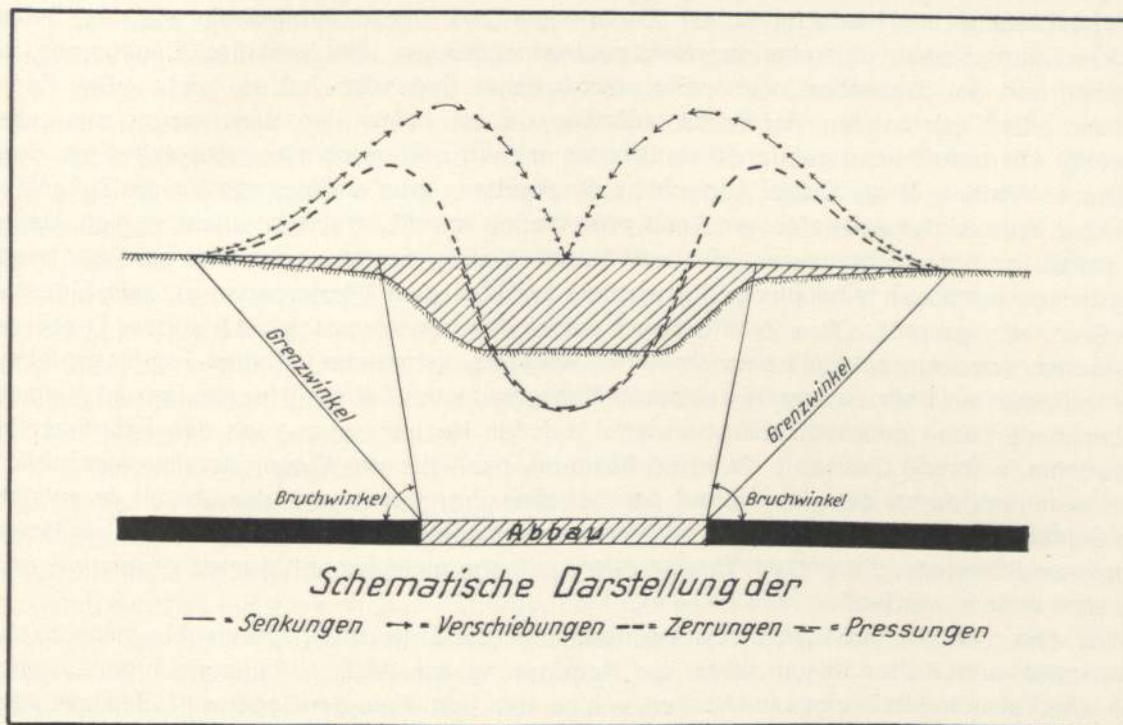


Abb. 5.

Naturgemäß sind diese Gesetzmäßigkeiten nicht immer mit gleicher Deutlichkeit zu beobachten; beim Vorhandensein von Gebirgsstörungen, von Schwimmsand und schwimmsandähnlichen Schichten oder von anderen Störungsursachen treten Abweichungen auf. Das ändert jedoch nichts an der Tatsache, daß es sich bei der Veränderung der Erdoberfläche um einen physikalischen Vorgang handelt, dessen Einzelphasen durch Anwendung der entsprechenden Messungen genau festgelegt werden können.

Die Kenntnis von dem Verlauf dieses physikalischen Vorganges, die Ermittlung der in Frage kommenden Konstanten, welche für jedes Abbaugelände verschieden sind, ist sowohl für die untertägige Abbauführung und die Wahl der Abbaumethoden als auch für die Bemessung und die Art des Verbiebes der Sicherheitspfeiler von größter Wichtigkeit. Aus diesem Grunde wurde von seiten der Markscheider der Bodenbewegungskunde in den letzten Jahren eine erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet. Die dauernde markscheiderische Beobachtung der Veränderungen der Erdoberfläche an Hand großzügig angelegter Beobachtungsnetze liefert die notwendige und einwandfreie Unterlage für die Beurteilung aller Fragen über die durch den Abbau verursachten Bodenbewegungen und Bergschäden.

Die psychologische Bedingtheit des gesamtwirtschaftlichen Erfolges

Von Heinrich Rose in Breslau

I.
Die Ursache aller wirtschaftlichen Bemühungen des Menschen sind die aus dem Selbsterhaltungstrieb entstehenden Besitzwunschtendenzen. Der primitive Eingeborene tropischer, von der Zivilisation noch nicht erschlossener Gegenden hat es leicht. Die Sago-, Kokos-, oder Dattelpalmen, der Brotfruchtbaum u. a. am. liefern ihm alles, was er zum Leben benötigt. Er braucht nur zuzugreifen. Das tut er gern und reichlich, nicht selten im übertriebenen Maße und ganz dem Augenblick hingegeben, ohne an Vorsorge für die Zukunft zu denken. Was er sich an einfachem Gerät oder Waffen schafft, ist ihm so unentbehrlich, daß er es selbst im Tode nicht missen will; aus diesem starken Besitzwunsch und gewissen metaphysischen religiösen Vorstellungen erwächst die Sitte, dem Verstorbenen all sein Eigentum ins Grab mitzugeben¹⁾. Ohne Zweifel haben neben dem Besitzwunsch noch andere Triebe den Menschen vom rein spielerischen, keinerlei Vorsorge kennenden „In-den-Tag-hinein-leben“ der individuellen Nahrungssuche zur planmäßig geordneten Tätigkeit für die Befriedigung der Lebensbedürfnisse gebracht. Bücher weist auf den Nachahmungs- und den Experimentiertrieb²⁾ hin, während Jentsch die irrige Meinung, nach der der Eigennutz alles menschliche Tun bestimmt, durch den Hinweis auf den Schaffensdrang widerlegt, der überall da entsteht, wo Genialität und Tüchtigkeit des Charakters zusammentreffen. Als Beispiele nennt er Borsig, Krupp und Siemens, die sich am Beginn ihrer Laufbahn nicht haben träumen lassen, wie reich sie einmal sein würden³⁾.

Es kann nicht Aufgabe dieser Darlegungen sein, die Entwicklungsgeschichte menschlicher Zivilisation und Kultur im einzelnen zur Begründung der Wirtschaftstheorie heranzuziehen. Die eine Tatsache, daß schon in Urzeiten, wie bei den Primitiven der Gegenwart, Besitzwunschtendenzen für die individuelle Nahrungssuche, wie die erste Verwendung von Waffen und Handgerät von Bedeutung waren, genügt als Nachweis des psychologischen Ursprungs aller Wirtschaft. Gesamtwirtschaft ist ein späterer Status der Entwicklung, in kleinem Rahmen schon ersichtlich in der geschlossenen Hauswirtschaft, zu immer größerem Ausmaß anwachsend in den großen und kleinen Nationalstaaten der Erde und letzten Endes ein Phantom theoretisch möglicher, praktisch unmöglicher Zielsetzung internationaler Wirtschaftsplanung. Schon Friedrich List⁴⁾ stellte fest: „Auf die Natur der Nationalität als des Mittelgliedes zwischen Individualität und Menschheit ist mein ganzes System gegründet. Einigung der individuellen Kräfte zur Verfolgung gemeinsamer Zwecke ist das mächtigste Mittel zur Bewirkung der Glückseligkeit der Individuen. Allein und getrennt von seinen Mitmenschen ist das Individuum schwach und hilflos. Je größer die Zahl derer ist, mit denen es in gesellschaftlicher Verbindung steht, je vollkommener die Einigung, desto größer und vollkommener das Produkt — die geistige und körperliche Wohlfahrt der Individuen. Die höchste zur Zeit realisierte Einigung der Individuen unter dem Rechtsgesetz ist die des Staates und der Nation; die höchste denkbare Vereinigung ist die der gesamten Menschheit.“ Der gesamtwirtschaftliche Erfolg ist gegeben, wenn die Lebenshaltung aller Volksgenossen in ausreichendem Maße sichergestellt werden kann. Das nationalwirtschaftliche Denken hat sich von jeher um die Klärung dieser einen entscheidenden Frage bemüht: Wie läßt sich auf bestmögliche Weise die Befriedigung der menschlichen Bedürfnisse erreichen?

¹⁾ Vgl. Bücher, Die Entstehung der Volkswirtschaft, Bd. I, S. 8 und 23.

²⁾ Ebenda, a. a. O., S. 27.

³⁾ Dr. h. c. Carl Jentsch, Weder Kommunismus noch Kapitalismus, S. 214.

⁴⁾ List, Das nationale System der politischen Ökonomie, S. 14.

Zwei Wege sind möglich: Ungehemmte, natürliche Entwicklung oder bewußte Planung. Adam Smith glaubte, daß aus dem angeborenen, menschlichen Eigennutze die Starken im freien Spiel der Kräfte die Harmonie der Interessen schaffen würden. Er übersah dabei, daß das „Laissez faire, laissez aller, le monde va de lui même“ Vernichtung aller schwächeren Konkurrenten des wirtschaftlichen Wettbewerbs mit sich bringt: Der unterliegende Geschäftsinhaber macht bankrott, seine Angestellten und Arbeiter verlieren ihren Arbeitsplatz. Alle drei werden, wenn der Staat nicht unterstützend eingreift, asozial. Die öffentliche Hilfe kann aber nur in bescheidenem Maße über eine zeitweilige Notlage hinwegbringen. Je mehr sich die Notzeit in die Länge zieht, um so größer wird die Explosionsgefahr der Unzufriedenheit. Statt der erwarteten wirtschaftlichen Harmonie erwächst politische Disharmonie. Wenn sich die Schwachen auch selbst durch Zusammenschluß zu helfen versuchten, so ist damit die Gefahr des Kampfes aller gegen alle nicht aus der Welt geschafft. Der kollektive Egoismus ist vielmehr in seinen Auswirkungen ebenso vernichtend, wie der einzelpersonliche. Das Kartellwesen hat es gleich den Streiks der Gewerkschaften in ausreichendem Maße bewiesen. Ob die Folgen andere gewesen wären, wenn allenthalben nach Adam Smiths Willen wirklicher Freihandel geherrscht hätte, was ja nicht der Fall war, möge dahingestellt bleiben. Es ist aus psychologischen Gründen kaum anzunehmen, denn Unterstützungsempfänger werden nie begreifen, daß man den Überschuß einer günstigen Ernte lieber ins Meer schüttet, als Hungernde damit zu beschenken, nur weil niemand die Transportkosten bis zum Notstandsgebiet bezahlen will. —

Der Kommunismus glaubte durch weitestgehende zentrale Regelung, durch internationale Organisation von Produktion, Distribution und Konsum die Befriedigung der Lebensbedürfnisse des Menschen sicherstellen zu können. Die grundsätzliche Voraussetzung einer solchen weltumspannenden Wirtschaftsplanung war die Aufhebung des Privateigentums. Selbst wenn man annimmt, daß eine des persönlichen Antriebes beraubte Gütererzeugung genug Waren erzeugen kann, um den Bedarf zu decken, entstände doch die Verteilungsschwierigkeit, alle einzelpersonlichen Ansprüche zu befriedigen. Der eine Organismus braucht viel, der andere wenig Nahrungsmittel. Mancher Mensch legt Wert auf behagliche, ausgedehnte Wohnmöglichkeit, ein anderer ist mit einer bescheidenen Behausung zufrieden, wenn er nur die teuren Rohstoffe oder Werkzeuge für sein künstlerisches oder wissenschaftliches Arbeiten erhält. Die Ungleichartigkeit menschlicher Bedürfnisse widerstrebt jeder Normierung des Konsums. Würde man dennoch nach kommunistischem Rezept versuchen, jedermann eine durchschnittliche Menge notwendiger Güter zur Verfügung zu stellen, so begänne sofort ein Naturaltausch, wie ihn die erste primitive menschliche Wirtschaftsgebahrung kannte. Von dorthier führt der Weg zwangsläufig zum Handel und schließlich zu irgendwelcher nichtkommunistischer Wirtschaftsform. Die Beseitigung des privaten Eigentums ist eine psychologische Unmöglichkeit. Naturrechtlich und darum unwiderleglich erhebt der Mensch den Anspruch darauf, daß das, was er mit seiner Arbeit schuf, sein Eigentum ist. Auch der unzivilisierte Eingeborene schlägt den nieder, der ihm die Ernte des kleinen, eigenen Maisfeldes, das er mit Mühe bebaute, nehmen will. Nun kann freilich der Arbeiter in der modernen arbeitsteiligen Wirtschaft nicht all das, was er herstellt, selbst besitzen⁵⁾, weil einerseits Arbeitskollegen vorbereitend und fertigstellend am gleichen Werkstück tätig und darum anteilige Mitbesitzer sind, und weil andererseits der Besitz von irgendwelchen Spindeln oder Zahnrädern wertlos bleibt, wenn man nicht jemand findet, der sie kauft. Aus dem Erlös ist also nicht der Arbeiter allein, sondern es sind daraus alle an der Herstellung des Stückes Mitbeteiligten einschließlich des Unternehmers und des Personals im technischen Konstruktions- bzw. im kaufmännischen Vertriebsbüro zu entschädigen. Wie im Betriebe der einzelne und sein Schicksal zwangsläufig mit dem Erfolg oder Mißerfolg anderer verbunden ist, so kann in der arbeitsteiligen Wirtschaft der Gegenwart kein Mensch leben, ohne die Hilfe anderer Menschen. Jeder hat jedem irgendwelche Dienste zu leisten.

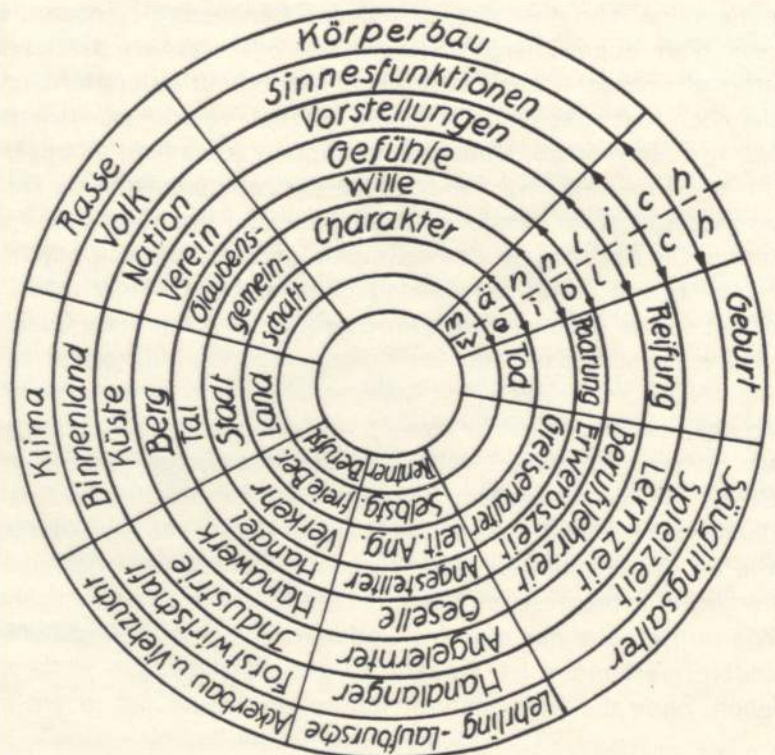
⁵⁾ Jentsch-Rose, Volkswirtschaftslehre, S. 308.

Der Mensch ist der Träger und sein Wohl das Ziel all der vielfältigen planmäßig geordneten Tätigkeit, die auf die Bedürfnisbefriedigung des Menschen abzielt und die wir Volkswirtschaft nennen. Daran ändert weder das Gewährenlassen des Egoismus noch die Schematisierung „erlaubten Bedarfs“ im kommunistischen Verteilungsplan etwas. Es war der schwerste Fehler aller bisherigen Wirtschaftspraxis, gleichviel von welcher theoretischen Anschauung her sie gestaltet wurde, über der Organisation der Sachen und Rechtsbeziehungen vergessen zu haben, daß es Eigengesetzlichkeiten der Wirtschaft im Sinne und nach der Art der Naturgesetze⁶⁾ nicht geben kann. Auch der sehr bestechende Versuch von Klagges, vom physikalisch-biologisch bestimmten Gebrauchswert und der Wertgewinnungsgemeinschaft her zur volkswirtschaftlichen Theorie der sozialen Gerechtigkeit zu gelangen, birgt die Gefahr in sich, den Sachwert — wenn auch als Kalorie, die im Dienste des Menschen steht — beherrschend werden zu lassen, obgleich der genannte Verfasser betont, daß das letzte Geheimnis wirtschaftlichen Erfolges nicht Organisation, sondern Gesinnung ist⁷⁾. Die nachstehenden weiteren Ausführungen wollen nun — grundsätzlicher, umfassender. Erörterung vorgreifend — versuchen, aus dem Tatbestand menschlicher psychophysischer Gleichförmigkeiten und Verschiedenheiten die psychologische Bedingtheit des gesamtwirtschaftlichen Erfolges aufzuhellen.

II.

Alle Wirtschaft beruht auf gleichförmigen und besonderen Besitzwunschtendenzen, die aus erbblotischer, umweltgestalteter oder binnenseelischer Zielsetzung entstammen.

Die Bestimmungsgründe der Lebensweise des Menschen sind Gleichförmigkeit⁸⁾ und Besonderheit. Die anatomische und physiologische Gleichartigkeit des Organismus bewirkt eine gewisse Gleichförmigkeit der Verhaltensweisen artgleicher Lebewesen. Normal gebaute Menschen sehen, hören, schmecken, riechen, empfinden Druck, Wärme, Kälte und die Veränderung der Raumlage mit Hilfe der Sinnesorgane auf dieselbe Weise. Aufrecht schreitet der Mensch durchs Leben. Seinen Körper bedeckt kein natürlicher Pelz. Unbill der Witterung, Geröll des Weges lassen selbst den Primitiven auf wärmende Kleidung und sohlenschützende Sandalen sinnen. Aus Konstitution und Umwelt entwickeln sich erste Besitzwünsche. Sehr zahlreich sind die konzentrischen Gleichförmigkeitskreise (vgl. nebenstehendes Schema), aus denen gleichartiges Begehren erwächst. Von der Rasse her sind dem Menschen bestimmte



⁶⁾ Selbst ein Friedr. List spricht immer wieder vom Naturgesetz, z. B. S. 223 im System der nationalen Ökonomie, von der wirtschaftsgeschichtlichen Tatsache der Arbeitsteilung als von dem Gesetz der Teilung der Geschäftsoperationen und der Konföderation der produktiven Kräfte.

⁷⁾ Dietrich Klagges, Reichtum und soziale Gerechtigkeit, S. 75.

⁸⁾ Vgl. Karl Marbe, Die Gleichförmigkeit in der Welt.

Wertungen und Fähigkeiten eigen⁹⁾. Der nordische Mensch schätzt nur das, was ihm irgendwie als Leistung gegenübertritt¹⁰⁾. Er ist der geborene Qualitätsarbeiter, aber er verlangt auch die gleiche Werktreue vom anderen Menschen. Er ist ein kritischer Käufer. Rassentypische Bedingtheit mischt sich in jede andere Typik, in der sich das menschliche Dasein gestaltet. Die vom Geschlecht her stammenden Unterschiede der Besitzwunschtendenzen von Mann und Frau sind andersartig, je nachdem es sich um nordische, fälische oder mittelländische Menschen handelt oder gar vorderasiatische oder afrikanische Bevölkerung. Dem nordischen Bauern ist sein Bodenbesitz nur wertvoll, weil er ihn alljährlich neu erobern kann; er liebt die Scholle, weil schon seine Voreltern um sie ringen mußten. Der in ihm lebende Drang zum kämpferischen Vorstoß in die Welt hinaus kann so mächtig werden, daß er Heim und Herd aufgibt, einen neuen Wohnplatz zu erobern, während der fälische Mensch bodenverwurzelter Bauer ist¹¹⁾. Das Leben verläuft von der Geburt über Reifung und Paarung in einer rassegebundenen Grundform, die unter dem Einfluß von Klima, Binnen- oder Seeküstenlage, Berg- oder Talwohnsitz, Stadt- oder Landleben steht und verschiedenartige, gruppenweise auftretende Besitzwunschtendenzen in sich birgt. Im Norden ist der Pelzbesitz ein allgemeines Lebensbedürfnis, das der Südländer in dieser Art nicht kennt, dagegen liebt er Kleidung aus kühlender Seide. Beruf und soziale Stellung schaffen die großen Gruppen des Ackerbauers und Knechtes, des Industriellen mit seinen Qualitätsarbeitern, Angelernten und Handlangern im Groß- und Mittelbetriebe, des Handwerkers mit Gesellen, Lehrlingen und Laufburschen im Groß-, Mittel- und Kleinbetriebe, des Kaufmanns im Groß- und Kleinhandel, des Verkehrsbeamten, der Ärzte, Rechtsanwälte, Geistlichen, Künstler u. a. Angehörigen freier Berufe, denen allen als besondere Gruppe die Berufslosen gegenüberstehen. In die Tausende geht die Zahl der gewerblichen Betätigungsmöglichkeiten¹²⁾, von denen die Berufs- und Betriebszählungen nur ein zusammenfassendes Bild geben können, das aber doch ausreicht, um die gewaltigen Ausmaße beruflich begründeter, gleichförmiger Besitzwunschtendenzen deutlich zu machen. In Breslau wurden seinerzeit 8 959 gelernte Schlosser, 7 951 (davon 4 981 weibliche) Schneider und 3 795 Tischler bei der Zählung der wichtigsten Arbeiterberufe festgestellt¹³⁾. Ihre Gesamtarbeitsleistung hängt — außer vom Fleiß — von der Bereitstellung der Rohstoffe und Werkzeuge ab, für die in ausreichendem Maße gesorgt werden muß. Das Besitzstreben zielt zwangsläufig nicht nur auf Dinge des täglichen Verbrauchs ab, sondern auf Gebrauchsgegenstände als Hilfsmittel der Arbeit. Nach der letzten Volks-, Berufs- und Betriebszählung leben in Deutschland 13,7 Millionen Menschen in den Haushaltungen land- und forstwirtschaftlicher Betriebe über 0,5 ha Größe¹⁴⁾. Ihr Lebenszuschnitt ist nach der Landschaft, der wirtschaftlichen Lage, den

⁹⁾ Bezüglich rassebedingter Fähigkeitsunterschiede vgl. Thorndikes Angabe über die experimentell ermittelte Unterlegenheit der Neger gegenüber den Weißen bei Passungsproben, die nichts weiter verlangen als verschieden gestaltete Klötze in passende Vertiefungen zu stecken. (Psychologie der Erziehung S. 282/83). Die empirische Erfahrung erklärt bekanntlich den Romanen als den geborenen Wegebauarbeiter, während der Germane in der gut organisierten Fabrik mehr leistet. Jentsch-Rose a. a. O. S. 90.

¹⁰⁾ „Die seelische Gestalt des nordischen Menschen ist bestimmt vom Gegenüber-Sein, dem Herantreten und Vorstoßen in die Welt, das dieser Mensch als ein Leisten an dieser Welt erlebt (oder, wenn er sich selbst gegenübertritt, als ein Leisten an sich selbst). Der oberste Wert seiner artrechten Wertordnung ist Leistung: „Nur was in irgendeinem Sinne als Leistung gewertet werden kann, hat wirklichen Wert für ihn. Ich bezeichne daher den nordischen Menschen als den Leistungsmenschen.“ (L. F. Clauss, Die germanische Seele, im Bericht über den 13. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, 1934, S. 45).

¹¹⁾ Clauss, a. a. O. S. 48.

¹²⁾ Philippovich, Grundriß der politischen Ökonomie, I, S. 215, weist darauf hin, daß bereits 1387 in Frankfurt 148, 1463 in Wien etwa 100, 1594 in Rostock 180 Arten gewerblicher Berufe nachgewiesen sind, während die Berufszählung von 1895 mehr als 10 000 verschiedene Berufsbezeichnungen kannte.

¹³⁾ Rose, Die Gliederung der Bevölkerung Breslaus nach der Berufs- und Betriebszählung vom 16. Juni 1925. — S. 82.

¹⁴⁾ Statistisches Jahrbuch für das Deutsche Reich. 1934, S. 64.

persönlichen Liebhabereien ein verschiedener und doch in gewisser Beziehung gleichartig typisch bäuerlicher in rassischer Besonderheit. Je ebenmäßiger die geopolitischen Umweltverhältnisse einer Nation sind, je zielklarer der arbeitende Mensch sein Werk unter vernünftiger¹⁵⁾ Normung durchführt, je mehr die allgemeine Lebensgestaltung volkstumsbewußt artfremden Einfluß ausschließt, um so deutlicher und übersichtlicher wird die Mannigfaltigkeit nationaler Besitzwunschtendenzen, um so leichter gelingt eine gesamtwirtschaftliche Planung. Ein Unsicherheitsfaktor bleibt freilich bestehen. Ob und wie der Einzelmensch seinen Urtrieben der Selbsterhaltung, des Besitzstrebens, der Bewegungsfreude, der Neugier, der Nachahmung, des Sexualreizes, der Sozialstrebung folgt, ist zwar im Kern rassebedingt, aber doch auch dem freien Willen unterworfen. Der eigene Wille entscheidet, ob angeborenes Geltungsstreben in Herrschsucht und das Gegenteil davon: das Minderwertigkeitsbewußtsein in kriecherische Unterwürfigkeit ausarten. Selbstsucht und Selbstaufopferung, Moral und Unmoral, Verschwendungssucht und Sparsamkeit, Zuneigung und Abneigung, Lebenslust und Weltschmerz trägt schicksalsgestaltend der Einzelmensch in der eigenen Brust. Sie beherrschen so oder so sein Wesen und seine Besitzwunschtendenzen. Doch sie sind trotz rassischer Wesensbedingtheit des Einzelmenschen nicht unwandelbar, sondern unterliegen erzieherischem Einfluß. Nicht nur auf die bestmögliche Form und Verteilungsmethode der Dinge kommt es entscheidend an, sondern auf den Menschen und die vernünftige, jedem Einzelinteresse ohne Schädigung des Allgemeininteresses dienende Gestaltung seiner Lebensbedürfnisse. Nicht die Uniformität des kommunistischen Zwangsverteilungssystems ist das erstrebenswerte Ziel, sondern die volks- und verantwortungsbewußte Eingliederung einzelpersönlicher psychophysisch unabweisbarer Bedürfnisse in die Produktionsweise der nationalen Gütererzeugung und Beschaffung. Je umfassender es gelingt, aus dem verfügbaren Warenbestand des nationalen Binnenmarktes, ergänzt durch Auslandsware, die unbedingt benötigt oder um des Exports willen eingeführt werden muß, den allgemeinen und speziellen Bedarf aller Volksgenossen zu decken, um so vollkommener ist das Ziel der nationalen Volkswirtschaft erreicht.

III.

Die Phänomenologie der Besitzwunschtendenzen läßt sich in ihrer ungeheuren Mannigfaltigkeit für gewöhnlich nur indirekt an den Handelsergebnissen erkennen. Die Konjunkturstatistik¹⁶⁾, die von der zahlenmäßigen Erfassung der gegenwärtigen Wirtschaftslage her gemäß Wahrscheinlichkeitsschlüssen eine Voraussage für die nächste Zukunft wagt, handelt psychologisch richtig; denn im Einzelmenschen wie in den Völkern ist eine gewisse Perseverations-tendenz¹⁷⁾ wirksam, die jedem plötzlichen Wandel widerstrebt. Die Erkenntnisse, die sich im übrigen aus den Gleichförmigkeitskreisen der Bevölkerungsstruktur nach dem Geschlecht, dem Alter, der Berufstätigkeit, der sozialen Stellung, den geopolitischen und sonstigen Gleichartigkeitsmerkmalen aus den Volks-, Berufs- und Betriebszählungen gewinnen lassen, scheinen für die Praxis kaum von Belang, da sie auf einem Material aufbauen, das Jahre zurückliegt. Nun ist aber bei den langsamen Änderungen des Bevölkerungsfortschrittes und bei dem teilweisen Ausgleich von Wanderungsgewinnen und -verlusten ein wirklich grundsätzlicher Wandel der Konsumstruktur einzelner Bezirke nicht zu erwarten. Aus dem gleichen Grunde kommen die alljährlichen Berichte der Landwirtschaftskammern, der Handels- und Industriekammern, der Handwerkskammern nicht zu spät, um als Richtweiser einer auf Bedarfsdeckung abzielenden Produktion Verwendung finden zu können. Ganz besondere symptomatische Bedeutung besitzen die amtlichen Erhebungen von Wirtschaftsrechnungen, die bereits 1907 einmal durch-

¹⁵⁾ Das heißt: individuellen Gestaltungswünschen raumlassende Normung.

¹⁶⁾ Wagemann, Einführung in die Konjunkturlehre.

¹⁷⁾ Karl Marbe, a. a. O. II, S. 169.

geführt¹⁸⁾ und 1927 neu aufgenommen¹⁹⁾ wurden. 964 Arbeiter-, 559 Angestellten- und 509 Beamtenfamilien führten nach einem einheitlichen Muster vom März 1927 bis Ende Februar 1928 über ihre Einnahmen und Ausgaben genau Buch. Selbstverständlich haben die zahlenmäßigen Ergebnisse nur repräsentativen Charakter. Dennoch läßt sich z. B. aus den Aufstellungen der verbrauchten Mengen an Nahrungs- und Genußmitteln je Haushalt und verschiedener Kopffzahl viel Aufschlußreiches ermitteln, das das bloße Meinen der Erfahrung richtigzustellen oder zu stützen weiß. Es wäre wünschenswert, wenn für die einzelnen Handelskammerbezirke unter recht zahlreicher Beteiligung der Konsumentenschaft und raschester Bearbeitung des Materials ähnliche Erhebungen durchgeführt würden, die sodann einen — freilich nur ungefähren — Vergleich mit anderen Bezirken gestatteten und damit der Binnenmarktsanalyse wertvolle Hinweise auf landschaftlich bedingte Verschiedenheiten bei den Gewohnheiten des Verbrauchs geben könnten. — Wenn auch im neuen Deutschland ein erfreulich reger Rückstrom von der Stadt nach dem Lande einsetzt, so werden die Auswirkungen dieses grundstürzenden Wandels doch erst in Jahrzehnten eintreten und ihre Prognostik ist nicht schwer. Schwierig bleibt aber nach wie vor die Erfassung der vom verwertbaren Bedarf abweichenden Besitzwünsche. Sie sind zum Teil saisonbedingt und von der Witterung abhängig; sie entstammen aber auch ganz persönlichem Eigenerleben und sind darum unvernünftig. Diese einzelmenschlichen Wunschtendenzen sind der Unsicherheitsfaktor in jeder noch so überlegsamem Wirtschaftsführung. Wie die Amerikaner in der Analyse der Absatzmärkte von jeher großen Eifer entwickelt haben, indem sie durch besondere Agenten der Adressenbüros beispielsweise die Zigarren- oder Zigarettenraucher, die Klavierbesitzer, die Automobilisten, die Bootspaddler u. a. m. feststellen ließen, um ihre Waren nur den wirklichen Interessenten anbieten zu können, so waren sie auch bemüht, die Besitzwunschtendenzen breiter Massen zu erfahren. In Deutschland hat man ähnliche Versuche gemacht. Sie kamen aber nicht zu allgemeiner Auswirkung, da sie zum Teil vom privatwirtschaftlichen Interesse der Presse her unternommen wurden. Große Tageszeitungen forderten beispielsweise ihre Leser auf, aus den Angeboten, die der Inseratenteil des Blattes in einem bestimmten Zeitraum enthielt, Wunschzettel zusammenzustellen, die angaben, was sich der Einsender für 20 oder 100 Mark am liebsten kaufen würde. Gewöhnlich ist mit dieser Aufforderung ein Preisausschreiben verbunden, das einigen Einsendern die Erfüllung ihrer Wünsche zusagt, wenn sie noch diese oder jene Bedingung erfüllen. Die Weitergabe der bei solcher Gelegenheit geäußerten Wünsche an den Einzelhandel wäre von großer Bedeutung, wengleich bei der in der Aufforderung gestellten Einschränkung auf den Inseratenteil der ausschreibenden Zeitung der Kreis der möglichen Wünsche eingeengt wird und zudem die Frage der Erfüllbarkeit aus eigenen Mitteln unbeantwortet bleibt. Die tatsächlich vorhandenen und realisierbaren Besitzwünsche lassen sich nur aus den Kaufgesuchen im Anzeigenteil der Zeitungen und Zeitschriften und aus der persönlichen Nachfrage des Kunden im Laden feststellen. So stark auch bei diesen Einzelwünschen kollektive Gleichartigkeiten auftreten mögen — sie entziehen sich doch einer restlosen vorsorglichen Erfassung. Wenn demnach alle Bedarfsanalysen fragmentarisch bleiben müssen, so ist ihre Durchführung und der Ausbau der diesbezüglichen psychologischen und statistischen Methoden keineswegs überflüssig. Kropf und Randolph haben einen sehr aufschlußreichen Versuch der methodischen Durchleuchtung einer unumgänglichen Marktanalyse unternommen. Dem Einwand des Unternehmers, daß er alle erforderlichen Tatsachen selbstverständlich kenne, begegnen sie mit dem Hinweis: „Die Marktanalyse hat immer von neuem bewiesen, daß das, was der Fabrikant Tatsachen nennt,

¹⁸⁾ Haushaltungsbudgets oder Wirtschaftsrechnungen, Kap. 12 von Bücher, Entstehung der Volkswirtschaft, 2. Bd., S. 365, macht interessante geschichtliche und grundsätzliche Ausführungen zu den ersten einschlägigen Versuchen vor 1907. — Bezüglich der Erhebung von 1907 vgl. Sonderheft 2 zum Reichsarbeitsblatt, Jahrgang 1909.

¹⁹⁾ Vgl. Wirtschaft und Statistik, Jahrgang 1929, S. 818 ff., S. 902 ff., 978 ff., Jahrgang 1930: S. 38 ff., 78 ff., 170 ff., S. 266 ff., 310 ff. bzw. Einzelschriften zur Statistik des Deutschen Reiches Nr. 22.

gewöhnlich seine eigene Meinung oder gefühlsmäßiges Erraten ist. Sie basieren sehr oft auf alten Gewohnheiten oder auf Erfahrungen, die nicht bis in die neueste Zeit mitgegangen sind. Sehr oft ist es der Wunsch, daß sich die Tatsachen so verhalten möchten²⁰⁾." Als beweiskräftiges Beispiel führen die genannten Autoren ein Fabrikat an, das angeblich nur zu Weihnachten verkäuflich war, und wie sich hernach herausstellte, das ganze Jahr hindurch abgesetzt werden konnte. Die Hauptquellen²¹⁾ der Information für jede Marktanalyse sind:

Die Firma	Fragebogen	persönl.Befragung	Bibliographie ²²⁾
Erfahrung	Autoritäten	Autoritäten	Bibliothek
Einkauf, Produktion Verkauf	Detaillisten	Konkurrenz	Fachzeitschrift
Geschichte d. Firma	Konsumenten	Zwischenhandel Kunden	Kataloge

Auf Einzelheiten kann im Rahmen dieser Skizze leider nicht eingegangen werden. Es sei nur erwähnt, daß bei wirklich geschickter Abfassung 20 % der Fragebogen beantwortet zu werden pflegen²³⁾. Je mehr ins Bewußtsein des Volkes der Gedanke eindringt, daß nicht um des Gewinnes des Fabrikanten willen, sondern zum Zweck planvoller Wirtschaftsführung Besitzwunschtendenzen erfragt werden, um so erfolgreicher werden alle Bemühungen nach dieser Richtung sein. Je mehr durch wirtschaftspolitische Einrichtungen das hemmungslose Walten einzelpersönlichen Eigennutzes unmöglich gemacht wird, wozu die Deutsche Arbeitsfront, das Soziale Ehrengericht und die Preisüberwachung bereits das ihre beitragen, um so erfolgreicher wird es gelingen, aus dem Bewußtsein heraus, daß keine Wohlfahrt des einzelnen außerhalb des Gemeinwohls möglich ist, jene Auskunftsbereitschaft zu erzielen, die die Voraussetzung der Erfassung von Bedarfstendenzen ist. —

IV.

Die fragmentarische Erfassung der Besitzwunschtendenzen schließt die Möglichkeit ihrer planvollen Beeinflussung nicht aus. Die Tatsache der Fremdsuggestion, die durch wechselseitige Suggestion zur Massenerscheinung werden kann, der tatsächliche Wechsel der Konsumgewohnheiten beweisen, wie unter Überwindung eigenpersönlicher Zwecksetzung neuartige Mittel der Bedarfsdeckung eingeführt werden können. Kosog²⁴⁾ zeigte den Kindern seiner Klasse aus der Nähe ein Stück Papier, das in der Mitte einen kleinen schwarzen Punkt hatte. Dann ließ er sie zurücktreten und langsam wieder so weit vorwärts kommen, wie sie brauchten, um den Punkt zu erkennen. Beim vierten Male hatte K. unbemerkt seinen Zettel mit einem ganz leeren vertauscht und doch sahen 65 % der Kinder einen Punkt! Weitere Beispiele liefert die Psychologie der Aussage in großer Zahl. Bei dem letzten Kosogschen Versuch hat zweifellos auch die wechselseitige Beeinflussung der Kinder mitgewirkt, von denen keines hinter dem anderen allzusehr zurückstehen wollte. Alle Sitte beruht auf solcher wechselseitigen Suggestion, deren Beweggrund letzten Endes in dem Naturempfinden des Gleichartigseinwollens der Blutsgleichen gegeben ist. Die Bemühungen, den menschlichen Willen dahingehend zu beeinflussen, daß er seine Besitzwünsche auf das verfügbare Angebot der nationalen Produktion richtet, lassen sich kurz zusammenfassen unter dem Bilde des psychologischen Fünfstufenweges zum Kunden. Um jemand beeinflussen zu können, muß ich ihn erst einmal dahin bringen,

²⁰⁾ H. F. J. Kropf und Bruno Randolph, Marktanalyse, München 1928, S. 1.

²¹⁾ Ebenda am angegebenen Ort, S. 25.

²²⁾ Hier fehlt die Nennung der Tageszeitung.

²³⁾ Kropf und Randolph a. a. O., S. 40.

²⁴⁾ Kosog, Beiträge zur Psychologie der Aussage, Heft 3.

daß er mich anhört, meine Muster ansieht, meinen Brief, Werbeblatt oder Katalog liest, d. h., ich muß irgendwie seine Aufmerksamkeit auf den Gegenstand lenken, den er kaufen soll. Das Mittel dazu sind Sinnes- und Triebfang. Ein Blinklicht (ohne Blendung!), ein schönes Bild ziehen den Blick auf sich (1. Stufe). Das Auge sieht unwillkürlich nach der Richtung, aus der der unerwartete Reiz es trifft. Im Falle des — ästhetisches Lustgefühl weckenden — Bildes tritt neben den Sinnesreiz aus Farbe und Form der Triebfang des Wohlbehagens schöner Gesichtsempfindungen. Trifft nun der angeregte Blick einen Gegenstand oder ein paar Worte, durch die der allgemeine Wert des Angebots blitzhaft einleuchtet, so verstärkt sich das Interesse (2. Stufe). Durch Wiederholung, z. B. durch mehrfaches Sehen der Ware unter der Erkenntnis ihrer allgemeinen Wertigkeit, wird das Interesse erhalten und bei gleichzeitiger deutlicher Nennung dessen, der die Ware verkaufen will, eine assoziative Verbindung zwischen Ware und Firma geschaffen, die dazu führt, daß bei dem Auftreten des eigenpersönlichen Bedarfs nicht nur die Ware, sondern neben ihr Standort und Firma in der Erinnerung auftauchen (3. Stufe). Durch die Einprägung des speziellen Mittels der Bedürfnisbefriedigung und des Lieferanten wird die allgemeine Besitzwuschttendenz etwa der Absicht eines Handtaschenkaufs zur speziellen: Ich will gegebenenfalls die mir besonders brauchbar erscheinende Tasche aus dem Schaufenster bei Müller & Co. kaufen. Eine solche Willensrichtung ist immer vermutbar, wenn ein Kunde nach einem bestimmten Gegenstande fragt. Es ist dann nicht schwer, die persönliche Wertbeziehung herzustellen, indem man die persönliche Angemessenheit der Ware beweist (4. Stufe). Der letzte Anstoß zum Kaufentschluß (5. Stufe) kann sehr verschiedenartig sein. Nicht selten liegt er in den Zeiten schwieriger Wirtschaftslage in entgegenkommenden Zahlungsbedingungen. Jede der fünf Stufen des psychologischen Weges zum Kunden hat ihre besonderen Mittel und Methoden, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann. Ob alle Stufen zu durchlaufen sind, oder nur einige, hängt von dem vierfachen Tatbestande ab, ob neue Waren bei neuen oder alten Kunden, eingeführte Waren bei neuen oder alten Kunden angeboten werden. Unendlich viel Reklameaufwand wird zwecklos vertan, weil untaugliche Objekte umworben werden, ohne daß der psycho-physischen Bedingtheit jeder Willensbeeinflussung des Menschen Rechnung getragen wird. Man läßt sich von künstlerischen oder sachgegebenen inhaltlichen Gestaltungsgründen leiten ohne Prüfung der örtlichen Absatzmöglichkeiten, die von der Struktur der Bevölkerung des Verkaufsbezirks abhängen. An einen Nichtraucher Zigarrenangebotslisten zu versenden ist zweckloser Aufwand und belastet in der Summe der verfehlten Angebote ganz gewaltig die Gestehungskosten der nationalen Produktion. — Ausgangspunkt aller solcher Bemühungen ist die tatsächlich vorhandene, auf Absatz drängende Produktion. Die Kundenwerbung stellt sich also als Mittel des Ausgleichs von Angebot und Nachfrage dar. Sie findet die Grenze ihrer Wirksamkeit in der Sättigung des Bedarfs. Eine solche tritt aber nie ein, wenn die Produktion unter wahrhaft volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten betrieben wird.

V.

Nach Roscher trägt nicht jede Produktion „in sich selbst schon die Garantie des gehörigen Absatzes, sondern nur die allseitig entwickelte, in Harmonie mit der ganzen Volkswirtschaft fortschreitende Produktion“²⁵⁾. Diese Selbstverständlichkeit ist unter der Einwirkung zügellosen Gewinnstrebens nicht beachtet worden. Vielleicht lag es daran, daß man infolge der schwierigen, auf den unsicheren Grundlagen des bloßen Meinens und Annehmens beruhenden Beurteilung des wirklichen Bedarfs kurzweg bewußt oder unbewußt nach dem Grundsatz handelte: Wer wagt, gewinnt! So lange überseeische Naturvölker billige Massenartikel und in Europa nicht mehr absetzbare Waren mit hochwertigem Elfenbein oder Edelmetallen bezahlten, wirkte sich das Mißverhältnis von Produktion und Bedarf in den Industriestaaten Europas nicht so be-

²⁵⁾ Wilh. Roscher, System der Volkswirtschaft, I. Bd., S. 490.

denklich aus, wie nun unter der ungeheuerlichen Konkurrenz einer allenthalben industrialisierten Welt. Alle Kalkulation ist unsicher geworden. Es steht nie von vornherein fest, ob für die aus dem Verkauf erzielte Valuta im entsprechenden Bedarfsausmaß Rohstoffe oder Nahrungsmittel gekauft werden können. Der moderne Geldverkehr verschleiert ja die stoffwertlichen Tatsachen. Es ist ein hochinteressanter Versuch, den Klagges unternimmt, indem er versucht, die Nationalökonomie von einer Gebrauchslehre her zu erörtern. „Der Gebrauchswert eines Dinges besteht in der Energie, die durch Anwendung desselben von Menschen gewonnen, erhalten oder gespart werden kann²⁶⁾“. So hat ein Kilogramm Anthrazitkohle den Durchschnittsgebrauchswert von 2000 Kalorien²⁷⁾. Dieser Wert ist den wenigsten Menschen bewußt. Selbst wenn ihn jemand kennt, so können doch Umstände eintreten, in denen dieser objektive Wert subjektiv für nichts gilt, weil ein Besitzwunsch überhaupt fehlt. Der Stoffwert, wie nunmehr der objektive Gebrauchswert im Kalorienmaßstab genannt sein mag, erfährt seine subjektive Bestätigung nur unter bestimmten Voraussetzungen, die man im Begriff der Dringlichkeit des Bedarfs zusammenfassen kann. Der subjektive Gebrauchswert kennt keinen materiellen Maßstab. Er ist rein geistigen, daher undimensionierten Wesens, er realisiert sich als Besitzwunsch, als Erwerbsbereitschaft schlechthin und kennt bei Pathologischen keinerlei Hemmung (Kleptomanie), beim Normalen lediglich die gesellschaftliche Bindung an die Gepflogenheiten des Tausches oder in der fortgeschrittenen Verkehrswirtschaft an die des Kaufens und Verkaufens d. h. an die Verfügbarkeit eigener Geldmittel. Es ist eine reine Zweckmäßighkeitsfrage, in welcher Weise der Warenaustausch erfolgt. Das Gold als Zahlungs- und Tauschmittel hat nach wie vor aus seinen hervorragenden Eigenschaften, die eine universale und ästhetische Verwendung möglich machen, den Vorteil der einleuchtenden Anschaulichkeit seiner allgemeinen Wertigkeit. Dennoch ist für den von Todesfurcht gepackten Schiffbrüchigen die Tonne Gold im Laderaum des Wracks wertlos; er gäbe sie gern für einen rettenden Nachen her. Die Tatsache der privaten und öffentlichen Preisfestsetzungen zeigt zudem, daß auch das sogenannte Marktgesetz von Angebot und Nachfrage nur relative Bedeutung hat, nämlich bei Verknappung in der Form der Preissteigerung, bei Überangebot in der Form der Preissenkung, ohne daß etwa eine prozentual gleiche Relation zwischen 25% Angebotsminderung und der Preiserhöhung besteht. Letztere beträgt zumeist mehr. Wenn man heute nicht wie um 1820 in Preußen für ein Pfund Rindfleisch durchschnittlich nur 33 Pfennig bezahlt²⁸⁾, so hängt das eben mit der Ausweitung der Besitzwunschtendenzen im Laufe der Jahrzehnte zusammen. Zur Zeit des Kienspans waren Amortisationen und Verzinsungen von elektrischen Kraft- und Lichtzentralen, von Eisenbahnen und anderem nicht aufzubringen. Der anspruchsvollere Lebenszuschnitt des Bauern unserer Tage macht es ebenso wie die Verwendung von Maschinen in der Landwirtschaft unmöglich, die Agrarprodukte zu solch bescheidenem Geldgegenwert abzusetzen wie einst. Da die Zahl der einzelpersönlichen Besitzwunschtendenzen mit der steigenden Kultur zunimmt, steigt die Menge des Güterumlaufs und der Zahlungsmittel. Wenn also die wirkliche wirtschaftliche Wertung eine subjektive und darum allgemein unbestimmbare Größe ist, so haben alle Untersuchungen über den Tauschwert keinen Zweck²⁹⁾, und die Planung der Produktion vom Wertgesichtspunkt her ist grundsätzlich falsch. Tatsächlich mußte ja auch die lediglich auf privatwirtschaftliche Rentabilität eingestellte Planung der kapitalistischen Kartellierungen und Fusionen scheitern, weil sie die Forderungen volkswirtschaftlicher Vernunft außer acht ließ. Ohne Geldkapital ist freilich in unseren Tagen des Privateigentums am Grund und Boden eine jede Produktion ausgeschlossen. Höchstens in der Arktis findet sich noch Niemandland, das aber zum Säen und Ernten ungeeignet ist. Aus dieser Tatsache erklärt sich die Möglichkeit eines spekulativen Bodenwuchers, der nur infolge des Monopolcharakters alles Bodeneigentums in

²⁶⁾ Klagges, a. a. O., S. 45.

²⁷⁾ Ebenda, a. a. O., S. 50.

²⁸⁾ Jentsch-Rose, Volkswirtschaftslehre, S. 181.

²⁹⁾ Ebenda, a. a. O., S. 47 ff. (Kap. 7 Vom Werte).

Zeiten günstiger Konjunktur entstehen konnte. Naturrechtliches Empfinden erklärt, die Erde sei für alle Menschen da. Das ist unstrittig. Aber die naheliegende Folgerung, daß darum alle Menschen ihr Eigentumsrecht an jedem gerade erwünschten Ort ausüben könnten, gerät in Widerstreit zu der ebenso überzeugenden, weil ebenfalls naturrechtlichen Auffassung, daß derjenige, der säte, allein das Recht zur Ernte hat. Die bloße ursprüngliche Okkupation der sesshaft werdenden Nomaden schuf den Besitztitel nur kraft der Gewalt des Stärkeren. Die Arbeit des Bauern, der die Scholle ertragreicher machte, gab diesem Besitztitel erst die Rechtsgrundlage. Dennoch ist der Anspruch aller Volksgenossen auf Bodenbesitz latent und berechtigt. Ihn dämpfen die jeweiligen Eigentümer durch Zahlung einer besonderen Grundsteuer ab, die demnach psychologisch und rechtlich richtig erscheint. Mit dieser Steuer aber darf der Wunsch nach einer eigenen Scholle, der in unserer Zeit besonders lebendig wurde, keineswegs unerfüllbar gemacht werden. Kluge Staatsführung sorgt im Gegenteil dafür, daß Brachland, Staatsdomänen, meliorisiertes Moor, aufteilungsgeeigneter Großbesitz für die Ansiedlung erdverbundener Bauern bereitgestellt werden. Es kommt dabei nicht allein auf den Ertrag der Scholle an, als vielmehr auch auf die seelische Bindung in Volkstum und Boden. Dafür Opfer zu bringen, heißt Selbsterhaltung. Das Opfer muß beiderseitig sein. Der Staat sichert den niedrigen Preis und die niedrige Verzinsung der Hypotheken; der Siedler bescheidet sich in seinen Ansprüchen an den weniger lebensnotwendigen Gütern, aber er spart nicht an den Werkmitteln. Gerade das letztere aber haben Bauspekulanten vielfach getan und den Schein für das Sein vorgetäuscht. Sie haben auch die Wohnungen nur nach dem Rentabilitätsgesichtspunkt gebaut. Mietskasernen wuchsen gen Himmel und pferchten die Menschen in steinerne Höhlen. Luxusräume standen den Reichen zahllos offen, indessen die Armen vergeblich nach einem bescheidenen Zimmer suchten. Gesamtwirtschaftliches Denken verbietet jede egoistische Nutzung des natürlichen Bodenmonopols. Wer deutsche Erde besitzt, sei es als Acker, sei es als Grube, sei es als Wohnstatt, muß stets dessen eingedenk sein, daß nur aus ehrlicher Arbeit der Besitztitel sein Recht erhielt und behalten kann, und daß ein latenter Anspruch Gleichberechtigter sehr scharf darauf sieht, ob nicht der glückliche Eigentümer nur seinen eigenen und nicht den Gesamtnutzen im Auge hat. Es spielt erst in zweiter Linie eine Rolle, wieviel Geld jemand für ein Wohnhaus oder ein Fabrikgebäude gegeben hat; entscheidend für die volkswirtschaftliche Bedeutung ist, welche Leistungen zugunsten der Allgemeinheit mit diesem kostbarsten Nationalgut erzielt werden. Demgegenüber pflegt man sofort den Einwand zu erheben, daß doch die Verzinsung des Anlagekapitals sichergestellt werden muß. Dieses rein geldwirtschaftliche Denken, das im Materialismus wurzelt, ist die Ursache zahlloser sozialer Mißstände. Wenn Rodbertus u. a. glauben, man täte darum am besten, das Geld abzuschaffen, so ist das ein Irrtum. Ohne Tauschmittel kommt die Welt von heute nicht mehr aus. Aber ohne übervorteilende Gewinnsucht! Nun ist leider gerade auf dem Geldmarkt im Wahnsinn der Inflation die Sucht, ohne Arbeit zu verdienen, großgezogen worden. Die Unsicherheit der politischen Zustände gab sodann den verständlichen Anlaß der Einkalkulierung hoher Risikoprämien. Ein unnatürlich hoher Zinsfuß erdrückte die Wirtschaft. Man hatte sich an die hohen Prozente fester Anleihen gewöhnt. Kapital ist knapp. Die Gründe sind bekannt. Eigennutz flüchtete mit seinem Besitz ins „sichere“ Ausland. Gewinnsucht sperrte sich gegen niedrige Zinsen. Dabei aber hängt die deutsche Wohlfahrt zum großen Teile von der Rückkehr zu geldwirtschaftlichen Gepflogenheiten der Vorkriegszeit ab, in der mehr als 5% schon als Wucher galten und Ausnahmen darstellten. Wenn Deutschland noch bis vor kurzem 7%ige Anleihen kannte, bedeutete das nur Selbsttäuschung. Das aus Geldbesitz fließende arbeitslose Einkommen muß im Interesse der Verbilligung der Lebenshaltungskosten möglichst niedrig gehalten werden. Wenn der Ausländer uns nur teures Geld leihen will, so ist das zwar nicht klug, aber begreiflich, denn er hat ja die innere Bindung an seine Schuldner nicht, die es dem deutschen Kapitalisten leicht macht, zu glauben, daß sein Geld sicher angelegt ist. Letzten Endes glaubt er es ja sich selbst, denn sein Wohl und Wehe ist untrennbar von dem Aufstieg oder Niedergang

seines eigenen Volkes. Darum sind Kreditwilligkeit und -würdigkeit natürliche deutsche Eigenschaften aus dem Selbsterhaltungstrieb heraus. Ob die Zirkulation der nationalen Erzeugnisse allen Volksgenossen ein lebenswertes Dasein zu bereiten vermag, hängt einzig und allein von der Gesinnung ab, mit der der Austausch der Güter durchgeführt wird. Sobald die stets als Entschuldigung für hohe Preise vorgebrachte Risikoprämie durch planvolle Erzeugung überflüssig gemacht wird, sobald man sich wieder gewöhnt, mit bescheidenem Nutzen zu rechnen — es wäre an der Zeit, den Inflationswahnsinn der großen Zahlen völlig aus aller Wirtschaftsgebarung zu bannen —, sobald der Verteilungsapparat zur normalen Größe zusammengeschrumpft und so manches überflüssige „Durch-viele-Hände-Gehen“ im Handel verschwunden sein wird, kann mit sinkendem Preis auf volle Bedarfsdeckung gerechnet werden, wenn auch der dritte Faktor der Gütererzeugung, die Arbeit, die ja mit Hilfe des Kapitals und des Bodens alles Lebensnotwendige schafft, in rechter Weise eingesetzt wird.

VI.

Alle menschliche Arbeit wird beherrscht vom technischen Denken. Der Stab, mit dem der Primitive den Acker aufriß, war eine der praktischen Erfahrung entstammende, richtige Anwendung des Hebelgesetzes, ohne daß schon ein Wissen um das Grundprinzip des Kraftaufwandes bei Wegerweiterung bestand. Je mehr die menschliche Erkenntnis der Natur, der physikalischen und chemischen Zusammenhänge und Abhängigkeiten in Ursache und Wirkung wuchs, um so bewußter wurde Werkzeug und Maschine so gestaltet, daß die Arbeit der großen Muskeln sich erleichterte. Eine zweite Ursache der Anwendung von Arbeitsmitteln war der steigende Bedarf wachsender Bevölkerungsmassen. Ursprünglich half man sich mit der Heranziehung fremder Arbeitskräfte, um die nötige Steigerung der Erzeugung von Nahrungsmitteln, Gebrauchsgegenständen u. a. m. zu erreichen. Die Ackerwirtschaft des klassischen Altertums bediente sich der Muskelkraft und der Handfertigkeit des Sklaven, der deutsche Fronhof beschäftigte Unfreie als Mitarbeiter seiner selbstversorgenden Hauswirtschaft³⁰⁾. Ganz von selbst bildeten sich dabei nach der Veranlagung der Menschen Berufe heraus³¹⁾. Der Robuste wurde als Ackersklave, der geschmackvolle, schönheitsverständige Handfertige als Kleidermacher, der aufmerksame, höfliche, diensteifrige Handlager als Hausklave verwendet. Es kann hier nicht dargetan werden, wie unter dem Zwange neuer Bedürfnisse fortschreitender Kultur immer neue Betätigungsarten erstanden. Soviel sei nur festgehalten, daß aus der einzelmenschlichen Befähigung heraus Arbeitsteilung erwuchs, die in der Zuweisung verschiedener Pflichten die verschiedensten Berufe grundlegend bildete, die aber auch den besonders Befähigten schon früh zum Spezialisten machte. Der Waffenschmied von Ruf zog zahlreiche Nachbarn an, die seine hervorragende Kunst für sich erbaten. Der Herr ließ den Sklaven mehr oder weniger bereitwillig mit oder ohne Entschädigungsforderung aus, der Hörige schuf sich so einen Nebenverdienst, aus dem Hausfleiß wurde das Lohnwerk, das in der Form der Stör und des Heimwerks bis in die Gegenwart besteht und die Vorstufe des Handwerks gewesen ist. Auch das Handwerk mußte sich mehr und mehr spezialisieren. Aus dem einstigen Universal schmied wurde der Waffen-, Huf-, Nagel-, Kesselschmied, der Kupfer-, Silber-, Goldschmied. Das besondere Werkgeschick, das durch Qualitätsleistung die Nachfrage weckte, mußte sich nun auf Schnelligkeit einstellen, um die steigende Kundenzahl befriedigen zu können. Ganz von selbst führte dies zur weiteren Arbeitszerlegung und vermehrten Verwendung technischer Hilfsmittel. Immer häufiger übernimmt die Maschine Teile der Werkgestaltung, der Mensch setzt sie in Betrieb, führt ihr das Rohmaterial oder Halbfabrikat zu, bewacht ihren Gang. Je größer die angeforderten Mengen der Erzeugnisse werden, um so zielbewußter ringt das menschliche Denken um die zweckmäßigste Form der Maschinengestaltung.

³⁰⁾ Bücher, a. a. O., I., S. 107.

³¹⁾ Ebenda, S. 311.

Es kommt dahin, daß manche Nähmaschinen mit Motorantrieb zwölf Nadeln zugleich in Bewegung setzen, andere viertausend Stiche in der Minute machen, eine Arbeiterin zwölf bis sechzehn Draperwebstühle, ein Arbeiter tausend Spindeln betreut³²⁾. Die Maschine zwingt den Menschen in ihren Bann. Ungeheuer sind die Anforderungen an seine Aufmerksamkeitskonzentration, die rasche Übersicht, die schnelle Entschlußfähigkeit. Die Anpassung von Mensch und Maschine wird zum entscheidenden Grundproblem der Gütererzeugung. Es hat lange gedauert, bis man dies erkannte. Der schöpferische menschliche Geist erfand immer neue, immer kompliziertere, wundertätige Getriebe, aber der Mensch mit seinen seelischen Bedürfnissen wurde vergessen. Wohl sorgte die Gewerbeaufsicht dafür, daß gesundheitsschädliche Gase abgesaugt, unfallgefährliche Sägeblätter vor Berührung geschützt wurden, aber das A und O der Zielsetzung blieb: Steigerung des Ertriebs³³⁾ zur Erhöhung des Ertrags. Die technische Vernunft setzte vor allen Dingen ihr Grundprinzip durch: „Handle stets mit dem vergleichsweise geringsten Aufwand“, d. h. mit dem niedrigstmöglichen, auf die Ertriebseinheit berechneten Gesamtaufwand des Betriebes. (Z. B. sind dies in einer Weberei die Kosten für das laufende Meter Tuch³⁴⁾. Dem Facharbeiter blieb mehr und mehr nur eine immer gleiche Handbewegung zu tun, ein aus wenigen Griffelementen bestehender Griff am Werkstück³⁵⁾. Die Zyklographie mit ihrem Studium des Ablaufes von Bewegungen hat sich von den primitiven Methoden Mareys, der einen gehenden Menschen auf der gleichen Platte photographierte (1879), um seinen Gang festzuhalten, zu den verfeinerten Verfahrensweisen Gilbreths und der Siemens-Schuckertwerke entwickelt, die Glühlämpchen an bewegten Gliedern intermittierend aufleuchten lassen und die Arbeitsbewegungen in Lichtpunktlinien photographisch abbilden, so daß nicht nur die Lage und der Ablauf der Bewegungsbahn, sondern zugleich die Zeitdauer erkannt werden kann³⁶⁾. Die Zeitlupe vermöchte — wenn sie nicht so kostspielig in der Anwendung wäre — die brauchbarsten kinematographischen Bewegungsstudien zu liefern. Wenn nun Ford³⁷⁾ und andere glauben, daß mit der Vereinfachung der Arbeitsbewegungen die Möglichkeit gegeben ist, jeden, der nur überhaupt arbeiten will, zu beschäftigen, so ist das ein Irrtum. Gerade die stete Gleichförmigkeit des Arbeitsvorganges am laufenden Band führt zu individuell verschiedenen seelischen Wirkungen. Menschen, die Schwierigkeiten haben, rasch aufeinanderfolgende gleiche Reize ohne Verschmelzung isoliert aufzunehmen, sind imstande, die Arbeit sofort zu mechanisieren. Sie empfinden gleichförmiges Geschehen gar nicht monoton; sie sind gewissermaßen „frei von der Arbeit“ und im Hinblick auf lustvolle Nebengedanken ganz vergnügt³⁸⁾. Menschen, die gleichförmige Reize stets klar und einzeln leicht erfassen, sind gebunden an die Arbeit, deren jede Phase sie voll bewußt tun. Sie zeigen eine gewisse Hingabe an Bewegungsempfindungen und Vorliebe für Rhythmus, den sie für angenehm erklären. Beide Typen sind an sich in der Lage, die Monotonie einfachster, immer gleicher Handhabungen nicht mit Widerwillen zu erleben. Quälende Erregung bemächtigt sich aber infolge monotoner Arbeit der Menschen, die ihrem Wesen nach betont zielstrebig sind. Der Mangel eines persönlichen Zweckes löst in ihnen heftige Unlustgefühle aus. Sind solche Menschen auch noch gebunden an die Arbeit, so steigert sich die Pein der Monotonie zur Unerträglichkeit, wenn der Zweck der gleichförmigen einfachen Handhabung in seiner Isoliertheit als unscheinbarster Teil eines

³²⁾ Frank Watts, Die psychologischen Probleme der Industrie, S. 107.

³³⁾ Ein von Gottl-Ottilienfeld geprägter Ausdruck zur Bezeichnung der vom Betriebe erzeugten Gütermenge. Vgl. F. v. Gottl-Ottilienfeld, Vom Sinn der Rationalisierung, S. 15.

³⁴⁾ Ebenda, S. 15.

³⁵⁾ Über die Bezeichnungen Arbeitsstufe — Griff — Griffelemente und ihre Bedeutung vgl. Gottwein, Schlosserei und Montage-Arbeitszeitermittlung, 1928.

³⁶⁾ Oseretzky, Psychomotorik, S. 134 ff. — Seubert „Aus der Praxis des Taylorsystems“, S. 13 ff.

³⁷⁾ Henry Ford, Mein Leben und Werk, S. 111 bzw. 131.

³⁸⁾ Herbert Winkler, Die Monotonie der Arbeit. Schriften zur Psychologie der Berufseignung und des Wirtschaftslebens. Heft 19, S. 24 bzw. S. 38, bzw. S. 40.

komplizierten Produktionsvorganges nicht ins Auge springt³⁹⁾. Selbst wenn man im Sinne moderner Betriebsführung durch gründliche Belehrung über die Fabrikationszusammenhänge⁴⁰⁾ die Wichtigkeit jedes Betriebsvorganges ins rechte Licht setzt, tut man gut, Menschen der eben geschilderten Art an Plätzen abwechslungsreicher Arbeit mit offenkundiger Zweckbestimmung tätig sein zu lassen. Andererseits erhellt aus den Winklerschen Versuchen, daß die Einführung in die Betriebszusammenhänge nicht für alle Menschen von gleichem erzieherischen Wert sein kann, weil es auch Naturen gibt, denen das Zweckdenken fernliegt. Jede Betriebsrationalisierung muß eben von der Tatsache der individuellen Differenzen ausgehen. Taylor, der vielgenannte amerikanische Arbeitswissenschaftler, der aus der Praxis hervorgegangen ist, erkannte sehr bald, daß die von ihm geforderten „Pensen“⁴¹⁾ selbst bei Ersparnis aller überflüssigen Bewegungen und mit Hilfe vereinfachter Arbeitsstufen, auch unter Anwendung zweckentsprechender Arbeitsmittel, erprobter Arbeitszeiten und ausreichender Erholungspausen nicht von jedem beliebigen Facharbeiter geleistet werden konnten. Er wählte darum die Geeigneten durch eine psychologische Begabungsprüfung aus⁴²⁾. Ford entläßt einfach die, die sich seinem System nicht willig anpassen⁴³⁾. Dazu sind aber eben gewisse Menschen nach ihrer einzelnen persönlichen Veranlagung beim besten Willen nicht imstande. Dipl.-Ing. Bruker stellte im Anschluß an seine Untersuchungen über Bandarbeit fest, „daß der Faktor Mensch trotz weitestgehender Mechanisierung der Arbeit auch heute noch ein überaus wichtiger, um nicht zu sagen der wichtigste Faktor im Betrieb ist, und daß er, wenn wir ihn vernachlässigen, uns unsere schönsten Berechnungen zunichte machen kann“⁴⁴⁾. So hoch bedeutsam das Zeitnehmen für die rationelle Betriebsführung geworden ist, die Stoppuhr und das besser als diese anzuwendende Zeitnehmermodell der Poppelreuterschen Arbeitsschauuhr⁴⁵⁾, gewinnen ihren Wert erst durch eine nicht nur rechnerische Handhabung. Die bloße Zeitbetrachtung, wie sie üblich geworden ist, reduziert die Mannigfaltigkeit des Arbeitsgeschehens auf ein Merkmal, dessen praktische Bedeutung nicht bestritten werden soll; wichtiger aber ist die vielseitigere Arbeitsstudie, die nicht nur Stückzeiten erfaßt, sondern auch die Pausendauer und ihre Gründe, die Qualität der Leistung und ihre Abhängigkeiten, den schaffenden Menschen und sein arbeits-typisches Verhalten. Hierzu ist Poppelreuters Zeitverlust-Schreiber besonders geeignet⁴⁶⁾. Soviel Gleichartigkeit die Menschen aus Vererbung und Umwelt in ihrer Wesenheit zeigen, die Leistungsfähigkeit des einzelnen ist konstitutionell bedingt. Der Farbenblinde kann nicht Stubenmaler, der Taube nicht Verkäufer, der wenig Bewegungsempfindliche weder Schlosser noch Schmied noch Feinmechaniker sein. Alle Übung ersetzt den Mangel an Anlage nicht⁴⁷⁾, wohl aber fördert sie noch unentwickelte Fähigkeiten bis zu der Grenze des bekannten Beharrungs-zustandes eines subjektiven Optimums der Leistung⁴⁸⁾.

³⁹⁾ Für solche Menschen ist der erlösende Aufstieg zu nicht repetiver Arbeit, den Ford (S. 124) hervorhebt, unmöglich. Sie scheitern bereits auf der untersten Arbeitsstufe, mit der jeder Angestellte im Fordbetriebe beginnen muß.

⁴⁰⁾ G. Berling, Planmäßiges Einführen des Menschen in den industriellen Arbeitsablauf. Industrielle Psychotechnik 1926, S. 79 ff., und Peter C. Bäumer, Das Deutsche Institut für technische Arbeitsschulung, Teil I der von Goetz Briefs herausgegebenen Probleme der sozialen Werkspolitik.

⁴¹⁾ Fr. W. Taylor, Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung, S. 41.

⁴²⁾ Ebenda, S. 38 bzw. S. 93.

⁴³⁾ Henry Ford, Mein Leben und Werk, S. 130.

⁴⁴⁾ Dipl.-Ing. Bruker, Psychotechnische Untersuchungen zur Bandarbeit, Heft 39 der Schriften zur Psychologie der Berufseignung und des Wirtschaftslebens, S. 47.

⁴⁵⁾ Poppelreuter, Zeitstudien und Betriebsüberwachung im Arbeitsschaubild, S. 13.

⁴⁶⁾ Ebenda, S. 46 ff.

⁴⁷⁾ Die früher zur sogenannten Bildung gehörige Unterweisung jeder „höheren Tochter“ im Klavierspiel hat das zur Genüge mit dem Erfolge unter Beweis gestellt, daß der große Philosoph Kant die Musik für eine urbane Kunst erklärte, der man nicht enttrinnen kann. (§ 53 der „Kritik der Urteilskraft“.)

⁴⁸⁾ Obering. Tramm stellte in der praktischen Psychologie, Jahrgang 1919/20, S. 23, auf Grund einer sehr umfassenden Erfahrung in der Auslese und Anerlernung von Straßenbahnfahrpersonal fest: „Der Ungeeignete bleibt immer relativ schlecht, während der Geeignete relativ gut bleibt.“

Aus dem nachstehenden ABC der Befähigungsstrukturen lassen sich leicht Arbeitstypen sehr verschiedener Art ableiten:

a) hochintelligent	b) durchschnittlich intelligent	c) unintelligent
d) mehr mathem.-techn. befähigt	e) mehr sprachlich befähigt	f) ohne mathem. od. sprachliche Befähigung
g) stets aufmerksam	h) etwas abgelenkt	i) stets stark ablenkbar
j) reiche schöpferische Phantasie	k) mittelmäßige schöpferische Phantasie	l) keine schöpferische Phantasie
	m) gesund	n) kränklich
o) sehr kräftig	p) mittelkräftig	q) schwächlich
r) sehr rasch in der Bewegung	s) mäßig schnell	t) langsam
u) rhythmisch	v) mäßig rhythmisch	w) arhythmisch
x) sehr handgeschickt	y) durchschnittl. handgeschickt	z) ungeschickt

a d g j m o r u x würde das Ideal eines Ingenieurs darstellen, der als Konstrukteur wie als Betriebsleiter Hervorragendes zu leisten imstande wäre. b d h l m o s u x charakterisiert den Arbeitstypus, der als Werkmeister am Platze zu sein scheint. b d h k m q s v x käme als Vertreter einer Werkzeugfabrik in Frage.

Ob sich der Begabte an dem genannten Platze bewährt, hängt freilich auch von seiner Charakteranlage ab, die sehr verschiedenartig sein kann, wie die nachstehende Aufzählung der 15 wichtigsten Charaktergegensätze beweist: mutig — feige, ehrlich — betrügerisch, selbstsicher — willensschwach, fleißig — faul, sauber — schmutzig, sorgsam — flüchtig, mitfühlend — hartherzig, enthaltsam — genußsüchtig, offenherzig — verschlossen, bescheiden — überheblich, gütig — gehässig, gesellig — einschichtig, geduldig — ungeduldig, verschwiegen — klatsch-süchtig, gehorsam — widersetzlich. Die gleiche Begabung, wie sie eben als erste geschildert worden ist, wird gegebenenfalls, wenn ihr das Schicksal die wissenschaftliche Vorbildung versagte und nicht besondere Umstände einen Aufstieg ermöglichten, zeitlebens an einen — freilich hochqualifizierten — Vorarbeiterplatz gebannt bleiben. An diese Fälle denkt wohl A d o l f H i t l e r, wenn er dringlich fordert, „daß eine dauernde Erneuerung der bestehenden geistigen Schichten durch frische Blutzufuhr von unten stattfindet“⁴⁹⁾. Die Auslese der Geeigneten erfährt an der gleichen Stelle eine staatspolitische Begründung, die ihr die Verpflichtung auferlegt, methodologisch höchst verantwortungsbewußt vorzugehen. Es darf gesagt werden, daß von seiten der psychologischen Wissenschaft mit viel — bisweilen wohl zu viel — Kritik der rechte Weg gesucht wurde und heute grundsätzlich gefunden ist, da immer mehr die Totalität der Persönlichkeit als ein organisches Gebilde funktioneller Wechselwirkungen und Abhängigkeiten

⁴⁹⁾ Adolf Hitler, Mein Kampf, S. 481 ff.

in den Blickpunkt der prüfenden Verfahrensweisen gerückt wurde. Der Erfolg steht außer allem Zweifel fest, obgleich in jeder Eignungsprüfung ein Unsicherheitsfaktor steckt: es ist nur in ganz beschränktem Maße möglich, den Charaktertypus zu erfassen. Wohl erkennt man, ob ein Prüfling sorgsam oder flüchtig zu arbeiten gewohnt ist, ob er Geduld besitzt, sich offen und selbstsicher gibt, sauber und fleißig schafft, aber seine Ehrlichkeit, sein Mitgefühl, seine Enthaltsamkeit, Verschwiegenheit u. a. m. erkennt man bei der psychotechnischen Eignungsauslese nicht⁵⁰⁾. Wie oft jedoch scheiterte schon manche schöne Begabung an Schwatzhaftigkeit und Unehrllichkeit oder an dem Unvermögen, sich einzugliedern in einen Kreis Gleichgestellter! Trotzdem ist die Voraussage der Psychotechnik zumeist richtig gewesen.

Eigene Bewährungsfeststellungen, die in Tausenden von Fällen die Zufriedenheit mit den Lehrlingen bestätigten, soweit solche vom seinerzeit selbständig bestehenden Berufsamt der Stadt Breslau zugesandt worden waren⁵¹⁾, exakte eigene Nachprüfungen auf Grund objektiv gewerteter Werkstücke, vor allem aber die besonders im Verkehrsgewerbe⁵²⁾ nachgewiesenen und für die Unfallverhütung⁵³⁾ wichtigen günstigen Ergebnisse gestatten es, diese Behauptung aufzustellen. Damit verliert zugleich das agitatorische Reden von der Entseelung der Arbeit allen Boden. Wer entsprechend seiner Veranlagung beschäftigt wird, fühlt sich nicht fehl am Platze. Ihm geht alles leicht und ohne Schwierigkeit von der Hand, und das gute Gelingen gewährt Befriedigung. Gerade der rationalisierte Betrieb aber nimmt die Verteilung der Arbeitskräfte nach der Eignung vor. Auch die vielgeschmähte Automatisierung bedeutet nichts weniger als Entseelung der Arbeit, sondern Wiederaufrichtung der menschlichen Herrschaft über das Werkmittel, die in der Übergangszeit der Mechanisierung durch Halbautomaten verloren ging. Immer werden menschliche Handhabungen, insbesondere bei Montagearbeiten am laufenden Band oder in der Arbeitsgruppe mit gleichem Zeitfortschritt, nötig sein. Nach Gerbis schleifen sich die Nervenbahnen sozusagen aus, wenn ein Mensch dauernd die gleichen Bewegungen ausführt. Die verschiedenen Nervenimpulse erfolgen immer mehr automatisch ohne Bewußtseinsinhalt. Mit fortschreitender Übung werden die Bewegungen kürzer, zweckvoller, weniger anstrengend⁵⁴⁾. Das gilt für jene von Winkler geschilderten Typen, die leicht automatisieren ohne Unlust verursachende Zweckvorstellung⁵⁵⁾. Sucht man sich experimentell-psychologisch solche Menschen aus, so werden sie sehr zufrieden ihr Werk tun, solange nicht durch ungenügende Erholungspausen Übermüdung⁵⁶⁾ sie unzufrieden macht. Wie oft erklärten bei Befragung Arbeiter und Arbeiterinnen, daß sie ihre mechanische Tätigkeit besonders schätzen, weil man sie völlig unbewußt flott ausüben und zwischendurch an anderes denken könne⁵⁷⁾.

⁵⁰⁾ Man hat zwar besondere Charakterprüfungen versucht, wie sie Prof. Hennings Bericht über Zweipersonenexperimente auf der 6. Tagung praktischer Psychologen in Hannover schilderte (Industrielle Psychotechnik, 5. Jahrgang, S. 96), aber man muß der Couvéschen Warnung vor Charakterprüfungen beipflichten (vgl. Ind. Psychot., 5. Jahrgang, Heft 2). Er hat durchaus Recht, wenn er meint, daß eine erfolgreiche psychotechnische Prüfung ohne besonderes Prüfmittel die für den Berufserfolg wichtigste Charakteranlage der Sorgfalt erweist.

⁵¹⁾ Dr.-Ing. Hans Kellner, Die Bewährung der Berufseignungsprüfungen und Rose, „Bewährung“ in Jugend und Beruf, Jahrgang 3, S. 1 ff. bzw. S. 25.

⁵²⁾ Tramm berichtet in der Industriellen Psychotechnik, 1. Jahrgang, S. 41, daß nach den Erfahrungen mit einer sehr großen Zahl von Prüflingen (20000!) die psychotechnisch ausgewählten Führer 40—50% weniger Unfälle verursachten, als ohne Prüfung üblich war, daß die Zuverlässigkeit des Verfahrens 85—90% betrage und die Ausbildungsdauer nunmehr um 120 Stunden bei der Straßenbahn und um 48 Stunden beim Kraftwagendienst verkürzt werden konnte.

⁵³⁾ Eibel, „Die Rationalisierung in den gewerblichen Betrieben vom unfalltechnischen Standpunkt“ spricht der berufspolitischen Rationalisierung, die den richtigen Arbeiter an den richtigen Platz stellt, eine große Bedeutung für die Unfallverhütung zu (vgl. S. 31).

⁵⁴⁾ Gerbis, Rationalisierung vom gewerbehygienischen Standpunkt, S. 15.

⁵⁵⁾ Winkler, a. a. O., S. 33.

⁵⁶⁾ Gerbis empfiehlt 10 Minuten Pause nach 2 Stunden Arbeit (a. a. O., S. 20).

⁵⁷⁾ Gerbis, a. a. O., S. 24. Ähnliche Feststellungen machte auch Winkler bei seinen Laboratoriumsversuchen, a. a. O., S. 28, 30, 33. Desgl. Ford, a. a. O., S. 123.

Gerbis weist zudem sehr richtig darauf hin, daß gerade die Bandarbeit das Werden des Ganzen zu überschauen gestattet und so ähnliche Befriedigung geweckt werden kann, wie sie der Handwerker, der ein Stück von Anfang bis zum Ende herstellt, zu haben pflegt⁵⁸⁾. Ob es sich dabei immer um reine Schaffensfreude handelt oder um Befriedigung über den zu erwartenden Arbeitslohn, bleibe dahingestellt. So viel kann jedenfalls zusammenfassend gesagt werden: Unter der Voraussetzung einer planmäßigen Verteilung der Arbeitskräfte nach der Eignung liegen in den neuzeitlichen Arbeitsmethoden psycho-physische Möglichkeiten zu qualitativen und quantitativen Höchstleistungen. Wenn solche trotzdem nicht durchweg erzielt wurden und vielfach Unzufriedenheit herrschte, so müssen die Ursachen außerhalb des menschlichen Seelenlebens gesucht werden.

VII.

Die Bemühungen um die Ausschaltung überflüssiger und die Vereinfachung komplizierter Arbeitsbewegungen brachten es mit sich, daß Werkzeug und Maschine einer kritischen Betrachtung hinsichtlich ihrer Angepaßtheit an die allgemeinen menschlichen Leistungsmöglichkeiten unterzogen wurden. Die Arbeitsmittel (Werkzeug, Vorrichtungen, Maschinen) sind aus der empirischen einzelpersonlichen Erfahrung entstanden. Nunmehr galt es, planmäßig normativ das Brauchbare zu entwickeln. Die Objektpsychotechnik hat hierbei wertvollste Anregungen gegeben⁵⁹⁾. Für das Handwerk wies B u c e r i u s eindringlich die Notwendigkeit wirtschaftlicher Betriebsführung nach⁶⁰⁾. All diese Bestrebungen fanden einen starken Antrieb durch die Schaffung des Reichskuratoriums für Wirtschaftlichkeit⁶¹⁾. Nach R i e d e l bestehen zwei Grundbedingungen für gutes Werkzeug: 1. es soll wie ein Glied des Körpers wirken, 2. es muß der technischen Aufgabe gut angepaßt sein. Ist beides der Fall, so spielt das Werkzeug, dessen Griff sich der Ruhelage nähern soll, leicht in der Hand. Aus der Materialtrennung und dem Zwang zur genauen Führung entstehen Haupt- und Nebenwiderstände, die nicht zu groß werden dürfen, was sich durch zweckmäßige Gestaltung des Werkzeuges erreichen läßt. Man wählt adäquat dem zu verarbeitenden Stoff und der verfügbaren Arbeitskraft schweres oder leichtes Werkzeug. So empfahl Taylor für das Schaufeln von Koks, Kohle und Erz drei verschiedene Schaufelgrößen, deren Fassungsvermögen nur eine Maximalbelastung mit dem durchschnittlich günstigsten Gewicht von je $9\frac{1}{2}$ kg gestattete⁶²⁾. Selbstverständlich ist auf die organische Einlagerung in den Arbeitsgang zu achten. Die Werkzeuge eines Werkzeugsatzes müssen hinsichtlich der Beanspruchung des Arbeitenden aufeinander abgestimmt sein⁶³⁾. Die Anpassung der Maschine an die allgemeine menschliche Leistungsfähigkeit vollzog sich im Sinne einer Verbesserung der Wahrnehmbarkeit, der Erleichterung der Impulsgebung und Sicherung einwandfreien Zusammenspiels beider. Es ist unbedingt nötig und im übrigen zeitsparend, wenn beispielsweise das Ende des Arbeitsganges akustisch (in anderen Fällen optisch) deutlich angezeigt wird, wie etwa der Zeilenschluß an der Schreibmaschine, wobei das Klingelsignal nicht im Arbeitsgeräusch untergehen darf. Die Impulsgebung wird gefördert, wenn die Bedienungshebel bequem und in günstiger Bewegungsrichtung angebracht sind. E r i s m a n n erklärt z. B., daß beim Sitzen eine Bewegung des Armes von der Mittellage nach rechts oder links zur Überwindung großen Widerstandes sehr unzweckmäßig ist. Besser ist dann schon — insbesondere für schnelle Handhabung — die Bewegung vom Körper weg, die durch Rückenstützung noch erleichtert werden kann. Am besten ist unter

⁵⁸⁾ Gerbis, a. a. O., S. 24.

⁵⁹⁾ Vgl. Giese, Objektpsychotechnik, Handbuch sachpsychologischer Arbeitsgestaltung.

⁶⁰⁾ Vgl. Bucerius, Grundlagen der rationellen Betriebsführung mit besonderer Berücksichtigung des Handwerks.

⁶¹⁾ Vgl. R. K. W.-Veröffentlichungen, insbesondere: Der Mensch und die Rationalisierung.

⁶²⁾ Taylor, Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung, S. 68.

⁶³⁾ Riedel, Arbeitskunde, S. 185 ff.

den gegebenen Umständen der Armzug auf den Körper zu⁶⁴). Bei beidhändiger Betätigung an Hebeln sind korrespondierende Bewegungen zweckmäßig und durch entsprechende Hebelanbringung zu ermöglichen. Die günstigste Hebellänge auszuprobieren, empfiehlt sich gleichfalls. Schulte und Villwock haben die Werkzeuggriffe und Hebel bestmöglichst zu gestalten versucht, indem sie einen festen Kern mit Ton umhüllten und so den Griff natürlich formen ließen⁶⁵). Die Abdrucksmethode, bei der die berußte Hand einen mit weißem Papier belegten Griff umfaßt, diente ihnen zur Ermittlung der zweckmäßigsten Dicke des Griffs. Um die Sicherheit der richtigen Bewegung zu verstärken, bringt man Tast- und Gelenkempfindungsmerkmale zur Anwendung. Endlich sorgt man noch für optische Sinnfälligkeit der Bewegung, indem man der Bedienungs- und Objektsbewegung gleiche Richtung gibt. Auch von der physiologischen Seite her hat man das Problem angepackt und der richtigen Körperhaltung, dem besten Stand oder Sitz Aufmerksamkeit geschenkt⁶⁶). Wenn trotz aller Verbesserungen die Rationalisierung entschiedener Ablehnung bei der Arbeitnehmerschaft begegnete, so lag das daran, daß diese Bestrebungen zumeist nicht durchgeführt wurden, um dem schaffenden Menschen sein Los zu erleichtern, sondern um den Ertrieb und damit den Ertrag zu steigern. Die Dividende der Aktionäre möglichst hoch zu gestalten, war nicht selten das Ziel. Im Jahre 1925/26 verteilten 206, im Jahre 1926/27 268 Gesellschaften mit rund 751 bzw. 1215 Millionen RM. Aktienkapital Dividenden über 10%⁶⁷). Vor dem Weltkriege waren rund 17% des dividendenberechtigten Aktienkapitals, d. h. 2261 Millionen Mark, in der gleichen glücklichen Lage⁶⁸). Die in den Zeitungen bekanntgewordenen besonders hohen Ausschüttungen trugen natürlich in steigendem Maße dazu bei, daß der Arbeiter alle Betriebsreform unter dem Gesichtspunkt der Ausbeutung durch den Kapitalismus betrachtete. Die von einsichtigen Unternehmungen gewährte Gewinnbeteiligung⁶⁹) konnte diese Entwicklung nicht aufhalten, ebensowenig wie die Bemühungen deutscher Arbeitswissenschaftler jeden Raubbau an menschlicher Kraft und Gesundheit unmöglich machten. Das überstürzte Tempo der Mechanisierung, die Stilllegung nicht mehr leistungsfähiger Betriebe zugunsten solcher, die mit geringem Aufwand ihren Ertrieb vergrößern konnten und die damit verbundene Freisetzung menschlicher Arbeitskraft, die die durch die weltwirtschaftliche Depression allenthalben herrschende Arbeitslosigkeit katastrophal vermehrte, steigerte die Mißstimmung. Dabei lagen und liegen die Dinge doch etwas anders, als sie dem notbedrängten Gemüt begreiflicher Weise erschienen. Gerade die Tatsache, daß es gelingen konnte, Millionen Arbeiter wieder in die Betriebe zu bringen, beweist ja auch, daß nicht die Rationalisierung alleinige Ursache der großen Erwerbslosigkeit war, sondern letzten Endes die Entstehung neuer Industrien im Auslande während und nach dem Kriege und die Absatzschwierigkeit im Welthandel die Hauptschuld tragen. — Bei der Reform der Baumethode, die Taylors Schüler G i l b r e t h durchführte, wurde zwar durch Verwendung eines mit der höher werdenden Mauer durch Hebeldruck zu hebenden Standgerüsts die vielfache Bückbewegung des Maurers alten Stils beseitigt und in der Zeiteinheit die dreifache Ziegelzahl verlegt, doch die dadurch erfolgende Ausschaltung von zwei Dritteln der gelernten Arbeiter durch die Heranziehung notwendig werdender Handlanger für das Zutragen und Stapeln der Ziegeln bzw. Bereitstellen des Mörtels wieder wettgemacht⁷⁰). Taylor beschäftigt acht Vorgesetzte, die die Arbeit verteilen und anleiten, die Zeiten und Kosten berechnen, für gutes Einvernehmen sorgen, auf die Normalgeschwindigkeit achten, die Instandhaltung der Maschinen besorgen, die richtige Arbeitsweise kontrollieren, Anweisungen erklären u. a. m.⁷¹). Wissenschaftliche

⁶⁴) Erisman und Moers, Psychologie der Berufsarbeit und der Berufsberatung, S. 26 ff.

⁶⁵) Schulte, Objektpsychotechnische Untersuchungen an Werkzeuggriffen.

⁶⁶) Gerbis, a. a. O., S. 21 f.

⁶⁷) Statistisches Jahrbuch für das Deutsche Reich 1928, S. 451.

⁶⁸) Statistisches Jahrbuch für das Deutsche Reich 1911, S. 417.

⁶⁹) Jentsch-Rose, Volkswirtschaftslehre, S. 421.

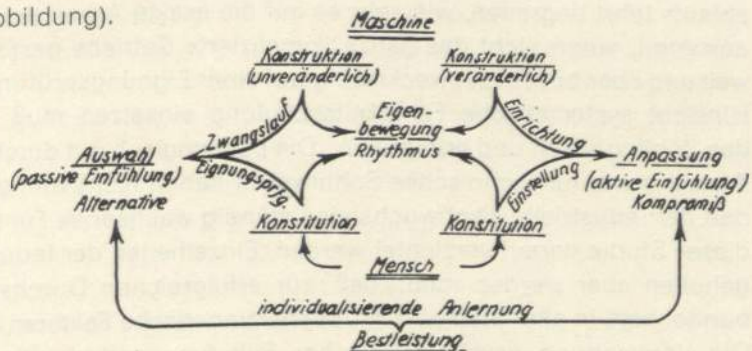
⁷⁰) Vgl. Taylor, a. a. O., S. 83 ff.

⁷¹) Ebenda, S. 132 f.

Betriebsführung sah und sieht keineswegs ausschließlich ihre Aufgabe in der Menschenersparnis. Sie ist aber durch die Zeitumstände in den schwer zu beseitigenden Verdacht gekommen, es zu tun. Die Maschine schien aus einem Helfer zum Verderber geworden zu sein. Die Tragik des Handweberschicksals schien sich auf die ganze deutsche Industrie auszubreiten. Alle Bemühungen zweckvoller Arbeitsvermittlungsorganisation, die in Deutschland wie nirgendwo so mustergültig die Erfahrungen der Vergangenheit auszuwerten verstand, blieben mehr oder weniger erfolglos. Der Jugend drohte das erschütternde Schicksal, am Ende der Lehrzeit statt in den Betrieb in die Arbeitslosenwartesäle einzutreten. Eine ungeheuerliche seelische Belastung mußten abertausende Deutsche durchmachen, die Jahr um Jahr arbeitslos blieben. Alle wertschaffende Arbeitslosenfürsorge blieb ein Tropfen auf den heißen Stein, bis der große Frontalangriff des Jahres 1933/34 gegen die Erwerbslosigkeit mit den großzügigsten Mitteln vorangetragen, von Erfolg zu Erfolg schritt und Millionen Verzweifelter wieder in Arbeit und Brot brachte. Damit war eines der wichtigsten seelischen Hemmnisse gesamtwirtschaftlichen Denkens und Handelns zum größten Teile beseitigt. Hoffnung und Vertrauen brachen sich Bahn. Die Probleme der Bestgestaltung der Arbeit erschienen in anderem Licht. Wettbewerbsfähigkeit durch Qualitätssteigerung im Kampf um den Weltmarkt mit allen Mitteln zu erringen, erscheint dem ungetrübten, kritischen Blick nunmehr als selbstverständliche Pflicht und die Lösung der bestmöglichen wechselseitigen Anpassung von Mensch und Maschine eine dringliche Notwendigkeit (vgl. nebenstehende Abbildung).

VIII.

Hillebrand definiert Arbeit als „bewußt sinnvolle auf einen Erfolg bzw. auf Verwirklichung von Werten gerichtete, von Gefühlen belebte und mit intellektuellen Vorgängen durchsetzte Tätigkeit des Menschen“⁷²⁾. Alle menschliche Arbeitsleistung wird also vom



Willen her nach Umfang und Güte bestimmt. Es kommt darauf an, im Menschen die Bereitschaft zur Einsetzung seiner Kräfte zu wecken. Darum hat sich die Berufserziehung von jeher bemüht. Teleologisch weist sie aus der natürlichen Abhängigkeit des einzelnen von zahllosen anderen, wie sie sich in der arbeitsteiligen Wirtschaft herausbildete, nach, daß niemand ohne die Hilfe der übrigen Volksgenossen leben kann, daß jeder Diener eines jeden ist, der der Volks- und Wirtschaftsgemeinschaft angehört, und darum ein naturrechtlicher, wechselseitiger Anspruch auf Dienstleistung nach bestem Können und Vermögen besteht. Wer selbst gute Dienste fordert, muß sie auch seinerseits bereit halten. Theologisch hat das Menschendasein nur Sinn und Zweck als gottgewollte Pflichterfüllung. Ein oberster Richter wird dereinst die Säumigen zur Verantwortung ziehen. Erbbiologisch ist den Blutgleichen ein natürlicher Trieb zur Hilfsbereitschaft untereinander eigen, der bisher unter uns Deutschen wenig zur Auswirkung kam, da das Rassebewußtsein der völkischen Zusammengehörigkeit systematisch unterdrückt wurde. So mußten die Bemühungen um eine ideelle Arbeitsgesinnung, die von Arnolds Institut für Arbeiterschulung⁷³⁾ (heute: Deutsches Institut für nationalsozialistische technische Arbeiterschulung) und den verschiedensten Wissenschaftlern ausgingen⁷⁴⁾, auf Ablehnung und -schulung) und den verschiedensten Wissenschaftlern ausgingen⁷⁴⁾, auf Ablehnung und Diskreditierung bei der Arbeiterschaft stoßen. Die rein materialistische Einstellung, die im Beruf nichts sah als den Broterwerb, brachte kein Verständnis für die religiös oder staatspolitisch verankerte Berufsethik auf, die von der Freude an der Kraftentfaltung her im Schaffen und Ringen

⁷²⁾ M. J. Hillebrand, Die Aktivität der Seele. Grundlagen der Arbeitspädagogik als Taterziehung.

⁷³⁾ Bäumer, Das Deutsche Institut für technische Arbeiterschulung.

⁷⁴⁾ Vgl. u. a.: Lent, Werksgemeinschaft.

mit dem Stoff und der Idee Arbeit nicht, wie einst der stolze römische Bürger, als eines Freien unwürdig ansieht, sondern für ehrenvoll hält und als freudig erbrachten Beweis der eigenen Leistungsfähigkeit auffaßt. Wahre Sportgesinnung, der es auf Erzielung einzelpersönlicher Höchstleistung als Ausfluß von Kraft, Gewandtheit, Entschlossenheit und Charakterfestigkeit ankommt, übertrug sich leider nicht von den Kampfbahnen in den Alltag der Werkstätten; sie war ja auch nicht immer auf den Wettspielfeldern vorhanden. Vor allem aber hatte man den Facharbeiternachwuchs und seine Ausbildung mehr oder weniger dem Zufall überlassen. Der Lehrling empfand die niederdrückende Fremdheit der Werkstatt, in die er mit der von der Schule gepflegten Pflichtauffassung schaffenseifrig eintrat, doppelt schwer, weil ihm als dem künftigen Konkurrenten auf dem Arbeitsmarkt Kälte, ja Feindseligkeit entgegnetrat.

Es kann nicht hoch genug gewertet werden, daß das Dinta mit diesen Faustregelmethoden einer unmethodischen, vom Vorarbeiter oder Gesellen widerwillig geleisteten Ausbildung des Nachwuchses brach und die industrielle Berufsausbildung planmäßig betrieb. Der entscheidende Grundsatz und Ausgangspunkt dabei war, in dem jungen Menschen Verständnis zu wecken für die Bedeutung seines eigenen künftigen Schaffens über die Zielsetzung der Betriebsrentabilität hinaus. Die Einführung in die wirtschaftlichen Verhältnisse des Vaterlandes mit all den Schwierigkeiten aus der Ungunst der Lage, der Knappheit der Rohstoffe und dem Druck des fremdländischen Wettbewerbs weitete den Blick. Die Schilderung des gesamten Fabrikationsablaufs lehrt begreifen, wie sehr es auf die exakte Arbeit jedes einzelnen unter der Belegschaft ankommt, wenn nicht das ganze komplizierte Getriebe gestört sein soll. Alle praktische Unterweisung aber baut sich zweckmäßig auf einer Eignungsprüfung auf, die erkennen läßt, in welcher Hinsicht systematische Fähigkeitsschulung einsetzen muß. Individuelle Anlernung⁷⁵⁾ fördert den Zögling rasch und erfolgreich. Die pädagogisch gut durchdachten Lehrpläne des Deutschen Ausschusses für technisches Schulwesen haben nicht weniger als das Dinta dazu beigetragen, daß der industrielle Nachwuchs eine ständig wachsende Förderung erfuhr. Es kann im Rahmen dieser Studie darauf verzichtet werden, Einzelheiten der Industripädagogik anzuführen, hervorgehoben aber werden muß, daß zur erfolgreichen Durchsetzung der Idee wahrer Werkverbundenheit, in aller Methodik gruppenerzieherische Faktoren lebendig gemacht werden müssen. Die Verwendung psychotechnischer Schulungsgeräte, die Ausführung Ruppsscher Zeichenübungen⁷⁶⁾, der gesamte praktische wie theoretische Unterricht sind auf den Nachweis der Abhängigkeit des Betriebserfolges von der Qualitätsleistung des einzelnen Arbeiters einzustellen. Wenn z. B. zur Schulung der Raumvorstellung Rybakowfiguren mit einem Strich so zu teilen sind, daß die Teile in der Zusammenlegung ein Quadrat ergeben, so läßt sich dabei leicht ein Wettbewerb veranstalten, wer die Lösung am raschesten findet. Man kann aber auch anregen, selbst solche Aufgaben auszudenken, und es wird sich zeigen, daß nur wenige Beteiligte dazu imstande sind. Diese Erfahrungstatsache beweist eindringlich die Verschiedenartigkeit der Befähigung und führt zur natürlichen Führerauslese. Während sonst in der Schule Zusammenarbeit als „Abschreiben“ verpönt war, wird die Lehrwerkstatt gegenseitige Hilfsbereitschaft fördern, indem sie ausdrücklich Gemeinschaftsarbeiten ausführen läßt, um das Erlebnis der Abhängigkeit von der Mitarbeit anderer besonders deutlich zu machen. Einfache Montagearbeiten im gleichen Zeitfortschritt, für die man sich das Material mit wenig Kosten herzustellen vermag, werden die etwaige künftige Bandarbeit gut vorbereiten und zugleich Gelegenheit geben, die für die Mechanisierung Ungeeigneten zu erkennen, um ihnen später im Betriebe zu einem ihrem Wesen entsprechenden vielseitigen und abwechslungsreichen Arbeitsplatz zu verhelfen. Planmäßige Menschenführung, um die Prof. Dr. Friedrich so zähe wie eindringlich verdienstvoll gerungen hat, denkt aber nicht nur an Fähigkeitsschulung mit Hilfe psychologischer Methoden, sie erfaßt den Werksangehörigen jeder Art bei der Arbeit, bei der Erholung, gibt ihm eine

⁷⁵⁾ Friedrich, Das Anlernen auf psychotechnischer Grundlage, Praktische Psychologie, Jahrgang 1922.

⁷⁶⁾ Rupp, Über Anlernverfahren, 9. Beiheft zum Zentralblatt für Gewerbehygiene und Unfallverhütung.

belehrende und unterhaltende Werkzeitung in die Hand⁷⁷⁾ und sucht durch die Art der Betriebsführung, bei Gefolgschaftszusammenkünften und jeder sich ergebenden Gelegenheit dem Gedanken der Werkverbundenheit zu dienen. Dazu gehört, daß man die Umweltverhältnisse der arbeitenden Menschen günstig gestaltet, den Maschinenraum hell macht und gut lüftet, den Wohnraum im Arbeitersiedlungshaus freundlich und gesund einrichtet. Dazu gehört auch, daß man unter offener Darlegung der Betriebsverhältnisse dem Arbeiter gibt, was er beanspruchen darf, ohne den Fortbestand des Unternehmens zu gefährden.

Letzten Endes kommt es auf die Gesinnung an, die Betriebsleiter und Gefolgschaft beseelt, um Werksgemeinschaft als Vorstufe der Volksgemeinschaft erstehen zu lassen.

Im Kleinen gilt für den Betrieb, was im Großen für die Gesamtwirtschaft der Nation andeutungsweise nachgewiesen wurde.

Der Erfolg ist abhängig von der psycho-physischen Leistungsfähigkeit und der weltanschaulich unterbauten Leistungswilligkeit des Einzelmenschen.

⁷⁷⁾ Th. Lüddecke, Nationalsozialistische Menschenführung in den Betrieben. Die Werkzeitung als Mittel der Wirtschaftsführung.

Die Messung von Dampf- und Dissoziationsdrucken bis etwa 3000° abs.

(Die Bildung und Zersetzung von Siliciumcarbid)

(Aus dem Anorg.-chem. Institut der T.H. und Universität Breslau)

Von Otto Ruff in Breslau

§ 1. Die Lage chemischer Gleichgewichte und ihre Veränderung im Gebiet hoher Temperaturen zahlenmäßig möglichst einwandfrei festzulegen, ist eine für die Forschungsarbeit der Gegenwart bedeutungsvolle Aufgabe. Einen Beitrag zu ihrer Lösung soll die nachstehende Arbeit über die Messung von Dampf- und Dissoziationsdrucken bringen; denn wo immer ein Dampf bzw. Gas in einem Stoffsystem als Reaktionsteilnehmer erscheint, ist sein Druck wesentlich für die Gleichgewichtslage.

Zur Messung solcher Drucke oberhalb etwa 1600° eignet sich das in unserem Institut in den letzten 15 Jahren entwickelte Federwaagenverfahren¹⁾. Bei diesem Verfahren wird der Gewichtsverlust eines an einer Federwaage im Ofen hängenden und mit Substanz beschickten Gefäßchens bei gleichmäßig ansteigender Temperatur verfolgt; das Gefäß ist bis auf ein kleines Loch geschlossen; ein bestimmter Druck der Ofenatmosphäre (Argon) wird konstant gehalten. Sobald der Dampfdruck der Substanz den Druck der Ofenatmosphäre überschreitet, siedet diese. Der Eintritt des Siedens gibt sich durch eine Richtungsänderung der Gewichtsverlust-Zeitkurve bei einer bestimmten Temperatur zu erkennen.

Einen geeigneten Kohlerohrwiderstandsofen für dieses Verfahren und den Einbau des Siedegefäßes an der Federwaage zeigen die beistehenden Abbildungen 1—3. Ihre Beschriftung macht eine nähere Beschreibung entbehrlich, zumal eine solche andern Orts²⁾ ausführlich erfolgt ist. Auch über die Einzelheiten der Ausführung des Verfahrens kann hier hinweggegangen werden³⁾. Es liefert zusammengehörige Temperatur-, Druck- und Gewichtszahlen in Abhängigkeit von zeitlichem Temperaturanstieg des Ofens. Die verschiedenen Möglichkeiten ihrer Auswertung für die Feststellung des Siedebeginns beim Druck der Ofenatmosphäre hat J. Fischer überprüft und besonders zuverlässig die Auswertung der bereits erwähnten Gewichtsverlust-Zeitkurve (bzw. Verdampfungsgeschwindigkeit-Zeitkurve) gefunden⁴⁾.

Wo die Grenzen der Brauchbarkeit des Verfahrens liegen, mag ein Beispiel zeigen, das wir einem unserer Arbeitsgebiete: der „Chemie der hohen Temperaturen“ entnehmen. Man mag aus ihm ersehen, wie mühsam gerade

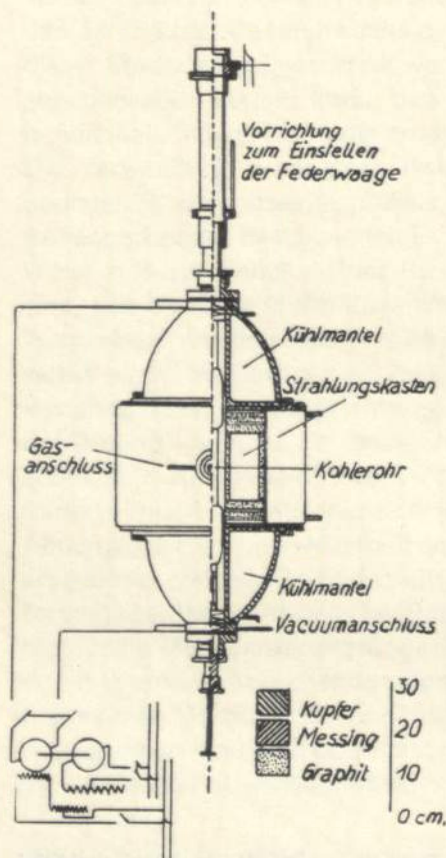


Abb. 1
Kohlerohrwiderstandsofen

¹⁾ Otto Ruff und B. Bergdahl, Z. anorg. u. allgem. Chem. 106 (1919) 76.

²⁾ Otto Ruff, Z. f. angew. Chem. 42 (1929) 807. — Joh. Müller, Dissertation Breslau 1929.

³⁾ s. z. B. Otto Ruff und Leon le Boucher, Z. anorg. u. allgem. Chem. 219 (1934) 376.

⁴⁾ Jos. Fischer, Z. anorg. u. allgem. Chem. 219 (1934) 367.

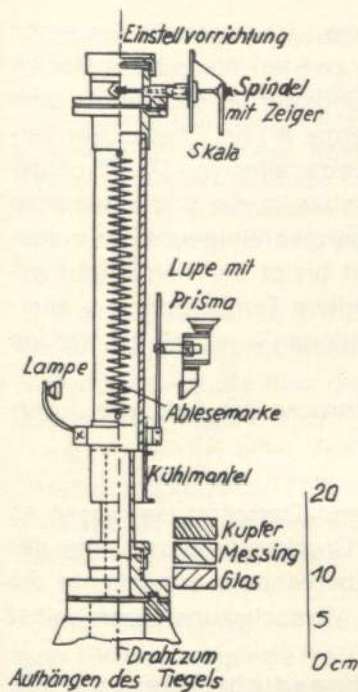


Abb. 2
Einbau der Federwaage

in diesem Gebiet um den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt gekämpft werden muß.

Das Beispiel betrifft die Zersetzung des Siliciumcarbids (Carborundums) in Silicium und Graphit. Die Mitarbeiter bei dessen Behandlung waren M. Kenschak⁵⁾ und P. Grieger⁶⁾. Beide haben das Ergebnis ihrer Arbeiten in Dissertationen ausführlich niedergelegt; in gekürzter Form hat es seinen Niederschlag zum Teil auch schon in der Literatur gefunden⁵⁾. Die Erstbearbeitung des Gegenstandes war das Verdienst M. Kenschaks; die Aufgabe P. Griers war, das von M. Kenschak gesammelte experimentelle und theoretische Material zu vertiefen, zu erweitern und zu sichern. Die Neubearbeitung durch Herrn Grieger war wünschenswert geworden, weil die Verfahren der Temperatur- und Gewichtsmessung in der Zwischenzeit wesentlich verbessert worden waren und weil Einzelheiten der analytischen Bearbeitung durch M. Kenschak Bedenken ausgelöst hatten, die behoben werden mußten⁷⁾.

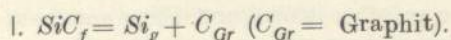


Abb. 3
Heizrohr mit Einsatzkegel und Doppelkegeltiegel

Die Bildung und Zersetzung von Siliciumcarbid (Carborundum)

(Dissoziationsdruck von SiC , Dampfdruck von Si und Bildungswärme von SiC etc.)

§ 2. Die Aufgabe: In Anbetracht der technischen Bedeutung des SiC und des Umfangs seiner Fabrikation ist die Frage nach den Bedingungen seiner Bildung und Zersetzung naturgemäß von Interesse. Die Zersetzung (Dissoziation) wird erst bei etwa 2500° abs. und mit Drucken merklich, bei denen das entstehende Silicium gasförmig, der Graphit und das SiC aber fest sind entsprechend der Gleichung:



Sie wird durch die „Dissoziationsdrucke“ des Si -Dampfes über der unzersetzten Substanz in dem fraglichen Temperaturgebiet gekennzeichnet. Die Bestimmung der Drucke ist auf zwei Wegen möglich: Man ermittelt das Temperaturgebiet, in welchem die Zersetzung des Stoffs in merkbarem Umfang statthat und mißt die Dissoziationsdrucke direkt (§ 6—7) oder aber man ermittelt die Bildungswärme des Stoffs in dem in Frage kommenden Temperaturgebiet und errechnet aus dieser die Zersetzungsdrucke für die Temperaturen, in denen die Drucke meßbare Beträge erreichen (§ 8—9). Die gemessenen oder berechneten Zersetzungsdrucke mit den zugehörigen Temperaturen zeigen die obere Begrenzung des Temperatur-Druckgebiets, in dem der Stoff bestehen kann.

⁵⁾ O. Ruff und M. Kenschak, Z.f. Elektrochem. 32(1926)516. — M. Kenschak, Dissertation T.H. Breslau 1927.

⁶⁾ P. Grieger, Dissertation, T.H. Breslau 1934/35 im Druck. Die Einzelheiten zu unserem Beispiel mögen hier nachgelesen werden.

⁷⁾ Außerdem hatten in der Zwischenzeit auch E. Baur und R. Brunner in der Z.f. Elektrochemie 38 (1932) 55 eine Untersuchung über die Bildungswärme des SiC veröffentlicht, die zu einem von dem unserigen (~ 25 kcal) abweichenden Wert (36,4 bis 39 kcal) geführt hatte. Die möglichen Ursachen für die Abweichung bzw. Mängel der Versuchsanordnung dieser Autoren sind in P. Griers Dissertation⁶⁾ behandelt und brauchen hier nicht wiederholt zu werden.

Wir haben für das SiC beide Wege beschritten, in der Erwartung, das Ergebnis des einen mit dem des anderen vergleichen zu können. Das Beschreiten des zweiten Wegs hatte freilich noch mancherlei weiteres zur Voraussetzung: Die erwähnte Bildungswärme des SiC in dem Temperaturgebiet der Zersetzung W_T setzt sich aus der Bildungswärme W_0 bei 0° abs., der Verdampfungswärme λ_0 des Si bei 0° abs. und der algebraischen Summe aller von $0-T^0$ umgesetzten Wärmen zusammen. Bei Zimmertemperatur direkt bestimmbar ist die Bildungswärme W_{293} und daraus zuverlässig abzuleiten auch W_0 . Aus guten Messungen einigermaßen zuverlässig zu extrapolieren sind die spezifischen Wärmen. Unbekannt bleibt die Verdampfungswärme λ_0 des Si , welche aus den Dampfdrücken des Si für verschiedene Temperaturen — allerdings wieder nur mit Hilfe verschiedener Annahmen und Extrapolationen — abgeleitet werden kann.

Es waren also für den zweiten Weg neben W_0 auch die Dampfdrucke des Siliciums zu ermitteln, um aus diesen das eben erwähnte λ_0 berechnen zu können.

§ 3. Die Messungen. Bei der Messung der Dissoziations- und Dampfdrucke waren es nicht so sehr die Schwierigkeiten zuverlässiger Temperatur- und Druckbestimmung oder der Aufrechterhaltung eines konstanten Temperaturfeldes — sie zu überwinden, ermöglichte die Arbeitstradition im Institut — als die Schwierigkeiten, welche die Versuchssubstanzen selbst mit sich brachten.

Zunächst handelte es sich darum, für die Substanzen möglichst gasdichte Siedegefäße zu finden, welche den hohen Temperaturen und dem chemischen Angriff durch das flüssige bzw. gasförmige Silicium zugleich widerstanden. Wir fanden keine andere Möglichkeit, als das Silicium aus Siliciumkarbid- bzw. Karborundumtiegeln und das Karbid aus glasierten Graphittiegeln zu verdampfen⁸⁾.

Wie Jos. Fischer⁹⁾ in unserem Institut gezeigt hat, ist der Zeitpunkt des Aufwallens bzw. Siedens von Metallen in porösen Graphittiegeln bei dem Druck der Ofenatmosphäre von dem Umfang und der Art der Porigkeit des Siedegefäßes, der Molekulargröße des den Ofen erfüllenden Gases und seiner Strömungsgeschwindigkeit in der Nähe des Siedegefäßes abhängig. Die „Effusion“ des durch die feinsten Poren der Wand dringenden Gases, allerdings verbunden mit einer Rückströmung durch die gröberen Poren, bringt zu dem Dampfdruck der erhitzten Substanz an der Tiegelwand einen zusätzlichen Druck, der hier den Druck der Ofenatmosphäre schon unterhalb der wahren Siedetemperatur mit Aufwallen überwinden läßt. Die Metalle, welche J. Fischer untersucht hat, benetzten Graphit sämtlich nicht, und die Möglichkeit der Effusion des Gases zwischen Metall und Tiegelwand war dadurch gegeben.

In unserem Fall besitzt das flüssige Silicium eine so große Oberflächenaffinität zum Siliciumkarbid der Ofenwand, daß es alle in ihr eventuell vorhandenen Poren füllt, und zwar mit erheblicher Kapillarkraft. Eine Effusion des Ofengases ist darum selbst in etwas porösen Karborundumtiegeln nicht möglich und ein verfrühtes Aufwallen bzw. Sieden aus diesem Grund nicht zu erwarten.

Die Herstellung der von M. Korschak verwendeten silicierten Tiegel haben wir bereits beschrieben¹⁰⁾. Sie waren zwar gasdicht, hatten aber den Nachteil, daß das flüssige Silicium darin an den Wänden hoch und über den Rand weg oder durch das Deckelloch nach außen kroch und hier verdampfte; der Dampf wurde an der Außenseite von der Ofenatmosphäre weggeführt. Von einer gewissen Temperatur ab wurde der minutliche Gewichtsverlust trotzdem eine Zeitlang praktisch konstant. Aber der zu dieser Temperatur gehörige Dampfdruck des Karbids war natürlich kleiner als der des Ofengases, der allein abgelesen werden konnte und als $\lg p_{Si}$ auch in Tafel 4 (s. u.) verzeichnet ist.

⁸⁾ Aluminiumoxyd und Zirkondioxyd z. B. setzen sich mit Silicium schon oberhalb 1500° derart um, daß SiO_2 und eine Al - bzw. Zr -Legierung mit Si gebildet wird. Die Zusammensetzung einer derart gebildeten Legierung war z. B. 57,7% Si und 42,3% Al . — In Tiegeln aus Wolfram oder Tantal entsteht Wolfram- bzw. Tantalsilicid.

⁹⁾ Jos. Fischer, Z. anorg. u. allgem. Chem. 219 (1934) 1.

¹⁰⁾ O. Ruff und M. Korschak, Z. f. Elektrochem. 32 (1926) 516.

Die von P. Grieger hergestellten Tiegel waren porös: Grieger bettete Graphittiegel in ein Gemisch von 3 Teilen *SiC* und ein Teil *Si*-Pulver in einem größeren Kohlegefäß fest ein, und glühte sie bei 1800°. Die so eingeleitete Silicierung wurde bei 1 mm Wandstärke in etwa 5' vollständig, bei größeren Wandstärken mußte länger und öfters siliciert werden. Trotz ihrer Porosität erschienen die Tiegel für unseren Zweck geeigneter als diejenigen Kenschaks. Das flüssige Silicium kroch nicht aus; dank seiner Affinität zum Karbid der Tiegelwand füllte es, wie schon bemerkt, deren Poren. Das flüssige Silicium konnte aber aus der Wand heraus verdunsten und dadurch die Messungen beeinträchtigen bzw. uns zu tiefe Siedetemperaturen finden lassen. Die Unsicherheit erschien zunächst von geringerer Bedeutung, und wir haben sie in Kauf genommen.

Die glasierten Graphittiegel¹¹⁾ für das Verdampfen des festen *SiC* waren bei beiden Herren etwa gleich dicht, aber auch nicht vollkommen. Der in diesen Graphittiegeln festgestellte Dampfdruck mußte also gleichfalls nahe dem wirklichen und nur in einigen weniger dichten über diesem liegen.

Indem wir bei allen Versuchen die Art, Form und Wandstärke der Gefäße und ebenso die Geschwindigkeit des Temperaturanstiegs und des den Ofen durchziehenden Gasstroms möglichst konstant hielten, blieben die Druckwerte trotz der Unvollkommenheit der Siedegefäße reproduzierbar und vergleichbar — und offensichtlich in immer ähnlichem Verhältnis zu den wahren.

§ 4. Die Reinheit der Karbids: Eine andere Erschwerung der Arbeit brachte der niemals voll befriedigende Reinheitsgrad des Karbids. Wir haben viele Mühe darauf verwendet, ihn zu steigern. Eine der besten Karbidproben hatte z. B. die Zusammensetzung:

SiC 98,1%; *C_{Gr}* 0,87%; *Fe* 0,33%; *Al* 0,1%; *Ca* 0,14%.

Der Einfluß der an sich nur geringfügigen Verunreinigungen auf das Ergebnis der Versuche kam vor allem vom Graphitgehalt. Obwohl nur gering, vergrößerte er in merkbarer Weise die kleine Menge Graphit, welche im Rückstand von dem beim Verdampfen zerfallenden Karbid blieb. Der Graphit in dem Rückstand war aber das einzige Maß für den Umfang des Zerfalls, und damit zugleich auch des in den Dampf übergegangenen Siliciums. Der Einfluß der anderen Verunreinigungen auf das Ergebnis war geringer. Aluminium, Calcium und Eisen wurden zum größten Teil verflüchtigt, als das Verdampfen begann; sie verminderten also vor allem die Größe der Einwaage, allerdings wegen ihrer eventuellen Bindung an Sauerstoff zugleich auch ein wenig die Graphitmenge im Rückstand. Da diese Verminderung aber unterhalb des Fehlerbereichs der Versuche lag, blieb sie unberücksichtigt.

Nur der Graphitgehalt wurde so exakt als möglich berücksichtigt.

§ 5. Die Zusammensetzung des Dampfes: Eine dritte, von Kenschak nicht berücksichtigte Schwierigkeit brachte der Umstand, daß beim Erhitzen des *SiC* auf eine bestimmte Temperatur (bei der die Zusammensetzung des unter gegebenem Druck gebildeten Dampfes festgestellt werden sollte) bereits während der Anheizperiode Dampf gebildet wurde — also bei niedrigerer Temperatur und, wie sich zeigen wird, auch entsprechend geringerem Gehalt an *SiC*. Grieger hat versucht, diesen Fehler durch eine Bestimmung der Korrekturgrößen bestmöglich auszugleichen.

Zu dem Zweck wurde eine Reihe von Sonderversuchen gemacht, bei denen das Karbid unter den gleichen Bedingungen wie im Hauptversuch, aber nur bis zu derjenigen Temperatur erhitzt wurde, bei der es im Hauptversuch innerhalb 15 oder 30 Minuten verdampft werden sollte. Der Rückstand von diesen Sonderversuchen wurde analysiert und ausgewertet, das Ergebnis bei der Auswertung der Hauptversuche sachgemäß berücksichtigt. Die Sonderversuche lieferten die in Tafel 1 mitgeteilten Zahlen für die „Vorperiode“ der Verdampfung. Sie ermöglichten bei den Hauptversuchen die Berechnung der Zahlen der „Hauptperiode“; denn die Menge der bis

¹¹⁾ O. Ruff und P. Schmidt, Z.f. anorg. Chem. 117 (1921) 174 und Dissertation von P. Grieger, Breslau 1935.

zum Beginn der Hauptperiode verdampften Substanz ließ sich ohne weiteres am Stande der Federwaage ablesen.

§ 6. Die Versuchszahlen: In den beiden folgenden Tafeln I und II sind die von Grieger ermittelten und in der oben angegebenen Weise definierten Dissoziations- bzw. Dampfdrucke mit den zugehörigen Temperaturen, einerseits für das Siliciumkarbid (Tafel I), andererseits für das Silicium (Tafel II) zusammengestellt. Die Tafel I enthält daneben noch Angaben über die Zusammensetzung der Dämpfe über SiC . in Gewichtsprozenten für die Vorperiode und in Volumprozenten für die Hauptperiode; aus ihr sind die Partialdrucke p_{Si} und p_{Si_2} berechnet worden.

Der Ausgang für die Ermittlung der Zusammensetzung der Dämpfe aus SiC war die Beobachtung, daß der bei der Bildung von Si -Dampf entstehende Graphit bei den Versuchstemperaturen einen so kleinen Dampfdruck hat, daß er vernachlässigt werden kann. Es genügte darum, nach Beendigung des Versuchs im Rückstand nebeneinander die Menge des gebildeten Graphits und die des nicht verdampften SiC zu bestimmen (eine im übrigen recht schwierige analytische Arbeit), um das Gewichtsverhältnis $Si-SiC$ im entwickelten Dampf zu bekommen. Das Volumverhältnis bzw. die Partialdrucke für das Si ließen sich daraus unter der Voraussetzung einer bestimmten Molekulargröße des Si_g berechnen; wir haben sie in der vorletzten Vertikalreihe monoatomar, in der letzten diatomar angenommen.

Tafel 1

Druck und Zusammensetzung der Dämpfe aus SIC fest

Temp. T abs.	Druck ges. p mm	Dampf der Vorperiode		Dampf der Hauptperiode		p_{Si} mm	p_{Si_2} mm
		gr	Gew. % Si	gr	Mol % Si		
2565	2,7	0,0334	66,1	0,1569	39,4	1,064	0,66
2578	3,1	0,0335	65,1	0,1588	39,8	1,234	0,76
2595	—	—	—	—	40,0	1,54	0,96
2662	11,3	0,0342	59,1	0,1619	41,0	4,63	2,91
2705	—	—	—	—	33,7	7,9	4,76
2809	111	0,0536	49,3	0,1291	14,1	15,7	8,45
2855	—	—	—	—	7,9	18,0	9,3
2860	224	0,1012	46,4	0,2276	6,3	14,1	7,3
2900	389	0,0767	44,0	0,1133	7,2	27,2	14,2
2951	760	0,0724	41,0	0,0929	4,7	35,7	18,3

Tafel 2

Druck des Dampfes von Si

Temp. T abs.	Druck p mm	Temp. T abs.	Druck p mm
2269	20,5	2369	68,1
2274	19,2	2376	71,7
2279	27	2436	146
2284	26,4	2440	149
2307	32,5	2449	145
2312	29,7	2593	750
2319	35,1	2594	752
		2615	753

Zu Tafel 2: Die Drucke gelten für flüssiges Silicium, da dieses bei $\sim 1414^{\circ}$ C schmilzt. Sie lassen sich mit der Temperatur in der Gleichung:

$$\log p_{Si} = 13,536 - 0,278 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{T}$$

verbinden. Die Gleichung ergibt für $\log p_{Si} = 2,8808$, d. h. für Atmosphärendruck die Siedetemperatur $\sim 2610^{\circ}$ abs. = $\sim 2340^{\circ}$ C.

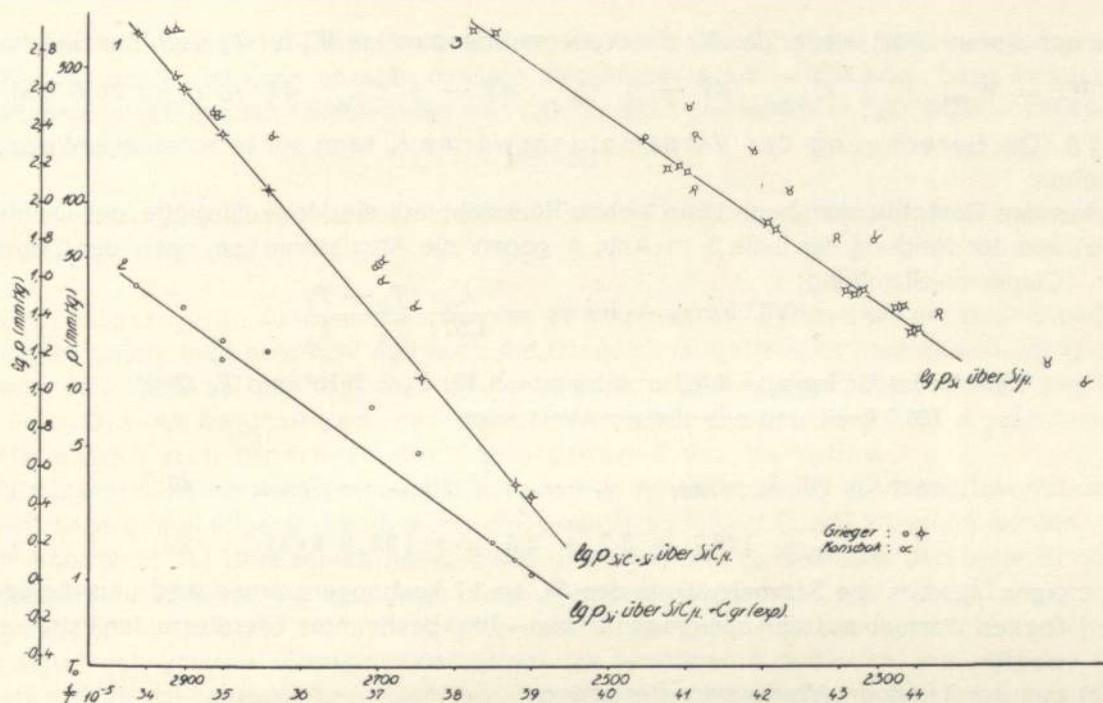


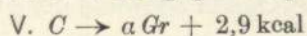
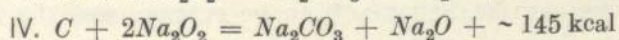
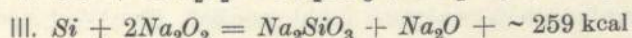
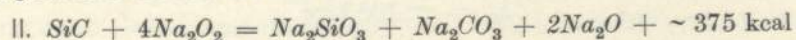
Abb. 4

§ 7. Die Abb. 4: Die Zahlen für $\frac{1}{T} \cdot 10^{-5}$ und $\log p$ nach den Tafeln 1 und 2: erstens für den Gesamtdruck des $SiC-Si$ -Dampfes, zweitens für die Partialdrucke der Si -Dämpfe über festem SiC , drittens den Druck des Si -Dampfes über reinem flüssigen Si , haben wir in dem beistehenden Diagramm (Abb. 4) vereint und in erster Annäherung durch die geraden Linien 1—3 verbunden. Entlang Linie 3 haben wir auch die durch Kreise gekennzeichneten Werte von M. Konschak für die Dampfdrucke des flüssigen Si eingezeichnet; ebenso entlang Linie 1 dessen Werte für den Gesamtdruck des $SiC-Si$ -Dampfes¹²⁾.

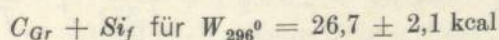
§ 8. Die Berechnung der Dissoziationsdrucke des SiC („zweiter Weg“ s. § 2) hatte, wie schon bemerkt, neben der Kenntnis der Bildungswärme W_0 des SiC auch diejenige der aus der Dampfdruckkurve abzuleitenden Verdampfungswärme λ_0 des Si zur Voraussetzung.

Die Ermittlung der Bildungswärme des SiC bei Zimmertemperatur (W_{296}^0) gelang, kurz berichtet, wie folgt¹³⁾:

SiC , Si und Graphit wurden mit Na_2O_2 und Sauerstoff in der kalorimetrischen Bombe verbrannt. Die Verbrennungen lieferten die Wärme



In den Gleichungen IV und V bedeutet C eine sehr reine Kohlenstoffform („Velvetex“), welche entsprechend Gleichung V um 2,9 kcal reicher war als α -Graphit. Aus den Gleichungen II—V folgte für die Reaktion:



¹²⁾ Konschaks Werte für die Partialdrucke des Si -Dampfes über SiC sind bezüglich der in der Vorperiode entwickelten Dampfmenen von $SiC + Si$ nicht korrigiert, deshalb für einen Vergleich mit den Zahlen zu Linie 2 nicht brauchbar.

¹³⁾ Bezüglich der Einzelheiten s. O. Ruff und P. Grieger, Z. anorg. u. allgem. Chem. 211 (1933) 145.

und aus diesem Wert wieder das für die Weiterrechnung nötige W_0 für T_0 nach der Gleichung:

$$\text{VI. } W_0 = W_{296} + \int_0^T C_{p_{SiC}} \cdot dT - \int_0^T C_{p_C} \cdot dT - \int_0^T C_{p_{Si}} \cdot dT \text{ zu rund } 26,5 \text{ kcal.}$$

§ 9. Die Berechnung der Verdampfungswärme λ_0 kann auf verschiedene Weise geschehen:

A. Aus den Dampfdrücken nach Linie 3 ohne Rücksicht auf die Molekulargröße des Dampfes.

a) aus der Neigung der Linie 3 in Abb. 4 gegen die Abszissenachse nach der Clausius-Clapeyron-Gleichung:

$$\text{VII. } \log p_2 - \log p_1 = \frac{\lambda_s}{4,571} \frac{T_2 - T_1}{T_2 \cdot T_1}$$

Man findet für $\log p_2 = 2,881$ und $\log p_1 = 1,45$; $T_2 = 2610^\circ$ und $T_1 = 2300^\circ$:
 $\lambda_{T_2} = 126,7 \text{ kcal}$, und aus diesem Wert folgt

$$\text{nach Gl. VIII } \lambda_0 = \lambda_{T_2} + \lambda_e - \int_0^{T_2} (C_{p_{Gas}} - C_{p_{Kond}}) \cdot dT$$

$$\lambda_0 = 126,7 + 3,7 + 2,5 = \sim 132,9 \text{ kcal}$$

wenn λ_e , d. h. die Schmelzwärme des Si , zu $3,7 \text{ kcal}$ angenommen wird und die spezifischen Wärmen aus den allerdings nur bis ~ 1000 bestimmten Literaturzahlen extrapoliert werden.

b) aus der Trouton-v.-Wartenberg-Beziehung:

$$\text{IX. } \frac{\lambda_{T_s}}{T_s} = 7,4 \log T_s + 1,985$$

Man findet für $T_s = \sim 2610^\circ$

λ_{T_s} zu etwa 71 kcal , und damit

$$\lambda_0 = \sim 77 \text{ kcal.}$$

B. Wie unter A, aber unter Berücksichtigung der Molekulargröße des Dampfes:

a) Ist der Si -Dampf einatomig und entspricht er den Bedingungen für ein ideales Gas, so kann die Formel Nernsts Verwendung finden:

$$\text{X. } \lambda_0 = 4,571 T \left[2,5 \log T - \frac{1}{4,571} \int_0^T \frac{dT}{T^2} \int_0^T C_{p_{Si}} \cdot dT - \log p_{Si} + J \right]$$

Der Wert der Konstanten J ist nach der erweiterten Formel von W. Schottky¹⁴⁾

$$J = 1,587 + \log M + \log g_E = \sim 1,50$$

Mit dieser Konstanten errechnet sich nach X z. B. für 2500° und $\log p_{Si} = 0,45$

$$\lambda_0 = \sim 103 \text{ kcal.}$$

b) Ist das Si im Dampf zweiatomig, so ist es nicht möglich, den Wert der Konstanten J nach der erweiterten Formel von W. Schottky¹⁴⁾ zu berechnen, weil die Schwingungsenergie, Trägheitsmomente, Symmetriezahl und das Quantengewicht der Si_2 -Moleküle unbekannt sind.

C. Aus den Partialdrücken des Si über dem festen SiC auf Grund der Gleichung:

$$\text{XI. } W_0 = 4,571 T \left[-\log p_{Si} + 2,5 \log T + \frac{1}{4,571} \int_0^T \frac{dT}{T^2} \int_0^T C_{p_C} dT - \right. \\ \left. - \frac{1}{4,571} \int_0^T \frac{dT}{T^2} \int_0^T C_{p_{SiC}} \cdot dT + J \right]$$

¹⁴⁾ W. Schottky, Phys. Z. 22 (1921) 1; 23 (1922) 9.

für den Fall, daß der Si -Dampf monoatomar ist; denn das W_0' dieser Gleichung ist gleich $W_0 + \lambda_0$ und W_0 ist nach unseren direkten Messungen in § 8 $\sim 26,5$ kcal. Setzt man für J entsprechend B a) oben 1,50, so findet man z. B. für 2900° und $\log pSi = 1,50$: $W_0 = \sim 128,5$ kcal und daraus

$$\lambda_0 = \sim 102 \text{ kcal.}$$

Für zweiatomiges Silicium ist auch in diesem Falle eine Berechnung der Verdampfungswärme z. Zt. nicht möglich.

§ 10. Folgerungen zu § 8 und 9: Aus der Ähnlichkeit der λ_0 -Werte, die wir nach B und C berechnet haben, folgt natürlich, daß auch die Dissoziationsdrucke nach Gleichung XI berechnet, sehr nahe bei den experimentell bestimmten liegen müssen. Dies ist auch wirklich der Fall. Die Abweichungen der berechneten und experimentell gefundenen Werte halten sich innerhalb der Fehlergrenzen der Versuche.

Damit erscheint die Aufgabe, welche wir uns mit der Berechnung der Dissoziationsdrucke gestellt haben, befriedigend gelöst, wenn die λ_0 -Werte zu B und C in § 9 benützt werden. Es bleibt aber noch der Unterschied der λ_0 -Werte unter A a) und b) einerseits und unter B und C andererseits zu erklären. Die Grundlage unserer Rechnung für B und C war nur die Temperaturhöhenlage der Linien 2 und 3, unabhängig von deren Neigung zur Abszissenachse. Diese Höhenlage kann nach unseren sonstigen Erfahrungen bei derartigen Arbeiten im ungünstigsten Fall um etwa 60° falsch gefunden sein. Dementsprechend ist auch die Neigung der Linie 3 nur innerhalb dieser $\sim 60^\circ$ der möglichen Versuchsfehler wegen veränderlich. Tatsächlich genügt die Hälfte dieser Temperaturspanne, um die Neigung der Linie 3 in ungefähr der gleichen Höhenlage soweit zu verändern, daß sie einem λ_0 -Wert von ~ 102 kcal entspricht. Dagegen ist eine Verschiebung der Temperaturhöhenlage derart, daß sie entsprechend A b) im § 9 ~ 77 kcal liefern könnte, ausgeschlossen¹⁵⁾. Daraus folgt, daß die Trouton-v.-Wartenberg-Beziehung IX auf die Verdampfung des Siliciums nicht anwendbar ist. Beim Übergang von Si_{II} in Dampf muß ein zusätzlicher Wärmebetrag zu der reinen Verdampfungswärme treten, der durch einen Zerfall assoziierter Flüssigkeitsmoleküle in einfache Gasmoleküle veranlaßt sein dürfte.

§ 11. Schluß: Nach dieser Annahme besteht zwischen dem experimentellen Ergebnis unserer Arbeit und den Forderungen der thermodynamischen Grundgesetze kein Widerspruch mehr; es ist deshalb verständlich, daß sich der experimentelle Befund unserer Arbeit auch mit den Erfahrungen der Praxis deckt, die bei der Fabrikation des Karborundums gemacht worden sind. Die diesbezüglichen Ausführungen, welche ich im Anschluß an M. Korschaks Arbeit gemacht habe¹⁶⁾, behalten somit ihre Geltung.

Die Dampf- bzw. Zersetzungsdrucke des Karborundums (SiC) überschreiten 1 mm Hg erst oberhalb $\sim 2500^\circ$ abs und erreichen 760 mm Druck erst gegen 2950° (s. Linie 1). Der Dampf über SiC entsprechend Linie 2 besteht bei 2950° zu $\sim 95\%$ aus SiC und 5% aus Si ; bei 2550° zu $\sim 60\%$ SiC und 40% Si . Mit sinkender Temperatur nimmt der Dissoziationsgrad des SiC -Dampfes also zu. Der an sich nur geringe Dampfdruck des SiC bei 2500° macht die Verwendbarkeit des SiC als feuerfestes Material verständlich.

Der Dampfdruck des reinen Siliciums (s. Linie 3) ist bei gleicher Temperatur so vielmal größer als der Partialdruck des Si über SiC (s. Linie 2), daß Graphit neben Si -Dampf nicht bestehen kann, ohne SiC zu bilden, sobald der Platzwechsel der Kohlenstoffatome im Graphit rasch genug möglich ist.

Die Bildungsenergie des SiC beträgt nach unserer direkten Bestimmung bei Zimmertemperatur $26,7 \pm 2$ kcal. Einem Wert von $25-27$ kcal entspricht auch der Unterschied der Temperatur-

¹⁵⁾ 102 kcal entspräche eine Siedetemperatur des Si von $\sim 3700^\circ$ abs. gegenüber $\sim 2610^\circ$ gef.

¹⁶⁾ Z. f. Elektr. 32 (1926) 516.

höhenlage der Linien 2 und 3 in Abb.4; man kann sich davon überzeugen, indem man W_0 nach Gleichung IX mit den Si -Drucken der Tafel I und der Konstante $J = 1,50$ berechnet. Eine weitere Bestätigung haben unsere Werte in der letzten Zeit auch durch H. v. Wartenberg¹⁷⁾ gefunden, der Silicium, Graphit und Siliciumcarbid im Fluorstrom verbrannt und $\sim 31 \pm 6$ kcal gefunden hat.

Zusammenfassung: Den Bedürfnissen praktischer Nutzenanwendung ist mit dem Ergebnis der Arbeit genügt. Die Grundlage für weitergehende theoretische Schlüsse kann sie nicht werden; dazu ist die Fehlerbreite der ermittelten Zahlen zu groß. Wohl aber wird man in ihr für die Entwicklung der Versuchstechnik im Gebiet hoher Temperaturen eine Reihe von Erfahrungen finden, die sich vor allem dann nützlich erweisen werden, wenn die Dampfdruckkurve für das Silicium nochmals und das Molekulargewicht des Siliciumdampfes neu bestimmt werden sollen.

Anorganisch-chemisches Institut der Technischen Hochschule Breslau.

¹⁷⁾ Z. f. anorg. u. allgem. Chem. 211 (1933) 222. Herrn von Wartenbergs Wert ist etwas zu groß, weil man beim Verbrennen von SiC in Fluor mehr ungesättigte Kohlenstofffluoride erhält, als beim Verbrennen von Graphit.

Zur Theorie der höheren algebraischen Ortskurven der Wechselstromtechnik

Von Johannes Schammel in Breslau

A. Allgemeine Grundlagen

1. Ziel der Arbeit

Bei der symbolischen Behandlung der Ortskurven in der Wechselstromtechnik tritt nächst der gebrochen linearen Funktion

$$\mathfrak{B} = \frac{\mathfrak{A}_0 + \mathfrak{A}_1 \sigma}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma}, \quad (1)$$

die einen Kreis oder eine Gerade darstellt, am häufigsten die gebrochen quadratische Funktion

$$\mathfrak{B} = \frac{\mathfrak{A}_0 + \mathfrak{A}_1 \sigma + \mathfrak{A}_2 \sigma^2}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2} = \frac{\tilde{f}_a(\sigma)}{\tilde{f}_b(\sigma)} \quad (2)$$

auf, welche zu rationalen Kurven bis zur 4. Ordnung führt. Dabei sind $\tilde{f}_a(\sigma)$ und $\tilde{f}_b(\sigma)$ ganze rationale Funktionen von σ mit konstanten komplexen Koeffizienten $\mathfrak{A}_\nu, \mathfrak{B}_\nu$ ($\nu = 0, 1, 2$), während der variable Parameter σ nur reelle Werte (einschl. des uneigentlichen Wertes ∞) annehmen soll; die abhängig variable komplexe Zahl \mathfrak{B} stellt den vom Ursprung des Koordinatensystems ausgehenden Vektor dar, dessen Endpunkt die betrachtete Ortskurve beschreibt.

Im allgemeinen stellt, je nach den Werten der Koeffizienten, Gleichung (2) eine rationale bizirkulare Quartik, eine rationale zirkulare Kubik oder einen Kegelschnitt (mit Ausnahme des Kreises) dar. Unter gewissen Bedingungen können jedoch diese Kurven zu Doppelkreisen, Doppelgeraden oder Teilen derselben entarten; auch ist es bisweilen möglich, Gleichung (2) auf eine Funktion niedrigeren Grades zurückzuführen, so daß sich nur ein einfacher Kreis, eine einfache Gerade oder ein Punkt ergibt.

Während nun das durch Gleichung (1) gegebene „Kreisdiagramm“ in einer überaus großen Zahl von Veröffentlichungen untersucht und daher weitgehend geklärt ist, ist die Theorie der durch Gleichung (2) dargestellten Ortskurven noch nicht abgeschlossen. Zwar sind durch eine Reihe von Arbeiten, insbesondere die Werke von O. Bloch, W. Michael und G. Hauffe¹⁾, die wichtigsten Fragen nach Art und Lage dieser Kurven beantwortet. Doch sind noch verschiedene Punkte, wie z. B. die Entartungsfälle, nicht restlos geklärt; auch sind für wichtige Bestimmungsstücke der Kurven, wie Achsen der Kegelschnitte, Singulärpunkt der Kubiken und Quartiken usw., bisher keine geschlossenen Ausdrücke angegeben worden.

Da auch den aus Gleichung (2) folgenden Ortskurven in der Elektrotechnik große Bedeutung zukommt, so soll es das Ziel der vorliegenden Arbeit sein, die früheren Untersuchungen über diese Kurven zu ergänzen, insbesondere eindeutige Kriterien herzuleiten, welche es gestatten, in jedem einzelnen Falle die Art der Kurve und ihre Lage zum Ursprung zu bestimmen, sowie auch Formeln für die wichtigsten Bestimmungsstücke dieser Kurven in geschlossener Form anzugeben.

Bei der Behandlung des Ausdrucks (2) wird natürlich auch zugelassen, daß von den Koeffizienten $\mathfrak{A}_\nu, \mathfrak{B}_\nu$ einer oder mehrere = 0 sind; dadurch sind auch die ganzen (quadratischen) Funktionen $\mathfrak{B} = \mathfrak{A}_0 + \mathfrak{A}_1 \sigma + \mathfrak{A}_2 \sigma^2$ in unsere Betrachtung eingeschlossen. Doch muß, damit

¹⁾ O. Bloch, Die Ortskurven der graphischen Wechselstromtechnik; Zürich, Rascher & Co., 1917. — W. Michael, Zur Geometrie der Ortskurven der graphischen Wechselstromtheorie, Diss. Zürich; Leipzig, Metzger & Wittig, 1919. — G. Hauffe, Ortskurven der Starkstromtechnik, Berlin, Julius Springer, 1932.

Gleichung (2) wirklich eine Kurve ergibt, wenigstens ein Koeffizient des Zählers und ein Koeffizient des Nenners von Null verschieden sein. Diese selbstverständliche Voraussetzung soll im folgenden stets gemacht werden. Dann sind der Zähler $f_a(\sigma)$ und der Nenner $f_b(\sigma)$ von (2) ganze Funktionen höchstens 2. Grades²⁾.

2. Bezeichnungen.

Wir bezeichnen in üblicher Weise Größen, die im allgemeinen nur reelle Werte annehmen, mit lateinischen oder griechischen Buchstaben, dagegen komplexe Zahlen bzw. die durch sie dargestellten Vektoren mit deutschen Buchstaben, z. B. \mathfrak{A} , \mathfrak{B} , \mathfrak{C} , . . . , und schreiben diese in der Exponentialform: $\mathfrak{A} = |\mathfrak{A}| \varepsilon^{j\alpha}$ usw., wobei ε die Basis der natürlichen Logarithmen, $j = \sqrt{-1}$ die imaginäre Einheit, $|\mathfrak{A}|$ den absoluten Wert³⁾ und α das Argument von \mathfrak{A} bedeutet. Die zu einer komplexen Größe \mathfrak{A} konjugiert komplexe Zahl werde mit \mathfrak{A}^* bezeichnet: $\mathfrak{A}^* = |\mathfrak{A}| \varepsilon^{-j\alpha}$.

Wenn zwei Vektoren \mathfrak{A} , \mathfrak{B} gleiche Richtung, die entsprechenden komplexen Zahlen also gleiches Argument haben, schreiben wir $\mathfrak{A} \uparrow \uparrow \mathfrak{B}$, wenn sie entgegengesetzte Richtung haben, ihre Argumente also um π verschieden sind, $\mathfrak{A} \uparrow \downarrow \mathfrak{B}$. Haben die Vektoren \mathfrak{A} , \mathfrak{B} zu einander senkrechte Richtungen, unterscheiden sich also ihre Argumente um $\pm \frac{\pi}{2}$, so schreiben wir $\mathfrak{A} \perp \mathfrak{B}$.

In der symbolischen Rechnungsmethode ist es vorteilhaft, neben dem gewöhnlichen, im allgemeinen komplexen Produkt $\mathfrak{A} \mathfrak{B}$ zweier komplexen Zahlen noch zwei andere Verknüpfungen als sogenannte „Produkte“ einzuführen, die der Vektoralgebra entlehnt und in der komplexen Rechnung immer reell sind, nämlich⁴⁾

$$\text{das innere Produkt } \mathfrak{A} \circ \mathfrak{B} = |\mathfrak{A}| |\mathfrak{B}| \cos(\beta - \alpha) = \frac{1}{2} (\mathfrak{A} \mathfrak{B}^* + \mathfrak{A}^* \mathfrak{B})$$

$$\text{und das äußere Produkt } \mathfrak{A} \times \mathfrak{B} = |\mathfrak{A}| |\mathfrak{B}| \sin(\beta - \alpha) = \frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A} & \mathfrak{B} \\ \mathfrak{A}^* & \mathfrak{B}^* \end{array} \right|.$$

Bekanntlich gilt für das Verschwinden dieser Produkte, daß dann und nur dann

$$\mathfrak{A} \circ \mathfrak{B} = 0, \text{ wenn } \mathfrak{A} = 0 \text{ oder } \mathfrak{B} = 0 \text{ (oder } \mathfrak{A} = \mathfrak{B} = 0) \text{ oder } \mathfrak{A} \perp \mathfrak{B};$$

$$\mathfrak{A} \times \mathfrak{B} = 0, \text{ wenn } \mathfrak{A} = 0 \text{ oder } \mathfrak{B} = 0 \text{ (oder } \mathfrak{A} = \mathfrak{B} = 0) \text{ oder } \mathfrak{A} \uparrow \uparrow \mathfrak{B} \text{ oder } \mathfrak{A} \uparrow \downarrow \mathfrak{B}.$$

Bei der symbolischen Behandlung der algebraischen Ortskurven ist es zweckmäßig, die Fälle, daß zwei Vektoren gleiche Richtung haben, daß sie entgegengesetzte Richtung haben und daß einer von ihnen (evtl. auch der andere) verschwindet, zusammenzufassen und mit einer übergeordneten Bezeichnung zu versehen. Wir verwenden zu diesem Zwecke das übliche Parallelitätszeichen \parallel , bemerken aber ausdrücklich, daß $\mathfrak{A} \parallel \mathfrak{B}$ nicht nur $\mathfrak{A} \uparrow \uparrow \mathfrak{B}$ oder $\mathfrak{A} \uparrow \downarrow \mathfrak{B}$ bedeutet, sondern auch dann gelten soll, wenn $\mathfrak{A} = 0$ oder $\mathfrak{B} = 0$ (oder auch $\mathfrak{A} = \mathfrak{B} = 0$) ist. Dann ist nach dem vorigen die Beziehung $\mathfrak{A} \parallel \mathfrak{B}$ mit $\mathfrak{A} \times \mathfrak{B} = 0$ identisch⁵⁾.

Die Parallelitätsbeziehung läßt sich auch sinngemäß auf mehr als zwei Vektoren ausdehnen. So bedeutet $\mathfrak{A} \parallel \mathfrak{B} \parallel \mathfrak{C} \parallel \dots$, daß entweder die Vektoren \mathfrak{A} , \mathfrak{B} , \mathfrak{C} , . . . sämtlich gleiche oder entgegengesetzte Richtung haben, oder daß einer oder mehrere von ihnen $= 0$ sind, während die nicht verschwindenden (falls es mehrere sind) wieder gleiche oder entgegengesetzte Richtung haben. Fallen die Anfangspunkte der Vektoren zusammen, so bedeutet diese Beziehung

²⁾ Eine Konstante gilt als ganze Funktion 0. Grades.

³⁾ Für den absoluten Wert wird das Zeichen $|\cdot|$ anstelle des üblichen $|\cdot|$ verwendet, um Verwechslungen mit dem häufig vorkommenden Determinantenzeichen zu vermeiden.

⁴⁾ Die Verwendung besonderer Verknüpfungszeichen für diese Produkte ist deshalb erforderlich, weil wir es hier, im Gegensatz zur gewöhnlichen Vektoralgebra, mit drei Arten von Produkten zu tun haben und die sonst übliche Festlegung bestimmter Klammern für inneres und äußeres Produkt die Formelsprache unnötig erschweren würde.

⁵⁾ Die Schreibweise $\mathfrak{A} \parallel \mathfrak{B}$ ist anschaulicher und (namentlich bei mehr als zwei parallelen Vektoren) kürzer als $\mathfrak{A} \times \mathfrak{B} = 0$.

allgemein, daß die Endpunkte der Vektoren alle auf einer Geraden durch den gemeinsamen Anfangspunkt liegen.

Besonders wichtig für die folgenden Untersuchungen sind die äußeren Produkte der Koeffizienten des Zählers wie auch der Koeffizienten des Nenners der quadratischen Funktion (2), für die daher besondere Bezeichnungen eingeführt werden sollen, nämlich:

$$A_{01} = \frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 \\ \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* \end{array} \right|, \quad A_{02} = \frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_2 \\ \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_2^* \end{array} \right|, \quad A_{12} = \frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_1 & \mathfrak{A}_2 \\ \mathfrak{A}_1^* & \mathfrak{A}_2^* \end{array} \right|; \quad (3a)$$

$$B_{01} = \frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* \end{array} \right|, \quad B_{02} = \frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_2 \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_2^* \end{array} \right|, \quad B_{12} = \frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{B}_1 & \mathfrak{B}_2 \\ \mathfrak{B}_1^* & \mathfrak{B}_2^* \end{array} \right|. \quad (3b)$$

Wenn die äußeren Produkte (3a) sämtlich verschwinden, so ist nach dem vorigen

$$A_{01} = A_{02} = A_{12} = 0 \quad \text{gleichbedeutend mit} \quad \mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1 \parallel \mathfrak{A}_2. \quad (4)$$

In diesem Falle können wir den Zähler von (2) auch als Produkt eines gemeinschaftlichen Richtungsfaktors (Einheitsvektors) und einer ganzen Funktion mit reellen Koeffizienten schreiben:

$$\mathfrak{A}_0 + \mathfrak{A}_1 \sigma + \mathfrak{A}_2 \sigma^2 = \varepsilon^{j\alpha} (A_0 + A_1 \sigma + A_2 \sigma^2). \quad (5a)$$

Analog läßt sich im Falle des Verschwindens der äußeren Produkte (3b), wo $B_{01} = B_{02} = B_{12} = 0$ identisch mit $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1 \parallel \mathfrak{B}_2$ ist, der Nenner von (2) auch schreiben:

$$\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2 = \varepsilon^{j\beta} (B_0 + B_1 \sigma + B_2 \sigma^2). \quad (5b)$$

Dabei sind α, β die Argumente von $\mathfrak{A}_\nu, \mathfrak{B}_\nu$ ($\nu = 0, 1, 2$) oder von diesen (evtl. nur teilweise) um π verschieden, während die reellen Größen A_ν, B_ν gleich den mit entsprechenden Vorzeichen zu ver sehenden absoluten Werten $|\mathfrak{A}_\nu|, |\mathfrak{B}_\nu|$ sind ⁶⁾.

Wir führen ferner für die im folgenden häufig gebrauchten, aus den Koeffizienten des Zählers und Nenners von (2) und ihren konjugiert komplexen Werten gebildeten zweireihigen Determinanten nachstehende abkürzenden Bezeichnungen ein:

$$\mathfrak{P}_0 = \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 \\ \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 \end{array} \right|, \quad \mathfrak{P}_1 = \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_2 \\ \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_2 \end{array} \right|, \quad \mathfrak{P}_2 = \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_1 & \mathfrak{A}_2 \\ \mathfrak{B}_1 & \mathfrak{B}_2 \end{array} \right|; \quad \mathfrak{P}_0^* = \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* \end{array} \right|, \quad \mathfrak{P}_1^* = \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_2^* \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_2^* \end{array} \right|, \quad \mathfrak{P}_2^* = \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_1^* & \mathfrak{A}_2^* \\ \mathfrak{B}_1^* & \mathfrak{B}_2^* \end{array} \right|. \quad (6a)$$

$$\mathfrak{D}_0 = \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* \end{array} \right|, \quad \mathfrak{D}_1 = \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_2 \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_2^* \end{array} \right|, \quad \mathfrak{D}_2 = \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_1 & \mathfrak{A}_2 \\ \mathfrak{B}_1^* & \mathfrak{B}_2^* \end{array} \right|; \quad \mathfrak{D}_0^* = \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* \\ \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 \end{array} \right|, \quad \mathfrak{D}_1^* = \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_2^* \\ \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_2 \end{array} \right|, \quad \mathfrak{D}_2^* = \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_1^* & \mathfrak{A}_2^* \\ \mathfrak{B}_1 & \mathfrak{B}_2 \end{array} \right|. \quad (6b)$$

Ist insbesondere $\mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1 \parallel \mathfrak{A}_2$, so unterscheiden sich, wie leicht ersichtlich, \mathfrak{D}_ν und \mathfrak{P}_ν^* , ebenso \mathfrak{D}_ν^* und \mathfrak{P}_ν , nur um eine Potenz des mit Gleichung (5a) eingeführten Richtungsfaktors $\varepsilon^{j\alpha}$:

$$\mathfrak{D}_\nu = \varepsilon^{j2\alpha} \mathfrak{P}_\nu^*, \quad \mathfrak{D}_\nu^* = \varepsilon^{-j2\alpha} \mathfrak{P}_\nu \quad (\nu = 0, 1, 2) \quad (7a)$$

Analog bestehen im Sonderfalle $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1 \parallel \mathfrak{B}_2$ zwischen \mathfrak{D}_ν und \mathfrak{P}_ν , sowie zwischen \mathfrak{D}_ν^* und \mathfrak{P}_ν^* die Beziehungen:

$$\mathfrak{D}_\nu = \varepsilon^{-j2\beta} \mathfrak{P}_\nu, \quad \mathfrak{D}_\nu^* = \varepsilon^{j2\beta} \mathfrak{P}_\nu^* \quad (\nu = 0, 1, 2) \quad (7b)$$

Aus dem Verschwinden einer zweireihigen Determinante folgt stets eine Proportion ihrer Elemente, z. B. aus $\mathfrak{P}_0 = 0$ die Beziehung $\mathfrak{A}_0 : \mathfrak{A}_1 = \mathfrak{B}_0 : \mathfrak{B}_1$, und umgekehrt. Daher ist, wenn die Größen \mathfrak{P}_ν ($\nu = 0, 1, 2$) sämtlich verschwinden,

$$\mathfrak{P}_0 = \mathfrak{P}_1 = \mathfrak{P}_2 = 0 \quad \text{gleichbedeutend mit} \quad \mathfrak{A}_0 : \mathfrak{A}_1 : \mathfrak{A}_2 = \mathfrak{B}_0 : \mathfrak{B}_1 : \mathfrak{B}_2. \quad (8)$$

Entsprechendes gilt für die Determinanten $\mathfrak{P}_\nu^*, \mathfrak{D}_\nu, \mathfrak{D}_\nu^*$. Dabei muß aber die fortlaufende Proportion (8) auch dann als gültig erachtet werden, wenn je eine oder auch mehrere entsprechende

⁶⁾ Obige Zerlegung ist stets auf zwei Weisen möglich, je nachdem als Argument des Einheitsvektors α oder $\alpha + \pi$ (bzw. β oder $\beta + \pi$) gewählt wird; entsprechend erhalten die reellen A_ν (bzw. B_ν) verschiedenes Vorzeichen. Doch sind die Werte 2α (bzw. 2β) wieder eindeutig.

Glieder auf beiden Seiten = 0 sind, oder wenn (als Trivialität) sämtliche Glieder einer Seite = 0 sind, während die der anderen beliebig sein können⁷⁾.

Auch die äußeren Produkte der Größen \mathfrak{F}_ν treten im folgenden auf; wir bezeichnen sie analog den Gleichungen (3a, b) mit

$$P_{01} = \frac{j}{2} \begin{vmatrix} \mathfrak{F}_0 & \mathfrak{F}_1 \\ \mathfrak{F}_0^* & \mathfrak{F}_1^* \end{vmatrix}, \quad P_{02} = \frac{j}{2} \begin{vmatrix} \mathfrak{F}_0 & \mathfrak{F}_2 \\ \mathfrak{F}_0^* & \mathfrak{F}_2^* \end{vmatrix}, \quad P_{12} = \frac{j}{2} \begin{vmatrix} \mathfrak{F}_1 & \mathfrak{F}_2 \\ \mathfrak{F}_1^* & \mathfrak{F}_2^* \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Wenn insbesondere $P_{01} = P_{02} = P_{12} = 0$ ist, was wieder mit $\mathfrak{F}_0 \parallel \mathfrak{F}_1 \parallel \mathfrak{F}_2$ gleichbedeutend ist, so setzen wir ähnlich wie in den Beziehungen (5a, b):

$$\mathfrak{F}_0 = \varepsilon^{j\psi} P_0, \quad \mathfrak{F}_1 = \varepsilon^{j\psi} P_1, \quad \mathfrak{F}_2 = \varepsilon^{j\psi} P_2; \quad (10)$$

dabei gilt für die Größen ψ und P_ν dasselbe, was zu den Gleichungen (5) gesagt wurde.

Wie aus dem bisherigen bereits hervorgeht, spielen bei den nachstehenden Untersuchungen die Determinanten eine große Rolle. Wir führen daher noch für den im folgenden häufig gebrauchten Begriff des Ranges einer Determinante \mathfrak{D} das Zeichen $\text{rg } \mathfrak{D}$ ein.

3. Die Behandlungsweise.

Die Untersuchung der symbolischen Gleichungen für die Ortskurven der Wechselstromtechnik kann man dadurch auf die Methoden der analytischen Geometrie zurückführen, daß man beide Seiten der Gleichung in reellen und imaginären Teil zerlegt und sowohl die reellen als auch die imaginären Teile einander gleichsetzt; dann erhält man die bekannte Parameterdarstellung der Kurven in rechtwinkligen Cartesischen Koordinaten. Es ist jedoch meist vorteilhafter und auch sinngemäßer, den Boden der komplexen Rechnung nicht zu verlassen und besondere „symbolische“ Methoden zur Kurvendiskussion auszuarbeiten, wie dies auch im allgemeinen in der eingangs zitierten Literatur geschehen ist. Dieses Verfahren soll auch in dieser Abhandlung ausnahmslos angewendet werden.

Bekanntlich ist eine komplexe Gleichung stets gleichbedeutend mit zwei reellen Gleichungen, die man erhält, wenn man die Realteile wie auch die Imaginärteile beider Seiten einander gleichsetzt. Es ist jedoch auch hierbei fast immer vorteilhafter, mit den komplexen Größen selbst zu rechnen und die Verdoppelung der Anzahl der Gleichungen dadurch herbeizuführen, daß man zu einer komplexen Gleichung die „konjugiert komplexe Gleichung“ hinzunimmt; denn wenn zwei komplexe Zahlen einander gleich sind, so sind es auch ihre konjugiert komplexen Werte. Auf diese Weise erhält man aus Gleichung (2) folgende vier ganzen rationalen Funktionen:

$$\begin{aligned} \mathfrak{f}_a &= \mathfrak{A}_0 + \mathfrak{A}_1 \sigma + \mathfrak{A}_2 \sigma^2, & \mathfrak{f}_a^* &= \mathfrak{A}_0^* + \mathfrak{A}_1^* \sigma + \mathfrak{A}_2^* \sigma^2; \\ \mathfrak{f}_b &= \mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2, & \mathfrak{f}_b^* &= \mathfrak{B}_0^* + \mathfrak{B}_1^* \sigma + \mathfrak{B}_2^* \sigma^2. \end{aligned} \quad (11)$$

Ein wesentlicher Unterschied zwischen der gewöhnlichen Kurvenlehre und der Theorie der Ortskurven besteht darin, daß bei letzteren die Parameterverteilung auf der Kurve von besonderer Bedeutung ist. Erst die von der Ortskurve untrennbare „Parameterskala“, welche jedem Punkt der Trägerkurve einen oder auch mehrere Werte des Parameters zuordnet, gibt den Diagrammen ihren physikalischen Sinn. Zwei völlig gleiche und gleichliegende Kurven, die aber abweichende Parameterskalen besitzen, sind vom Standpunkte der Ortskurventheorie aus verschieden. Durch Veränderung des Parameters kann auch Ordnung und Ausdehnung einer Kurve eine andere werden. So geht z. B. der durch Gleichung (1) dargestellte Kreis bei der Substitution $\sigma = \tau^2$ in einen doppelt zu zählenden Kreisbogen über, d. h. einen Kreisbogen, der

⁷⁾ Diese Ausnahmefälle sind ohne weiteres mit inbegriffen, wenn man die Proportion als Aussage dafür auffaßt, daß sich die Glieder der einen Seite von den entsprechenden der anderen Seite um einen konstanten Faktor, der auch Null sein kann, unterscheiden.

genau zweimal durchlaufen wird, wenn τ alle reellen Werte von $-\infty$ bis $+\infty$ einmal annimmt, und der daher als Kurve 4. Ordnung anzusehen ist.

Unterwirft man jedoch den Parameter σ einer (gebrochen) linearen Substitution mit reellen Koeffizienten und nichtverschwindender Substitutionsdeterminante, also

$$\sigma = \frac{k_1 + k_2 \tau}{l_1 + l_2 \tau}, \quad \begin{vmatrix} k_1 & k_2 \\ l_1 & l_2 \end{vmatrix} \neq 0, \quad (12)$$

welche eine ein-eindeutige Beziehung zwischen σ und τ herstellt, so wird dadurch Ordnung, Art und Lage der Kurve sicher nicht geändert. Die in dieser Arbeit zu untersuchenden, eingangs erwähnten Eigenschaften der Kurven müssen daher durch Formeln bestimmt sein, welche gegenüber einer solchen Substitution invariant sind. Das legt den Gedanken nahe, zur Lösung unserer Aufgabe die Invariantentheorie heranzuziehen. Tatsächlich bringt erst diese in die zum Teil recht komplizierten Ausdrücke die notwendige Ordnung und Übersicht.

Den Zusammenhang mit der Invariantentheorie erkennen wir am besten, wenn wir vorübergehend zur Homogenisierung der Variablen $\sigma = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ setzen. Damit wird \mathfrak{B} der Quotient zweier homogener Funktionen $\bar{f}_a(\sigma_1, \sigma_2)$ und $\bar{f}_b(\sigma_1, \sigma_2)$, d. h. zweier quadratischer Binärformen, die zusammen mit ihren konjugiert komplexen Werten an die Stelle des Systems (11) treten:

$$\begin{aligned} \bar{f}_a &= \mathfrak{A}_0 \sigma_1^2 + \mathfrak{A}_1 \sigma_1 \sigma_2 + \mathfrak{A}_2 \sigma_2^2, & \bar{f}_a^* &= \mathfrak{A}_0^* \sigma_1^2 + \mathfrak{A}_1^* \sigma_1 \sigma_2 + \mathfrak{A}_2^* \sigma_2^2; \\ \bar{f}_b &= \mathfrak{B}_0 \sigma_1^2 + \mathfrak{B}_1 \sigma_1 \sigma_2 + \mathfrak{B}_2 \sigma_2^2, & \bar{f}_b^* &= \mathfrak{B}_0^* \sigma_1^2 + \mathfrak{B}_1^* \sigma_1 \sigma_2 + \mathfrak{B}_2^* \sigma_2^2. \end{aligned} \quad (13)$$

Die Substitution (12) geht dabei, wenn auch $\tau = \frac{\tau_2}{\tau_1}$ gesetzt wird, in nachstehende homogene lineare Substitution mit nichtverschwindender Substitutionsdeterminante über:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= l_1 \tau_1 + l_2 \tau_2, & \begin{vmatrix} l_1 & l_2 \\ k_1 & k_2 \end{vmatrix} &\neq 0. \\ \sigma_2 &= k_1 \tau_1 + k_2 \tau_2, \end{aligned} \quad (14)$$

Wir werden sehen, daß tatsächlich die Invarianten der Formen (13) bezüglich der Transformationen (14) bei der Lösung unserer Aufgabe eine beherrschende Rolle spielen.

Die Einführung der homogenen Funktionen gibt auch die Möglichkeit, gewisse Ausnahmefälle in das allgemeine Schema einzugliedern. Wie bekannt, ist für die Art und die Lage der Ortskurven die Natur der Wurzeln der beiden (im allgemeinen quadratischen) Gleichungen in σ : $\bar{f}_a = 0$ und $\bar{f}_b = 0$ von ausschlaggebender Bedeutung. Denn für die zwei Wurzelwerte σ von $\bar{f}_a = 0$ wird im allgemeinen $\mathfrak{B} = 0$, für diejenigen von $\bar{f}_b = 0$ dagegen $\mathfrak{B} = \infty$. Ist nun von den Koeffizienten $\mathfrak{A}_2, \mathfrak{B}_2$ einer $= 0$, der andere $\neq 0$ ⁸⁾, so wird die eine der beiden Gleichungen von niedrigerem als dem 2. Grade, hat also nur eine (evtl. auch keine) Wurzel, ohne daß dabei der Ausdruck (2) den Charakter einer quadratischen Funktion verliert; die Formen (13) bleiben daher auch in diesem Falle sämtlich quadratische Formen und lassen sich nicht auf lineare Formen reduzieren.

Ist so z. B. $\mathfrak{A}_2 = 0, \mathfrak{B}_2 \neq 0$ und wird noch $\mathfrak{A}_1 \neq 0$ vorausgesetzt, so hat die Gleichung $\bar{f}_a = 0$ nur die eine Wurzel $\sigma = -\frac{\mathfrak{A}_0}{\mathfrak{A}_1}$; die Form \bar{f}_a wird dann aber nicht nur für $\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -\frac{\mathfrak{A}_0}{\mathfrak{A}_1}$ zu Null, sondern auch für $\sigma_1 = 0$, was dem inhomogenen Parameterwert $\sigma = \infty$ entspricht. Das legt den Gedanken nahe, als Ersatz für die eine fehlende Wurzel von $\bar{f}_a = 0$ den Wert $\sigma = \infty$ hinzuzunehmen. Die Berechtigung dieser Maßnahme folgt daraus, daß tatsächlich $\sigma = \infty$ hinsichtlich der gebrochenen Funktion \mathfrak{B} die gleiche Wirkung hat wie der Wurzelwert von $\bar{f}_a = 0$: es wird in diesem Falle ⁹⁾ $\mathfrak{B} = 0$ nicht nur für $\sigma = -\frac{\mathfrak{A}_0}{\mathfrak{A}_1}$, sondern auch für $\sigma = \infty$.

⁸⁾ Der Fall, daß \mathfrak{A}_2 und \mathfrak{B}_2 gleichzeitig $= 0$ sind, führt offensichtlich auf die lineare Funktion (1) zurück, kommt also hier nicht in Frage.

⁹⁾ Unter der Voraussetzung natürlich, daß \bar{f}_a und \bar{f}_b teilerfremd sind.

Ist außer \mathfrak{A}_2 auch noch $\mathfrak{A}_1 = 0$, so gibt es überhaupt keine Werte σ , die \bar{f}_a zu Null machen, d. h. keine Wurzeln für $\bar{f}_a = 0$; dann ist $\sigma = \infty$ als zweifacher Ersatz für die fehlenden Wurzelwerte zu rechnen. Entsprechendes gilt natürlich im Falle $\mathfrak{B}_2 = 0$, $\mathfrak{A}_2 \neq 0$.

Die genannten Sonderfälle sind bei den späteren Formeln stets mit inbegriffen, da diese ja auf den Invarianten der (quadratisch bleibenden) Formen (13) basieren. Vom Standpunkte der Invariantentheorie aus handelt es sich hierbei übrigens um gar keine Ausnahmefälle, da sich durch geeignete Transformation des Parameters stets erreichen läßt, daß die Koeffizienten von σ^2 in Zähler und Nenner von (2) nicht verschwinden.

4. Gerade und Kreis.

Ehe wir uns der Lösung unserer eigentlichen Aufgabe, der Untersuchung von Gleichung (2) zuwenden, seien des besseren Verständnisses halber die ja schon bekannten Resultate für die aus Gleichung (1) folgenden Kurven mit Hilfe der Invarianten betrachtet.

Die aus der linearen Funktion $\mathfrak{B} = \frac{\mathfrak{A}_0 + \mathfrak{A}_1 \sigma}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma}$ durch Homogenisierung des Parameters hervorgehenden Formen sind gleichfalls linear, nämlich folgende vier linearen Binärformen:

$$\begin{aligned} \bar{f}_a &= \mathfrak{A}_0 \sigma_1 + \mathfrak{A}_1 \sigma_2, & \bar{f}_a^* &= \mathfrak{A}_0^* \sigma_1 + \mathfrak{A}_1^* \sigma_2; \\ \bar{f}_b &= \mathfrak{B}_0 \sigma_1 + \mathfrak{B}_1 \sigma_2, & \bar{f}_b^* &= \mathfrak{B}_0^* \sigma_1 + \mathfrak{B}_1^* \sigma_2. \end{aligned} \quad (15)$$

Eine solche Linearform allein besitzt keine Invariante; dagegen lassen sich aus je zwei von ihnen simultane Invarianten bilden, also im ganzen sechs, die wir mit den früheren Bezeichnungen (3) und (6) wie folgt schreiben:

$$A_{01} = \frac{j}{2} \begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 \\ \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* \end{vmatrix}, \quad B_{01} = \frac{j}{2} \begin{vmatrix} \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* \end{vmatrix}; \quad (16)$$

$$\mathfrak{F}_0 = \begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 \\ \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 \end{vmatrix}, \quad \mathfrak{F}_0^* = \begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* \end{vmatrix}, \quad \mathfrak{D}_0 = \begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* \end{vmatrix}, \quad \mathfrak{D}_0^* = \begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* \\ \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 \end{vmatrix}. \quad (17)$$

Es sind dies (bis auf Zahlfaktoren)¹⁰⁾ die Resultanten der linearen Formen. Zwischen ihnen besteht die leicht nachzuweisende Beziehung

$$\mathfrak{F}_0 \mathfrak{F}_0^* - \mathfrak{D}_0 \mathfrak{D}_0^* + 4 A_{01} B_{01} = 0. \quad (18)$$

Die lineare Funktion (1) ergibt nun, wie bekannt, im allgemeinen einen Kreis, dessen Mittelpunkt \mathfrak{C} (d. i. der Vektor vom Ursprung nach dem Mittelpunkt) und Radius r durch die Formeln bestimmt sind¹¹⁾:

$$\mathfrak{C} = \frac{\begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* \end{vmatrix}} = \frac{j}{2} \frac{\mathfrak{D}_0}{B_{01}}, \quad r = \frac{\sqrt{\begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 \\ \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* \end{vmatrix}}}{\sqrt{\begin{vmatrix} \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* \end{vmatrix}}} = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\mathfrak{F}_0}}{\sqrt{B_{01}}}. \quad (19a, b)$$

Die Betrachtung des Wertes für r führt dann unmittelbar zu folgenden drei Fällen für die Art der durch Gleichung (1) gegebenen Kurven:

1. r ist dann und nur dann = 0, d. h. \mathfrak{B} stellt einen Punkt dar, wenn $\mathfrak{F}_0 = 0$ ist, woraus die Proportion $\mathfrak{A}_0 : \mathfrak{A}_1 = \mathfrak{B}_0 : \mathfrak{B}_1$ folgt; dann reduziert sich tatsächlich der Ausdruck für \mathfrak{B} auf eine Konstante.

¹⁰⁾ Der Faktor $\frac{j}{2}$ ist hier und im folgenden bei einem Teil der Invarianten hinzugefügt, um zu bekannten und, wenn möglich, reellen Ausdrücken zu gelangen.

¹¹⁾ Zuerst von W. O. Schumann (nach einer Anregung von P. Koebe) im Arch. f. El., Bd. 11 (1922), S. 146 angegeben.

2. r ist dann und nur dann $= \infty$, d. h. \mathfrak{B} stellt eine Gerade dar, wenn $\mathfrak{P}_0 \neq 0$ und $B_{01} = 0$ ist, wobei $B_{01} = 0$ gleichbedeutend mit $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1$ ist; nach dem früheren ist darin auch der Fall $\mathfrak{B}_1 = 0$ enthalten, in welchem \mathfrak{B} eine ganze lineare Funktion $\mathfrak{B} = \mathfrak{A}'_0 + \mathfrak{A}'_1 \sigma$ wird.
3. r ist dann und nur dann endlich ($\neq 0$ und $\neq \infty$), d. h. \mathfrak{B} stellt wirklich einen Kreis dar, wenn gleichzeitig $\mathfrak{P}_0 \neq 0$ und $B_{01} \neq 0$ ist.

Im Falle der Geraden, in welchem aus $\mathfrak{P}_0 \neq 0$, $B_{01} = 0$ auch $\mathfrak{D}_0^* \neq 0$ folgt, ist das Lot vom Ursprung auf sie durch den Vektor \mathfrak{L} gegeben:

$$\mathfrak{L} = -\frac{1}{2} \frac{\begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 \\ \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* \\ \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 \end{vmatrix}} = j \frac{A_{01}}{\mathfrak{D}_0^*}. \quad (20)$$

Mit Hilfe dieses Wertes und der Gleichung (19a) für \mathfrak{C} ergibt sich sofort für die Lage von Gerade und Kreis zum Ursprung des Koordinatensystems folgendes:

1. Die Gerade geht dann und nur dann durch den Ursprung, wenn $\mathfrak{L} = 0$, also $A_{01} = 0$ ist, was mit $\mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1$ gleichbedeutend ist.
2. Der Kreis geht dann und nur dann durch den Ursprung, wenn $r = \mathfrak{C}$, also $\mathfrak{P}_0 = \mathfrak{D}_0$; oder, was dasselbe ist, $\mathfrak{P}_0 \mathfrak{P}_0^* - \mathfrak{D}_0 \mathfrak{D}_0^* = 0$ ist; dann ist aber, wie aus Gleichung (18) und $B_{01} \neq 0$ folgt, wieder $A_{01} = 0$, d. h. $\mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1$.
3. Der Kreis hat seinen Mittelpunkt dann und nur dann im Ursprung, wenn $\mathfrak{C} = 0$, also $\mathfrak{D}_0 = 0$ ist, woraus noch $\mathfrak{A}_0 : \mathfrak{A}_1 = \mathfrak{B}_0^* : \mathfrak{B}_1^*$ folgt; diese Proportion bedeutet, daß sich dann Zähler und konjugiert komplexer Wert des Nenners von (1) nur um einen konstanten Faktor unterscheiden.

Wir erkennen, daß die Invarianten (16) und (17) und nur diese allein Art und Lage der Kurven bestimmen und in die Formeln für die Bestimmungsstücke derselben eingehen.

B. Die Invarianten der quadratischen Formen

1. Die Invarianten je einer Form.

Wir gehen nunmehr zur Untersuchung der durch die quadratische Funktion (2) dargestellten Kurven über und wollen zunächst die Invarianten der aus ihr folgenden quadratischen Binärformen (13) angeben und deren wichtigste Beziehungen zusammenstellen¹²⁾, alles nur so weit, wie es für die Lösung unserer Aufgabe erforderlich ist.

Eine quadratische Form allein besitzt eine Invariante; zu den vier Formen (13) gehören somit vier Invarianten, nämlich:

$$\mathfrak{D}_a = \begin{vmatrix} 2\mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 \\ \mathfrak{A}_1 & 2\mathfrak{A}_2 \end{vmatrix}, \quad \mathfrak{D}_a^* = \begin{vmatrix} 2\mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* \\ \mathfrak{A}_1^* & 2\mathfrak{A}_2^* \end{vmatrix}; \quad \mathfrak{D}_b = \begin{vmatrix} 2\mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 \\ \mathfrak{B}_1 & 2\mathfrak{B}_2 \end{vmatrix}, \quad \mathfrak{D}_b^* = \begin{vmatrix} 2\mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* \\ \mathfrak{B}_1^* & 2\mathfrak{B}_2^* \end{vmatrix}. \quad (21)$$

Es sind dies die Diskriminanten der quadratischen Gleichungen $f_a = \mathfrak{A}_0 + \mathfrak{A}_1 \sigma + \mathfrak{A}_2 \sigma^2 = 0$ bzw. $f_a^* = 0$, $f_b = 0$, $f_b^* = 0$, die über die Gleichungswurzeln gewissen Aufschluß geben. Da nach Voraussetzung von den Koeffizienten \mathfrak{A}_ν und \mathfrak{B}_ν ($\nu = 0, 1, 2$) wenigstens je einer von Null verschieden ist, so kann der Rang dieser zweireihigen Determinanten nur 2 oder 1 sein; daher ergeben sich für \mathfrak{D}_a (entsprechendes gilt natürlich für \mathfrak{D}_a^* , \mathfrak{D}_b , \mathfrak{D}_b^*) folgende zwei Möglichkeiten:

1. $\text{rg } \mathfrak{D}_a = 2$: Dann ist $\mathfrak{D}_a \neq 0$, daher sind \mathfrak{A}_0 und \mathfrak{A}_1 , ebenso \mathfrak{A}_2 und \mathfrak{A}_1 nicht gleichzeitig $= 0$. Die Gleichung $f_a = 0$ hat zwei verschiedene (komplexe oder reelle) Wurzeln σ .

¹²⁾ Eine ausführliche Ableitung der Beziehungen wird wegen Raummangels nicht gegeben; dieselben sind auch teils aus der Invariantentheorie bekannt, teils kann man sich von ihrer Richtigkeit durch Ausrechnen leicht überzeugen.

2. $\text{rg } \mathfrak{D}_a = 1$: Dann ist $\mathfrak{D}_a = 0$, \mathfrak{X}_0 und \mathfrak{X}_2 nicht gleichzeitig $= 0$; ist aber \mathfrak{X}_0 oder $\mathfrak{X}_2 = 0$, so ist auch $\mathfrak{X}_1 = 0$, und umgekehrt. \mathfrak{f}_a ist ein vollständiges Quadrat, $\mathfrak{f}_a = 0$ hat also zwei gleiche (komplexe oder reelle) Wurzeln σ .

Dabei sei mit Beachtung der Ausführungen in Abschnitt A 3 ein für allemal gesagt: Hier und im folgenden gelten die Aussagen über die Wurzeln einer Gleichung höchstens 2. Grades in σ , z. B. $\mathfrak{f}_a(\sigma) = 0$ nur dann, wenn der Koeffizient der 2. Potenz von σ , also $\mathfrak{X}_2 \neq 0$ ist. Doch lassen sich die Resultate auch auf die Sonderfälle $\mathfrak{X}_2 = 0$, $\mathfrak{X}_1 \neq 0$ und $\mathfrak{X}_2 = \mathfrak{X}_1 = 0$ übertragen, wenn als Ersatz für die eine fehlende Wurzel bzw. für beide fehlende Wurzeln der (uneigentliche) Wert $\sigma = \infty$ genommen wird, wobei ∞ als reeller Wert zu rechnen ist. Ein solcher Ersatz hat aber nur dann einen Sinn, wenn \mathfrak{f}_a als Zähler (bzw. Nenner) eines Bruches auftritt, dessen Nenner (bzw. Zähler) eine ganze Funktion 2. Grades ist.

2. Die simultanen Invarianten von je zwei Formen.

Neben den Invarianten der einzelnen Formen spielen auch die simultanen Invarianten, die mehrere Formen zusammen besitzen, im folgenden eine wichtige Rolle. Wir betrachten zunächst die Invarianten je zweier Formen.

Zwei quadratische Binärformen besitzen im wesentlichen zwei verschiedene simultane Invarianten. Da sich die vier Formen (13) zu je zweien auf sechs verschiedene Weisen kombinieren lassen, ergeben sich im ganzen zwölf solche Invarianten, nämlich:

$$T_a = \begin{vmatrix} A_{01} & A_{02} \\ A_{02} & A_{12} \end{vmatrix}; \quad T_b = \begin{vmatrix} B_{01} & B_{02} \\ B_{02} & B_{12} \end{vmatrix}. \quad (22)$$

$$D_{ak} = 2 \mathfrak{X}_0 \mathfrak{X}_2^* - \mathfrak{X}_1 \mathfrak{X}_1^* + 2 \mathfrak{X}_2 \mathfrak{X}_0^*; \quad D_{bk} = 2 \mathfrak{B}_0 \mathfrak{B}_2^* - \mathfrak{B}_1 \mathfrak{B}_1^* + 2 \mathfrak{B}_2 \mathfrak{B}_0^*. \quad (23)$$

$$\mathfrak{I}_p = - \begin{vmatrix} \mathfrak{P}_0 & \mathfrak{P}_1 \\ \mathfrak{P}_1 & \mathfrak{P}_2 \end{vmatrix}, \quad \mathfrak{I}_p^* = - \begin{vmatrix} \mathfrak{P}_0^* & \mathfrak{P}_1^* \\ \mathfrak{P}_1^* & \mathfrak{P}_2^* \end{vmatrix}; \quad \mathfrak{I}_q = - \begin{vmatrix} \mathfrak{Q}_0 & \mathfrak{Q}_1 \\ \mathfrak{Q}_1 & \mathfrak{Q}_2 \end{vmatrix}, \quad \mathfrak{I}_q^* = - \begin{vmatrix} \mathfrak{Q}_0^* & \mathfrak{Q}_1^* \\ \mathfrak{Q}_1^* & \mathfrak{Q}_2^* \end{vmatrix}. \quad (24)$$

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{D}_p &= 2 \mathfrak{X}_0 \mathfrak{B}_2 - \mathfrak{X}_1 \mathfrak{B}_1 + 2 \mathfrak{X}_2 \mathfrak{B}_0, & \mathfrak{D}_p^* &= 2 \mathfrak{X}_0^* \mathfrak{B}_2^* - \mathfrak{X}_1^* \mathfrak{B}_1^* + 2 \mathfrak{X}_2^* \mathfrak{B}_0^*; \\ \mathfrak{D}_q &= 2 \mathfrak{X}_0 \mathfrak{B}_2^* - \mathfrak{X}_1 \mathfrak{B}_1^* + 2 \mathfrak{X}_2 \mathfrak{B}_0^*, & \mathfrak{D}_q^* &= 2 \mathfrak{X}_0^* \mathfrak{B}_2 - \mathfrak{X}_1^* \mathfrak{B}_1 + 2 \mathfrak{X}_2^* \mathfrak{B}_0. \end{aligned} \right\} (25)$$

1. Die Invarianten T_a und T_b sind (bis auf einen Zahlfaktor) die sogenannten Bézoutschen Resultanten der Gleichungen $\mathfrak{f}_a = 0$, $\mathfrak{f}_a^* = 0$ bzw. $\mathfrak{f}_b = 0$, $\mathfrak{f}_b^* = 0$. Ihr Zusammenhang mit den gewöhnlichen Resultaten erhellt aus der Beziehung

$$T_a = \begin{vmatrix} A_{01} & A_{02} \\ A_{02} & A_{12} \end{vmatrix} = -\frac{1}{4} \begin{vmatrix} \mathfrak{X}_0 & \mathfrak{X}_1 & \mathfrak{X}_2 & 0 \\ \mathfrak{X}_0^* & \mathfrak{X}_1^* & \mathfrak{X}_2^* & 0 \\ 0 & \mathfrak{X}_0 & \mathfrak{X}_1 & \mathfrak{X}_2 \\ 0 & \mathfrak{X}_0^* & \mathfrak{X}_1^* & \mathfrak{X}_2^* \end{vmatrix} = \frac{1}{4} \begin{vmatrix} \mathfrak{X}_2 & \mathfrak{X}_1 & \mathfrak{X}_0 & 0 \\ 0 & \mathfrak{X}_2 & \mathfrak{X}_1 & \mathfrak{X}_0 \\ \mathfrak{X}_2^* & \mathfrak{X}_1^* & \mathfrak{X}_0^* & 0 \\ 0 & \mathfrak{X}_2^* & \mathfrak{X}_1^* & \mathfrak{X}_0^* \end{vmatrix} \quad (26)$$

und einer analogen Beziehung für T_b .

Der Rang der zweireihigen Bézoutschen Determinante T_a entscheidet bekanntlich über das Auftreten gemeinsamer Wurzeln der beiden konjugiert komplexen Gleichungen $\mathfrak{f}_a = 0$, $\mathfrak{f}_a^* = 0$ und gibt somit weiteren Aufschluß über die Natur der Wurzeln der Gleichung $\mathfrak{f}_a = 0$ selbst. Wir unterscheiden je nach dem Rang folgende drei Fälle für T_a (entsprechendes gilt für T_b):

1. $\text{rg } T_a = 2$: Dann ist $T_a \neq 0$, daher können A_{01} und A_{02} , ebenso A_{12} und A_{02} nicht gleichzeitig $= 0$ sein; ferner muß $\mathfrak{X}_0 \neq 0$, $\mathfrak{X}_2 \neq 0$ sein. Die Gleichungen $\mathfrak{f}_a = 0$ und $\mathfrak{f}_a^* = 0$ haben keine gemeinsame Wurzel, d. h. $\mathfrak{f}_a = 0$ (ebenso $\mathfrak{f}_a^* = 0$) hat keine reellen und nicht zwei konjugiert komplexe Wurzeln σ .
2. $\text{rg } T_a = 1$: Dann ist $T_a = 0$, A_{01} und A_{12} nicht gleichzeitig $= 0$; ist aber A_{01} oder $A_{12} = 0$, so ist auch $A_{02} = 0$, und umgekehrt; ferner muß $\mathfrak{X}_1 \neq 0$ sein, und \mathfrak{X}_0 und \mathfrak{X}_2 können nicht gleichzeitig $= 0$ sein. Die Gleichungen $\mathfrak{f}_a = 0$ und $\mathfrak{f}_a^* = 0$ haben eine und nur eine

Wurzel gemeinsam, d. h. $\bar{f}_a = 0$ (ebenso $\bar{f}_a^* = 0$) hat eine reelle und eine nichtreelle (komplexe) Wurzel σ .

3. $\text{rg } T_a = 0$: Dann ist $T_a = 0$ und $A_{01} = A_{02} = A_{12} = 0$; dies ist gleichbedeutend mit $\mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1 \parallel \mathfrak{A}_2$, wobei auch eine oder zwei der Größen \mathfrak{A}_ν ($\nu = 0, 1, 2$) = 0 sein können. Die Gleichungen $\bar{f}_a = 0$ und $\bar{f}_a^* = 0$ haben zwei gemeinsame Wurzeln, d. h. $\bar{f}_a = 0$ (ebenso $\bar{f}_a^* = 0$) hat zwei reelle (verschiedene oder gleiche) oder zwei konjugiert komplexe Wurzeln σ .

II. Die Invarianten D_{ak} und D_{bk} sind mit den früheren Invarianten (21) und (22) durch die Beziehungen verknüpft¹³⁾:

$$16 T_a = D_{ak}^2 - \mathfrak{D}_a \mathfrak{D}_a^* = D_{ak}^2 - \|\mathfrak{D}_a\|^2; \quad 16 T_b = D_{bk}^2 - \mathfrak{D}_b \mathfrak{D}_b^* = D_{bk}^2 - \|\mathfrak{D}_b\|^2. \quad (27)$$

Hieraus folgt noch: Es ist $\|\mathfrak{D}_{ak}\| \geq \|\mathfrak{D}_a\|$, je nachdem $T_a \geq 0$ ist;
ebenso ist $\|\mathfrak{D}_{bk}\| \geq \|\mathfrak{D}_b\|$, je nachdem $T_b \geq 0$ ist.

Ist insbesondere $\text{rg } T_a = 0$, also $\mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1 \parallel \mathfrak{A}_2$, wobei wir nach Gleichung (5a)

$$\bar{f}_a = \mathfrak{A}_0 + \mathfrak{A}_1 \sigma + \mathfrak{A}_2 \sigma^2 = \varepsilon^{j\alpha} (A_0 + A_1 \sigma + A_2 \sigma^2)$$

setzen können, so wird die Invariante

$$D_{ak} = \begin{vmatrix} 2A_0 & A_1 \\ A_1 & 2A_2 \end{vmatrix} = \varepsilon^{-j2\alpha} \mathfrak{D}_a. \quad (28)$$

Dann ist D_{ak} die Diskriminante der reellen Gleichung $A_0 + A_1 \sigma + A_2 \sigma^2 = 0$, die mit den Wurzeln dieser Gleichung, damit auch mit den Wurzeln der Gleichung $\bar{f}_a = 0$ selbst in dem bekannten Zusammenhang steht:

Die Wurzeln von $\bar{f}_a = 0$ sind $\left\{ \begin{array}{l} \text{reell und verschieden} \\ \text{reell und gleich} \\ \text{konjugiert komplex} \end{array} \right\}$, je nachdem $D_{ak} \leq 0$ ist.

Im Sonderfalle $\text{rg } T_b = 0$, d. h. $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1 \parallel \mathfrak{B}_2$ gilt entsprechendes für die Invariante D_{bk} .

III. Die Invarianten (24) $\mathfrak{I}_p, \mathfrak{I}_p^*, \mathfrak{I}_q, \mathfrak{I}_q^*$ sind wieder Bézoutsche Resultanten, und zwar \mathfrak{I}_p für die Gleichungen $\bar{f}_a = 0, \bar{f}_b = 0, \mathfrak{I}_q$ für die Gleichungen $\bar{f}_a = 0, \bar{f}_b^* = 0$ usw. Wir betrachten nur \mathfrak{I}_p und bemerken, daß für die übrigen drei analoges gilt.

Der Zusammenhang zwischen der Bézoutschen Determinante \mathfrak{I}_p und der gewöhnlichen Form der Resultante ergibt sich hier aus der Beziehung:

$$\mathfrak{I}_p = - \begin{vmatrix} \mathfrak{P}_0 & \mathfrak{P}_1 \\ \mathfrak{P}_1 & \mathfrak{P}_2 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0 \mathfrak{A}_1 \mathfrak{A}_2 & 0 \\ \mathfrak{B}_0 \mathfrak{B}_1 \mathfrak{B}_2 & 0 \\ 0 & \mathfrak{A}_0 \mathfrak{A}_1 \mathfrak{A}_2 \\ 0 & \mathfrak{B}_0 \mathfrak{B}_1 \mathfrak{B}_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \mathfrak{A}_2 \mathfrak{A}_1 \mathfrak{A}_0 & 0 \\ 0 & \mathfrak{A}_2 \mathfrak{A}_1 \mathfrak{A}_0 \\ \mathfrak{B}_2 \mathfrak{B}_1 \mathfrak{B}_0 & 0 \\ 0 & \mathfrak{B}_2 \mathfrak{B}_1 \mathfrak{B}_0 \end{vmatrix} \quad (29)$$

Der Rang der zweireihigen Determinante \mathfrak{I}_p ist wieder maßgebend dafür, ob und wieviel gemeinsame Wurzeln die Gleichungen $\bar{f}_a = 0$ und $\bar{f}_b = 0$ haben; wir unterscheiden demnach folgende drei Fälle:

1. $\text{rg } \mathfrak{I}_p = 2$: Dann ist $\mathfrak{I}_p \neq 0$, daher sind \mathfrak{P}_0 und \mathfrak{P}_1 , ebenso \mathfrak{P}_2 und \mathfrak{P}_1 nicht gleichzeitig = 0; ferner können auch \mathfrak{A}_0 und \mathfrak{B}_0 , ebenso \mathfrak{A}_2 und \mathfrak{B}_2 nicht gleichzeitig = 0 sein. Die Gleichungen $\bar{f}_a = 0$ und $\bar{f}_b = 0$ haben keine gemeinsame Wurzel, d. h. \bar{f}_a und \bar{f}_b sind teilerfremd.
2. $\text{rg } \mathfrak{I}_p = 1$: Dann ist $\mathfrak{I}_p = 0$, \mathfrak{P}_0 und \mathfrak{P}_2 nicht gleichzeitig = 0; ist aber \mathfrak{P}_0 oder $\mathfrak{P}_2 = 0$, so ist auch $\mathfrak{P}_1 = 0$, und umgekehrt; ferner dürfen auch \mathfrak{A}_1 und \mathfrak{B}_1 nicht gleichzeitig = 0 sein. Wenn im besonderen $\mathfrak{P}_0 = \mathfrak{P}_1 = 0$ ist, so ist auch $\mathfrak{A}_0 = \mathfrak{B}_0 = 0$, und umgekehrt;

¹³⁾ Eine enge Verwandtschaft zwischen \mathfrak{D}_a und D_{ak} (ebenso zwischen \mathfrak{D}_b und D_{bk}) zeigt sich, wenn man D_{ak} als Differenz zweier „innerer“ Produkte schreibt; es ist nämlich

$$\mathfrak{D}_a = 4 \mathfrak{A}_0 \mathfrak{A}_2 - \mathfrak{A}_1 \mathfrak{A}_1 = 4 \mathfrak{A}_0 \mathfrak{A}_2 - \mathfrak{A}_1^2 \\ D_{ak} = 4 \mathfrak{A}_0 \circ \mathfrak{A}_2 - \mathfrak{A}_1 \circ \mathfrak{A}_1 = 4 \mathfrak{A}_0 \circ \mathfrak{A}_2 - \|\mathfrak{A}_1\|^2.$$

wenn dagegen $\mathfrak{P}_2 = \mathfrak{P}_1 = 0$ ist, so ist auch $\mathfrak{A}_2 = \mathfrak{B}_2 = 0$, und umgekehrt. Die Gleichungen $\mathfrak{f}_a = 0$ und $\mathfrak{f}_b = 0$ haben, wenn \mathfrak{A}_2 und \mathfrak{B}_2 nicht gleichzeitig $= 0$ sind, eine und nur eine Wurzel gemeinsam, d. h. \mathfrak{f}_a und \mathfrak{f}_b haben einen gemeinsamen Teiler 1. aber nicht 2. Grades. Ist aber $\mathfrak{A}_2 = \mathfrak{B}_2 = 0$, so sind $\mathfrak{f}_a = 0$ und $\mathfrak{f}_b = 0$ Gleichungen höchstens 1. Grades ohne gemeinsame Wurzel, d. h. \mathfrak{f}_a und \mathfrak{f}_b teilerfremd.

3. $\text{rg } \mathfrak{I}_p = 0$: Dann ist $\mathfrak{I}_p = 0$ und $\mathfrak{P}_0 = \mathfrak{P}_1 = \mathfrak{P}_2 = 0$; dies ist gleichbedeutend mit der Proportion $\mathfrak{A}_0 : \mathfrak{A}_1 : \mathfrak{A}_2 = \mathfrak{B}_0 : \mathfrak{B}_1 : \mathfrak{B}_2$, wobei auch je eine oder je zwei entsprechende Größen $\mathfrak{A}_\nu, \mathfrak{B}_\nu$ ($\nu = 0, 1, 2$) $= 0$ sein können. Wenn \mathfrak{A}_2 und $\mathfrak{B}_2 \neq 0$ sind, so haben die Gleichungen $\mathfrak{f}_a = 0$ und $\mathfrak{f}_b = 0$ zwei gemeinsame Wurzeln, d. h. \mathfrak{f}_a und \mathfrak{f}_b einen gemeinsamen Teiler 2. Grades. Ist jedoch $\mathfrak{A}_2 = \mathfrak{B}_2 = 0$, aber \mathfrak{A}_1 und $\mathfrak{B}_1 \neq 0$, so haben die linearen Gleichungen $\mathfrak{f}_a = 0$ und $\mathfrak{f}_b = 0$ eine gemeinsame Wurzel, d. h. \mathfrak{f}_a und \mathfrak{f}_b einen gemeinsamen Teiler 1. Grades; wenn $\mathfrak{A}_2 = \mathfrak{B}_2 = 0$ und $\mathfrak{A}_1 = \mathfrak{B}_1 = 0$ ist, so sind \mathfrak{f}_a und \mathfrak{f}_b Konstanten. Allgemein gilt daher im Falle $\text{rg } \mathfrak{I}_p = 0$, daß sich \mathfrak{f}_a und \mathfrak{f}_b nur um einen konstanten Faktor unterscheiden.

Erwähnt sei noch, daß, wenn insbesondere $\text{rg } T_a = 0$, d. h. $\mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1 \parallel \mathfrak{A}_2 \parallel \varepsilon^{j\alpha}$ ist, sich die Invarianten \mathfrak{I}_q und \mathfrak{I}_p^* , desgleichen \mathfrak{I}_q^* und \mathfrak{I}_p nur um eine Potenz des Richtungsfaktors $\varepsilon^{j\alpha}$ unterscheiden:

$$\mathfrak{I}_q = \varepsilon^{j4\alpha} \mathfrak{I}_p^*, \quad \mathfrak{I}_q^* = \varepsilon^{-j4\alpha} \mathfrak{I}_p. \quad (30a)$$

Ähnlich gelten im Sonderfalle $\text{rg } T_b = 0$, wo $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1 \parallel \mathfrak{B}_2 \parallel \varepsilon^{j\beta}$ ist, die Beziehungen:

$$\mathfrak{I}_q = \varepsilon^{-j4\beta} \mathfrak{I}_p, \quad \mathfrak{I}_q^* = \varepsilon^{j4\beta} \mathfrak{I}_p^*. \quad (30b)$$

IV. Die Invarianten (25) $\mathfrak{D}_p, \mathfrak{D}_p^*, \mathfrak{D}_q, \mathfrak{D}_q^*$ schließlich stehen mit den früheren Invarianten (21) und (24) in folgendem Zusammenhang:

$$4 \mathfrak{I}_p = \mathfrak{D}_p^2 - \mathfrak{D}_a \mathfrak{D}_b, \quad 4 \mathfrak{I}_p^* = \mathfrak{D}_p^{*2} - \mathfrak{D}_a^* \mathfrak{D}_b^*; \quad 4 \mathfrak{I}_q = \mathfrak{D}_q^2 - \mathfrak{D}_a \mathfrak{D}_b^*, \quad 4 \mathfrak{I}_q^* = \mathfrak{D}_q^{*2} - \mathfrak{D}_a^* \mathfrak{D}_b. \quad (31)$$

Ist insbesondere $\text{rg } T_a = 0$, d. h. $\mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1 \parallel \mathfrak{A}_2 \parallel \varepsilon^{j\alpha}$, so unterscheiden sich wieder die Invarianten \mathfrak{D}_q und \mathfrak{D}_p^* , desgleichen \mathfrak{D}_q^* und \mathfrak{D}_p nur um eine Potenz des Richtungsfaktors $\varepsilon^{j\alpha}$, nämlich:

$$\mathfrak{D}_q = \varepsilon^{j2\alpha} \mathfrak{D}_p^*, \quad \mathfrak{D}_q^* = \varepsilon^{-j2\alpha} \mathfrak{D}_p. \quad (32a)$$

Analog gelten in dem Sonderfalle $\text{rg } T_b = 0$, wo $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1 \parallel \mathfrak{B}_2 \parallel \varepsilon^{j\beta}$ ist, die Beziehungen:

$$\mathfrak{D}_q = \varepsilon^{-j2\beta} \mathfrak{D}_p, \quad \mathfrak{D}_q^* = \varepsilon^{j2\beta} \mathfrak{D}_p^*. \quad (32b)$$

3. Die simultanen Invarianten von je drei Formen.

Von den simultanen Invarianten, die je drei der quadratischen Binärformen (13) besitzen, betrachten wir nur die nachstehenden zwölf, die wir ihrem Aufbau nach in zwei Klassen zu vier bzw. acht Invarianten zusammenfassen:

$$\mathfrak{G}_a = \frac{j}{2} \begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 & \mathfrak{A}_2 \\ \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* & \mathfrak{A}_2^* \\ \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 & \mathfrak{B}_2 \end{vmatrix}, \quad \mathfrak{G}_a^* = \frac{j}{2} \begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 & \mathfrak{A}_2 \\ \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* & \mathfrak{A}_2^* \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* & \mathfrak{B}_2^* \end{vmatrix}; \quad \mathfrak{G}_b = \frac{j}{2} \begin{vmatrix} \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 & \mathfrak{B}_2 \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* & \mathfrak{B}_2^* \\ \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 & \mathfrak{A}_2 \end{vmatrix}, \quad \mathfrak{G}_b^* = \frac{j}{2} \begin{vmatrix} \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 & \mathfrak{B}_2 \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* & \mathfrak{B}_2^* \\ \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* & \mathfrak{A}_2^* \end{vmatrix}. \quad (33)$$

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{I}_{ap} &= \frac{1}{2} (A_{01} \mathfrak{P}_2 - 2 A_{02} \mathfrak{P}_1 + A_{12} \mathfrak{P}_0), & \mathfrak{I}_{ap}^* &= \frac{1}{2} (A_{01} \mathfrak{P}_2^* - 2 A_{02} \mathfrak{P}_1^* + A_{12} \mathfrak{P}_0^*); \\ \mathfrak{I}_{bp} &= -\frac{1}{2} (B_{01} \mathfrak{P}_2 - 2 B_{02} \mathfrak{P}_1 + B_{12} \mathfrak{P}_0), & \mathfrak{I}_{bp}^* &= -\frac{1}{2} (B_{01} \mathfrak{P}_2^* - 2 B_{02} \mathfrak{P}_1^* + B_{12} \mathfrak{P}_0^*); \\ \mathfrak{I}_{aq} &= \frac{1}{2} (A_{01} \mathfrak{Q}_2 - 2 A_{02} \mathfrak{Q}_1 + A_{12} \mathfrak{Q}_0), & \mathfrak{I}_{aq}^* &= \frac{1}{2} (A_{01} \mathfrak{Q}_2^* - 2 A_{02} \mathfrak{Q}_1^* + A_{12} \mathfrak{Q}_0^*); \\ \mathfrak{I}_{bq} &= -\frac{1}{2} (B_{01} \mathfrak{Q}_2 - 2 B_{02} \mathfrak{Q}_1 + B_{12} \mathfrak{Q}_0), & \mathfrak{I}_{bq}^* &= -\frac{1}{2} (B_{01} \mathfrak{Q}_2^* - 2 B_{02} \mathfrak{Q}_1^* + B_{12} \mathfrak{Q}_0^*). \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

1. Die Invarianten $\mathcal{G}_a, \mathcal{G}_a^*, \mathcal{G}_b, \mathcal{G}_b^*$ sind für die späteren Untersuchungen von großer Bedeutung und müssen daher eingehend behandelt werden. Sie lassen sich u. a. auch in folgender Gestalt schreiben:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{G}_a &= A_{01} \mathfrak{B}_2 - A_{02} \mathfrak{B}_1 + A_{12} \mathfrak{B}_0 = -\frac{j}{2} (\mathfrak{A}_0^* \mathfrak{F}_2 - \mathfrak{A}_1^* \mathfrak{F}_1 + \mathfrak{A}_2^* \mathfrak{F}_0), \\ \mathcal{G}_a^* &= A_{01} \mathfrak{B}_2^* - A_{02} \mathfrak{B}_1^* + A_{12} \mathfrak{B}_0^* = \frac{j}{2} (\mathfrak{A}_0 \mathfrak{F}_2^* - \mathfrak{A}_1 \mathfrak{F}_1^* + \mathfrak{A}_2 \mathfrak{F}_0^*); \\ \mathcal{G}_b &= B_{01} \mathfrak{A}_2 - B_{02} \mathfrak{A}_1 + B_{12} \mathfrak{A}_0 = \frac{j}{2} (\mathfrak{B}_0^* \mathfrak{F}_2 - \mathfrak{B}_1^* \mathfrak{F}_1 + \mathfrak{B}_2^* \mathfrak{F}_0), \\ \mathcal{G}_b^* &= B_{01} \mathfrak{A}_2^* - B_{02} \mathfrak{A}_1^* + B_{12} \mathfrak{A}_0^* = -\frac{j}{2} (\mathfrak{B}_0 \mathfrak{F}_2^* - \mathfrak{B}_1 \mathfrak{F}_1^* + \mathfrak{B}_2 \mathfrak{F}_0^*). \end{aligned} \right\} (35)$$

Für diese Invarianten besteht weiterhin eine Reihe wichtiger Beziehungen, von denen wir nur die folgenden (für unseren Zweck gebrauchten) anführen:

$$\left| \begin{array}{cc} A_{01} & A_{02} \\ \mathfrak{F}_0 & \mathfrak{F}_1 \end{array} \right| = \mathfrak{A}_0 \mathcal{G}_a, \quad \left| \begin{array}{cc} A_{01} & A_{12} \\ \mathfrak{F}_0 & \mathfrak{F}_2 \end{array} \right| = \mathfrak{A}_1 \mathcal{G}_a, \quad \left| \begin{array}{cc} A_{02} & A_{12} \\ \mathfrak{F}_1 & \mathfrak{F}_2 \end{array} \right| = \mathfrak{A}_2 \mathcal{G}_a; \quad (36a)$$

$$\left| \begin{array}{cc} B_{01} & B_{02} \\ \mathfrak{F}_0 & \mathfrak{F}_1 \end{array} \right| = -\mathfrak{B}_0 \mathcal{G}_b, \quad \left| \begin{array}{cc} B_{01} & B_{12} \\ \mathfrak{F}_0 & \mathfrak{F}_2 \end{array} \right| = -\mathfrak{B}_1 \mathcal{G}_b, \quad \left| \begin{array}{cc} B_{02} & B_{12} \\ \mathfrak{F}_1 & \mathfrak{F}_2 \end{array} \right| = -\mathfrak{B}_2 \mathcal{G}_b. \quad (36b)$$

$$\left. \begin{aligned} \left| \begin{array}{cc} A_{01} & A_{02} \\ B_{01} & B_{02} \end{array} \right| &= -\frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_0 & \mathcal{G}_b \\ \mathfrak{A}_0^* & \mathcal{G}_b^* \end{array} \right| = \frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{B}_0 & \mathcal{G}_a \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathcal{G}_a^* \end{array} \right|, \\ \left| \begin{array}{cc} A_{01} & A_{12} \\ B_{01} & B_{12} \end{array} \right| &= -\frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_1 & \mathcal{G}_b \\ \mathfrak{A}_1^* & \mathcal{G}_b^* \end{array} \right| = \frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{B}_1 & \mathcal{G}_a \\ \mathfrak{B}_1^* & \mathcal{G}_a^* \end{array} \right|, \\ \left| \begin{array}{cc} A_{02} & A_{12} \\ B_{02} & B_{12} \end{array} \right| &= -\frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{A}_2 & \mathcal{G}_b \\ \mathfrak{A}_2^* & \mathcal{G}_b^* \end{array} \right| = \frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{B}_2 & \mathcal{G}_a \\ \mathfrak{B}_2^* & \mathcal{G}_a^* \end{array} \right|. \end{aligned} \right\} (37)$$

$$\left. \begin{aligned} P_{01} &= \frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{F}_0 & \mathfrak{F}_1 \\ \mathfrak{F}_0^* & \mathfrak{F}_1^* \end{array} \right| = \mathfrak{A}_0^* \mathcal{G}_b + \mathfrak{B}_0^* \mathcal{G}_a = \mathfrak{A}_0 \mathcal{G}_b^* + \mathfrak{B}_0 \mathcal{G}_a^*, \\ P_{02} &= \frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{F}_0 & \mathfrak{F}_2 \\ \mathfrak{F}_0^* & \mathfrak{F}_2^* \end{array} \right| = \mathfrak{A}_1^* \mathcal{G}_b + \mathfrak{B}_1^* \mathcal{G}_a = \mathfrak{A}_1 \mathcal{G}_b^* + \mathfrak{B}_1 \mathcal{G}_a^*, \\ P_{12} &= \frac{j}{2} \left| \begin{array}{cc} \mathfrak{F}_1 & \mathfrak{F}_2 \\ \mathfrak{F}_1^* & \mathfrak{F}_2^* \end{array} \right| = \mathfrak{A}_2^* \mathcal{G}_b + \mathfrak{B}_2^* \mathcal{G}_a = \mathfrak{A}_2 \mathcal{G}_b^* + \mathfrak{B}_2 \mathcal{G}_a^*. \end{aligned} \right\} (38)$$

Mit Hilfe dieser Gleichungen untersuchen wir jetzt die Bedingungen, unter denen die Invarianten (33) von Null verschieden sind oder verschwinden. Wir betrachten besonders die Invariante \mathcal{G}_a und bemerken, daß für \mathcal{G}_b (ebenso für die konjugiert komplexen Größen $\mathcal{G}_a^*, \mathcal{G}_b^*$) entsprechendes gilt.

Wir setzen dabei voraus, daß $\mathfrak{I}_p \neq 0$ ist, also auch die Größen \mathfrak{F}_ν ($\nu = 0, 1, 2$) nicht sämtlich $= 0$ sind, da nur in diesem Falle die Invarianten $\mathcal{G}_a, \mathcal{G}_b$, usw. für die späteren Anwendungen eine Rolle spielen. Dann ergeben sich folgende beiden Möglichkeiten:

1. $\mathcal{G}_a \neq 0$: Dann können, wie aus Gleichung (35) direkt folgt, die Größen A_{01}, A_{02}, A_{12} nicht sämtlich $= 0$ sein, d. h. es kann, da diese Größen keinen weiteren Bedingungen unterworfen sind, der Rang von $T_a = 2$ oder $= 1$, aber nicht $= 0$ sein: $\text{rg } T_a \neq 0$. Die Invariante \mathcal{G}_b kann in diesem Falle natürlich sowohl $\neq 0$ als auch $= 0$ sein.
2. $\mathcal{G}_a = 0$: Dann ergeben sich aus den Gleichungen (37) und (36a) die Proportionen:

$$A_{01} : A_{02} : A_{12} = B_{01} : B_{02} : B_{12} \quad \text{und} \quad A_{01} : A_{02} : A_{12} = \mathfrak{F}_0 : \mathfrak{F}_1 : \mathfrak{F}_2; \quad (39a, b)$$

aus letzterer läßt sich noch die Beziehung ableiten:

$$\frac{A_{01}^2}{\mathfrak{P}_0^2} = \frac{A_{02}^2}{\mathfrak{P}_1^2} = \frac{A_{12}^2}{\mathfrak{P}_2^2} = -\frac{T_a}{\mathfrak{I}_p}, \quad (39c)$$

in welcher der letzte Bruch und mindestens einer der drei übrigen nicht unbestimmt, also $\neq \frac{0}{0}$ ist, da nach Voraussetzung \mathfrak{I}_p und wenigstens eine der Größen \mathfrak{P}_ν von Null verschieden ist. Daher folgt aus (39c) noch, daß, wenn $T_a = 0$ ist, auch $A_{01} = A_{02} = A_{12} = 0$ sein muß, d. h. der Rang von T_a kann jetzt $= 2$ oder $= 0$, aber nicht $= 1$ sein: $\text{rg } T_a \neq 1$. Je nach dem Range von T_a unterscheiden wir noch folgende zwei Unterfälle:

- a) $\mathfrak{G}_a = 0, T_a = 0$: Wenn $\text{rg } T_a = 0$, also $A_{01} = A_{02} = A_{12} = 0$ ist, so ist immer $\mathfrak{G}_a = 0$, wie aus (35) unmittelbar folgt. Die Proportionen (39a, b) sind dann trivial, weil in beiden sämtliche Glieder der linken Seite verschwinden. Da die Größen \mathfrak{P}_ν ($\nu = 0, 1, 2$) beliebige Werte haben können, so kann auch in diesem Falle $\mathfrak{G}_b \neq 0$ oder $= 0$ sein.
- b) $\mathfrak{G}_a = 0, T_a \neq 0$: Wenn dagegen $T_a \neq 0$ ist, so sind auch A_{01}, A_{02}, A_{12} nicht sämtlich $= 0$, also verschwinden auch in den Proportionen (39a, b) die Glieder der linken Seiten nicht sämtlich. Deshalb läßt sich aus (39a und b) noch eine weitere Proportion herleiten:

$$B_{01} : B_{02} : B_{12} = \mathfrak{P}_0 : \mathfrak{P}_1 : \mathfrak{P}_2; \quad (39d)$$

aus dieser folgt in Verbindung mit den Gleichungen (36b) sofort, daß in diesem Falle auch $\mathfrak{G}_b = 0$ sein muß (dabei kann wieder $\text{rg } T_b = 2$ oder $= 0$ sein). Wegen $\mathfrak{G}_a = 0$ und $\mathfrak{G}_b = 0$ ergibt sich aus den Gleichungen (38) schließlich die Beziehung:

$$P_{01} = P_{02} = P_{12} = 0, \quad \text{also} \quad \mathfrak{P}_0 \parallel \mathfrak{P}_1 \parallel \mathfrak{P}_2. \quad (39e)$$

Zusammenfassend läßt sich noch folgendes sagen: Wenn gleichzeitig $\mathfrak{G}_a = 0$ und $\mathfrak{G}_b = 0$ ist, so ist $\mathfrak{P}_0 \parallel \mathfrak{P}_1 \parallel \mathfrak{P}_2$, und es bestehen die Proportionen $A_{01} : A_{02} : A_{12} = B_{01} : B_{02} : B_{12} = \mathfrak{P}_0 : \mathfrak{P}_1 : \mathfrak{P}_2$, in denen auch verschiedene Glieder (evtl. sämtliche einer Seite) $= 0$ sein können. Umgekehrt folgt nach den Gleichungen (38) aus $\mathfrak{P}_0 \parallel \mathfrak{P}_1 \parallel \mathfrak{P}_2$ immer $\mathfrak{G}_a = 0$ und $\mathfrak{G}_b = 0$; d. h. die beiden Aussagen: $\mathfrak{G}_a = \mathfrak{G}_b = 0$ und $\mathfrak{P}_0 \parallel \mathfrak{P}_1 \parallel \mathfrak{P}_2$ sind völlig gleichbedeutend.

II. Die Invarianten (34) $\mathfrak{I}_{ap}, \mathfrak{I}_{bp}, \mathfrak{I}_{aq}, \mathfrak{I}_{bq}$ und die dazu konjugiert komplexen Größen sind mit den früher eingeführten Invarianten durch eine große Zahl von Beziehungen verknüpft, von denen nur die wichtigsten erwähnt werden sollen:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{4} \mathfrak{D}_a \mathfrak{G}_a^2 &= \mathfrak{I}_{ap}^2 + T_a \mathfrak{I}_p, & -\frac{1}{4} \mathfrak{D}_a^* \mathfrak{G}_a^{*2} &= \mathfrak{I}_{ap}^{*2} + T_a \mathfrak{I}_p^*; \\ -\frac{1}{4} \mathfrak{D}_b \mathfrak{G}_b^2 &= \mathfrak{I}_{bp}^2 + T_b \mathfrak{I}_p, & -\frac{1}{4} \mathfrak{D}_b^* \mathfrak{G}_b^{*2} &= \mathfrak{I}_{bp}^{*2} + T_b \mathfrak{I}_p^*; \\ -\frac{1}{4} \mathfrak{D}_a \mathfrak{G}_a^{*2} &= \mathfrak{I}_{aq}^2 + T_a \mathfrak{I}_q, & -\frac{1}{4} \mathfrak{D}_a^* \mathfrak{G}_a^2 &= \mathfrak{I}_{aq}^{*2} + T_a \mathfrak{I}_q^*; \\ -\frac{1}{4} \mathfrak{D}_b^* \mathfrak{G}_b^2 &= \mathfrak{I}_{bq}^2 + T_b \mathfrak{I}_q, & -\frac{1}{4} \mathfrak{D}_b \mathfrak{G}_b^{*2} &= \mathfrak{I}_{bq}^{*2} + T_b \mathfrak{I}_q^*. \end{aligned} \right\} \quad (40)$$

Ist insbesondere $\mathfrak{G}_a = 0$ oder $\mathfrak{G}_b = 0$ (oder auch $\mathfrak{G}_a = \mathfrak{G}_b = 0$), so gelten noch die Gleichungen:

$$16 T_b T_a^3 = (\mathfrak{I}_{ap} \mathfrak{I}_{ap}^* - \mathfrak{I}_{aq} \mathfrak{I}_{aq}^*)^2, \quad 16 T_a T_b^3 = (\mathfrak{I}_{bp} \mathfrak{I}_{bp}^* - \mathfrak{I}_{bq} \mathfrak{I}_{bq}^*)^2. \quad (41)$$

In dem Sonderfalle $\text{rg } T_a = 0$, in dem $\mathfrak{N}_0 \parallel \mathfrak{N}_1 \parallel \mathfrak{N}_2 \parallel \varepsilon^{j\alpha}$ ist, unterscheiden sich \mathfrak{I}_{aq} und \mathfrak{I}_{ap}^* , \mathfrak{I}_{bq} und \mathfrak{I}_{bp}^* usw. voneinander nur um eine Potenz des Richtungsfaktors $\varepsilon^{j\alpha}$, denn es ist dann:

$$\mathfrak{I}_{aq} = \varepsilon^{j2\alpha} \mathfrak{I}_{ap}^*, \quad \mathfrak{I}_{aq}^* = \varepsilon^{-j2\alpha} \mathfrak{I}_{ap}; \quad \mathfrak{I}_{bq} = \varepsilon^{j2\alpha} \mathfrak{I}_{bp}^*, \quad \mathfrak{I}_{bq}^* = \varepsilon^{-j2\alpha} \mathfrak{I}_{bp}. \quad (42a)$$

Analog bestehen in dem Sonderfalle $\text{rg } T_b = 0$, wo $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1 \parallel \mathfrak{B}_2 \parallel \varepsilon^{j\beta}$ ist, die Beziehungen:

$$\mathfrak{I}_{aq} = \varepsilon^{-j2\beta} \mathfrak{I}_{ap}, \quad \mathfrak{I}_{aq}^* = \varepsilon^{j2\beta} \mathfrak{I}_{ap}^*; \quad \mathfrak{I}_{bq} = \varepsilon^{-j2\beta} \mathfrak{I}_{bp}, \quad \mathfrak{I}_{bq}^* = \varepsilon^{j2\beta} \mathfrak{I}_{bp}^*. \quad (42 b)$$

4. Die simultanen Invarianten aller vier Formen.

Auch für alle vier quadratischen Formen (13) zusammen lassen sich eine größere Zahl simultaner Invarianten bilden, von denen jedoch zur Lösung unserer Aufgabe nur folgende zwei gebraucht werden:

$$K_p = \begin{vmatrix} 2P_{01} & P_{02} \\ P_{02} & 2P_{12} \end{vmatrix}. \quad (43)$$

$$T_{pk} = -\frac{1}{2} (\mathfrak{P}_0 \mathfrak{P}_2^* - 2\mathfrak{P}_1 \mathfrak{P}_1^* + \mathfrak{P}_2 \mathfrak{P}_0^*). \quad (44)$$

I. Die Invariante K_p läßt sich auch als viergliedrige Determinante der Größen \mathfrak{P}_ν und als achtgliedrige Determinante der Größen $\mathfrak{A}_\nu, \mathfrak{B}_\nu$ ($\nu = 0, 1, 2$) schreiben¹⁴⁾:

$$K_p = \begin{vmatrix} 2P_{01} & P_{02} \\ P_{02} & 2P_{12} \end{vmatrix} = -\frac{1}{4} \begin{vmatrix} \mathfrak{P}_0 & 2\mathfrak{P}_1 & \mathfrak{P}_2 & 0 \\ \mathfrak{P}_0^* & 2\mathfrak{P}_1^* & \mathfrak{P}_2^* & 0 \\ 0 & \mathfrak{P}_0 & 2\mathfrak{P}_1 & \mathfrak{P}_2 \\ 0 & \mathfrak{P}_0^* & 2\mathfrak{P}_1^* & \mathfrak{P}_2^* \end{vmatrix} = -\frac{1}{4} \begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 & \mathfrak{A}_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 & \mathfrak{B}_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* & \mathfrak{A}_2^* & 2\mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* & 0 & 0 & 0 \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* & \mathfrak{B}_2^* & 2\mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathfrak{A}_1 & 2\mathfrak{A}_2 & \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 & \mathfrak{A}_2 \\ 0 & 0 & 0 & \mathfrak{B}_1 & 2\mathfrak{B}_2 & \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 & \mathfrak{B}_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* & \mathfrak{A}_2^* \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* & \mathfrak{B}_2^* \end{vmatrix}. \quad (45)$$

Aus letzter Determinante ergibt sich leicht die wichtige Beziehung:

$$K_p = D_{bk} \mathfrak{G}_a \mathfrak{G}_a^* + D_{ak} \mathfrak{G}_b \mathfrak{G}_b^* + \mathfrak{D}_q \mathfrak{G}_a \mathfrak{G}_b^* + \mathfrak{D}_q^* \mathfrak{G}_a^* \mathfrak{G}_b. \quad (46)$$

Aus den Beziehungen (45) und (26) erkennt man noch, daß K_p aus den Größen $\mathfrak{P}_0, 2\mathfrak{P}_1, \mathfrak{P}_2$ in genau derselben Weise aufgebaut ist wie die Invariante T_a aus den Größen $\mathfrak{A}_0, \mathfrak{A}_1, \mathfrak{A}_2$. Deshalb lassen sich für K_p ähnliche Eigenschaften ableiten, wie sie früher bei Besprechung von T_a angegeben wurden, und es läßt sich wieder eine Einteilung nach dem Rang der zweireihigen Determinante (43) vornehmen.

Wir gehen hierauf nicht näher ein und erwähnen nur noch, daß, wenn $\text{rg } K_p = 2$ oder $= 1$ ist¹⁵⁾, \mathfrak{G}_a und \mathfrak{G}_b nicht gleichzeitig $= 0$ sein können. Ist dagegen $\text{rg } K_p = 0$, also $P_{01} = P_{02} = P_{12} = 0$ und $\mathfrak{P}_0 \parallel \mathfrak{P}_1 \parallel \mathfrak{P}_2$, so ist nach den früheren Untersuchungen auch $\mathfrak{G}_a = 0$ und $\mathfrak{G}_b = 0$, und umgekehrt folgt aus $\mathfrak{G}_a = \mathfrak{G}_b = 0$ immer $\text{rg } K_p = 0$; d. h. der Fall $\text{rg } K_p = 0$ ist mit dem Falle $\mathfrak{G}_a = \mathfrak{G}_b = 0$ identisch.

II. Die Invariante T_{pk} schließlich steht mit den früheren Invarianten \mathfrak{I}_p und K_p in folgendem Zusammenhang¹⁶⁾:

$$K_p = T_{pk}^2 - \mathfrak{I}_p \mathfrak{I}_p^* = T_{pk}^2 - \mathfrak{I}_p \mathfrak{I}_p^{*2}. \quad (47)$$

Ist insbesondere $\text{rg } K_p = 0$, d. h. $\mathfrak{P}_0 \parallel \mathfrak{P}_1 \parallel \mathfrak{P}_2$, wobei wir nach den Gleichungen (10) $\mathfrak{P}_0 = \varepsilon^{j\psi} P_0$, $\mathfrak{P}_1 = \varepsilon^{j\psi} P_1$, $\mathfrak{P}_2 = \varepsilon^{j\psi} P_2$ setzen können, so ergibt sich für T_{pk} :

$$T_{pk} = -\begin{vmatrix} P_0 & P_1 \\ P_1 & P_2 \end{vmatrix} = \varepsilon^{-j2\psi} \mathfrak{I}_p. \quad (48)$$

¹⁴⁾ Die Formelzeichen für die Invarianten sind so gewählt, daß unabhängig von den Indizes \mathfrak{D} und D das Gewicht 2, \mathfrak{I} und T das Gewicht 4, \mathfrak{G} das Gewicht 3 und K das Gewicht 8 haben.

¹⁵⁾ K_p als zweireihige Determinante von $2P_{01}, P_{02}, 2P_{12}$ aufgefaßt.

¹⁶⁾ Schreibt man T_{pk} als Differenz zweier innerer Produkte: $T_{pk} = -(\mathfrak{P}_0 \circ \mathfrak{P}_2 - \mathfrak{P}_1 \circ \mathfrak{P}_1) = -(\mathfrak{P}_0 \circ \mathfrak{P}_2 - \mathfrak{I}_p \mathfrak{I}_p^*)$, so erkennt man eine ähnliche Verwandtschaft zwischen \mathfrak{I}_p und T_{pk} , wie sie früher zwischen \mathfrak{D}_a und D_{ak} festgestellt wurde.

Besonders wichtig für das folgende ist jedoch das Verhalten der Invariante T_{pk} in dem Sonderfalle $\text{rg } T_b = 0$, d. h. $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1 \parallel \mathfrak{B}_2$, in welchem wir nach Gleichung (5b) $\bar{f}_b = \mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2 = \varepsilon^{j\beta} (B_0 + B_1 \sigma + B_2 \sigma^2)$ schreiben können. Da in diesem Falle nach (35) $\mathfrak{G}_b = \mathfrak{G}_b^* = 0$ ist, so ergibt sich aus den Gleichungen (46) und (47) die Beziehung:

$$K_p = D_{bk} \mathfrak{G}_a \mathfrak{G}_a^* = T_{pk}^2 - \mathfrak{I}_p \mathfrak{I}_p^*, \text{ also } D_{bk} \|\mathfrak{G}_a\|^2 = T_{pk} - \|\mathfrak{I}_p\|^2 = (T_{pk} + \|\mathfrak{I}_p\|) (T_{pk} - \|\mathfrak{I}_p\|). \quad (49)$$

Hieraus folgt unmittelbar das wichtige Resultat:

Ist $\mathfrak{G}_a \neq 0$, so ist $\|\mathfrak{I}_p\| \leq T_{pk}$, je nachdem $D_{bk} \geq 0$ ist;

Ist $\mathfrak{G}_a = 0$, so ist $\|\mathfrak{I}_p\| = T_{pk}$ für alle Werte von D_{bk} .

Wir untersuchen noch, welches Vorzeichen der Wert von T_{pk} in diesen Fällen haben kann. Da T_{pk} eine Invariante vom Gewicht 4 ist, ihr Vorzeichen sich also bei allen Substitutionen (14) nicht ändert, so genügt es, den Wert von T_{pk} für besonders einfache Formen $\bar{f}'_a, \bar{f}'_a^*, \bar{f}'_b, \bar{f}'_b^*$ zu berechnen, in die sich die Formen (13) durch geeignete Wahl der Substitution überführen lassen.

Bekanntlich kann man eine quadratische Form mit reellen Koeffizienten immer durch eine reelle lineare Substitution mit nichtverschwindender Substitutionsdeterminante in eine sogenannte kanonische Form transformieren, bei welcher nur die mit positiven oder negativen Vorzeichen versehenen Quadrate der Veränderlichen auftreten. Wendet man dies auf die reelle Form $B_0 \sigma_1^2 + B_1 \sigma_1 \sigma_2 + B_2 \sigma_2^2$ an, von der sich ja \bar{f}_b im Falle $\text{rg } T_b = 0$ nur durch den Faktor $\varepsilon^{j\beta}$ unterscheidet, so erkennt man leicht, daß sich \bar{f}_b durch geeignete Wahl der Substitution (14) stets in eine der nachstehenden Formen \bar{f}'_b überführen läßt, während \bar{f}'_a im allgemeinen keine besonders einfache Gestalt annimmt, also in $\bar{f}'_a = \mathfrak{A}'_0 \tau_1^2 + \mathfrak{A}'_1 \tau_1 \tau_2 + \mathfrak{A}'_2 \tau_2^2$ übergehen möge:

1. Ist $D_{bk} > 0$, so läßt sich \bar{f}_b in $\bar{f}'_b = \pm \varepsilon^{j\beta} (\tau_1^2 + \tau_2^2)$ transformieren; dann ist

$$T_{pk} = (\mathfrak{A}'_0 - \mathfrak{A}'_2) (\mathfrak{A}'_0^* - \mathfrak{A}'_2^*) + \mathfrak{A}'_1 \mathfrak{A}'_1^* = \|\mathfrak{A}'_0 - \mathfrak{A}'_2\|^2 + \|\mathfrak{A}'_1\|^2, \text{ also } T_{pk} \geq 0. \quad (50a)$$

2. Ist $D_{bk} = 0$, so läßt sich \bar{f}_b in $\bar{f}'_b = \pm \varepsilon^{j\beta} \tau_1^2$ transformieren; dann ist

$$T_{pk} = \mathfrak{A}'_2 \mathfrak{A}'_2^* = \|\mathfrak{A}'_2\|^2, \text{ also } T_{pk} \geq 0. \quad (50b)$$

3. Ist $D_{bk} < 0$, so läßt sich \bar{f}_b in $\bar{f}'_b = \varepsilon^{j\beta} (\tau_1^2 - \tau_2^2)$ transformieren; dann ist

$$T_{pk} = (\mathfrak{A}'_0 + \mathfrak{A}'_2) (\mathfrak{A}'_0^* + \mathfrak{A}'_2^*) - \mathfrak{A}'_1 \mathfrak{A}'_1^* = \|\mathfrak{A}'_0 + \mathfrak{A}'_2\|^2 - \|\mathfrak{A}'_1\|^2, \text{ also } T_{pk} \geq 0. \quad (50c)$$

Fassen wir all diese Ergebnisse zusammen, so erhalten wir schließlich für den Wertebereich der Invarianten T_{pk} im Falle $\text{rg } T_b = 0$ folgendes Resultat:

Ist $\text{rg } T_b = 0$ (also $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1 \parallel \mathfrak{B}_2$ und $\mathfrak{G}_b = 0$), aber $\mathfrak{G}_a \neq 0$, so ist:

wenn $D_{bk} > 0$ ist, $T_{pk} > + \|\mathfrak{I}_p\|$;

wenn $D_{bk} = 0$ ist, $T_{pk} = + \|\mathfrak{I}_p\|$;

wenn $D_{bk} < 0$ ist, $-\|\mathfrak{I}_p\| < T_{pk} < + \|\mathfrak{I}_p\|$.

Ist $\text{rg } T_b = 0$ (also $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1 \parallel \mathfrak{B}_2$ und $\mathfrak{G}_b = 0$) und auch $\mathfrak{G}_a = 0$, so ist:

wenn $D_{bk} > 0$ ist, $T_{pk} = + \|\mathfrak{I}_p\|$;

wenn $D_{bk} = 0$ ist, $T_{pk} = + \|\mathfrak{I}_p\|$;

wenn $D_{bk} < 0$ ist, $T_{pk} = + \|\mathfrak{I}_p\|$ oder $= - \|\mathfrak{I}_p\|$.

C. Die Kegelschnitte.

1. Auf Funktionen niedrigeren Grades rückführbare Fälle.

Mit Hilfe der im vorigen eingeführten Invarianten können wir jetzt die durch die quadratische Funktion

$$\mathfrak{B} = \frac{\mathfrak{A}_0 + \mathfrak{A}_1 \sigma + \mathfrak{A}_2 \sigma^2}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2} = \frac{\bar{f}'_a(\sigma)}{\bar{f}'_b(\sigma)} \quad (2)$$

dargestellten Kurven untersuchen und Kriterien für Art und Lage derselben sowie Formeln für ihre wichtigsten Bestimmungsstücke ableiten.

Der Differentialquotient von \mathfrak{B} nach dem Parameter σ ist

$$\frac{d\mathfrak{B}}{d\sigma} = -\frac{\mathfrak{P}_0 + 2\mathfrak{P}_1\sigma + \mathfrak{P}_2\sigma^2}{(\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1\sigma + \mathfrak{B}_2\sigma^2)^2}; \quad (51)$$

durch diesen Differentialquotienten ist bekanntlich die Richtung der Kurventangente bestimmt, da das Argument von $\frac{d\mathfrak{B}}{d\sigma}$ gleich dem Winkel ist, welchen die Tangente mit der reellen Achse bildet.

Damit Gleichung (2) tatsächlich eine (gebrochene oder ganze) Funktion zweiten Grades ergibt und sich nicht auf eine solche niedrigeren Grades reduzieren läßt, müssen \mathfrak{f}_a und \mathfrak{f}_b teilerfremd sein und es dürfen \mathfrak{A}_2 und \mathfrak{B}_2 nicht gleichzeitig verschwinden. Beides ist (nach Abschnitt B 2, III) dann und nur dann erfüllt, wenn die Bézoutsche Resultante \mathfrak{I}_p den Rang 2 hat, also $\mathfrak{I}_p \neq 0$ ist, so daß wir den Satz aussprechen können: Die notwendige und hinreichende Bedingung dafür, daß \mathfrak{B} wirklich eine Funktion 2. Grades und nicht auf eine solche niedrigeren Grades reduzierbar ist, ist $\text{rg } \mathfrak{I}_p = 2$, d. h. $\mathfrak{I}_p \neq 0$.

Ist dagegen $\mathfrak{I}_p = 0$, also $\text{rg } \mathfrak{I}_p = 0$ oder $= 1$, so ergibt Gleichung (2) nur eine (ganze oder gebrochene) Funktion von niedrigerem als dem 2. Grade und läßt sich, wenn sie nicht schon in dieser Form erscheint, durch Kürzen des Bruches mit dem größten gemeinsamen Teiler von \mathfrak{f}_a und \mathfrak{f}_b auf eine Funktion 0. Grades (d. h. eine Konstante) oder 1. Grades zurückführen. Je nach dem Range von \mathfrak{I}_p unterscheiden wir noch folgende zwei Fälle:

1. Wenn $\text{rg } \mathfrak{I}_p = 0$ ist, so ist $\mathfrak{A}_0 : \mathfrak{A}_1 : \mathfrak{A}_2 = \mathfrak{B}_0 : \mathfrak{B}_1 : \mathfrak{B}_2$ und \mathfrak{B} reduziert sich auf eine Konstante, stellt also einen Punkt dar:

$$\mathfrak{B} = \frac{\mathfrak{A}_0}{\mathfrak{B}_0} = \frac{\mathfrak{A}_1}{\mathfrak{B}_1} = \frac{\mathfrak{A}_2}{\mathfrak{B}_2}. \quad (52a)$$

Dabei können von den Brüchen (52a) einer oder auch zwei unbestimmt $= \frac{0}{0}$ werden;

wenigstens einer derselben muß jedoch stets bestimmt sein, da nach Voraussetzung die Größen \mathfrak{B}_v nicht sämtlich $= 0$ sein sollen, und gibt den wahren Wert von \mathfrak{B} an.

2. Wenn $\text{rg } \mathfrak{I}_p = 1$ ist, so läßt sich \mathfrak{B} auf eine lineare Funktion reduzieren, stellt also eine Gerade oder einen Kreis dar. Unter der Voraussetzung, daß \mathfrak{A}_2 und \mathfrak{B}_2 nicht gleichzeitig verschwinden, kann man den Bruch in (2) durch den (stets vorhandenen) gemeinsamen Teiler 1. Grades¹⁷⁾ kürzen und erhält:

$$\mathfrak{B} = \frac{\mathfrak{A}_0\mathfrak{P}_1 + \mathfrak{A}_2\mathfrak{P}_0\sigma}{\mathfrak{B}_0\mathfrak{P}_1 + \mathfrak{B}_2\mathfrak{P}_0\sigma} = \frac{\mathfrak{A}_0\mathfrak{P}_2 + \mathfrak{A}_2\mathfrak{P}_1\sigma}{\mathfrak{B}_0\mathfrak{P}_2 + \mathfrak{B}_2\mathfrak{P}_1\sigma}. \quad (52b)$$

Beide Ausdrücke für \mathfrak{B} werden $= \frac{0}{0}$, versagen also im Falle $\mathfrak{A}_2 = \mathfrak{B}_2 = 0$, in dem (nach

Abschnitt B 2, III) auch $\mathfrak{P}_2 = \mathfrak{P}_1 = 0$ ist, und im Falle $\mathfrak{A}_0 = \mathfrak{B}_0 = 0$, in dem auch $\mathfrak{P}_0 = \mathfrak{P}_1 = 0$ wird; in diesen zwei Sonderfällen läßt sich aber die lineare Funktion für \mathfrak{B} direkt aus der ursprünglichen Gleichung (2) ablesen. — Die weitere Untersuchung von (52b) kann nach dem in Abschnitt A 4 angegebenen Verfahren erfolgen.

2. Einteilung der Kegelschnitte; ihre Lage zum Ursprung.

Wir setzen jetzt für das folgende ausnahmslos $\mathfrak{I}_p \neq 0$ voraus und behandeln zunächst den Fall $\text{rg } T_b = 0$, in welchem $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1 \parallel \mathfrak{B}_2 \parallel \varepsilon^{j\beta}$ ist und wir nach Gleichung (5b) $\mathfrak{f}_b = \mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1\sigma + \mathfrak{B}_2\sigma^2$

¹⁷⁾ Der gemeinsame Teiler läßt sich bekanntlich immer auf rationalem Wege mit Hilfe des Euclidschen Algorithmus finden.

$= \varepsilon^{\beta} (B_0 + B_1 \sigma + B_2 \sigma^2)$ schreiben können. In diesem Falle stellt Gleichung (2) nach den Untersuchungen von O. Bloch einen Kegelschnitt mit Ausnahme des Kreises dar.

Wenn $\text{rg } T_b = 0$ ist, so ist nach Abschnitt B 3, I auch $\mathfrak{G}_b = 0$. Dann darf aber, damit \mathfrak{B} einen eigentlichen Kegelschnitt ergibt, nicht auch noch $\mathfrak{G}_a = 0$ sein. Denn wenn gleichzeitig $\mathfrak{G}_a = 0$ und $\mathfrak{G}_b = 0$ ist, so ist nach dem früheren $\mathfrak{P}_0 \parallel \mathfrak{P}_1 \parallel \mathfrak{P}_2 \parallel \varepsilon \dot{\eta} \psi$; dann haben aber nach Gleichung (51) alle Kurventangenten gleiche Richtung, was natürlich bei einem eigentlichen Kegelschnitt nicht möglich ist. $\mathfrak{G}_a \neq 0$ ist also eine notwendige Bedingung dafür, daß Gleichung (2) einen eigentlichen Kegelschnitt darstellt; daß diese Bedingung auch ausreichend ist, soll erst später gezeigt werden.

Wir setzen daher zunächst noch $\mathfrak{G}_a \neq 0$ voraus und bemerken, daß dann nach den früheren Untersuchungen (Abschnitt B 3, I) $\text{rg } T_a = 2$ oder $= 1$, aber nicht $= 0$ sein kann.

Der Kegelschnitt ist nun eine Ellipse, Parabel oder Hyperbel, je nachdem \mathfrak{B} für keine reellen, für zwei reelle gleiche oder für zwei reelle und verschiedene Werte von σ unendlich wird, d. h. je nachdem die beiden Wurzeln der Gleichung $\bar{f}_b = 0$ konjugiert komplex, reell und gleich oder reell und verschieden sind. Da nach Abschnitt B 2, II im Falle $\text{rg } T_b = 0$ die Invariante D_{bk} für die Natur der Wurzeln von $\bar{f}_b = 0$ bestimmend ist, erhalten wir folgendes Resultat:

Der Kegelschnitt ist eine $\left. \begin{array}{l} \text{Ellipse} \\ \text{Parabel} \\ \text{Hyperbel} \end{array} \right\}$, je nachdem $D_{bk} \begin{array}{l} \geq 0 \\ = 0 \\ < 0 \end{array}$ ist.

Für die Lage des Kegelschnittes zum Ursprung ist die Invariante T_a maßgebend. Denn wenn $\text{rg } T_a = 1$, also $T_a = 0$ ist, so hat nach Abschnitt B 2, I die Gleichung $\bar{f}_a = 0$ eine (und nur eine) reelle Wurzel σ , für die dann auch $\mathfrak{B} = 0$ wird; der Kegelschnitt geht also durch den Ursprung. Ist dagegen $\text{rg } T_a = 2$, d. h. $T_a \neq 0$, so hat $\bar{f}_a = 0$ keine reellen Wurzeln, \mathfrak{B} wird also für keinen reellen Wert von σ zu Null; dann geht die Kurve nicht durch den Ursprung.

In letzterem Falle liegt der Ursprung innerhalb oder außerhalb des Kegelschnittes, je nachdem die beiden vom Ursprung aus an ihn gelegten Tangenten, somit auch deren Berührungspunkte imaginär oder reell sind. Nun ergeben sich die Parameterwerte σ für diese Berührungspunkte aus der Bedingung, daß für sie \mathfrak{B} und $\frac{d\mathfrak{B}}{d\sigma}$ gleiche oder entgegengesetzte Richtung haben müssen, also allgemein das äußere Produkt $\mathfrak{B} \times \frac{d\mathfrak{B}}{d\sigma} = 0$ sein muß. Die Bestimmungsgleichung für die Parameterwerte der Berührungspunkte der Tangenten aus dem Ursprung lautet daher:

$$\frac{j}{2} \left| \begin{array}{l} \mathfrak{B} \quad \frac{d\mathfrak{B}}{d\sigma} \\ \mathfrak{B}^* \quad \left(\frac{d\mathfrak{B}}{d\sigma}\right)^* \end{array} \right| = \frac{A_{01} + 2A_{02}\sigma + A_{12}\sigma^2}{(B_0 + B_1\sigma + B_2\sigma^2)^2} = 0.$$

Da die Gleichung $A_{01} + 2A_{02}\sigma + A_{12}\sigma^2 = 0$ die Invariante T_a zur Diskriminanten hat, so sind ihre Wurzeln σ konjugiert komplex oder reell (und verschieden), je nachdem $T_a > 0$ oder $T_a < 0$ ist; ist jedoch $T_a = 0$, so sind beide Wurzeln gleich, und wir erhalten wieder den schon vorhin behandelten Fall, in dem der Ursprung auf dem Kegelschnitt liegt¹⁸⁾. Hieraus folgt schließlich das Resultat:

Der Ursprung liegt $\left\{ \begin{array}{l} \text{innerhalb des} \\ \text{auf dem} \\ \text{außerhalb des} \end{array} \right\}$ Kegelschnitte(s), je nachdem $T_a \begin{array}{l} \geq 0 \\ = 0 \\ < 0 \end{array}$ ist.

¹⁸⁾ In den Ausnahmefällen $A_{12} = 0$ und $A_{12} = A_{02} = 0$ gilt das oben Gesagte nur, wenn wieder als Ersatz für fehlende Gleichungswurzeln der Wert $\sigma = \infty$ hinzugenommen wird.

3. Brennpunkte und Mittelpunkt

Nach den Untersuchungen von O. Bloch liegt der bzw. ein Brennpunkt des Kegelschnittes dann und nur dann im Ursprung, wenn der Zähler \mathfrak{f}_a von (2) ein vollständiges Quadrat, also (vgl. Abschnitt B 1) seine Diskriminante $\mathfrak{D}_a = 0$ ist.

Wir wollen jetzt allgemein die Brennpunkte der Kegelschnitte ermitteln und bezeichnen den Vektor vom Ursprung nach einem Brennpunkt mit \mathfrak{F} . Dann hat der aus \mathfrak{B} durch einfache Parallelverschiebung um $-\mathfrak{F}$ hervorgehende Kegelschnitt

$$\mathfrak{B}' = \mathfrak{B} - \mathfrak{F} = \frac{(\mathfrak{A}_0 - \mathfrak{B}_0 \mathfrak{F}) + (\mathfrak{A}_1 - \mathfrak{B}_1 \mathfrak{F}) \sigma + (\mathfrak{A}_2 - \mathfrak{B}_2 \mathfrak{F}) \sigma^2}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2}$$

einen Brennpunkt im Ursprung, also muß die Diskriminante des Zählers von \mathfrak{B}' verschwinden:

$$\begin{vmatrix} 2\mathfrak{A}_0 - 2\mathfrak{B}_0 \mathfrak{F} & \mathfrak{A}_1 - \mathfrak{B}_1 \mathfrak{F} \\ \mathfrak{A}_1 - \mathfrak{B}_1 \mathfrak{F} & 2\mathfrak{A}_2 - 2\mathfrak{B}_2 \mathfrak{F} \end{vmatrix} = \mathfrak{D}_a - 2\mathfrak{D}_p \mathfrak{F} + \mathfrak{D}_b \mathfrak{F}^2 = 0.$$

Aus dieser Gleichung lassen sich die Werte von \mathfrak{F} sofort berechnen, wenn man noch beachtet, daß wegen $\text{rg } T_b = 0$ die zu Gleichung (28) analoge Beziehung $\mathfrak{D}_b = \varepsilon^{j2\beta} D_{bk}$ besteht, und daß nach Gleichung (31) $\mathfrak{D}_p^2 - \mathfrak{D}_a \mathfrak{D}_b = 4\mathfrak{I}_p$ ist:

1. Für die Parabel ist $D_{bk} = 0$, also auch $\mathfrak{D}_b = 0$, aber (nach Gleichung (31) wegen $\mathfrak{I}_p \neq 0$) $\mathfrak{D}_p \neq 0$; daher ergibt sich der Brennpunkt zu:

$$\mathfrak{F} = \frac{\mathfrak{D}_a}{2\mathfrak{D}_p}. \quad (53a)$$

2. Für Ellipse und Hyperbel ist $D_{bk} \geq 0$, also $\mathfrak{D}_b \neq 0$, und die Brennpunkte ergeben sich mit Berücksichtigung der Beziehung (31) zu:

$$\mathfrak{F}_{1,2} = \frac{\mathfrak{D}_p \pm 2\sqrt{\mathfrak{I}_p}}{\mathfrak{D}_b}. \quad (53b)$$

In letzterem Falle erhält man noch den Mittelpunkt \mathfrak{C} (d. i. der Vektor vom Ursprung nach dem Mittelpunkt) für Ellipse und Hyperbel als das arithmetische Mittel von \mathfrak{F}_1 und \mathfrak{F}_2 zu:

$$\mathfrak{C} = \frac{\mathfrak{F}_1 + \mathfrak{F}_2}{2} = \frac{\mathfrak{D}_p}{\mathfrak{D}_b}. \quad (54)$$

Der Mittelpunkt liegt im Ursprung ($\mathfrak{C} = 0$), wenn $\mathfrak{D}_p = 0$ ist.

Die Richtung der großen bzw. reellen Achse der Mittelpunktkegelschnitte ist gegeben durch den Richtungsfaktor des Vektors $\mathfrak{F}_1 - \mathfrak{F}_2 = 4 \frac{\sqrt{\mathfrak{I}_p}}{\mathfrak{D}_b}$, welcher die Verbindungsstrecke der beiden Brennpunkte darstellt. Wir bezeichnen das Argument eines (beliebigen) der beiden Werte der Quadratwurzel $\sqrt{\mathfrak{I}_p}$ mit δ (das des anderen Wurzelwertes ist dann $\delta + \pi$), setzen also $\sqrt{\mathfrak{I}_p} = \varepsilon^{j\delta} \sqrt{|\mathfrak{I}_p|}$; ferner ist nach dem früheren $\mathfrak{D}_b = \varepsilon^{j2\beta} D_{bk}$. Dann ist die Richtung der großen Achse der Ellipse und der reellen Achse der Hyperbel durch den Einheitsvektor

$$\varepsilon^{j\varrho} = \varepsilon^{j(\delta - 2\beta)} \quad (55)$$

bestimmt; dieselbe Formel gilt aber auch für die Richtung der Achse der Parabel, wie sich durch Grenzübergang leicht ergibt.

4. Exzentrizität, Parameter und Achsen

Die lineare Exzentrizität c der Mittelpunktkegelschnitte ist der Abstand eines Brennpunktes vom Mittelpunkt und ergibt sich daher aus dem vorigen unmittelbar als der absolute Wert $|\mathfrak{F}_{1,2} - \mathfrak{C}|$ zu¹⁹⁾:

$$c = \frac{2\sqrt{|\mathfrak{I}_p|}}{|\mathfrak{D}_b|} = \frac{2\sqrt{|\mathfrak{I}_p|}}{|D_{bk}|}. \quad (56)$$

¹⁹⁾ In den Formeln (56) bis (58) ist unter den reellen Quadratwurzeln immer deren positiver Wert zu verstehen.

Wir ermitteln ferner den Parameter $2p$ der Kegelschnitte²⁰⁾, welcher bekanntlich gleich der Länge der durch einen Brennpunkt gehenden, zur Leitlinie parallelen Sehne ist. Da diese Sehne auf der Hauptachse senkrecht steht und von ihr halbiert wird, so muß für einen (noch unbekanntem) Wert von σ

$$\mathfrak{F} + j\varepsilon^{j\varrho} p = \mathfrak{B}, \quad \text{also} \quad \mathfrak{F} + j\varepsilon^{j(\delta-2\beta)} p = \frac{\mathfrak{A}_0 + \mathfrak{A}_1 \sigma + \mathfrak{A}_2 \sigma^2}{\varepsilon^{j\beta} (B_0 + B_1 \sigma + B_2 \sigma^2)}$$

sein. Daraus folgen sofort nachstehende zwei Gleichungen, von denen die zweite die zur ersten konjugiert komplexe Gleichung ist:

$$j\varepsilon^{-j(\delta-\beta)} [(\mathfrak{A}_0 - \mathfrak{B}_0 \mathfrak{F}) + (\mathfrak{A}_1 - \mathfrak{B}_1 \mathfrak{F}) \sigma + (\mathfrak{A}_2 - \mathfrak{B}_2 \mathfrak{F}) \sigma^2] + [B_0 + B_1 \sigma + B_2 \sigma^2] p = 0$$

$$-j\varepsilon^{j(\delta-\beta)} [(\mathfrak{A}_0^* - \mathfrak{B}_0^* \mathfrak{F}^*) + (\mathfrak{A}_1^* - \mathfrak{B}_1^* \mathfrak{F}^*) \sigma + (\mathfrak{A}_2^* - \mathfrak{B}_2^* \mathfrak{F}^*) \sigma^2] + [B_0 + B_1 \sigma + B_2 \sigma^2] p = 0.$$

Eliminiert man aus diesen beiden Gleichungen σ , so erhält man²¹⁾ eine reelle quadratische Gleichung für die Unbekannte p :

$$2(T_{pk} + |\mathfrak{I}_p|) p^2 + 2[(T_{pk} + |\mathfrak{I}_p|) (-j\varepsilon^{-j\delta} \varepsilon^{j2\beta} \mathfrak{F} + j\varepsilon^{j\delta} \varepsilon^{-j2\beta} \mathfrak{F}^*) + 2\varepsilon^{-j\delta} \mathfrak{I}_{ap} + 2\varepsilon^{j\delta} \mathfrak{I}_{ap}^*] p -$$

$$-[\mathfrak{I}_p^* \varepsilon^{j4\beta} \mathfrak{F}^2 + \mathfrak{I}_p \varepsilon^{-j4\beta} \mathfrak{F}^2 - 2T_{pk} \mathfrak{F} \mathfrak{F}^* + 4j \mathfrak{I}_{ap}^* \varepsilon^{j2\beta} \mathfrak{F} - 4j \mathfrak{I}_{ap} \varepsilon^{-j2\beta} \mathfrak{F}^* + 4T_a] = 0.$$

Setzt man in dieser Gleichung die Werte (53a) bzw. (53b) für \mathfrak{F} ein, so verschwindet der Koeffizient der 1. Potenz von p und man erhält, da es nur auf den absoluten Wert ankommt, eine eindeutige Lösung für die gesuchte Größe p . Dabei sind noch besonders die (in Abschnitt B 4, II abgeleiteten) im Falle $\text{rg } T_b = 0$ geltenden Beziehungen zwischen den Invarianten T_{pk} , \mathfrak{I}_p , D_{bk} und \mathfrak{G}_a zu beachten.

1. Für die Parabel ist $D_{bk} = \mathfrak{D}_b = 0$ und $T_{pk} = +|\mathfrak{I}_p|$, ferner nach Gleichung (31) $4\mathfrak{I}_p = \mathfrak{D}_p^2$; dann ergibt sich der halbe Parameter zu:

$$p = \frac{4|\mathfrak{G}_a|^2}{|\mathfrak{D}_p|^3} = \frac{|\mathfrak{G}_a|^2}{2(\sqrt{|\mathfrak{I}_p|})^3} = \frac{|\mathfrak{G}_a|^2}{2(\sqrt{T_{pk}})^3}. \quad (57 a)$$

2. Für Ellipse und Hyperbel ist $D_{bk} = \pm|\mathfrak{D}_b| \geq 0$ und $T_{pk} \geq |\mathfrak{I}_p|$, ferner besteht nach Gleichung (49) die Beziehung $(T_{pk} + |\mathfrak{I}_p|)(T_{pk} - |\mathfrak{I}_p|) = D_{bk}|\mathfrak{G}_a|^2$; damit ergibt sich der halbe Parameter zu:

$$p = \frac{\sqrt{2} (T_{pk} - |\mathfrak{I}_p|)}{D_{bk} \sqrt{T_{pk} + |\mathfrak{I}_p|}} = \frac{\sqrt{2} |\mathfrak{G}_a|^2}{(\sqrt{T_{pk} + |\mathfrak{I}_p|})^3}. \quad (57 b)$$

Aus den Formeln (56) und (57b) für c und p lassen sich schließlich noch die große bzw. reelle Halbachse a und die kleine bzw. imaginäre Halbachse b der Mittelpunktkegelschnitte berechnen mit Hilfe der bekannten Beziehungen

$$a = \frac{1}{2} (\sqrt{p^2 + 4c^2} \pm p), \quad b = \sqrt{\pm(a^2 - c^2)},$$

in denen sich das obere Vorzeichen auf die Ellipse, das untere auf die Hyperbel bezieht.

1. Für die Ellipse ist $D_{bk} = +|\mathfrak{D}_b| > 0$ und $T_{pk} > +|\mathfrak{I}_p|$, und die Halbachsen sind:

$$a = \frac{\sqrt{2} (T_{pk} + |\mathfrak{I}_p|)}{D_{bk}}, \quad b = \frac{\sqrt{2} (T_{pk} - |\mathfrak{I}_p|)}{D_{bk}}. \quad (58 a)$$

²⁰⁾ Der Parameter $2p$ der Kegelschnitte darf mit dem Parameter σ unserer symbolischen Kurvendarstellung nicht verwechselt werden und hat mit diesem nur den Namen gemein.

²¹⁾ Hier und im folgenden sind die zum Teil sehr langwierigen Zwischenrechnungen, die auch von den früher angegebenen Beziehungen zwischen den verschiedenen Invarianten vielen Gebrauch machen, wegen Raummangels fortgelassen.

2. Für die Hyperbel ist $D_{bk} = -|\mathfrak{D}_b| < 0$ und $-|\mathfrak{I}_p| < T_{pk} < +|\mathfrak{I}_p|$, und die Halbachsen sind:

$$a = \frac{\sqrt{2(|\mathfrak{I}_p| + T_{pk})}}{-D_{bk}}, \quad b = \frac{\sqrt{2(|\mathfrak{I}_p| - T_{pk})}}{-D_{bk}}. \quad (58b)$$

Aus diesen Gleichungen ist noch zu ersehen, daß bei der Ellipse stets $a > b$ ist; der Sonderfall des Kreises ($a = b$) ist also hier nicht möglich. Bei der Hyperbel dagegen ist die reelle Achse größer oder kleiner als die imaginäre Achse, je nachdem $T_{pk} > 0$ oder $T_{pk} < 0$ ist; ist aber $T_{pk} = 0$, so ist $a = b$ und man erhält eine gleichseitige Hyperbel.

5. Uneigentliche Kegelschnitte

Wie schon früher gezeigt wurde, ist $\mathfrak{G}_a \neq 0$ eine notwendige Bedingung dafür, daß in dem betrachteten Falle ($\mathfrak{I}_p \neq 0$, $\text{rg } T_b = 0$) Gleichung (2) einen eigentlichen Kegelschnitt ergibt. Diese Bedingung ist aber auch ausreichend, wie wir jetzt beweisen können. Denn wenn $\mathfrak{G}_a \neq 0$ ist, so ist nach Gleichung (49) für die Mittelpunktskegelschnitte auch $T_{pk} + |\mathfrak{I}_p| \neq 0$ und $T_{pk} - |\mathfrak{I}_p| \neq 0$; dann haben allgemein vermöge der Gleichungen (57) und (58) der Parameter und die Achsen endliche, von 0 und ∞ verschiedene Werte, d. h. \mathfrak{B} stellt einen eigentlichen Kegelschnitt dar.

Ist dagegen $\mathfrak{G}_a = 0$, so entarten die Kurven zu sogenannten uneigentlichen Kegelschnitten, welche auf Trägerkurven niedrigerer Ordnung, also auf Trägergeraden liegen. In der Tat ist dann wegen $\mathfrak{G}_a = \mathfrak{G}_b = 0$ nach dem früheren $\mathfrak{P}_0 \parallel \mathfrak{P}_1 \parallel \mathfrak{P}_2$, wobei die Größen \mathfrak{P}_v nicht sämtlich $= 0$ sein können, weil $\mathfrak{I}_p \neq 0$ ist; folglich haben nach Gleichung (51), da ja auch $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1 \parallel \mathfrak{B}_2$ ist, die Kurventangenten alle gleiche Richtung. Da nun Gleichung (2) nach wie vor rationale (also unikursale) Kurven 2. Ordnung ergibt, so können diese Entartungsformen nur in einer Doppelgeraden (d. h. einer doppelt zu zählenden Geraden) oder einem Teil derselben (d. h. einem doppelt zu zählenden Teil einer Geraden) bestehen²²⁾.

Die verschiedenen Arten der uneigentlichen Kegelschnitte, die hierbei möglich sind, erhält man am einfachsten durch Grenzübergang aus den eigentlichen Kegelschnitten, indem man \mathfrak{G}_a zu Null werden läßt. Für $\mathfrak{G}_a = 0$ ergab sich in Abschnitt B 4, II: wenn $D_{bk} \geq 0$ ist, so ist $T_{pk} = +|\mathfrak{I}_p|$; wenn dagegen $D_{bk} < 0$ ist, so ist entweder $T_{pk} = +|\mathfrak{I}_p|$ oder $T_{pk} = -|\mathfrak{I}_p|$. Dementsprechend existieren für die Parabel ($D_{bk} = 0$) und die Ellipse ($D_{bk} > 0$) je eine, für die Hyperbel ($D_{bk} < 0$) aber zwei Entartungsformen, die sich aus den Formeln (57) und (58) für den halben Parameter und die Halbachsen wie folgt ergeben: Wenn $\mathfrak{G}_a = 0$ wird, so wird bei der Parabel $p = 0$; bei der Ellipse wird $p = 0$ und $b = 0$, während a endlich bleibt; bei der Hyperbel wird entweder $p = 0$, $b = 0$ und a endlich, oder aber $p = \infty$, $a = 0$ und b endlich.

Hieraus folgt unmittelbar nachstehende Einteilung der bei $\mathfrak{G}_a = 0$ auftretenden uneigentlichen Kegelschnitte:

- $D_{bk} = 0, T_{pk} > 0$: Doppel-Halbgerade (mit einem Endpunkt, nach einer Seite ins Unendliche gehend);
- $D_{bk} > 0, T_{pk} > 0$: Doppelstrecke (mit zwei Endpunkten, ganz im Endlichen verlaufend);
- $D_{bk} < 0, T_{pk} > 0$: Teil einer Doppelgeraden, der nach Abzug einer Doppelstrecke übrig bleibt (mit zwei Endpunkten, nach beiden Seiten ins Unendliche gehend);
- $D_{bk} < 0, T_{pk} < 0$: vollständige Doppelgerade (ohne Endpunkte, nach beiden Seiten ins Unendliche gehend).

²²⁾ Eine sogenannte Doppelkurve liegt vor, wenn zu jedem Punkt der entsprechenden einfachen Kurve zwei (reelle) Werte des Parameters gehören, so daß also diese Kurve doppelt zu zählen ist. — Wir erkennen aus obigem noch, daß die hier sich ergebenden Entartungsformen von den sonst in der Geometrie auftretenden uneigentlichen oder „zerfallenden“ Kegelschnitten abweichen.

Zusammenfassend erhalten wir daraus noch das Resultat:

Der uneigentliche Kegelschnitt ist $\left\{ \begin{array}{l} \text{eine vollständige Doppelgerade} \\ \text{nur ein Teil einer Doppelgeraden} \end{array} \right\}$, je nachdem $T_{kp} \leq 0$ ist.

Im Falle $T_{pk} > 0$ ergeben die aus den Formeln (53) zu berechnenden Werte von \mathfrak{F} die Endpunkte der uneigentlichen Kegelschnitte; ist dagegen $T_{pk} < 0$, so sind die Größen \mathfrak{F} ohne Bedeutung.

Wir untersuchen noch die Lage der uneigentlichen Kegelschnitte zum Ursprung, für welche, wie wir sehen werden, wieder die Invariante T_a von Bedeutung ist. Dabei kann, wie in Abschnitt B 3, I für $\mathfrak{T}_p \neq 0$, $\mathfrak{G}_a = 0$ nachgewiesen wurde, jetzt $\text{rg } T_a = 2$ oder $= 0$, aber nicht $= 1$ sein.

Der Ursprung liegt auf der Trägergeraden, d. h. auf dem uneigentlichen Kegelschnitt selbst oder auf seiner Verlängerung, wenn die Vektoren \mathfrak{B} für alle reellen Werte σ gleiche oder entgegengesetzte Richtung haben; das ist, wie leicht ersichtlich, dann und nur dann der Fall, wenn (außer der stets geltenden Beziehung $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1 \parallel \mathfrak{B}_2 \parallel \varepsilon^{j\beta}$) noch $\mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1 \parallel \mathfrak{A}_2 \parallel \varepsilon^{j\alpha}$, also $\text{rg } T_a = 0$ ist. In diesem Falle ist die Richtung der Geraden gegeben durch den Einheitsvektor

$$\varepsilon^{j\varrho} = \varepsilon^{j(\alpha - \beta)}. \quad (59)$$

Ist dagegen $\text{rg } T_a = 2$, also $T_a \neq 0$, so geht die Trägergerade nicht durch den Ursprung; ihre Lage ist hierbei eindeutig bestimmt durch das (als Vektor aufgefaßte) Lot \mathfrak{L} vom Ursprung auf sie. Dann läuft aber für die aus \mathfrak{B} durch Parallelverschiebung um $-\mathfrak{L}$ hervorgehende Kurve

$$\begin{aligned} \mathfrak{B}' = \mathfrak{B} - \mathfrak{L} &= \frac{(\mathfrak{A}_0 - \mathfrak{B}_0 \mathfrak{L}) + (\mathfrak{A}_1 - \mathfrak{B}_1 \mathfrak{L}) \sigma + (\mathfrak{A}_2 - \mathfrak{B}_2 \mathfrak{L}) \sigma^2}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2} \\ &= \frac{(\varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{A}_0 - B_0 \mathfrak{L}) + (\varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{A}_1 - B_1 \mathfrak{L}) \sigma + (\varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{A}_2 - B_2 \mathfrak{L}) \sigma^2}{B_0 + B_1 \sigma + B_2 \sigma^2} \end{aligned}$$

die Trägergerade durch den Ursprung; daher muß sein:

$$\varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{A}_0 - B_0 \mathfrak{L} \parallel \varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{A}_1 - B_1 \mathfrak{L} \parallel \varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{A}_2 - B_2 \mathfrak{L} \perp \mathfrak{L}.$$

Um aus dieser Beziehung \mathfrak{L} zu ermitteln, beachten wir, daß, wenn zwei Vektoren zueinander senkrecht stehen (oder auch einer von ihnen verschwindet), stets ihr inneres Produkt $= 0$ ist. Daher ist

$$\frac{1}{2} [(\varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{A}_\nu - B_\nu \mathfrak{L}) \mathfrak{L}^* + (\varepsilon^{j\beta} \mathfrak{A}_\nu^* - B_\nu \mathfrak{L}^*) \mathfrak{L}] = 0 \quad (\nu = 0, 1, 2)$$

und wir erhalten folgendes System linearer Gleichungen mit den beiden Unbekannten $\frac{1}{\mathfrak{L}}$ und $\frac{1}{\mathfrak{L}^*}$:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{A}_0 \frac{1}{\mathfrak{L}} + \varepsilon^{j\beta} \mathfrak{A}_0^* \frac{1}{\mathfrak{L}^*} &= 2 B_0 \\ \varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{A}_1 \frac{1}{\mathfrak{L}} + \varepsilon^{j\beta} \mathfrak{A}_1^* \frac{1}{\mathfrak{L}^*} &= 2 B_1 \\ \varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{A}_2 \frac{1}{\mathfrak{L}} + \varepsilon^{j\beta} \mathfrak{A}_2^* \frac{1}{\mathfrak{L}^*} &= 2 B_2 \end{aligned} \right\}$$

Diese drei Gleichungen für nur zwei Unbekannte sind linear abhängig, d. h. miteinander vereinbar, da die Determinante des Systems verschwindet:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{A}_0 & \varepsilon^{j\beta} \mathfrak{A}_0^* & 2B_0 \\ \varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{A}_1 & \varepsilon^{j\beta} \mathfrak{A}_1^* & 2B_1 \\ \varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{A}_2 & \varepsilon^{j\beta} \mathfrak{A}_2^* & 2B_2 \end{vmatrix} = 2 \varepsilon^{-j\beta} \mathfrak{G}_a = 0.$$

Aus den Gleichungen ergibt sich schließlich das gesuchte Lot \mathfrak{L} zu

$$\mathfrak{L} = j \frac{A_{01}}{\mathfrak{D}_0^*} = j \frac{A_{02}}{\mathfrak{D}_1^*} = j \frac{A_{12}}{\mathfrak{D}_2^*} \quad (60 a)$$

oder, wenn wir wieder die Invarianten (24), (34) und (44) einführen,

$$\mathfrak{L} = -j \frac{\mathfrak{I}_{aq}^*}{\mathfrak{I}_q^*} = -j \varepsilon^{-j2\beta} \frac{\mathfrak{I}_{ap}^*}{\mathfrak{I}_p^*} = -j \frac{\mathfrak{I}_{aq}}{T_{pk}} = -j \varepsilon^{-j2\beta} \frac{\mathfrak{I}_{ap}}{T_{pk}}. \quad (60 b)$$

Dabei können in (60a) von den drei Brüchen einer oder auch zwei unbestimmt $= \frac{0}{0}$ werden, aber nicht alle drei, da wegen $\mathfrak{I}_p \neq 0$ die Größen \mathfrak{P}_ν und damit auch \mathfrak{D}_ν^* ($\mathfrak{D}_\nu^* = \varepsilon^{j2\beta} \mathfrak{P}_\nu^*$; $\nu = 0, 1, 2$) nicht sämtlich $= 0$ sein können. Dagegen sind die Ausdrücke von (60b) immer bestimmt, da $T_{pk} \neq 0$ und $\mathfrak{I}_p^* \neq 0$, also auch $\mathfrak{I}_q^* = \varepsilon^{j4\beta} \mathfrak{I}_p^* \neq 0$ ist.

Aus Gleichung (60b) folgt noch, daß die Trägergerade dann und nur dann durch den Ursprung geht ($\mathfrak{L} = 0$), wenn $\mathfrak{I}_{ap} = 0$ ist; das ist aber mit $T_a = 0$ identisch, wie sich aus der Beziehung (40) $-\frac{1}{4} \mathfrak{D}_a \mathfrak{G}_a^2 = \mathfrak{I}_{ap}^2 + T_a \mathfrak{I}_p$ infolge von $\mathfrak{G}_a = 0$, $\mathfrak{I}_p \neq 0$ unmittelbar ergibt. Da nun nach dem vorhin Gesagten der Rang von T_a nicht $= 1$ sein kann, so folgt aus $T_a = 0$ noch $\text{rg } T_a = 0$, d. h. $\mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1 \parallel \mathfrak{A}_2$ als notwendige und hinreichende Bedingung dafür, daß die Trägergerade durch den Ursprung geht; dies stimmt mit unseren früheren Angaben überein.

Geht nun im Falle $T_{pk} > 0$, wo \mathfrak{B} nur einen Teil einer Doppelgeraden ergibt, die Trägergerade durch den Ursprung, so kann der Ursprung auf dem uneigentlichen Kegelschnitt selbst (mit Ausschluß der Enden), in einem Endpunkt desselben oder auf seiner Verlängerung liegen; dies ist davon abhängig, ob die Wurzeln der Gleichung $\mathfrak{f}_a = 0$, für die ja $\mathfrak{B} = 0$ wird, reell und verschieden, reell und gleich oder konjugiert komplex sind. Da nach dem im Abschnitt B 2, II Gesagten im Falle $\text{rg } T_a = 0$ die Invariante $D_{ak} = \varepsilon^{-j2\alpha} \mathfrak{D}_a$ für die Natur der Wurzeln von $\mathfrak{f}_a = 0$ bestimmend ist, so erhalten wir folgendes Resultat:

Ist $\text{rg } T_a = 0$ ($\mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1 \parallel \mathfrak{A}_2$) und $T_{pk} > 0$, so liegt der Ursprung auf dem uneigentlichen Kegelschnitt selbst (mit Ausschluß der Enden), in einem Endpunkt desselben oder nur auf seiner Verlängerung, je nachdem $D_{ak} \leq 0$ ist.

Die bisher abgeleiteten Kriterien für Art und Lage der (eigentlichen und uneigentlichen) Kegelschnitte sind zur Erleichterung ihres Gebrauches in Tafel 1 (s. S. 429) zusammengestellt.

D. Die Fußpunktkurven der Kegelschnitte

1. Einteilung der Fußpunktkurven der Kegelschnitte

Wir gehen nun zur Behandlung der Fälle über, in denen (wieder unter der Voraussetzung $\mathfrak{I}_p \neq 0$) $\text{rg } T_b = 1$ oder $= 2$ ist, also $T_b = 0$ oder $\neq 0$, aber nicht $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1 \parallel \mathfrak{B}_2$ ist. Dann stellt nach den Untersuchungen von O. Bloch Gleichung (2) eine rationale zirkuläre Kubik oder eine rationale bizirkuläre Quartik dar.

Während die rationalen zirkulären Kurven 3. Ordnung (siehe Abb. 1) einen reellen Punkt im Unendlichen und eine (geradlinige) Asymptote besitzen, verlaufen die rationalen bizirkulären Kurven 4. Ordnung (siehe Abb. 2 und 3) ganz im Endlichen. Allen ist als besonderes Charakteristikum gemeinsam, daß sie stets einen und nur einen reellen, im Endlichen gelegenen Doppelpunkt (Singulärpunkt) besitzen, der eigentlicher Doppelpunkt (Selbstschnitt), Rückkehrpunkt (Spitze) oder isolierter Punkt (Einsiedler) sein kann.

Bekanntlich lassen sich diese Kurven als Fußpunktkurven der Kegelschnitte erzeugen, wobei der reelle Doppelpunkt in den Pol fällt. Und zwar sind die Fußpunktkurven der Parabel rationale zirkuläre Kubiken, diejenigen der Ellipse und Hyperbel rationale bizirkuläre Quartiken;

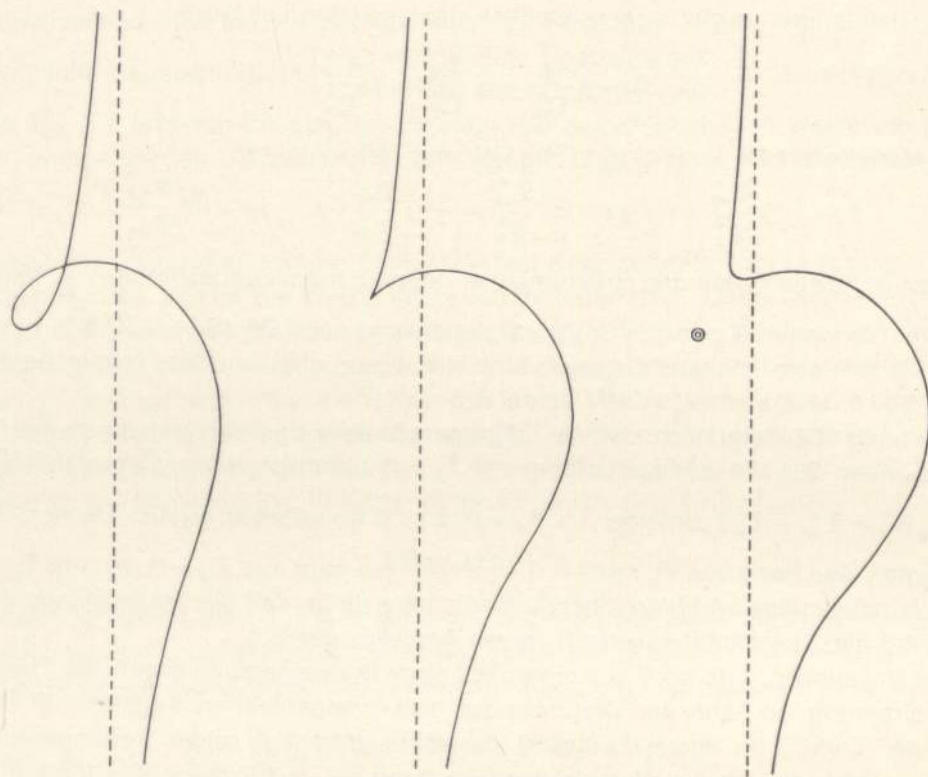


Abb. 1. Fußpunktkurven der Parabel

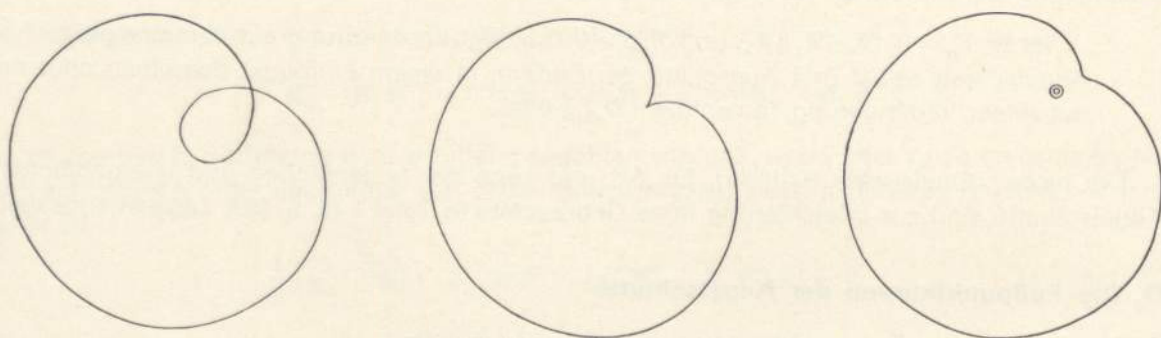


Abb. 2. Fußpunktkurven der Ellipse

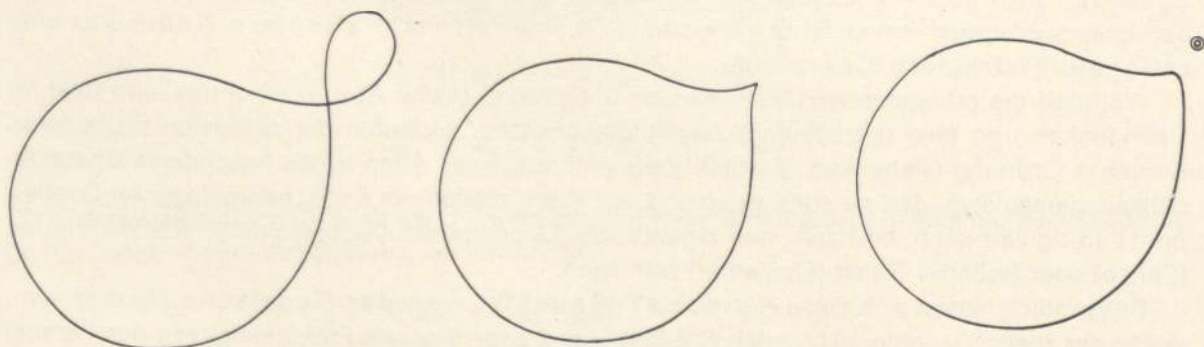


Abb. 3. Fußpunktkurven der Hyperbel

letztere unterscheiden sich ihrer Gestalt nach noch darin, daß bei den Fußpunktkurven der Ellipse (Abb. 2) die kleinere Schlinge (im Falle des Selbstschnittes) bzw. die Spitze bzw. der Einsiedler „nach innen“ liegen, während sie bei den Fußpunktkurven der Hyperbel (Abb. 3) „nach außen“ gelegen sind.

Die betrachteten Kurven gehen aber auch durch Inversion aus den Kegelschnitten hervor, wobei wieder ihr Doppelpunkt in das Inversionszentrum fällt. Der Zusammenhang zwischen beiden Erzeugungsarten ist durch folgenden Satz gegeben: Die Inverse eines Kegelschnittes ist eine Fußpunktkurve der Ellipse, Parabel oder Hyperbel, je nachdem das Inversionszentrum innerhalb, auf oder außerhalb der Grundkurve liegt.

Die Entscheidung darüber, welche von den drei genannten Kurvenarten jeweils durch Gleichung (2) dargestellt wird, ist allein mit Hilfe der Invarianten T_b möglich.

Denn wenn $\text{rg } T_b = 1$, also $T_b = 0$ ist, so hat (nach Abschnitt B 2, 1) die Gleichung $\bar{f}_b = 0$ eine (und nur eine) reelle Wurzel σ , für die dann $\mathfrak{B} = \infty$ wird; daher muß Gleichung (2) eine Kubik, d. h. eine Fußpunktkurve der Parabel ergeben. Dies ist im besonderen auch der Fall, wenn $\mathfrak{B}_2 = 0$, aber nicht $\mathfrak{B}_0 \parallel \mathfrak{B}_1$ ist²³⁾.

Ist dagegen $\text{rg } T_b = 2$, also $T_b \neq 0$, so hat die Gleichung $\bar{f}_b = 0$ keine reelle Wurzel, und \mathfrak{B} wird für keinen reellen Wert σ unendlich; dann verläuft die Kurve ganz im Endlichen und muß daher eine Quartik, d. h. eine Fußpunktkurve eines Mittelpunktkegelschnittes sein.

Um zu entscheiden, ob im letzteren Falle eine Fußpunktkurve der Ellipse oder der Hyperbel vorliegt, bringen wir den Doppelpunkt der Kurve durch einfache Parallelverschiebung derselben in den Ursprung. Dann hat, da sich bei einer solchen Transformation der Nenner von (2) nicht ändert, die parallelverschobene Kurve die Gleichung

$$\mathfrak{B}' = \frac{\mathfrak{A}'_0 + \mathfrak{A}'_1 \sigma + \mathfrak{A}'_2 \sigma^2}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2}, \quad \text{während} \quad \mathfrak{B} = \frac{1}{\mathfrak{B}^*} = \frac{\mathfrak{B}_0^* + \mathfrak{B}_1^* \sigma + \mathfrak{B}_2^* \sigma^2}{\mathfrak{A}_0^* + \mathfrak{A}_1^* \sigma + \mathfrak{A}_2^* \sigma^2}$$

die zu \mathfrak{B}' inverse Kurve ist, wobei das Inversionszentrum im Ursprung liegt und die Inversionspotenz = 1 ist. \mathfrak{B} ist nach dem früheren ein Kegelschnitt; für diesen liegt nach einem Ergebnis von Abschnitt C 2 der Ursprung (also auch das Inversionszentrum) innerhalb, auf oder außerhalb der Kurve, je nachdem $T_b \gtrless 0$ ist. Wenden wir hierauf noch den vorstehenden Satz über die Inversen der Kegelschnitte an, so erhalten wir für \mathfrak{B}' und damit auch für die ursprüngliche Kurve \mathfrak{B} folgendes Resultat:

Die Kurve ist eine Fußpunktkurve der $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ellipse} \\ \text{Parabel} \\ \text{Hyperbel} \end{array} \right\}$, je nachdem $T_b \gtrless 0$ ist.

Hierbei ist der vorher behandelte Fall $\text{rg } T_b = 1$ mit eingeschlossen.

Ist insbesondere die Diskriminante $\mathfrak{D}_b = 0$, also der Nenner \bar{f}_b von (2) ein vollständiges Quadrat, so stellt, wie ebenfalls von O. Bloch nachgewiesen wurde, \mathfrak{B} eine Fußpunktkurve des Kreises, d. h. eine Pascalsche Schnecke dar. In diesem Falle ist stets $T_b > 0$, wie aus der Beziehung (27) $16 T_b = D_{bk}^2 - \mathfrak{D}_b \mathfrak{D}_b^*$ für $\mathfrak{D}_b = 0$ unmittelbar folgt; dies ist auch notwendig, da ja der Kreis ein Sonderfall der Ellipse ist.

2. Lage zum Ursprung

Die Lage der Fußpunktkurven der Kegelschnitte in bezug auf den Ursprung ist durch die Natur der Wurzeln der Gleichung $\bar{f}_a = 0$, für die ja $\mathfrak{B} = 0$ wird, bedingt. Hierfür ist nach Abschnitt B 2, 1 in erster Linie der Rang der Invariante T_a maßgebend.

²³⁾ Dieser Sonderfall ist von O. Bloch a. a. O. behandelt worden. Ein Beweis für den allgemeineren Fall $\mathfrak{B}_2 \neq 0$ wurde von G. Hauffe in E. u. M. 1930, S. 58 angegeben.

Wenn $\text{rg } T_a = 2$, also $T_a \neq 0$ ist, so hat $\bar{f}_a = 0$ keine reellen (und nicht zwei konjugiert komplexe) Wurzeln σ , daher wird \mathfrak{B} für keinen reellen Wert σ zu Null; dann liegt der Ursprung nicht auf der Kurve.

Wenn $\text{rg } T_a = 1$ ist, so hat $\bar{f}_a = 0$ eine (und nur eine) reelle Wurzel σ , für die daher $\mathfrak{B} = 0$ wird; der Ursprung ist jetzt ein einfacher Punkt der Kurve.

Ist schließlich $\text{rg } T_a = 0$, also $\mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1 \parallel \mathfrak{A}_2$, so fällt nach den Untersuchungen von O. Bloch der Ursprung in den Doppelpunkt der Kurve. In diesem Falle können die Wurzeln von $\bar{f}_a = 0$ reell und verschieden, reell und gleich oder konjugiert komplex sein; dementsprechend ist dann, wie leicht ersichtlich, der Doppelpunkt ein eigentlicher Doppelpunkt, ein Rückkehrpunkt oder ein isolierter Punkt. Da nach Abschnitt B 2, II im Falle $\text{rg } T_a = 0$ die Invariante D_{ak} für die Natur der Wurzeln von $\bar{f}_a = 0$ bestimmend ist, so ergibt sich noch folgendes Resultat bei $\text{rg } T_a = 0$:

$$\text{Der Ursprung ist ein } \left. \begin{array}{l} \text{eigentlicher Doppelpunkt} \\ \text{Rückkehrpunkt} \\ \text{isolierter Punkt} \end{array} \right\}, \text{ je nachdem } D_{ak} \begin{array}{l} \geq 0 \\ < 0 \\ > 0 \end{array} \text{ ist.}$$

3. Der Singulärpunkt

Wir wollen nun noch in dem allgemeineren Falle, daß $\text{rg } T_a \neq 0$ ist, also der Doppelpunkt nicht im Ursprung liegt, seine Lage und Art ermitteln und bezeichnen den Vektor von Ursprung nach dem Singulärpunkt mit \mathfrak{S} . Dann muß die aus \mathfrak{B} durch Parallelverschiebung um $-\mathfrak{S}$ hervorgehende Kurve

$$\mathfrak{B}' = \mathfrak{B} - \mathfrak{S} = \frac{(\mathfrak{A}_0 - \mathfrak{B}_0 \mathfrak{S}) + (\mathfrak{A}_1 - \mathfrak{B}_1 \mathfrak{S})\sigma + (\mathfrak{A}_2 - \mathfrak{B}_2 \mathfrak{S})\sigma^2}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2} = \frac{\mathfrak{A}'_0 + \mathfrak{A}'_1 \sigma + \mathfrak{A}'_2 \sigma^2}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2}$$

ihren Doppelpunkt im Ursprung haben; daher muß nach dem vorigen

$$\mathfrak{A}_0 - \mathfrak{B}_0 \mathfrak{S} \parallel \mathfrak{A}_1 - \mathfrak{B}_1 \mathfrak{S} \parallel \mathfrak{A}_2 - \mathfrak{B}_2 \mathfrak{S} \parallel \varepsilon^{j\nu}$$

sein, wobei $\varepsilon^{j\nu}$ einen (noch nicht bekannten) Einheitsvektor bedeutet.

Da nun, wenn zwei Vektoren parallel sind (evtl. auch einer von ihnen verschwindet), immer ihr äußeres Produkt $= 0$ ist, so folgt hieraus

$$\frac{j}{2} [(\mathfrak{A}_\nu - \mathfrak{B}_\nu \mathfrak{S}) \varepsilon^{-j\nu} - (\mathfrak{A}_\nu^* - \mathfrak{B}_\nu^* \mathfrak{S}^*) \varepsilon^{j\nu}] = 0 \quad (\nu = 0, 1, 2)$$

und wir erhalten nachstehendes System linearer Gleichungen für die drei „Unbekannten“ \mathfrak{S} , $\varepsilon^{j2\nu}$ und $\mathfrak{S}^* \varepsilon^{j2\nu}$:

$$\left. \begin{array}{l} \mathfrak{B}_0 \mathfrak{S} - \mathfrak{B}_0^* \mathfrak{S}^* \varepsilon^{j2\nu} + \mathfrak{A}_0^* \varepsilon^{j2\nu} = \mathfrak{A}_0 \\ \mathfrak{B}_1 \mathfrak{S} - \mathfrak{B}_1^* \mathfrak{S}^* \varepsilon^{j2\nu} + \mathfrak{A}_1^* \varepsilon^{j2\nu} = \mathfrak{A}_1 \\ \mathfrak{B}_2 \mathfrak{S} - \mathfrak{B}_2^* \mathfrak{S}^* \varepsilon^{j2\nu} + \mathfrak{A}_2^* \varepsilon^{j2\nu} = \mathfrak{A}_2 \end{array} \right\}$$

Hieraus ergibt sich die gesuchte Größe \mathfrak{S} als Lösung dieses Gleichungssystems zu:

$$\mathfrak{S} = - \frac{\begin{vmatrix} \mathfrak{A}_0 & \mathfrak{A}_1 & \mathfrak{A}_2 \\ \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* & \mathfrak{A}_2^* \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* & \mathfrak{B}_2^* \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_1 & \mathfrak{B}_2 \\ \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{B}_1^* & \mathfrak{B}_2^* \\ \mathfrak{A}_0^* & \mathfrak{A}_1^* & \mathfrak{A}_2^* \end{vmatrix}}, \quad \text{also} \quad \mathfrak{S} = - \frac{\mathfrak{G}_a^*}{\mathfrak{G}_b^*}. \quad (61)$$

Wir erkennen aus Gleichung (61) noch, daß $\mathfrak{E} = 0$ wird, d. h. der Singulärpunkt in den Ursprung fällt, wenn $\mathfrak{G}_a = 0$ und $\mathfrak{G}_b \neq 0$ ist; dann muß aber nach dem in Abschnitt B 3, I Gesagten $\text{rg } T_a = 0$ sein, was mit unseren früheren Ergebnissen übereinstimmt.

Berechnet man mit dem obigen Werte von \mathfrak{E} die Koeffizienten $\mathfrak{X}'_\nu = \mathfrak{X}_\nu - \mathfrak{B}_\nu \mathfrak{E}$ ($\nu = 0, 1, 2$), wobei die Formeln (38) benutzt werden können, so erhält man noch folgende Darstellung für die Kurve $\mathfrak{B} = \mathfrak{E} + \mathfrak{B}'$:

$$\mathfrak{B} = - \frac{\mathfrak{G}_a^*}{\mathfrak{G}_b^*} + \frac{P_{01} + P_{02}\sigma + P_{12}\sigma^2}{\mathfrak{G}_b^* (\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1\sigma + \mathfrak{B}_2\sigma^2)}. \quad (62)$$

Hieraus ergibt sich, analog wie im Falle $\text{rg } T_a = 0$, die Art des Doppelpunktes aus der Natur der beiden Wurzeln²⁴⁾ von $P_{01} + P_{02}\sigma + P_{12}\sigma^2 = 0$, für die ja $\mathfrak{B} = \mathfrak{E}$ wird. Da die Diskriminante dieser Gleichung die mit Formel (43) eingeführte Invariante K_p ist, so erhalten wir folgendes allgemeine (auch im Sonderfall $\text{rg } T_a = 0$ gültige) Resultat:

Der Singulärpunkt ist ein $\left. \begin{array}{l} \text{eigentlicher Doppelpunkt} \\ \text{Rückkehrpunkt} \\ \text{isolierter Punkt} \end{array} \right\}$, je nachdem $K_p \leq 0$ ist.

4. Uneigentliche Fußpunktkurven der Kegelschnitte

Mit Hilfe der Formel (61) für den Singulärpunkt können wir jetzt noch die Frage entscheiden, unter welchen Bedingungen Gleichung (2) eine eigentliche Kubik oder Quartik darstellt, und ob und wann diese zu uneigentlichen Kurven 3. und 4. Ordnung entarten können, die dann wieder auf Trägerkurven niedrigerer Ordnung liegen.

Das Kennzeichen für die eigentlichen Fußpunktkurven der Kegelschnitte ist nach dem früher Gesagten, daß diese stets einen und nur einen reellen, im Endlichen gelegenen Doppelpunkt besitzen; daher muß für sie \mathfrak{E} einen eindeutig bestimmten, von ∞ verschiedenen Wert haben. Das ist aber nach Gleichung (61) dann und nur dann der Fall, wenn $\mathfrak{G}_b \neq 0$ ist. Die Bedingung dafür, daß Gleichung (2) eine eigentliche Kubik oder Quartik darstellt, ist also $\mathfrak{G}_b \neq 0$.

Ist dagegen $\mathfrak{G}_b = 0$, so ist, da $\text{rg } T_b \neq 0$ vorausgesetzt ist, nach Abschnitt B 3, I auch $\mathfrak{G}_a = 0$, und der Wert von \mathfrak{E} wird unbestimmt $= \frac{0}{0}$. Dann ist ferner $\mathfrak{P}_0 \parallel \mathfrak{P}_1 \parallel \mathfrak{P}_2$, wobei die Größen \mathfrak{P}_ν wegen $\mathfrak{T}_p \neq 0$ nicht sämtlich verschwinden können. In diesem Falle entarten, wie wir noch zeigen werden, die Fußpunktkurven der Kegelschnitte zu uneigentlichen Kurven, die aus doppelt zu zählenden Kurven oder Kurvenstücken niedrigerer Ordnung bestehen.

Für die rationale zirkuläre Kubik ($\text{rg } T_b = 1$) allerdings ist eine solche Entartung nicht möglich. Denn nach den Ableitungen in Abschnitt B 3, I kann, wenn $\mathfrak{G}_b = 0$ ist, der Rang von T_b wohl $= 2$ oder $= 0$, aber nicht $= 1$ sein; daraus folgt umgekehrt, daß, wenn $\text{rg } T_b = 1$ ist, \mathfrak{G}_b nicht $= 0$ sein kann. Im Falle $\text{rg } T_b = 1$ stellt also Gleichung (2) immer eine eigentliche Kubik dar, die niemals in eine uneigentliche Kurve 3. Ordnung ausarten kann.

Dagegen ist im Falle $\text{rg } T_b = 2$, wo Gleichung (2) eine rationale bizirkuläre Quartik darstellt, die Entartung zu uneigentlichen Kurven 4. Ordnung möglich, weil hier $\mathfrak{G}_b = 0$ werden kann. Da dann Gleichung (2) nach wie vor rationale (also unikursale) bizirkuläre Kurven 4. Ordnung ergibt, so können diese Entartungsformen nur in einem Doppelkreis (d. h. einem doppelt zu zählenden Kreis) oder einem Teil desselben, d. h. einem Doppelkreisbogen bestehen; die Trägerkurve muß also stets ein Kreis sein.

²⁴⁾ Ist insbesondere $P_{12} = 0$ oder auch $P_{12} = P_{02} = 0$, so ist wieder als Ersatz für die eine bzw. beide fehlende Gleichungswurzeln der Wert $\sigma = \infty$ zu nehmen.

Daß sich tatsächlich im Falle $\mathfrak{I}_p \neq 0$, $T_b \neq 0$, $\mathfrak{G}_b = 0$ für \mathfrak{B} ein (doppelt zu zählender) Kreis oder Kreisbogen ergibt, ist bewiesen, wenn sich zwei Konstanten \mathfrak{C} und r ($r \neq 0$) so finden lassen, daß identisch (d. h. für jeden Wert von σ) folgende Gleichung besteht:

$$\mathfrak{B} - \mathfrak{C} = \frac{(\mathfrak{A}_0 - \mathfrak{B}_0 \mathfrak{C}) + (\mathfrak{A}_1 - \mathfrak{B}_1 \mathfrak{C}) \sigma + (\mathfrak{A}_2 - \mathfrak{B}_2 \mathfrak{C}) \sigma^2}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2} = \frac{\mathfrak{B}_0^* + \mathfrak{B}_1^* \sigma + \mathfrak{B}_2^* \sigma^2}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2} r.$$

Denn dann ist für jeden reellen Wert σ

$$|\mathfrak{B} - \mathfrak{C}| = |\mathfrak{r}| = r = \text{konstant},$$

also haben alle Punkte der Kurve von einem festen Punkt gleichen Abstand, und \mathfrak{C} stellt den Vektor vom Ursprung nach dem Mittelpunkt, $r = |\mathfrak{r}|$ den Radius des Kreises bzw. Kreisbogens dar.

Durch Koeffizientenvergleich erhält man aus obiger Gleichung sofort folgendes System linearer Gleichungen für die beiden Unbekannten \mathfrak{C} und r :

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{B}_0 \mathfrak{C} + \mathfrak{B}_0^* r &= \mathfrak{A}_0 \\ \mathfrak{B}_1 \mathfrak{C} + \mathfrak{B}_1^* r &= \mathfrak{A}_1 \\ \mathfrak{B}_2 \mathfrak{C} + \mathfrak{B}_2^* r &= \mathfrak{A}_2 \end{aligned} \right\}$$

Diese drei Gleichungen für nur zwei Unbekannte sind miteinander vereinbar, weil die Determinante des Systems verschwindet:

$$\begin{vmatrix} \mathfrak{B}_0 & \mathfrak{B}_0^* & \mathfrak{A}_0 \\ \mathfrak{B}_1 & \mathfrak{B}_1^* & \mathfrak{A}_1 \\ \mathfrak{B}_2 & \mathfrak{B}_2^* & \mathfrak{A}_2 \end{vmatrix} = -2j \mathfrak{G}_b = 0.$$

Da sie ferner nachstehende eindeutige Lösung mit $r \neq 0$ besitzen, so ist unsere Behauptung über die Entartungsformen der Quartiken bewiesen und gleichzeitig Mittelpunkt und Radius des Trägerkreises bestimmt.

Und zwar ergibt sich mit den Größen (3b) und (6) bzw. mit Benutzung der Invarianten (22), (24) und (34) der Mittelpunkt \mathfrak{C} :

$$\mathfrak{C} = \frac{j \mathfrak{D}_0}{2 B_{01}} = \frac{j \mathfrak{D}_1}{2 B_{02}} = \frac{j \mathfrak{D}_2}{2 B_{12}} \quad (63a)$$

oder

$$\mathfrak{C} = \frac{j \mathfrak{I}_q}{2 \mathfrak{I}_{bq}} = -\frac{j \mathfrak{I}_{bq}}{2 T_b}; \quad (63b)$$

der Radius r ergibt sich als der absolute Wert von r zu:

$$r = \frac{1}{2} \frac{|\mathfrak{P}_0|}{|B_{01}|} = \frac{1}{2} \frac{|\mathfrak{P}_1|}{|B_{02}|} = \frac{1}{2} \frac{|\mathfrak{P}_2|}{|B_{12}|} \quad (64a)$$

oder

$$r = \frac{1}{2} \frac{|\mathfrak{I}_p|}{|\mathfrak{I}_{bp}|} = \frac{1}{2} \frac{|\mathfrak{I}_{bp}|}{|T_b|}. \quad (64b)$$

Dabei können von den drei Brüchen in (63a) und in (64a) einer oder auch zwei unbestimmt $= \frac{0}{0}$ werden, aber nicht alle drei, da wegen $T_b \neq 0$ die Größen B_{01} , B_{02} , B_{12} nicht sämtlich $= 0$ sein können. Der erste Ausdruck für \mathfrak{C} in (63b) wird unbestimmt für $\mathfrak{I}_{bq} = 0$, wo nach dem zweiten Bruch von (63b) \mathfrak{C} den Wert 0 hat. Dagegen sind der letzte Ausdruck von (63b) und beide Ausdrücke für r in (64b) immer bestimmt, weil $T_b \neq 0$ vorausgesetzt ist und daher auch $\mathfrak{I}_{bp} \neq 0$ ist, wie aus der Beziehung (40) $-\frac{1}{4} \mathfrak{D}_b \mathfrak{G}_b^2 = \mathfrak{I}_{bp}^2 + T_b \mathfrak{I}_p$ wegen $\mathfrak{G}_b = 0$, $T_b \neq 0$, $\mathfrak{I}_p \neq 0$ unmittelbar folgt. — Schließlich ergibt sich aus Gleichung (64b) noch, daß stets $r \neq 0$ sein muß, da ja \mathfrak{I}_p und $\mathfrak{I}_{bp} \neq 0$ sind.

Um zu untersuchen, wann die entartete Quartik aus einem vollständigen Doppelkreis und wann sie nur aus einem Doppelkreisbogen besteht, definieren wir durch $\varepsilon^{j\vartheta}$ einen veränderlichen Einheitsvektor, der eine volle Umdrehung um seinen Anfangspunkt ausführt, wenn ϑ alle Werte von 0 bis 2π durchläuft. Dann beschreibt der Endpunkt des Vektors $\mathfrak{C} - r \varepsilon^{j\vartheta}$ den Trägerkreis für die uneigentliche Quartik, und die Gleichung $\mathfrak{B} = \frac{\mathfrak{A}_0 + \mathfrak{A}_1 \sigma + \mathfrak{A}_2 \sigma^2}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2} = \mathfrak{C} - r \varepsilon^{j\vartheta}$ liefert die zu jedem Werte von ϑ , d. h. zu jedem Punkte des Trägerkreises gehörigen beiden Werte des Parameters σ . Je nachdem nun diese Parameterwerte für alle ϑ reell oder aber teilweise reell, teilweise komplex (nicht reell) sind, stellt \mathfrak{B} einen Kreis oder nur einen Kreisbogen dar.

Wir müssen daher noch für die Gleichung

$$\mathfrak{B} - \mathfrak{C} + r \varepsilon^{j\vartheta} = r \frac{\mathfrak{B}_0^* + \mathfrak{B}_1^* \sigma + \mathfrak{B}_2^* \sigma^2}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2} + r \varepsilon^{j\vartheta} = r \frac{(\mathfrak{B}_0^* + \mathfrak{B}_0 \varepsilon^{j\vartheta}) + (\mathfrak{B}_1^* + \mathfrak{B}_1 \varepsilon^{j\vartheta}) \sigma + (\mathfrak{B}_2^* + \mathfrak{B}_2 \varepsilon^{j\vartheta}) \sigma^2}{\mathfrak{B}_0 + \mathfrak{B}_1 \sigma + \mathfrak{B}_2 \sigma^2} = 0$$

$$\text{oder} \quad \left(\mathfrak{B}_0 \varepsilon^{j\frac{\vartheta}{2}} + \mathfrak{B}_0^* \varepsilon^{-j\frac{\vartheta}{2}} \right) + \left(\mathfrak{B}_1 \varepsilon^{j\frac{\vartheta}{2}} + \mathfrak{B}_1^* \varepsilon^{-j\frac{\vartheta}{2}} \right) \sigma + \left(\mathfrak{B}_2 \varepsilon^{j\frac{\vartheta}{2}} + \mathfrak{B}_2^* \varepsilon^{-j\frac{\vartheta}{2}} \right) \sigma^2 = 0$$

die Natur der Wurzeln σ in Abhängigkeit von ϑ bestimmen. Die letzte Gleichung hat reelle Koeffizienten und besitzt die Diskriminante

$$\Delta = \begin{vmatrix} 2 \mathfrak{B}_0 \varepsilon^{j\frac{\vartheta}{2}} + 2 \mathfrak{B}_0^* \varepsilon^{-j\frac{\vartheta}{2}} & \mathfrak{B}_1 \varepsilon^{j\frac{\vartheta}{2}} + \mathfrak{B}_1^* \varepsilon^{-j\frac{\vartheta}{2}} \\ \mathfrak{B}_1 \varepsilon^{j\frac{\vartheta}{2}} + \mathfrak{B}_1^* \varepsilon^{-j\frac{\vartheta}{2}} & 2 \mathfrak{B}_2 \varepsilon^{j\frac{\vartheta}{2}} + 2 \mathfrak{B}_2^* \varepsilon^{-j\frac{\vartheta}{2}} \end{vmatrix} = \mathfrak{D}_b \varepsilon^{j\vartheta} + \mathfrak{D}_b^* \varepsilon^{-j\vartheta} + 2 \mathfrak{D}_{bk};$$

dabei ist $\mathfrak{D}_b \varepsilon^{j\vartheta} + \mathfrak{D}_b^* \varepsilon^{-j\vartheta}$ der reelle Teil des Vektors $2 \mathfrak{D}_b \varepsilon^{j\vartheta}$, und dieser Vektor führt bei Änderung von ϑ zwischen 0 und 2π eine volle Umdrehung aus. Folglich ergibt sich:

$$2 (\mathfrak{D}_{bk} - \|\mathfrak{D}_b\|) \leq \Delta \leq 2 (\mathfrak{D}_{bk} + \|\mathfrak{D}_b\|),$$

und Δ nimmt alle reellen Werte zwischen den angegebenen Grenzen zweimal an, wenn ϑ alle Zahlen von 0 bis 2π durchläuft.

Nun ist nach Abschnitt B 2, II $\|\mathfrak{D}_{bk}\| \geq \|\mathfrak{D}_b\|$, je nachdem $T_b \geq 0$ ist; damit folgt aus obiger Grenzgleichung für Δ : Wenn $T_b > 0$, also $\|\mathfrak{D}_{bk}\| > \|\mathfrak{D}_b\|$ ist, so kann die Diskriminante Δ für alle Werte ϑ entweder nur < 0 oder nur > 0 sein. Letzteres ist unmöglich, da dann die betrachtete Gleichung überhaupt keine reellen Wurzeln, die Kurve also keine reellen Punkte haben würde. Daher muß in diesem Falle durchweg $\Delta < 0$ sein, und die Gleichung hat für alle ϑ reelle Wurzeln σ , d. h. \mathfrak{B} stellt einen vollständigen Doppelkreis dar. — Ist dagegen $T_b < 0$, also $\|\mathfrak{D}_{bk}\| < \|\mathfrak{D}_b\|$, so ist für einen gewissen Wertebereich von ϑ die Diskriminante $\Delta \leq 0$, für die anderen Werte ϑ jedoch $\Delta > 0$. Dann sind die Gleichungswurzeln σ teilweise reell und teilweise konjugiert komplex, d. h. \mathfrak{B} stellt jetzt einen Doppelkreisbogen dar.

Daher erhalten wir für die uneigentlichen rationalen bizirkularen Quartiken folgendes Resultat:

Die uneigentliche Quartik ist ein $\left\{ \begin{array}{l} \text{Doppelkreis} \\ \text{Doppelkreisbogen} \end{array} \right\}$, je nachdem $T_b \geq 0$ ist.

Der Doppelkreis erscheint somit als Entartungsform der Fußpunktkurven der Ellipse, der Doppelkreisbogen als Entartung der Fußpunktkurven der Hyperbel.

Wir untersuchen zum Schluß noch die Lage der uneigentlichen Quartiken in bezug auf den Ursprung und beachten dazu, daß wegen $\mathfrak{G}_a = 0$ nach Abschnitt B 3, I hier $\text{rg } T_a = 2$ oder $= 0$, aber nicht $= 1$ sein kann.

Damit der Mittelpunkt des Kreises oder Kreisbogens in den Ursprung fällt ($\mathcal{C} = 0$), muß nach Gleichung (63b) $\mathfrak{I}_{bq} = 0$ sein; dies ist aber mit der Bedingung $\mathfrak{I}_q = 0$ gleichbedeutend, wie aus der Beziehung (40) $-\frac{1}{4} \mathfrak{D}_b^* \mathfrak{G}_b^2 = \mathfrak{I}_{bq}^2 + T_b \mathfrak{I}_q$ wegen $\mathfrak{G}_b = 0$, $T_b \neq 0$ sofort folgt. Der Mittelpunkt liegt also dann und nur dann im Ursprung, wenn $\mathfrak{I}_q = 0$ ist; dabei muß vermöge (63a) auch $\mathfrak{D}_0 = \mathfrak{D}_1 = \mathfrak{D}_2 = 0$, d. h. $\text{rg } \mathfrak{I}_q = 0$ sein, und es besteht die Proportion

$$\mathfrak{A}_0 : \mathfrak{A}_1 : \mathfrak{A}_2 = \mathfrak{B}_0^* : \mathfrak{B}_1^* : \mathfrak{B}_2^*.$$

Der Trägerkreis geht dann und nur dann durch den Ursprung, wenn $r = \mathcal{C}$, also nach Gleichung (64b) und (63b) $|\mathfrak{I}_{bp}| = |\mathfrak{I}_{bq}|$ und somit $\mathfrak{I}_{bp} \mathfrak{I}_{bp}^* - \mathfrak{I}_{bq} \mathfrak{I}_{bq}^* = 0$ ist. Nun ist nach Gleichung (41) $(\mathfrak{I}_{bp} \mathfrak{I}_{bp}^* - \mathfrak{I}_{bq} \mathfrak{I}_{bq}^*)^2 = 16 T_a T_b^3$; daher muß dann, da $T_b \neq 0$ ist, $T_a = 0$ sein und auch, da der Rang von T_a nicht = 1 sein kann, $\text{rg } T_a = 0$ sein. Der Trägerkreis geht also durch den Ursprung, wenn $\text{rg } T_a = 0$, d. h. $\mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1 \parallel \mathfrak{A}_2$ ist; ist dagegen $\text{rg } T_a = 2$, d. h. $T_a \neq 0$, so liegt der Ursprung nicht auf dem Trägerkreis.

Geht nun im Falle $T_b < 0$, wo \mathfrak{B} einen Doppelkreisbogen darstellt, der Trägerkreis durch den Ursprung, so kann dieser auf der uneigentlichen Quartik selbst (mit Ausschluß der Enden), in einem Endpunkt derselben oder auf der Ergänzung zum vollständigen Kreis liegen; dies ist davon abhängig, ob die Wurzeln der Gleichung $\mathfrak{f}_a = 0$, für die ja $\mathfrak{B} = 0$ wird, reell und verschieden, reell und gleich oder konjugiert komplex sind. Da hierbei wieder wegen $\text{rg } T_a = 0$ die Invariante D_{ak} für die Natur der Gleichwurzeln maßgebend ist, so ergibt sich noch folgendes Resultat:

Ist $\text{rg } T_a = 0$ ($\mathfrak{A}_0 \parallel \mathfrak{A}_1 \parallel \mathfrak{A}_2$) und $T_b < 0$, so liegt der Ursprung auf der uneigentlichen Quartik selbst (mit Ausschluß der Enden), in einem Endpunkt derselben oder nur auf der Ergänzung des Kreisbogens zum vollständigen Kreis, je nachdem $D_{ak} \leq 0$ ist.

Um die Anwendung der Ergebnisse zu erleichtern, sind die abgeleiteten Kriterien für Art und Lage der (eigentlichen und uneigentlichen) Fußpunktcurven der Kegelschnitte in Tafel 2 (s. S. 429) zusammengestellt.

5. Anwendungsbeispiele aus der Wechselstromtechnik

Die Anwendungsmöglichkeiten der vorstehenden Theorie in der Elektrotechnik sind sehr zahlreich, da viele Probleme der Wechselstromtechnik auf Gleichungen von der Gestalt (2) führen. Mit Rücksicht auf den zur Verfügung stehenden Raum sollen jedoch nur zwei Anwendungsbeispiele kurz gestreift werden.

I. Das Stromdiagramm der Synchronmaschine. Bei Annahme konstanter Permeabilität des Eisens und unter Vernachlässigung der Eisenverluste lautet die Gleichung für das Stromdiagramm der Synchronmaschine mit ausgeprägten Polen²⁵⁾:

$$\mathfrak{I} = \mathfrak{u} \frac{(1 - \delta)(R - jX_q) + 2j(R - jX_l)\tau - (1 + \delta)(R - jX_q)\tau^2}{(R^2 + X_l X_q)(1 + 2j\tau - \tau^2)},$$

wobei $|\mathfrak{u}| = U$, $\frac{E}{U} = \delta$, $\text{tg } \frac{\vartheta}{2} = \tau$ gesetzt ist.

Darin bedeuten: \mathfrak{u} die (konstante) Klemmenspannung, \mathfrak{I} den Ankerstrom, E die vom Polrad induzierte EMK ; R den Wirkwiderstand, X_l und X_q den Längs- bzw. Querblindwiderstand der Ankerwicklung; ϑ den Polradverdrehungswinkel. Bei Mehrphasenmaschinen beziehen sich die

²⁵⁾ vgl. J. Schammel, Das Stromdiagramm der Synchronmaschine mit ausgeprägten Polen in symbolischer Behandlung, Arch. f. El., Bd. 23 (1929), S. 237.

Tafel 1

$\mathfrak{I}_p \neq 0, \text{rg } T_b = 0$: Kegelschnitte										
$\mathfrak{G}_a \neq 0$: Eigentliche Kegelschnitte					$\mathfrak{G}_a = 0$: Uneigentliche Kegelschnitte					
$T_{pk} > 0$			$T_{pk} = 0$	$T_{pk} < 0$		$T_{pk} > 0$			$T_{pk} < 0$	
$D_{bk} > 0$	$D_{bk} = 0$		$D_{bk} < 0$			$D_{bk} > 0$	$D_{bk} = 0$		$D_{bk} < 0$	
Ellipse	Parabel	Hyperbel reelle Achse größer als imag. Achse	gleich- seitige Hyperbel	Hyperbel reelle Achse kleiner als imag. Achse		Doppel- strecke	Doppel- halb- gerade	Rest einer Doppel- geraden nach Abzug einer Doppel- strecke	voll- ständige Doppel- gerade	
$\text{rg } T_a = 2$	Ursprung liegt nicht auf dem Kegelschnitt, und zwar: $T_a < 0$: außerhalb des Kegelschnittes $T_a > 0$: innerhalb des Kegelschnittes $\mathfrak{D}_a = 0$: in einem Brennpunkt $\mathfrak{D}_p = 0$: im Mittelpunkt (bei Ellipse u. Hyperbel)					Ursprung liegt nicht auf der Trägergeraden				
$\text{rg } T_a = 1$	Ursprung liegt auf dem Kegelschnitt					—				
$\text{rg } T_a = 0$	—					Ursprung liegt auf der Trägergeraden, und zwar: $D_{ak} < 0$: auf dem uneigtl. Kegelschnitt selbst $D_{ak} = 0$: in ein. Endpkt. desselb. $D_{ak} > 0$: auf dess. Verlängerung			Ursprung liegt auf der Doppelgeraden	

Tafel 2

$\mathfrak{I}_p \neq 0, \text{rg } T_b = 1 \text{ oder } = 2$: Fußpunktkurven der Kegelschnitte						
$\mathfrak{G}_b \neq 0$: Eigentliche rationale zirk. Kubiken und bizirk. Quartiken				$\mathfrak{G}_b = 0$: Uneigentliche rationale bizirk. Quartiken		
$T_b > 0$		$T_b = 0$	$T_b < 0$	$T_b > 0$	$T_b < 0$	
$\mathfrak{D}_b \neq 0$	$\mathfrak{D}_b = 0$	Fußpunkt- kurve der Parabel	Fußpunkt- kurve der Hyperbel	Doppelkreis	Doppelkreisbogen	
Fußpunkt- kurve der Ellipse	Fußpunkt- kurve des Kreises					
$\text{rg } T_a = 2$	Ursprung liegt nicht auf der Fußpunktkurve $K_p < 0$: Der Doppelpunkt ist eigentl. Doppelpunkt $K_p = 0$: Der Doppelpunkt ist Rückkehrpunkt $K_p > 0$: Der Doppelpunkt ist isolierter Punkt			Ursprung liegt nicht auf dem Trägerkreis $\mathfrak{I}_q = 0$: Ursprung liegt im Mittelpunkt		
$\text{rg } T_a = 1$	Ursprung liegt in einem einfachen Punkt der Fußpunktkurve $K_p < 0$: Der Doppelpunkt ist eigentl. Doppelpunkt $K_p = 0$: Der Doppelpunkt ist Rückkehrpunkt $K_p > 0$: Der Doppelpunkt ist isolierter Punkt			—		
$\text{rg } T_a = 0$	Ursprung liegt im Doppelpunkt der Fußpunktkurve $D_{ak} < 0$: Der Ursprung ist eigentl. Doppelpunkt $D_{ak} = 0$: Der Ursprung ist Rückkehrpunkt $D_{ak} > 0$: Der Ursprung ist isolierter Punkt			Ursprung liegt auf dem Doppelkreis		Ursprung liegt auf dem Trägerkreis, und zwar: $D_{ak} < 0$: auf dem Doppelkreisbogen selbst $D_{ak} = 0$: in einem Endpunkt desselb. $D_{ak} > 0$: auf der Ergänzung zum vollständg. Kreis

Größen auf einen Strang (eine Phase) der Ankerwicklung, doch ist in X_l und X_q die Rückwirkung der anderen Stränge mit zu berücksichtigen. — Als veränderlicher Parameter wird die Größe τ gewählt; wird außerdem noch die relative Erregung δ verändert, so besteht das Stromdiagramm aus einer Kurvenschar.

Wir berechnen leicht nachstehende Invarianten

$$\begin{aligned} T_a &= U^4 4 (1 - \delta^2) (R^2 + X_l X_q)^2, & T_b &= 4 (R^2 + X_l X_q)^2; & \mathfrak{D}_b &= 0; \\ \mathfrak{I}_p &= -U^2 4 (R^2 + X_l X_q)^2 (X_l - X_q)^2, & \mathfrak{I}_q &= U^2 4 (R^2 + X_l X_q)^2 (2R - jX_l - jX_q)^2; \\ \mathfrak{G}_a &= U^2 4 \delta (R^2 + X_l X_q)^2, & \mathfrak{G}_b &= -U 4 \delta (R^2 + X_l X_q)^2 (R - jX_q); \\ K_p &= U^4 64 \delta^2 (R^2 + X_l X_q)^4 (R^2 + X_q^2) [\delta^2 (R^2 + X_q^2) - (X_l - X_q)^2] \end{aligned}$$

und erkennen daraus folgende Eigenschaften des Stromdiagramms:

Für die Synchronmaschine mit ausgeprägten Polen ($X_l > X_q$) ist $\mathfrak{I}_p \neq 0$, $T_b \neq 0$ und, wenn noch $\delta \neq 0$ (also $E > 0$) vorausgesetzt wird, auch $\mathfrak{G}_b \neq 0$; daher besteht das Stromdiagramm aus eigentlichen Fußpunktkurven der Kegelschnitte und zwar, da $T_b > 0$, $\mathfrak{D}_b = 0$ ist, aus einer Schar Pascalscher Schnecken. Da ferner im allgemeinen $T_a \neq 0$ ist, so gehen diese Kurven nicht durch den Ursprung; nur wenn $\delta = 1$, d. h. $E = U$ ist, wird $T_a = 0$, und der Ursprung ist einfacher Punkt der Kurve.

Die Lage des Doppelpunktes ist durch den Vektor

$$\mathfrak{S} = -\frac{\mathfrak{G}_a^*}{\mathfrak{G}_b^*} = \frac{U}{R + jX_q}$$

gegeben; er ist, da \mathfrak{S} von δ unabhängig ist, für alle Kurven der Schar derselbe. Dabei ist der Singulärpunkt eigentlicher Doppelpunkt, Rückkehrpunkt oder isolierter Punkt, je nachdem

$$K_p \leq 0, \quad \text{also} \quad \delta^2 (R^2 + X_q^2) \leq (X_l - X_q)^2 \quad \text{oder} \quad \delta \leq \frac{X_l - X_q}{\sqrt{R^2 + X_q^2}} \quad \text{ist.}$$

Ist aber $\delta = 0$, d. h. $E = 0$, was dem Betrieb als Reaktionsmaschine entspricht, so wird $\mathfrak{G}_b = 0$, und die Kurve entartet zu einer uneigentlichen Quartik, die, weil $T_b > 0$ ist, ein Doppelkreis sein muß. Da dann $T_a \neq 0$ und auch $\mathfrak{I}_q \neq 0$ ist, so liegt der Ursprung nicht auf diesem Kreise und auch nicht im Mittelpunkt desselben.

Im Sonderfalle der Maschine mit Vollpolen, wo $X_l = X_q$ ist, ist dagegen $\mathfrak{I}_p = 0$, und die Gleichung des Stromdiagramms läßt sich daher auf eine Funktion niedrigeren Grades reduzieren; dieses besteht dann, wie bekannt, aus einer konzentrischen Kreisschar.

II. Das Stromdiagramm der Einphasen-Asynchronmaschine. Unter den gleichen Annahmen wie im vorigen Beispiel ergibt sich die Gleichung des Stromdiagramms der Einphasen-Asynchronmaschine nach der Quersfeldtheorie, welche diese Maschine auf den Doppelkurzschlußmotor von Atkinson zurückführt, zu²⁶⁾:

$$\mathfrak{S}_1 = U \frac{R_2 (R_2 + 2jX_2) - 2X_2^2 \sigma + X_2^2 \sigma^2}{R_2 [(R_1 + jX_1) (R_2 + 2jX_2) + X_g^2] + 2jX_2 [(R_1 + jX_1) jX_2 + X_g^2] \sigma - jX_2 [(R_1 + jX_1) jX_2 + X_g^2] \sigma^2}$$

wobei $U = U$, $\omega L_1 = X_1$, $\omega L_2 = X_2$, $\omega M = X_g$ gesetzt ist.

Darin bedeuten: U die (konstante) Klemmenspannung, \mathfrak{S}_1 den primären Strom; R_1 und R_2 den primären bzw. sekundären Wirkwiderstand, L_1 und L_2 die primäre bzw. sekundäre Selbst-

²⁶⁾ vgl. G. Hauffe, Ortskurven der Starkstromtechnik (1932), S. 117.

induktivität, M die Gegeninduktivität; σ die Schlüpfung. — Die veränderliche Größe σ ist der Parameter.

Wir berechnen die Hilfsgrößen

$$B_{02} = -R_2 X_2 [2(R_1^2 + X_1^2) X_2^2 + (R_1 R_2 - 3 X_1 X_2) X_g^2 + X_g^4],$$

$$\mathfrak{P}_1 = -U j R_2 X_2 (R_2 + j X_2) X_g^2, \quad \mathfrak{Q}_1 = U j R_2 X_2 [4(R_1 - j X_1) X_2^2 + (R_2 + 3 j X_2) X_g^2]$$

und die Invarianten

$$T_a = -U^4 4 R_2^2 X_2^6, \quad T_b = -R_2^2 X_2^2 [2(R_1^2 + X_1^2) X_2^2 + (R_1 R_2 - 3 X_1 X_2) X_g^2 + X_g^4]^2;$$

$$\mathfrak{T}_p = -U^2 R_2^2 X_2^2 (R_2 + j X_2)^2 X_g^4, \quad \mathfrak{T}_q = -U^2 R_2^2 X_2^2 [4(R_1 - j X_1) X_2^2 + (R_2 + 3 j X_2) X_g^2]^2;$$

$$\mathfrak{G}_a = 0, \quad \mathfrak{G}_b = 0;$$

hieraus erhalten wir folgende Eigenschaften des gesuchten Stromdiagramms:

Es ist $\mathfrak{T}_p \neq 0$, $T_b \neq 0$ und $\mathfrak{G}_b = 0$, daher besteht das Stromdiagramm der Einphasen-Asynchronmaschine aus einer uneigentlichen rationalen bizirkularen Quartik, und zwar, da $T_b < 0$ ist, aus einem Doppelkreisbogen. Da ferner $T_a \neq 0$ und auch $\mathfrak{T}_q \neq 0$ ist, so geht der Trägerkreis nicht durch den Ursprung und hat auch seinen Mittelpunkt nicht im Ursprung.

Der Mittelpunkt \mathfrak{C} und der Radius r des Doppelkreisbogens ergeben sich schließlich zu:

$$\mathfrak{C} = \frac{j \mathfrak{Q}_1}{2 B_{02}} = \frac{U}{2} \frac{4(R_1 - j X_1) X_2^2 + (R_2 + 3 j X_2) X_g^2}{2(R_1^2 + X_1^2) X_2^2 + (R_1 R_2 - 3 X_1 X_2) X_g^2 + X_g^4},$$

$$r = \frac{1}{2} \frac{|\mathfrak{P}_1|}{|B_{02}|} = \frac{U}{2} \frac{\sqrt{R_2^2 + X_2^2} X_g^2}{2(R_1^2 + X_1^2) X_2^2 + (R_1 R_2 - 3 X_1 X_2) X_g^2 + X_g^4}.$$

Breslau, im Januar 1935.

Die chemische Angreifbarkeit der Mischkristalle

Von Rudolf Schenck in Münster (Westf.)

Über das Verhalten von Mischkristallegierungen mit einer edlen und einer angreifbaren Komponente gegenüber chemischen Agentien liegt eine ansehnliche Zahl von Untersuchungen vor. Besonders anregend auf die Behandlung des Problems hat G. Tammann¹⁾ anschauliche und bestechende Betrachtung über das Zustandekommen der Angreifbarkeitsgrenzen gewirkt.

Nach ihm hat man zwei grundsätzlich voneinander verschiedene Temperaturgebiete zu unterscheiden: Das erste, in dem infolge heftiger Molekularbewegungen ein schneller Platzwechsel der Moleküle und ein rascher Ausgleich von Konzentrationsunterschieden erfolgen kann, und das zweite, bei tiefen Temperaturen liegende, innerhalb dessen die Diffusion bei nicht zu lang ausgedehnter Beobachtung keine Rolle spielt.

Die Frage der Resistenzgrenze ist nur für das letztere zu stellen und vor allem bei Systemen mit gleichmäßiger Verteilung der Bestandteile anschaulich zu machen. Das Wesentliche der Tammannschen Anschauungen über das Beständigwerden des unedleren Bestandteiles liegt in der Abschirmbarkeit innerhalb des Kristallgitters durch die Atome des edleren. Die geometrischen Bedingungen für die Schutzstellung der letzteren und für die Ausschaltung von zusammenhängenden Fäden angreifbarer Atome lassen sich leicht ableiten. Bei geordneter Verteilung nach ausreichender Durchglühung wird man auf die Regel der Multipla von $1/8$ geführt.

Die Tammannsche Vorstellung hat nur die geometrische Seite im Auge. Bedenken gegen ihre allgemeinere Verwendung sind von verschiedenen Forschern²⁾ geltend gemacht worden. Sie stützen sich dabei auf Erfahrungen an Systemen verschiedenster Art, aus denen man entnehmen kann, daß bei dem analytischen Phänomen der erschwerten Trennbarkeit von einer bestimmten Mischungsgrenze an noch andere Dinge mitspielen. Von vornherein ist denkbar, daß empfindliche Fremdatome in der Nachbarschaft des edleren Bestandteiles eine Änderung ihrer Affinitätsverhältnisse erfahren, und daß mehr oder minder starke Zugkräfte den unedleren Bestandteil in das Gitter zwingen. Es ist einzusehen, daß er dadurch unempfindlicher gegen äußere Einwirkungen werden muß.

Wenn dem so ist, muß man erwarten, daß solche Kräfte sich auch bemerkbar machen, wenn die Diffusion freies Spiel hat, d. h. bei höheren Temperaturen, wo nach Tammann eine Widerstandsgrenze wegen des schnellen Platzwechsels der Gitterbausteine nicht auftreten sollte.

G. Tammann hat selbst, zum Teil zusammen mit W. Rienäcker Erfahrungen über das Verhalten warmer Gold-Kupfer-Legierungen an der Luft gesammelt. Es war leicht festzustellen, daß bei etwas erhöhter Temperatur ein Einblick in die Diffusionsverhältnisse und deren Geschwindigkeit durch den zeitlichen Ablauf der Anlauferscheinungen gewonnen werden kann. Das Farbenspiel entsteht durch die Dickeveränderung der Oxydschicht, welche sich mit dem Herausdiffundieren des Kupfers aus der Mischkristallegierung und dessen Verbrennung an der Luft ausbildet. Bei Legierungen mit 20 bis 40 Atomprozenten Kupfer ist die Erscheinung gut zu verfolgen.

Ihre noch weitergehende Untersuchung und das Studium des Endzustandes würde die Forscher zu einer erschöpfenden Erkenntnis der Zusammenhänge geführt haben, wie sie uns bei mit ganz anderen Absichten begonnenen Versuchen in den Schoß gefallen ist.

Die Versuche von Tammann und Rienäcker lassen sich bei noch höheren Beobachtungstemperaturen umkehren. Gold und die Edelmetalle der Platinreihe entwickeln mit den Oxyden des Kupfers (sowohl mit CuO , als auch mit Cu_2O) kräftig Sauerstoff. Dabei bildet sich metallisches Kupfer, welches mit dem Edelmetall Mischkristallegierungen liefert. Es sind Gleichgewichtseinstellungen zu beobachten, die mit Hilfe der Gibbsschen Phasenregel leicht zu übersehen sind.

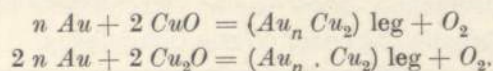
¹⁾ G. Tammann, Zeitschrift f. anorg. u. allgem. Chem. 107, 49 fg. (1919).

²⁾ G. Tammann und W. Rienäcker, Zeitschr. f. anorg. u. allgem. Chem. 156, 261 (1926).

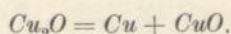
Im Rahmen systematischer Untersuchungen über die Aktivierung von Oxyden durch Edelmetalle werden R. Schenck und Walter Meier ³⁾ über Gleichgewichtsmessungen an Edelmetall-Kupferoxydsystemen berichten, soweit sie für die Theorie der Katalyse und der Kontaktmassen von Bedeutung sind.

In dieser Jubiläumsfestschrift der Schlesischen Technischen Hochschule dagegen, in der von Beginn an die Metallkunde eine Pflegestätte fand, wollen wir erörtern, welche Bedeutung die Untersuchungsergebnisse für dieses Forschungsgebiet besitzen. Sie lassen sich für verschiedene metallkundliche Fragen fruchtbar machen.

Die auf den ersten Blick überraschende, beim Nachdenken aber selbstverständliche Umsetzung zwischen den Edelmetallen und den Oxyden des Kupfers läßt sich durch die folgenden Gleichungen beschreiben



Das Gold kann durch Platin oder Palladium vertreten werden. Selbst Kupferoxydul liefert mit ihnen gut nachweisbare Sauerstoffentwicklung; die dabei auftretenden Tensionen sind so hoch, daß das Oxydul in Gegenwart der Edelmetalle in Oxyd übergeht, entsprechend der Disproportionierungsgleichung



Das Kupfer wandert dabei in die Legierung. Erhitzt man das Kupferoxyd mit Edelmetall, so erweist sich bei konstant gehaltener Temperatur die Sauerstofftension um so größer, je größer das Verhältnis Edelmetall zu Kupferoxyd ist oder je verdünnter an Kupfer die Mischkristall-Legierung werden kann. Die Gleichgewichtsverhältnisse lassen sich aus der Phasenregel herleiten. Man hat es mit einem Dreikomponentensystem (Au, Cu, O) zu tun. Bei Anwesenheit von zwei Bodenphasen unter der Sauerstoffatmosphäre hat man zwei, bei drei Bodenphasen einen Freiheitsgrad. Am besten lassen sich die Verhältnisse bei konstanter Temperatur durch ein einfaches Schaubild (Abb. 1) klarmachen.

Von besonderem Interesse ist der Punkt *N* mit den Bodenphasen $CuO, Cu_2O, Cu-Au$ -Legierung. Sein Sauerstoffdruck ist eindeutig von der Temperatur abhängig und die Kupferkonzentration der Legierung ist leicht und mit guter Genauigkeit zu ermitteln. Als Weg zu ihrer Kenntnis

Abb. 1

bewährte sich die systematische Verwendung der Sauerstoffabbaumethode, welche darin besteht, daß man bei konstant gehaltener Temperatur einem Gemisch von Edelmetall und Kupferoxyd (oder Oxydul) den Sauerstoff in kleinen Portionen entzieht und nach jeder Entziehung die neue Gleichgewichtslage sich einstellen läßt. Die jeweilig entzogenen Sauerstoffmengen werden gemessen und die Gleichgewichts- (P_{O_2}) Einstellung in Abhängigkeit von dem in den Bodenphasen verbliebenen Sauerstoffgehalt verfolgt.

Schaubild Abb. 2 zeigt den Verlauf eines CuO -Abbaues. Zu beachten sind besonders die Punkte A und B. Längs der Horizontale AB koexistieren die Oxyde CuO und Cu_2O neben

³⁾ Zeitschr. f. anorg. u. allgem. Chem. 1935 (im Druck).

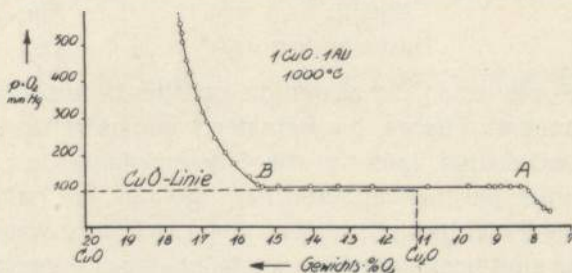


Abb. 2

einer bestimmt zusammengesetzten Kupfer-Edelmetall-Legierung. Die Menge des gebildeten und in der Legierung enthaltenen Kupfermetalles kann sowohl aus der Lage von A als aus der von B errechnet werden. Sie ist längs der ganzen Länge von AB konstant. In den Eckpunkten haben wir Übergänge aus Systemen mit 3 in solche mit 2 festen Bodenphasen. In B treten die ersten Spuren von Cu_2O neben Legierung und CuO auf, in A verschwinden eben die letzten Reste von CuO . Bei Abbaueversuchen ist am sichersten A zu ermitteln; das lange Erhitzen gewährleistet vollen Ausgleich der Diffusion und gute Homogenität der Legierungsphase, deren Zusammensetzung übrigens in eindeutiger Weise von der Temperatur abhängig ist. Will man in B die Legierungskonzentration ermitteln, muß man sich der oxydativen Aufbaumethode mit Sauerstoff bedienen, wobei man zweckmäßig von einer Edelmetall-Kupfer-Mischung mit etwa 40 Atomprozenten Kupfer ausgeht.

Walter Meier hat die Konzentrationen längs AB für verschiedene Edelmetalle und mehrere Temperaturen bestimmt und dabei die folgenden Werte gefunden.

Temperatur	<i>Cu—Au</i>	<i>Cu—Pd</i>	<i>Cu—Pt</i>
1000°	<i>Cu</i> 22,75 Atomprocente <i>Au</i> 77,25 „	<i>Cu</i> 28,21 Atomprocente <i>Pd</i> 71,91 „	<i>Cu</i> 32,48 Atomprocente <i>Pt</i> 67,52 „

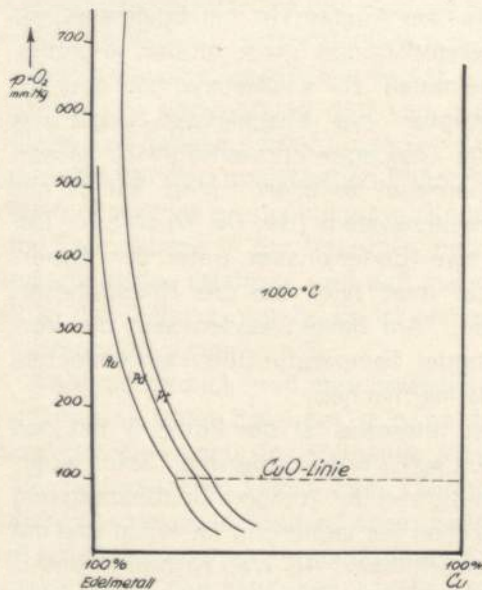


Abb. 3

Die schematische Vergleichung dieser drei Gleichgewichtssysteme gibt Schaubild 3.

Die Verhältnisse der Kupferkonzentrationen der Legierungen liefern uns die Verteilungskoeffizienten dieses Metalls zwischen Gold, Palladium und Platin, Größen, welche sonst nur schwierig ermittelt werden können, im übrigen aber für die elektronentheoretische Vergleichung der Mischkristallegierungen von Bedeutung werden können.

Aus den Versuchen erhält man eine Vorstellung von der Größe der Triebkräfte, welche das Kupfer in die Edelmetalle drängen; sie sind stark genug, die chemische Verwandtschaft des Kupfers zum Sauerstoff zu überwinden. Es sind also tatsächlich meßbare Gitterkräfte vorhanden, welche die chemische Reaktionsfähigkeit der unedleren Komponente gegenüber äußeren Einwirkungen abschwächen und selbst bei freier Diffusion vollständig unterdrücken können.

Am stärksten haben sie sich beim Platin erwiesen, sie fallen über das Palladium zum Gold. Alle drei kristallisieren wie das Kupfer in flächenzentriert kubischen Gittern. Ihre Abstände zeigt folgende Tafel, die nach der Größe der Konstanten geordnet ist.

Metall:	<i>Cu</i>	<i>Pt</i>	<i>Pd</i>	<i>Au</i>
Abstände <i>a</i> in Å	3,61	3,93	3,95	4,07

Kupfer und Gold zeigen die größten Unterschiede der Gitterkonstanten und, verglichen mit den anderen Paaren, die kleinsten Lösungskräfte. Palladium und Platin haben fast gleiche *a*-Werte und sollten, falls nur die Gitterkonstanten für die Aufnahmefähigkeit maßgebend wären, sich unter gleichen äußeren Bedingungen mit nahe gleicher Kupfermenge legieren. Da nun aber die Gleichgewichtslösungen des Platins wesentlich kupferreicher sind als die des Palladiums, so sind noch spezifisch kristallchemische Verhältnisse, nach V. M. Goldschmidt die Polarisation, wirksam.

Wir stoßen hierbei auf ähnliche Erscheinungen, wie wir sie früher bei der Reduktion von Nickel- und Kobaltoxydul in Gegenwart der isomorphen nicht reduzierbaren Oxyde von Magnesium, Calciumoxyd und Manganoxydul kennengelernt⁴⁾ haben. Dort nahm eine Sonderstellung das Manganoxydul ein, indem es entgegen seiner Stellung in der Reihe der Gitterkonstanten die

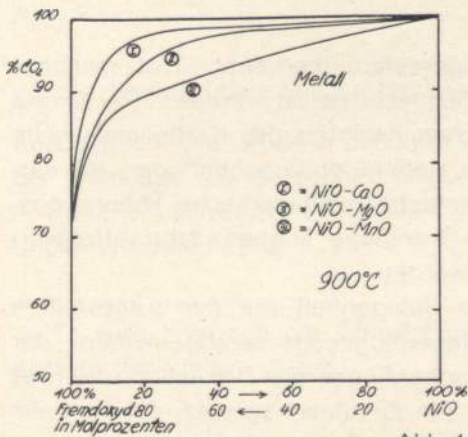


Abb. 4

Reduktion des edleren Oxydes am stärksten hemmte und auf Nickel- und Kobaltoxydul die größten Gitterkräfte ausübte. Das Schaubild 4 gibt uns einen Begriff von den dort beobachteten Verhältnissen. Ähnliche Erfahrungen⁵⁾ konnten wir auch bei der Reduktion des Eisenoxyduls (Wüstits) in Gegenwart des Manganoxyduls und der Magnesia machen. Diese Systeme haben den Vorteil, daß man die Gleichgewichtskurven in ihrem gesamten Verlauf übersehen kann. Das zeigt uns Schaubild 5.

Der neue Fall der Spaltung der Kupferoxyde in Gegenwart isomorpher Edelmetalle und die älteren der Oxydation vom Nickel, Kobalt und Eisen in Gegenwart isomorpher Oxydule (bzw. deren Umkehrungen) gehören zusammen und stehen im Verhältnisse der Reziprozität. Einmal sind die Metalle, das andere Mal die Oxydule isomorph.

Aus diesen unseren Beobachtungen folgt also, daß die Widerstandsgrenze von Mischkristalllegierungen keineswegs allein durch Abschirmungen hervorgerufen wird, daß vielmehr auch bei voller Diffusionsfähigkeit durch Gitterkräfte und durch die Lage der Gleichgewichte bedingte Widerstandsgrenzen auftreten. Unangreifbar und glühbeständig beim Erhitzen an der Luft z. B. bleiben alle Kupfer-Edelmetall-Legierungen, deren Sauerstofftension in Gegenwart von Kupferoxyd über 150 mm liegt.

In diese Gruppe von Erscheinungen gehört die bekannte Erfahrung der Hüttenleute, daß sich Legierungen schwer reduzierbarer Metalle mit etwas edleren besser erschmelzen lassen als die unedle Komponente selbst, Ferromangan und Ferrochrom z. B. leichter als freies Mangan und freies Chrom. Diese Regel gilt aber nicht allein für Schmelzen, sondern auch für den festen Zustand, falls sich Mischkristalllegierungen bilden können.

Man darf also bei der Behandlung metallurgischer und metallkundlicher Probleme an den innerkristallinen Kräften nicht vorübergehen. Wir erblicken in den chemischen Hilfsmitteln der Gleichgewichtslehre ein wertvolles Mittel, um in das Wesen des metallischen Zustandes und seine Geheimnisse einzudringen. Allerdings bedarf es bei der großen Mannigfaltigkeit der Möglichkeiten der Kritik und besonderer Sorgfalt und Überlegung in der Wahl der Untersuchungsobjekte.

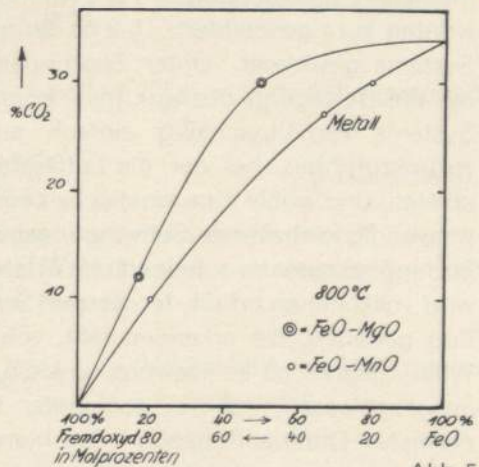


Abb. 5

Münster i. W., Chemisches Institut der Westf. Wilhelms-Universität.

⁴⁾ R. Schenck und H. Wesselkock, Zeitschr. f. anorg. u. allgem. Chem. 184, 46 (1929).

⁵⁾ R. Schenck, H. Franz und H. Willeke, Zeitschr. f. anorg. u. allgem. Chem. 184, 6 (1929).

Dynamik des Schwingenfluges

Von Werner Schmeidler in Breslau

Einleitung

Das Problem des Schwingenfluges ist so alt wie das Flugproblem überhaupt. Trotz mancher zeitraubenden und kostspieligen Versuche ist es bisher nicht gelöst worden. Der Grund dafür liegt unter anderem in der mangelhaften theoretischen Kenntnis des Kräftespiels beim Schwingenflug, das naturgemäß komplizierter ist als beim stationären Drachenfluge. Ich versuche im folgenden, diese Lücke durch eine möglichst einfache mathematische Theorie auszufüllen. Erst auf einer so gesicherten theoretischen Grundlage können dann erfolgversprechende technische Konstruktionsversuche angestellt werden.

Im ersten Paragraphen werden die bei einer früheren Gelegenheit von mir aufgestellten Näherungsformeln für Vortrieb und Auftrieb eines Schwingenflugzeugs verallgemeinert; der beherrschende Grundbegriff ist dabei wie im Falle des Drachenfluges die Zirkulation, die jetzt nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich variabel wird. Ein Zirkulationsgesetz, das im Falle des Schwingenfluges die analoge Rolle spielt wie im Falle des Drachenfluges die bekannte elliptische Auftriebsverteilung, wird aufgestellt und durch graphische Darstellung veranschaulicht. Seine praktische Durchführung kann entweder mit Hilfe einer während der Schwingung veränderlichen Tragflächentiefe oder eines entsprechend veränderlichen Anstellwinkels erfolgen; von besonderem Interesse ist eine bestimmte Kombination von variabler Flächentiefe mit variablem Anstellwinkel, wobei man die betreffenden Funktionen exakt hinschreiben kann. Experimentelle Untersuchungen zur Prüfung der Theorie, die aber noch nicht abgeschlossen sind, werden kurz geschildert. § 2 ist dann dem Studium der Bewegungsgesetze des schwingenden Systems gewidmet. Unter Zugrundelegung der Kraftgesetze des ersten Paragraphen gelingt es, die Bewegung des aus dem Rumpf und den beiden schwingenden Flügeln bestehenden Systems verhältnismäßig einfach auf eine gewöhnliche Schwingungsdifferentialgleichung zurückzuführen, bei der die Luftkräfte die Rolle des (sehr beträchtlichen) Dämpfungsgliedes spielen, und wobei eine elastische Lagerung der drehbaren Flügel angenommen wird. Auch die notwendig eintretende Schwingungsbewegung des Rumpfschwerpunktes, auf deren Außerachtlassung so manche schmerzliche Erfahrung bei großen und kleinen fliegenden Modellen beruht, wird vollkommen erfaßt, ferner zum Schluß eine Formel für den Wirkungsgrad beim Schwingenflug gegeben, die erkennen läßt, von welchen Daten diese wichtigste Größe abhängt. Der Wirkungsgrad ist keineswegs so klein, wie dies manchmal dargestellt wird; es ist sogar nicht ausgeschlossen, ihn bei geeigneter technischer Durchführung größer zu machen als beim normalen Drachenflugzeug. Die hiernach gewonnenen Erkenntnisse werden im letzten Paragraphen dazu verwendet, um zu zeigen, wie der Entwurf eines Schwingenflugzeugs vor sich gehen kann. Für ein Modell von zwei Meter Spannweite wird ein solcher Entwurf vollständig durchgeführt. Das Modell wird zur Zeit im Versuchsflugzeugbau der Technischen Hochschule gebaut. Ich benutze die Gelegenheit, um der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, durch deren Entgegenkommen die vorliegenden Untersuchungen möglich geworden sind, zugleich im Namen von Herrn Dipl.-Ing. Jaeckel, der mich dabei bei den experimentellen Untersuchungen unterstützt, unsern herzlichsten Dank auszusprechen.

§ 1. Vortrieb und Auftrieb bei einem beliebigen Schwingungsgesetz der Flügel

Wir denken uns ein symmetrisch schwingendes Flügelpaar, dessen Bewegungsgesetz dadurch gegeben ist, daß die Endpunkte der Flügel zur Zeit τ die senkrechte Entfernung

$$y^* = h \cdot f(\nu \tau)$$

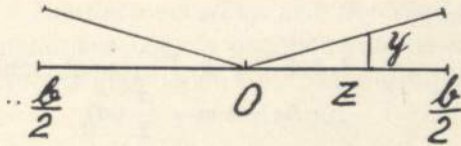


Abb. 1

von der horizontalen Mittellage haben. Ein Punkt in der Entfernung z vom Drehpunkte O hat dann die Entfernung

$$y = \frac{h \cdot |z|}{\frac{b}{2}} f(\nu \tau) = h \cdot |\cos \varphi| \cdot f(\nu \tau)$$

von der Horizontalen. Hierbei haben wir $z = -\frac{b}{2} \cos \varphi$ gesetzt, so daß φ den Bereich $0 \leq \varphi \leq \pi$ durchläuft. Die Größe h bedeutet dabei den maximalen Ausschlag der Flügelendpunkte von der Mittellage aus gerechnet, $f(\sigma)$ eine periodische Funktion von der Periode 2π , die zwischen -1 und $+1$ schwankt. Die Größe ν gibt daher die Frequenz der Schwingung an. Der einfachste und wichtigste Fall ist

$$f(\sigma) = \sin \sigma.$$

Es wird hiernach die Aufwärtsgeschwindigkeit des Flügels gegen die (in Ruhe gedachte) Luft an der Stelle z gleich

$$\frac{dy}{d\tau} = h \cdot \nu \cdot f'(\nu \tau).$$

Die Bewegung der Flügel bewirkt also, daß zu den sonstigen Bewegungen der Luft relativ zum Flügel noch die Abwärtsgeschwindigkeit $\frac{dy}{d\tau}$ hinzutritt. In Übertragung Prandtl'scher Gedankengänge können wir daher zu der üblicherweise auftretenden induzierten Abwärtsgeschwindigkeit w auch diese Abwärtsgeschwindigkeit noch superponieren und damit den wirksamen Anstellwinkel in der Form

$$\alpha^* = \alpha - \frac{w}{v} - \frac{h\nu |\cos \varphi| f'(\nu \tau)}{v}$$

schreiben. Die zur Zeit τ an der Stelle φ herrschende Zirkulation $\Gamma(\varphi, \tau)$ wird dann gegeben durch die Gleichung¹⁾

$$\Gamma = \pi v t \alpha^* + \frac{\pi t^2}{4} \cdot \frac{\partial \alpha^*}{\partial \tau} \quad (t \text{ Flügeltiefe}).$$

Entsprechend dem gewöhnlichen Falle des Drachenflügels wird dann der Vortrieb T (in dem der entgegengesetzt gerichtete Bestandteil des induzierten Widerstandes mit eingerechnet ist) und der Auftrieb A annäherungsweise gegeben durch die Formeln:

$$T = \frac{\rho v b}{2} \int_0^\pi \Gamma (\alpha^* - \alpha) \sin \varphi d\varphi, \quad (\text{hierbei ist } h\nu \text{ als klein gegen } v \text{ vorangesetzt})$$

$$A = \frac{\rho v b}{2} \int_0^\pi \Gamma \sin \varphi d\varphi,$$

also ihre zeitlichen Mittelwerte während einer ganzen Periode:

$$\bar{T} = \frac{\rho v v b}{4\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\nu}} \int_0^\pi \Gamma (\alpha^* - \alpha) \sin \varphi d\varphi d\tau,$$

$$\bar{A} = \frac{\rho v v b}{4\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\nu}} \int_0^\pi \Gamma \sin \varphi d\varphi d\tau.$$

¹⁾ Vgl. meine Arbeit Mathematische Theorie des Schwingenfluges in der Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik, Bd. 14, S. 163 ff., und die dortigen Zitate.

Wir setzen nun die Zirkulation als Fourierreihe in der Form

$$\Gamma = 2bv \cdot \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin n\varphi \quad (n = 1, 3, 5, \dots, \text{ da } \Gamma \text{ symmetrisch zur Achse } \varphi = \frac{\pi}{2} \text{ ist})$$

an, worin die Koeffizienten A_n Funktionen der Zeit τ werden. Ihre Bestimmung ist unsere Hauptaufgabe, da durch sie dann insbesondere Auftrieb und Vortrieb gegeben sind.

Wir stellen wie in der gewöhnlichen Tragflügeltheorie in erster Linie die Frage, unter welchen Bedingungen bei vorgegebenem mittlerem Auftrieb der mittlere Vortrieb ein Maximum wird.

Hierzu stellen wir zunächst fest, daß wegen

$$\int_0^{\pi} \sin^2 \varphi d\varphi = \frac{\pi}{2}, \quad \int_0^{\pi} \sin n\varphi \sin \varphi d\varphi = 0 \quad \text{für } n = 3, 5, \dots$$

der Auftrieb bzw. mittlere Auftrieb

$$A = \frac{\rho v^2 b^2 \pi}{2} \cdot A_1(\tau), \quad \bar{A} = \frac{\rho v^2 b^2 v}{4} \cdot \int_0^{\frac{2\pi}{v}} A_1(\tau) d\tau$$

wird, während wie üblich,

$$\frac{w}{v} = \sum_{n=1}^{\infty} n A_n \frac{\sin n\varphi}{\sin \varphi}$$

ist. Demnach handelt es sich um den Extremwert des Integrals:

$$\bar{T} + \kappa \bar{A} = \frac{\rho v^2 b^2}{4\pi} \left\{ \int_0^{\frac{2\pi}{v}} \int_0^{\pi} 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin n\varphi \left[-\frac{h v |\cos \varphi| f'(v\tau)}{v} - \sum_{n=1}^{\infty} n A_n \frac{\sin n\varphi}{\sin \varphi} \right] \sin \varphi d\varphi d\tau + \kappa \pi \int_0^{\frac{2\pi}{v}} A_1(\tau) d\tau \right\}.$$

Wegen

$$\int_0^{\pi} \sin n\varphi \sin \varphi |\cos \varphi| d\varphi = \frac{(-1)^{\frac{n-1}{2}} \cdot 2}{n^2 - 4} \quad (n = 1, 3, 5, \dots)$$

wird

$$\bar{T} + \kappa \bar{A} = \frac{\rho v^2 b^2}{4\pi} \cdot \int_0^{\frac{2\pi}{v}} \left(\frac{4 h v f'(v\tau)}{v} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{n-1}{2}} \cdot 2}{n^2 - 4} A_n - \pi \sum_{n=1}^{\infty} n A_n^2 + \kappa \pi A_1 \right) d\tau,$$

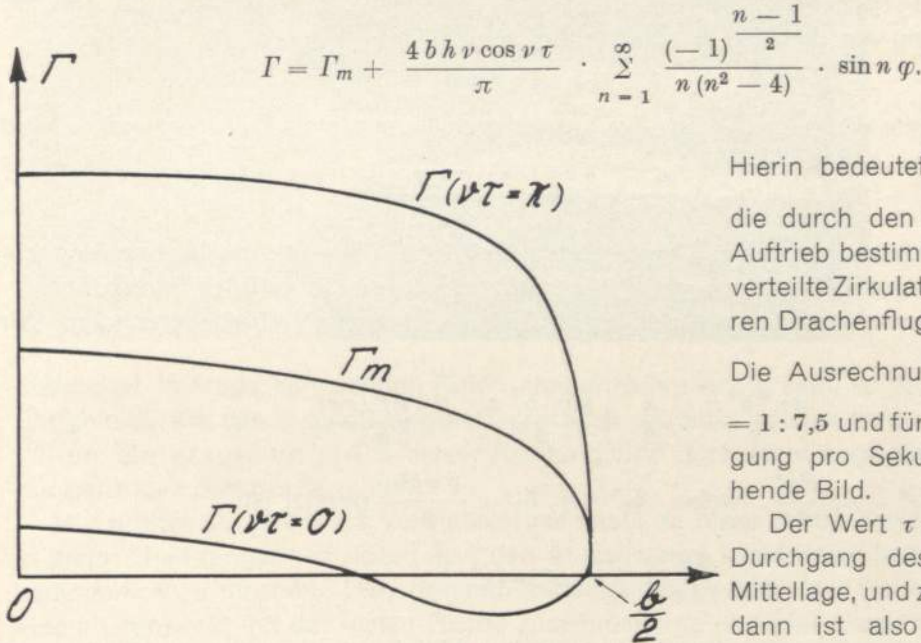
und die Bedingungen des Maximums liefern uns die Werte:

$$A_1 = \frac{\kappa}{2} - \frac{2 h v}{3 \pi v} \cdot f'(v\tau), \quad A_n = (-1)^{\frac{n-1}{2}} \cdot \frac{2 h v f'(v\tau)}{\pi v n (n^2 - 4)} \quad (n = 3, 5, \dots).$$

Hiernach schwingt also der Wert der Zirkulation während einer Periode um den durch die stationäre Theorie gegebenen Mittelwert herum, und zwar nach dem durch die Bewegung des Flügels gegebenen Geschwindigkeitsgesetze. Wir erhalten also

$$\Gamma = \Gamma_m + \frac{4b h v f'(\nu\tau)}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{n-1}{2}}}{n(n^2-4)} \cdot \sin n\varphi,$$

und insbesondere für $f(\nu\tau) = \sin \nu\tau$



Hierin bedeutet $\Gamma_m = 2b v \cdot \frac{\alpha}{2} \sin \varphi$ die durch den gegebenen mittleren Auftrieb bestimmte mittlere elliptisch verteilte Zirkulation, die dem stationären Drachenflug entsprechen würde. Die Ausrechnung liefert für $h : \frac{b}{2} = 1 : 7,5$ und für $\nu = 2\pi$ (eine Schwingung pro Sekunde) das nebenstehende Bild.

Der Wert $\tau = 0$ entspricht dem Durchgang des Flügels durch die Mittellage, und zwar beim Aufschlag; dann ist also die Zirkulation am kleinsten. An der Stelle $\nu\tau = \frac{\pi}{2}$, also

Abb. 2. Zirkulationsgesetz

in der obersten Stellung des Flügels, wird der Wert Γ_m erreicht, beim Durchgang durch die Mitte im Niederschlag der höchste Wert, in der untersten Flügelstellung wieder der Mittelwert.

Wir können nun auf Grund dieses Zirkulationsgesetzes alle übrigen uns interessierenden Größen ausrechnen, soweit sie dadurch schon bestimmt sind. Wir finden zunächst

$$\alpha^* = \alpha - \frac{h v f'(\nu\tau) |\cos \varphi|}{v} - \sum_{n=1}^{\infty} n A_n \frac{\sin n\varphi}{\sin \varphi}$$

$$\alpha^* = \alpha - \frac{\alpha}{2} - \frac{h v f'(\nu\tau) |\cos \varphi|}{2v} \quad (2)$$

$$= \alpha - \frac{w_0}{v} - \frac{h v f'(\nu\tau) |\cos \varphi|}{2v}, \quad (w_0 \text{ mittlere stationäre induzierte Abwärtsgeschwindigkeit})$$

womit die Zirkulationsgleichung

$$\Gamma = \pi v t \alpha^* + \frac{\pi t^2}{4} \cdot \frac{\partial \alpha^*}{\partial \tau}$$

²⁾ Es gilt:

$$|\cos \varphi| = \frac{2}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{n-1}{2}} \cdot 2}{n^2-4} \cdot \frac{\sin n\varphi}{\sin \varphi} \quad n \text{ ungerade}$$

zu einer Beziehung zwischen der Flügeltiefe $t(\varphi, \tau)$ und dem Anstellwinkel $\alpha(\varphi, \tau)$ wird, die erfüllt sein muß, wenn das Zirkulationsgesetz und damit die Formeln für Vortrieb und Auftrieb, die wir sogleich ableiten werden, erfüllt sein können. Es geht daraus hervor, daß jedenfalls nicht beide Größen t und α zeitlich konstant sein können, obwohl dies immerhin auch eine näherungsweise Lösung liefern würde. Ist eine der beiden Größen t oder α vorgegeben, so ist die andere durch die Zirkulationsgleichung eindeutig bestimmt. Dies gilt auch für α , wenn t vorgegeben ist, da die entstehende Differentialgleichung für α eine eindeutige periodische Lösung besitzt. Wichtige Fälle ergeben sich, wenn eine der beiden Funktionen t oder α unabhängig von der Zeit vorgegeben wird. Von besonderem Interesse ist ferner noch der Fall, wo $\alpha^* = \alpha^*(\varphi)$ unabhängig von der Zeit sein soll, wobei also

$$\Gamma = \pi v t \alpha^*$$

wie im stationären Falle wird. Das Gesetz für t ergibt sich dann als zu Γ proportional; α wird

$$= \alpha^* + \frac{w_0}{v} + \frac{h v f'(\nu \tau) |\cos \varphi|}{v}$$

ist also ebenfalls im Rahmen unserer Theorie exakt bestimmt. Über die praktischen Möglichkeiten zur Realisierung der Zirkulationsgleichung sprechen wir am Schluß des Paragraphen.

Weiterhin können wir jetzt die Gesetze für den Auftrieb und den Vortrieb berechnen. Wir finden:

$$\begin{aligned} A &= \frac{\rho v^2 b^2 \pi}{2} \cdot \frac{\pi}{2} - \frac{\rho v^2 b^2 \pi}{2} \cdot \frac{2 h v f'(\nu \tau)}{3 \pi v} \\ &= L_0^* - L_1^* \frac{dy^*}{d\tau}, \text{ wobei } L_0^* = \bar{A}, L_1^* = \frac{\rho v b^2}{3} \text{ gesetzt ist,} \\ &\quad \frac{dy^*}{d\tau} = h v \cdot f'(\nu \tau). \end{aligned}$$

Beim Vortrieb beschränken wir uns auf den zeitlichen Mittelwert, den wir unter Weglassung des durch die konstanten Glieder gelieferten stationären induzierten Widerstandes als reinen mittleren Vortrieb \bar{V} wie folgt anschreiben können:

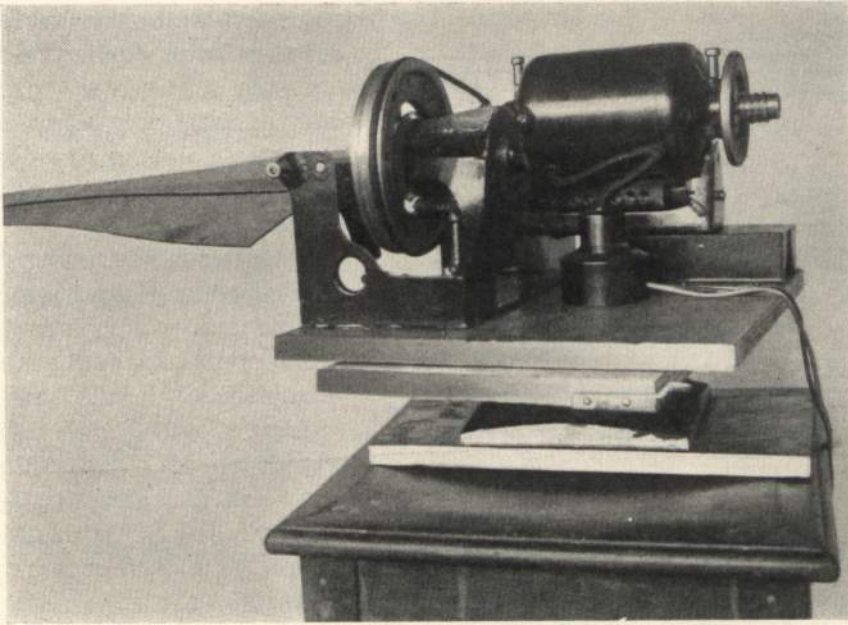
$$\begin{aligned} \bar{V} &= \frac{\rho v v^2 b^2}{\pi^2} \int_0^{\frac{2\pi}{v}} \left(2\pi \sum_{n=1}^{\infty} n A_n^2 - \pi \sum_{n=1}^{\infty} n A_n^2 \right) d\tau = \frac{\rho v v^2 b^2}{4} \int_0^{\frac{2\pi}{v}} \sum_{n=1}^{\infty} n A_n^2 d\tau \\ &= \frac{\rho b^2 h^2 v^2 \cdot v}{\pi^2} \int_0^{\frac{2\pi}{v}} f'(\nu \tau)^2 d\tau \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n(n^2 - 4)^2} \\ &= \frac{\rho b^2 h^2 v^2}{8\pi} \cdot C \end{aligned}$$

wenn wir die unendliche Summe, was genau genug ist, mit $1/8$ bewerten, und

$$\frac{v}{\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{v}} f'(\nu \tau)^2 d\tau = C$$

setzen. Im Sonderfalle $f(\nu \tau) = \sin \nu \tau$ erhalten wir $C = 1$ und

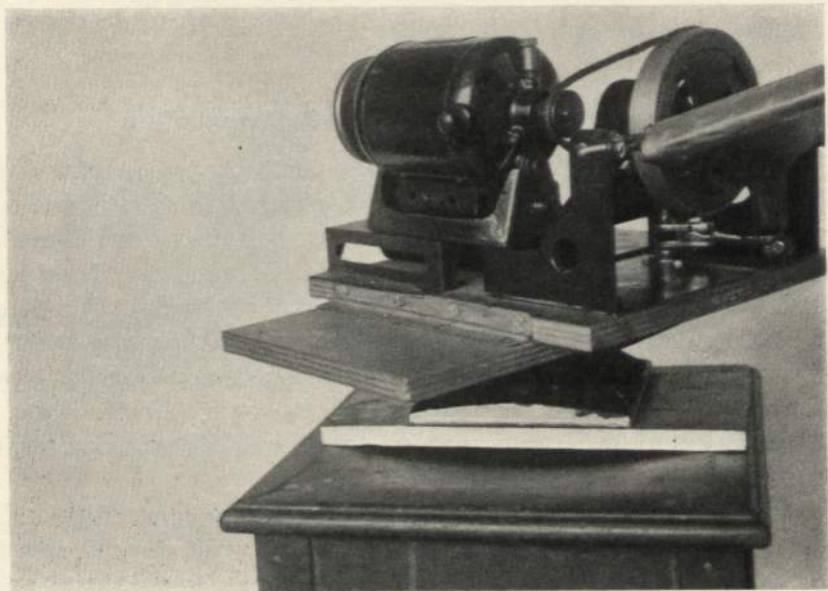
$$\bar{V} = \frac{\rho b^2 h^2 v^2}{8\pi}.$$



Diese bemerkenswerte Formel, in der der Vortrieb vom Anstellwinkel, von der Geschwindigkeit und von der Flügeltiefe unabhängig erscheint, gilt andererseits nur, wenn das Zirkulationsgesetz erfüllt ist, und ist insofern eine Näherungsformel (wie auch die Formel für den Auftrieb), als dabei der Wert h_v als klein gegen die Geschwindigkeit v angenommen ist. Diese Bedingung dürfte aber bei den technisch

überhaupt in Frage kommenden Fällen einigermaßen erfüllt sein, so daß jetzt die Hauptfrage übrigbleibt, wie das Zirkulationsgesetz praktisch realisiert werden kann. Unsere experimentellen Untersuchungen in dieser Richtung sind noch nicht abgeschlossen, ich will daher nur ganz kurz darüber berichten.

Wir prüften vor allem die Vortriebsformel nach, da diese Größe praktisch die wichtigste ist. In erster Linie gingen wir davon aus, den Anstellwinkel konstant zu halten und die Flügeltiefe veränderlich zu machen. Dies geschah mittels eines beweglichen Flächenteils, das außen an einem Drehpunkt mit der festen Fläche zusammenhing und eine Vergrößerung und Verkleinerung der Gesamtfläche gestattete. Diese Bewegung mußte mit der Schlagbewegung des Flügels kombiniert werden, was mit Hilfe des nebenstehend abgebildeten Apparates durchgeführt wurde, der einen kleinen Elektromotor und den dazugehörigen Mechanismus zeigt. Die Kombination beider Bewegungen erfolgte derart, daß beim Aufschlag in der Mittellage die bewegliche Fläche ganz eingeschoben wurde, während sie beim Niederschlag in der Mittellage ganz ausgeschoben wurde. Übrigens konnte durch Änderung der Einstellung auch eine andere gegenseitige Phasenstellung beider Bewegungen erzielt werden; es zeigte sich aber, daß für die Erzielung eines möglichst großen Vortriebs die geschilderte Stellung mit einer kleinen Verschiebung in dem Sinne, daß das Maximum der Fläche beim Niederschlag etwas vor der Erreichung der Mittellage eintrat, am günstigsten war. Um den Vortrieb



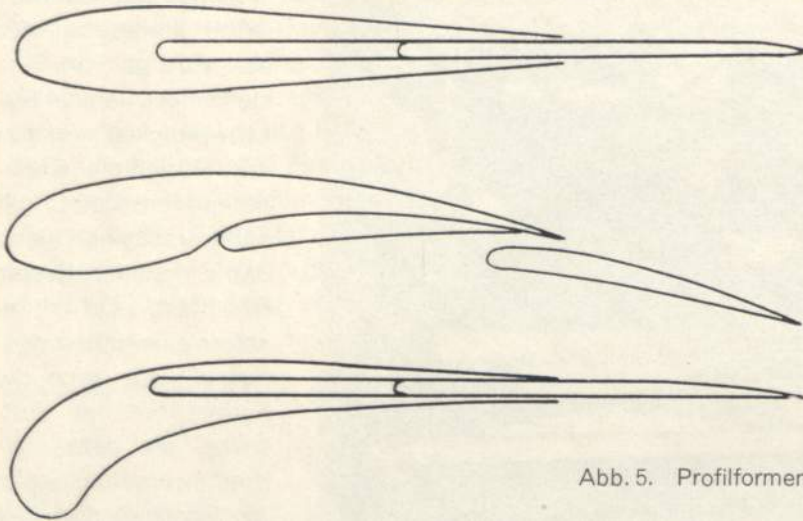


Abb. 5. Profilformen

zu zeigen, wurde das Ganze auf eine Platte montiert, die um eine senkrechte Achse drehbar war; der Vortrieb äußerte sich dann in einer drehenden Bewegung des ganzen Systems.

Wir untersuchten zunächst der Reihe nach einige Flügel, die nicht nur verschiedene Umrißformen, sondern auch verschiedene Profile aufwiesen, wie in der Abb. 5 angedeutet ist. Es zeigte sich, daß die letzte Profilform, die dem Schnitt eines

Vogelflügels sehr nahe kommt, die günstigsten Vortriebswerte liefert. Von Wichtigkeit ist ferner beim letzten Profil die Schränkung in Form einer Verkleinerung des Anstellwinkels von innen nach außen (vgl. das Bild des Storchflügels bei O. Lilienthal in seinem Werke über den Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst!). Mit diesem Flügel (dessen Umriß in Abb. 6 angedeutet ist) erreichten wir etwa 75 Prozent des theoretisch geforderten Vortriebswertes.

In diesen Beispielen ist die Realisierung der Zirkulationsgleichung noch recht unvollkommen. Eine bessere Annäherung ist erst zu erreichen, wenn man auch Anstellwinkeländerungen zuläßt. Solche kommen z. B. bei Benutzung elastischer Flügel, bei denen die Vorderkante steif bleibt, während die Hinterkante elastisch schwingt, von selbst zustande, und zwar im richtigen Sinne, wie unsere bisherigen Beobachtungen zeigen. Der Vortrieb wird bei solchen Flügeln merklich gesteigert. Erstrebenswert scheint uns eine möglichst getreue technische Nachahmung des eben hervorgehobenen Falles eines zeitlich konstanten wirksamen Anstellwinkels α^* , an der wir noch arbeiten.

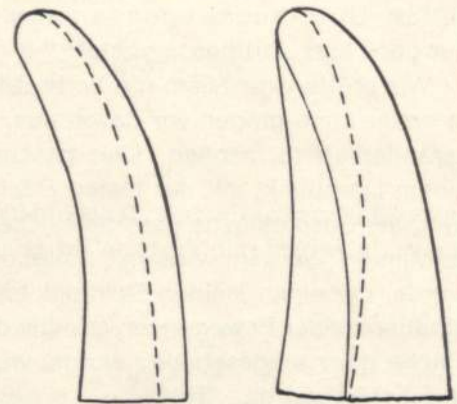


Abb. 6. Umriß des Flügels Nr. 3

§ 3. Der Bewegungsvorgang beim Schwingenflug

Auf Grund der im ersten Paragraphen entwickelten Gesetze über die Luftkräfte beim Schwingenflug wollen wir nun den Bewegungsvorgang des schwingenden Systems näher untersuchen.

Wir stellen uns zu diesem Zwecke vor, daß die beiden Flügel am Rumpf elastisch drehbar gelagert seien, und zwar derart, daß jeder Drehung der Flügel aus der horizontalen Ruhelage eine der Elongation proportionale Gegenkraft entspricht. Wir bezeichnen mit x die senkrechte Elongation des Rumpfschwerpunktes aus seiner horizontalen Bahn, mit y die senkrechte Entfernung des Schwerpunktes eines der beiden Flügel von der Horizontalen durch den Rumpfschwerpunkt. In der Annahme, daß die Bewegung beider Flügel symmetrisch erfolgt, können wir dann nach den Grundprinzipien der Mechanik die beiden Bewegungsgleichungen wie folgt anschreiben:

Es sei M die Masse des Rumpfes, m die Masse eines Flügels. Es sei ferner r die Entfernung des Flügelschwerpunktes vom Rumpfschwerpunkte, der mit dem Drehpunkte identifiziert wird, $K r$ das vom Motor auf den Flügel ausgeübte Drehmoment, endlich $-k r \psi$ die elastische

Gegenkraft, die durch Drehung des Flügels um den Winkel ψ aus der Ruhelage ausgeübt wird. Dann gilt für den Punkt m :

$$m(\ddot{x} + \ddot{y}) = K + L - kr\psi - mg.$$

Hierbei bedeutet L die Auftriebsluftkraft, die an einem Flügel angreift; wir denken sie der Einfachheit halber im Flügelschwerpunkte konzentriert. Analog ergibt sich für den Punkt M :

$$M\ddot{x} = -Mg - 2K + 2kr\psi,$$

wobei zu beachten ist, daß am Rumpf die Reaktionskräfte beider Flügelseiten zusammenwirken. Nach § 1 können wir nun setzen:

$$L = L_0 - L_1 \cdot \frac{dy}{d\tau}, \quad 2L_0 = \bar{A}, \quad 2L_1 = \frac{\rho v b^2}{3} \cdot \frac{2r}{b},$$

weil $y^* = \frac{b}{2r} \cdot y$ ist; für den Horizontalflug, den wir hier allein im Auge haben, wird

$$2L_0 = \bar{A} = (M + 2m)g.$$

Setzt man dies ein, so ergibt sich folgendes Differentialgleichungssystem:

$$\begin{aligned} m(\ddot{x} + \ddot{y}) + L_1 \dot{y} + ky &= \frac{Mg}{2} + K, \\ M\ddot{x} - 2ky &= -Mg - 2K. \end{aligned}$$

Kombination beider Gleichungen ergibt:

$$m\ddot{y} + L_1 \dot{y} + k \left(1 + \frac{2m}{M}\right) y = \frac{Mg}{2} \left(1 + \frac{2m}{M}\right) + K \left(1 + \frac{2m}{M}\right).$$

Setzt man die Kraft K in der Form $K_0 \cos \nu\tau$ an, so ergibt sich nach einiger Zeit, wenn die Eigenschwingung infolge der Dämpfung durch die Luftkräfte abgeklungen ist, die periodische Lösung:

$$y = \frac{Mg}{2k} + B \cos(\nu\tau + \delta),$$

Hierbei bedeutet:

$$\begin{aligned} B &= \frac{K_0 \left(1 + \frac{2m}{M}\right)}{m \sqrt{\left[\frac{k}{m} \left(1 + \frac{2m}{M}\right) - \nu^2\right]^2 + \frac{L_1^2 \nu^2}{m^2}}}, \\ \sin \delta &= \frac{-\frac{L_1 \nu}{m}}{\sqrt{\left[\frac{k}{m} \left(1 + \frac{2m}{M}\right) - \nu^2\right]^2 + \frac{L_1^2 \nu^2}{m^2}}}, \\ \cos \delta &= \frac{\frac{k}{m} \left(1 + \frac{2m}{M}\right) - \nu^2}{\sqrt{\left[\frac{k}{m} \left(1 + \frac{2m}{M}\right) - \nu^2\right]^2 + \frac{L_1^2 \nu^2}{m^2}}}. \end{aligned}$$

Damit ist die Relativbewegung der Flügel zum Rumpf bestimmt. Da B der Maximalausschlag aus der Ruhelage ist, kann gemäß der früheren Bezeichnung

$$B = h \cdot \frac{2r}{b}$$

gesetzt werden.

Die Bewegung des Rumpfschwerpunktes selbst erfolgt nach dem Gesetz:

$$M \ddot{x} = -Mg - 2K_0 \cos \nu \tau + 2k \left(\frac{Mg}{2k} + B \cos(\nu \tau + \delta) \right),$$

$$x = \frac{2K_0}{M\nu^2} \cdot \cos \nu \tau - \frac{2kB}{M\nu^2} \cdot \cos(\nu \tau + \delta).$$

Um die Amplitude dieser Schwingung zu berechnen, setzen wir zur Abkürzung $\nu_0^2 = \frac{k}{m} \left(1 + \frac{2m}{M} \right)$ und erhalten wegen

$$K_0 = \frac{m}{1 + \frac{2m}{M}} \cdot h \cdot \frac{2r}{b} \cdot \sqrt{(\nu_0^2 - \nu^2)^2 + \frac{L_1^2 \nu^2}{m^2}} = \frac{k}{\nu_0^2} \cdot h \cdot \frac{2r}{b} \sqrt{(\nu_0^2 - \nu^2)^2 + \frac{L_1^2 \nu^2}{m^2}}:$$

$$x = \frac{2k \cdot h \cdot \frac{2r}{b}}{M\nu^2} \left[\frac{1}{\nu_0^2} \sqrt{(\nu_0^2 - \nu^2)^2 + \frac{L_1^2 \nu^2}{m^2}} \cos \nu \tau - \cos(\nu \tau + \delta) \right]$$

$$= \frac{2k \cdot h \cdot 2r}{M\nu^2 \cdot b} \left[\cos \nu \tau \left(\frac{\sqrt{(\nu_0^2 - \nu^2)^2 + \frac{L_1^2 \nu^2}{m^2}}}{\nu_0^2} - \frac{\nu_0^2 - \nu^2}{\sqrt{(\nu_0^2 - \nu^2)^2 + \frac{L_1^2 \nu^2}{m^2}}} \right) + \frac{\sin \nu \tau \cdot \left(-\frac{L_1 \nu}{m} \right)}{\sqrt{(\nu_0^2 - \nu^2)^2 + \frac{L_1^2 \nu^2}{m^2}}} \right]$$

$$= \frac{2kh \cdot 2r}{M\nu^2 \nu_0^2 b} \cdot \sqrt{(\nu_0^2 - \nu^2)^2 + \frac{L_1^2 \nu^2}{m^2}} \left[\nu^2 \left(\frac{L_1^2}{m^2} + \nu^2 - \nu_0^2 \right) \cos \nu \tau - \frac{L_1 \nu_0^2 \nu}{m} \sin \nu \tau \right]$$

$$= \frac{2kh \cdot 2r}{M\nu \nu_0^2 \cdot b} \sqrt{\frac{\nu^2 \left(\frac{L_1^2}{m^2} + \nu^2 - \nu_0^2 \right)^2 + \frac{L_1^2 \nu_0^4}{m^2}}{(\nu_0^2 - \nu^2)^2 + \frac{L_1^2 \nu^2}{m^2}}} \cdot \cos(\nu \tau + \varepsilon)$$

$$= \frac{2kh \cdot 2r}{M\nu \nu_0^2 \cdot b} \sqrt{\nu^2 + \frac{L_1^2}{m^2}} \cdot \cos(\nu \tau + \varepsilon) = \frac{2mh \cdot 2r}{\nu M \left(1 + \frac{2m}{M} \right) \cdot b} \cdot \sqrt{\nu^2 + \frac{L_1^2}{m^2}} \cdot \cos(\nu \tau + \varepsilon)$$

$$= \frac{2h \cdot 2r \cdot m}{(M + 2m)b} \sqrt{1 + \frac{L_1^2}{m^2 \nu^2}} \cdot \cos(\nu \tau + \varepsilon).$$

Man erkennt hiernach, daß eine kleine Flügelmasse im Vergleich zur Gesamtmasse des Flugzeugs sowie ein möglichst kleiner Abstand des Flügeldruckpunktes vom Rumpf erstrebenswert ist.

Wir berechnen schließlich noch den Wirkungsgrad des Schwingenflugzeugs. Die an den Flügeln geleistete Arbeit ist während einer Periode:

$$2 \int_0^{\frac{2\pi}{\nu}} K_0 \cos \nu \tau \cdot \frac{dy}{d\tau} d\tau = -2 \int_0^{\frac{2\pi}{\nu}} K_0 B \nu \cos \nu \tau \cdot \sin(\nu \tau + \delta) d\tau = -2 K_0 B \nu \sin \delta \cdot \frac{\pi}{\nu}$$

also pro Sekunde:

$$K_0 B \nu \cdot \frac{L_1 \nu}{m \sqrt{(\nu_0^2 - \nu^2)^2 + \frac{L_1^2 \nu^2}{m^2}}} = \frac{B^2 \nu^2 L_1}{1 + \frac{2m}{M}} = \frac{h^2 \nu^2 \cdot \left(\frac{2r}{b} \right)^2 \cdot \frac{\rho v b^2}{6} \cdot \frac{b}{2r}}{1 + \frac{2m}{M}}$$

$$= \frac{\rho b^2 h^2 \nu^2}{6} \cdot \frac{2r}{b \left(1 + \frac{2m}{M} \right)}$$

Andererseits ist die Nutzarbeit pro Sekunde gleich Vortrieb mal Geschwindigkeit, d. h. gleich

$$\bar{V} \cdot v = \frac{\rho b^2 h^2 v^2 \cdot v}{8 \pi}$$

Daher wird der Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{\rho b^2 h^2 v^2 v}{8 \pi} : \frac{\rho b^2 h^2 v^2 v}{6} \cdot \frac{2r}{b \left(1 + \frac{2m}{M}\right)}$$

$$= \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{b}{2r} \left(1 + \frac{2m}{M}\right)$$

Man sieht aus dieser Formel, daß der Wirkungsgrad lediglich vom Verhältnis der Massen m und M sowie von der Lage des Flügeldruckpunktes im Verhältnis zur halben Spannweite abhängt. Gelingt es z. B., dies Verhältnis kleiner als $1:\pi$ zu machen, so ist der Wirkungsgrad erheblich größer als 75%. Natürlich ist η stets < 1 , was in der Formel nicht zum Ausdruck kommt, da der Vortrieb nur durch eine Näherungsformel bestimmt ist.

§ 3. Entwurf eines Schwingenflugzeuges

Auf der Grundlage der vorangehenden Paragraphen ist es nun möglich, den systematischen Gang für den Entwurf eines Schwingenflugzeugs festzulegen.

Die erste Frage ist die des Motors. Ist darüber entschieden, so kann man überschlägige Angaben über die Massen m und M festsetzen, sowie über Spannweite und Flächenbelastung. In dem Beispiel, das wir durchführen wollen, wird ein 1-Zylinder-Benzinmotor von $\frac{3}{8}$ PS (Firma Bufo) zugrunde gelegt. Sein Gewicht beträgt mit Zündspule, Batterie und Benzintank nebst Betriebsstoff etwa 1680 Gramm, so daß das Rumpfgewicht auf 2,5 kg geschätzt werden kann; die Flächen mögen etwa 0,5 kg wiegen. Hiernach ist $M = \frac{2,5}{9,81}$, $2m = \frac{0,5}{9,81}$, Gesamtgewicht G also = 3,0 kg. Bei einer Spannweite von 2,2 m wird die mittlere Fläche auf etwa 0,7 m², also die mittlere Flächenbelastung auf 4,3 kg/m² geschätzt. Diese Zahl entspricht etwa der Flächenbelastung eines Seeadlers. Auf Grund der Formel für den mittleren Auftrieb

$$A = G = c_a \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot F, \quad v = \sqrt{\frac{G}{F} \cdot \frac{2}{\rho} \cdot \frac{1}{c_a}}$$

erhalten wir hiernach mit $c_a = 0,5$ eine Horizontalgeschwindigkeit $v = 11,7$ m/sec.

Bewertet man ferner den Widerstandsbeiwert mit 0,025, so ist der beim Horizontalflug zu überwindende Widerstand der Luft

$$W = 0,025 \cdot \frac{1}{16} \cdot 0,7 \cdot 137,6 = 0,160 \text{ kg}$$

Auf Grund der Vortriebsformel von § 1 haben wir dann:

$$\frac{\rho b^2 h^2 v^2}{8 \pi} = 0,160; \quad h^2 \cdot v^2 = \frac{8 \pi \cdot 0,160 \cdot 8}{2,2^2} = 6,65; \quad h v = 2,58.$$

Nimmt man 3 Schwingungen pro Sekunde an, so wird $v = 6 \pi$, daher $h = 0,137$ m.

Die hierbei aufzubringende Leistung ist

$$Wv = 0,160 \cdot 11,7 = 1,87 \frac{\text{kg m}}{\text{sec}} = 0,025 \text{ PS},$$

was bei der vorliegenden Motorleistung auch unter Berücksichtigung aller auftretenden Verluste möglich erscheint. Nehmen wir etwa $\frac{2r}{b} = 0,35$ an, so wird der Wirkungsgrad $\eta = 0,82 = 82\%$.

Wir finden weiter

$$B = h \cdot \frac{2r}{b} = 0,137 \cdot 0,35 = 0,048 \text{ m}$$

$$L_1 = \frac{\rho v b^2}{6} \cdot \frac{b}{2r} = \frac{1}{8} \cdot \frac{11,7 \cdot 2,2^2}{6 \cdot 0,35} = 3,38$$

Weiterhin ist die Kraft K_o zu berechnen, die wir im Interesse einer möglichst geringen Rumpfbeanspruchung klein machen wollen. Hierzu ist es zweckmäßig, in dem Ausdruck

$$K_o = h \cdot \frac{2r}{b} \cdot m \cdot \sqrt{\left[\frac{k}{m} \left(1 + \frac{2m}{M} \right) - v^2 \right]^2 + \frac{L_1^2 v^2}{m^2}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2m}{M}}$$

die Konstante k zunächst näherungsweise gemäß der Bedingung

$$\frac{k}{m} \left(1 + \frac{2m}{M} \right) = v^2$$

zu wählen, also

$$k = \frac{m v^2}{1 + \frac{2m}{M}} = \frac{0,25}{9,81} \cdot \frac{36 \pi^2}{\left(1 + \frac{1}{5} \right)} = 7,5$$

Dann wird aber die Ruhelage der Flügel gegeben durch den Wert $\frac{Mg}{2k} = 0,2 \text{ m}$, der die Elongation des Druckzentrums der Flügel aus der Horizontalen in der Ruhelage angibt, also eine zu große V-Stellung der Flügel. Wir setzen $k = 30$ und finden damit $\frac{Mg}{2k} = 0,05 \text{ m}$ sowie $K_o = 1,25 \text{ kg}$.

Endlich berechnen wir noch die Maximalelongation des Rumpfschwerpunktes während der Bewegung aus seiner horizontalen Bahn. Diese wird nach § 2:

$$\frac{2m h \cdot 2r}{(M + 2m)b} \cdot \sqrt{1 + \frac{L_1^2}{m^2 v^2}} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 0,048}{3} \sqrt{1 + \frac{3,38^2 \cdot 16}{36 \pi^2}} = 0,008 \cdot \sqrt{1,520} = 0,010$$

also 1,0 cm nach oben und unten.

Wie man sieht, liefern diese Überlegungen eine brauchbare Grundlage für die Konstruktion. Die konstruktiven Schwierigkeiten bestehen natürlich in der Hauptsache in der Aufgabe, eine geeignete Bauart der Flügel zu finden, bei der sowohl das Gewicht als auch die berechneten Vortriebseigenschaften gewahrt sind.

Mathematisches Seminar und Versuchsflugzeugbau der Technischen Hochschule Breslau.

Die Wirkung der Pfeilstellung eines Tragflügels

Von Werner Schmeidler in Breslau

Einleitung

Die Wirkung der Pfeilstellung eines Tragflügels läßt sich unmittelbar durch die gewöhnliche Tragflügeltheorie nicht erfassen, weil die übliche Methode zur Berechnung der an der Hinterkante auftretenden, durch die geradlinig nach hinten abgehenden Wirbellinien induzierten Abwärtsgeschwindigkeit nicht zu einem endlichen Grenzwert führt. Man muß daher entweder einen anderen Weg zur Definition dieser induzierten Abwärtsgeschwindigkeit suchen¹⁾, oder die Form der abgehenden Wirbellinien modifizieren. Dies letztere ist nun in der Tat ein naheliegender Gedanke; im folgenden wird er in der Weise durchgeführt, daß die Wirbellinien nach wie vor als rechtwinklig zur Hinterkante abgehend angenommen, dagegen erst allmählich in die Flugrichtung übergeführt werden. Am einfachsten kann das dadurch realisiert werden, daß man für die Wirbellinien Hyperbeläste wählt, die auf der Hinterkante senkrecht stehen und deren Asymptotenrichtung die Flugrichtung ist. Man hat dann allerdings bei der Wahl dieser Hyperbeln noch eine Freiheit, nämlich die Größe der Halbachse. Die Rechnung zeigt nun aber, daß der Effekt solange von dieser Wahl unabhängig bleibt, als man sich auf kleine Pfeilwinkel beschränkt, was im folgenden geschieht. So kann man z. B. die Hyperbeln so wählen, daß sie alle die Mittellinie zur gemeinsamen Asymptote haben und sich daher in größerer Entfernung von der Tragfläche in einem Strang um die Mittellinie zusammenziehen.

Es wird im § 1 die modifizierte Formel für die induzierte Abwärtsgeschwindigkeit unter den geschilderten Annahmen aufgestellt. In § 2 wird eine von der Singularität in der Mitte nicht betroffene Größe näherungsweise berechnet, die gleichzeitig zur Prüfung der Theorie geeignet erscheint, nämlich das Rollmoment bei Querruderausschlag (vgl. Formel 2). Ich schließe mich dabei an eine frühere Abhandlung²⁾ und an die darauf beruhenden Ausführungen in der Heinrichschen Dissertation an.

§ 1.

Die induzierte Abwärtsgeschwindigkeit unter der Annahme hyperbelförmiger Wirbellinien

Wir denken uns den pfeilförmigen Tragflügel durch eine tragende Wirbellinie ersetzt, die die Gestalt einer geknickten Geraden hat. Der Pfeilwinkel sei τ , eine kleine Größe, deren Sinus durch den Bogen und deren Cosinus durch 1 ersetzt werden kann. Fassen wir einen Punkt P in der Nähe der rechten Hälfte der tragenden Linie ins Auge, so können wir die induzierende Wirkung der von einem Punkte R derselben Hälfte der Wirbellinie ausgehenden hyperbelförmigen Wirbellinie auf P nach dem Biot-Savartschen Gesetze in bekannter Weise

¹⁾ In der Dissertation von Herrn Hellmuth Heinrich, „Über die Bedeutung der Pfeilstellung eines Tragflügels“ (T. H. Breslau, 1934), ist die Schwierigkeit dadurch umgangen, daß bei der Berechnung der induzierten Abwärtsgeschwindigkeit anstelle des Cauchyschen Hauptwertes ein durch die Gestalt der Formeln nahegelegter andersartiger Grenzübergang gewählt wird. Allerdings liegt hierin eine gewisse Willkür; man muß aber beachten, daß schon die gewöhnliche Theorie des Tragflügels nur eine von willkürlichen Annahmen nicht gänzlich freie Näherungsrechnung darstellt, deren Bedeutung vor allem durch den Erfolg gerechtfertigt ist. Auch die oben durchgeführte Annahme ist von solchen Willkürlichkeiten nicht frei; ihre Ergebnisse stehen qualitativ mit den Heinrichschen in Übereinstimmung. Die endgültige Entscheidung kann lediglich durch die Erfahrung, d. h. durch das Experiment getroffen werden.

²⁾ W. Schmeidler, Eine Formel für das Rollmoment bei Tragflügeln, Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, Bd. 22, S. 658.

durch das Integral berechnen:
(vgl. die Abb.)

$$-\frac{d\Gamma}{4\pi} \int_{\tau'}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\gamma}{r}$$

Zur Berechnung des Integrals
haben wir $\frac{1}{r}$ nach Potenzen von
 τ zu entwickeln und erhalten:

$$\frac{1}{r} = \frac{\cos \gamma}{x - \xi} + \frac{\tau \sin \gamma}{x - \xi}$$

wenn wir uns auf Glieder erster
Ordnung in τ beschränken. Es
ergibt sich danach:

$$\int_{\tau'}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\gamma}{r} = \frac{1 - \sin \tau' + \tau \cos \tau'}{x - \xi}$$

Hiernach wird die Wirkung des Wirbelbandes der rechten Hälfte auf P :

$$\int_0^{\frac{b}{2}} -\frac{d\Gamma}{4\pi} \cdot \frac{1 - \sin \tau' + \tau \cos \tau'}{x - \xi}$$

Aus der Abb. schließen wir nun

$$x - \xi = \varrho \cos \tau \cdot \operatorname{ctg}(\tau' - \tau) = \varrho \cos \tau \cdot \operatorname{ctg} \vartheta \quad \text{mit} \quad \tau' - \tau = \vartheta$$

Führt man ϑ anstelle von x als neue Integrationsvariable ein, so ergibt sich unter Beschränkung auf Glieder erster Ordnung in τ :

$$\frac{1}{4\pi} \int_{\vartheta_0}^{\vartheta_1} \frac{d\Gamma}{dx} \cdot \frac{1 - \sin \vartheta}{\sin \vartheta \cos \vartheta} d\vartheta$$

Dieser Ausdruck ist von τ frei, soweit nicht $\frac{d\Gamma}{dx}$ dadurch beeinflusst wird. Die Wirkung des halben Wirbelbandes auf P ist also von dem Normalfall $\tau=0$ bei demselben $\Gamma(x)$ höchstens um Glieder zweiter Ordnung in τ verschieden. Man kann daher bei Beschränkung auf Glieder erster Ordnung ebenso verfahren wie im Falle $\tau=0$ und erhält bei $\varrho \rightarrow 0$ den Cauchyschen Hauptwert des Integrals

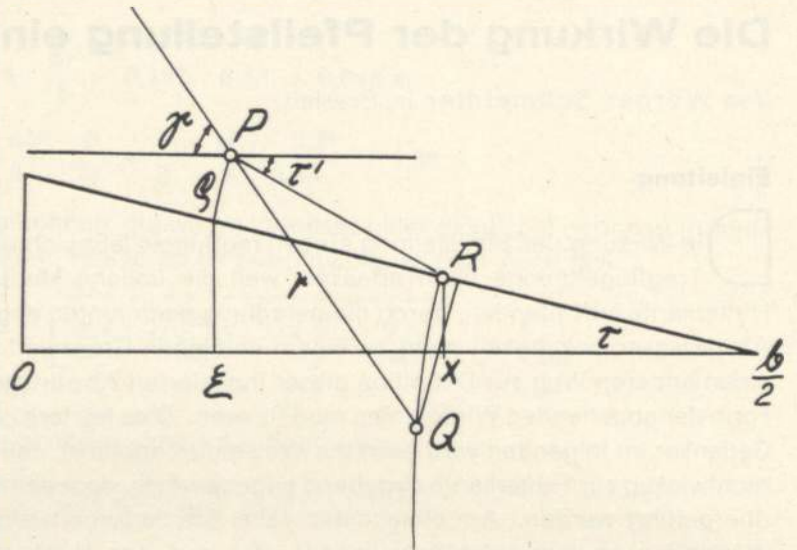
$$\frac{1}{4\pi} \int_0^{\frac{b}{2}} \frac{d\Gamma}{\xi - x}$$

als Wirkung des rechten halben Wirbelbandes auf einen Punkt P der rechten Hinterkante.

In analoger Weise behandeln wir die Wirkung der linken Hälfte des Wirbelbandes auf den Punkt P . Wir erhalten wieder

$$\int_{-\frac{b}{2}}^0 -\frac{d\Gamma}{4\pi} \cdot \frac{1 - \sin \tau' + \tau \cos \tau'}{x - \xi}$$

worin jetzt für τ' der Wert $\tau' = -\frac{\xi + x}{\xi - x} \cdot \tau$ einzusetzen ist.



Es ergibt sich daher:

$$\frac{1}{4\pi} \int_{-\frac{b}{2}}^0 \frac{d\Gamma}{\xi-x} + \frac{\xi\tau}{2\pi} \int_{-\frac{b}{2}}^0 \frac{d\Gamma}{(\xi-x)^2}$$

Endlich ist noch die Wirkung der linken Hälfte der tragenden Linie selbst auf den Punkt P zu berücksichtigen. Sie liefert:

$$\frac{\xi\tau}{2\pi} \int_{-\frac{b}{2}}^0 \frac{\Gamma dx}{(\xi-x)^3}$$

Damit ergibt sich im ganzen für die induzierte Abwärtsgeschwindigkeit der Ausdruck:

$$w(\xi) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\frac{b}{2}}^0 \frac{d\Gamma}{\xi-x} + \frac{\xi\tau}{2\pi} \cdot \int_{-\frac{b}{2}}^0 \left(\frac{\frac{d\Gamma}{dx}}{(\xi-x)^2} + \frac{\Gamma}{(\xi-x)^3} \right) dx \quad (\xi > 0). \quad (1)$$

Ein entsprechender Ausdruck entsteht für $\xi < 0$, wobei dann natürlich das Zusatzglied mit τ als Integral von 0 bis $\frac{b}{2}$ erscheint.

Solange die Umgebung des Punktes $\xi = 0$ ausgeschaltet bleibt, kann hieraus bei gegebenem $\Gamma(x)$ in bekannter Weise der induzierte Gesamtwiderstand berechnet werden; es können auch unter Heranziehung der Formel der Zirkulation aus der Potentialtheorie beide Funktionen $\Gamma(x)$ und $w(x)$ bestimmt werden. Praktisch wird meistens schon durch das Vorhandensein des Flugzeugumpfes eine Umgebung von $\xi = 0$ ausgeschlossen. Zur mathematischen Durchführung der gekennzeichneten Aufgaben kann wie im Normalfalle nach dem Vorgange von Glauert die Reihenentwicklung nach Fourier herangezogen werden. Der nächste Paragraph bringt eine Erläuterung der Methode an einer anderen Aufgabe.

§ 2. Das Rollmoment bei Querruderausschlag

Im folgenden soll das Rollmoment bestimmt werden, das bei einem Pfeilflügel durch Querruderausschlag entsteht. Es zeigt sich, daß dieses Rollmoment etwas größer wird, als bei einem Flügel derselben Spannweite ohne Pfeilstellung. Dieses Resultat entspricht dem Sinne nach dem analogen in der Heinrichschen Dissertation; auch die Methode der Herleitung ist von dort übernommen, wenn auch infolge der andersartigen Grundlage ein anderes Ergebnis herauskommt. Eine experimentelle Prüfung wäre wünschenswert.

Bedeutet $\Gamma(x)$ die Zirkulationsverteilung bei Querruderausschlag, so wird das Rollmoment

$$R = \rho v \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \Gamma(x) x dx$$

Nach den Formeln der Potentialtheorie ist andererseits:

$$\Gamma = kvt \sin \left(\bar{\alpha} - \frac{w}{v} \right) = kvt \left(\sin \bar{\alpha} - \frac{w}{v} \cos \bar{\alpha} \right),$$

wobei

$$\bar{\alpha} = \alpha - \gamma_l \text{ für } 0 \leq \varphi < \varphi^*$$

$$(x = -\frac{b}{2} \cos \varphi;$$

$$\bar{\alpha} = \alpha \quad \text{für } \varphi^* \leq \varphi < \pi - \varphi^*$$

γ_l { Abnahme des Anstellwinkels durch
Ausschlag des Querruders links.

$$\bar{\alpha} = \alpha + \gamma_r \text{ für } \pi - \varphi^* \leq \varphi \leq \pi$$

γ_r { Zunahme des Anstellwinkels durch
Ausschlag des Querruders rechts.)

ist³⁾. Daher wird für kleine Ausschläge:

$$\Gamma = k v t \left[\sin \alpha - \gamma_l \cos \alpha - \frac{w}{v} (\cos \alpha + \gamma_l \sin \alpha) \right] \quad \text{für } 0 \leq \varphi < \varphi^*$$

$$\Gamma = k v t \left(\sin \alpha - \frac{w}{v} \cos \alpha \right) \quad \text{für } \varphi^* \leq \varphi < \pi - \varphi^*$$

$$\Gamma = k v t \left[\sin \alpha + \gamma_r \cos \alpha - \frac{w}{v} (\cos \alpha - \gamma_r \sin \alpha) \right] \quad \text{für } \pi - \varphi^* \leq \varphi \leq \pi .$$

Da das Integral über die symmetrische Auftriebsverteilung verschwindet, so bleibt nur übrig:

$$R = \frac{\rho v^2 k b^2}{4} \int_0^{\varphi^*} \gamma_l t \left(\cos \alpha + \frac{w}{v} \sin \alpha \right) \cos \varphi \sin \varphi d\varphi \\ - \frac{\rho v^2 k b^2}{4} \int_{\pi - \varphi^*}^{\pi} \gamma_r t \left(\cos \alpha + \frac{w}{v} \sin \alpha \right) \cos \varphi \sin \varphi d\varphi ,$$

oder wegen $\alpha(\varphi) = \alpha(\pi - \varphi)$ vermöge der Substitution $\pi - \varphi = \bar{\varphi}$ im zweiten Integral:

$$R = \frac{\rho v^2 k b^2 (\gamma_r + \gamma_l)}{4} \int_0^{\varphi^*} t \left(\cos \alpha + \frac{w}{v} \sin \alpha \right) \cos \varphi \sin \varphi d\varphi \\ = \frac{\rho v^2 k b^2 \gamma}{2} \int_0^{\varphi^*} t \left(\cos \alpha + \frac{w}{v} \sin \alpha \right) \cos \varphi \sin \varphi d\varphi$$

mit $\gamma = \frac{\gamma_r + \gamma_l}{2}$.

Wir nehmen nun elliptische Tragflügelform an, schreiben also

Dann wird

$$R = \frac{\rho v^2 k b^2 t_0 \gamma}{2} \int_0^{\varphi^*} \left(\cos \alpha + \frac{w}{v} \sin \alpha \right) \cos \varphi \sin^2 \varphi d\varphi .$$

Im Integranden ist die Funktion $w(\varphi)$ unbekannt; um trotzdem zu einem geschlossenen Näherungswert für das Rollmoment zu kommen, machen wir die analoge Annahme wie in der unter Anmerkung 2 zitierten Arbeit, wir ersetzen nämlich $w(\varphi)$ durch diejenige Größe $w(\varphi)$, die ohne das Vorhandensein eines Querruderausschlages entstehen würde. Führen wir die zugehörige Zirkulation als Fourierreihe in der Form

$$\Gamma = 2 b v \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin n \varphi$$

ein, so können wir $\frac{w}{v}$ in der Form

$$\frac{w}{v} = \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} A_n Z_n(\varphi)$$

ansetzen, und die Grundbeziehung der Potentialtheorie ergibt dann zur Bestimmung der unbekanntenen Koeffizienten A_n die Gleichung:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left(2 b \sin n \varphi + \frac{k t \cos \alpha Z_n(\varphi)}{\pi} \right) A_n = k t \sin \alpha ,$$

³⁾ φ^* entspricht dem Werte x^* , der den inneren Endpunkt des linken Querruders angibt.

aus der die A_n berechnet werden können, wenn die Funktionen $Z_n(\varphi)$ (vgl. weiter unten) bekannt sind.

Speziell ergibt sich aus diesem Gleichungssystem durch Differentiation nach τ und Einführung von $\tau = 0$:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left(2b \sin n\varphi + \frac{k t \cos \alpha}{\pi} Z_n^{(0)}(\varphi) \right) \left(\frac{dA_n}{d\tau} \right)^{(0)} = -\frac{k t \cos \alpha}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} A_n^{(0)} \left(\frac{\partial Z_n(\varphi)}{\partial \tau} \right)^{(0)}$$

Hierin ist nach der gewöhnlichen Glauertschen Theorie

$$Z_n^{(0)}(\varphi) = \frac{\pi \sin n\varphi}{\sin \varphi}$$

so daß

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left(2b + \frac{k t \cos \alpha}{\sin \varphi} \right) \left(\frac{dA_n}{d\tau} \right)^{(0)} \sin n\varphi = -\frac{k t \cos \alpha}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} A_n^{(0)} \left(\frac{\partial Z_n}{\partial \tau} \right)^{(0)}$$

entsteht; und in unserem Spezialfall elliptischer Tiefenverteilung ist

$$A_n^{(0)} = 0 \text{ für } n > 1 \text{ und } A_1^{(0)} = \frac{k t_0 \sin \alpha}{2b + k t_0 \cos \alpha} .$$

Alles dies liefert wegen $\frac{\partial \Gamma}{\partial \tau} = 2bv \sum_{n=1}^{\infty} \frac{dA_n}{d\tau} \sin n\varphi$ und $t = t_0 \sin \varphi$:

$$\left(\frac{\partial \Gamma}{\partial \tau} \right)^{(0)} = -\frac{2bv}{\pi} \left(\frac{k t_0 \cos \alpha}{2b + k t_0 \cos \alpha} \right)^2 \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{\partial Z_1}{\partial \tau} \right)^{(0)} \sin \varphi .$$

Aus dem Ansatz für $\frac{w}{v}$ ergibt sich nun durch Differentiation nach τ und Einführung von $\tau = 0$:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial \frac{w}{v}}{\partial \tau} \right)^{(0)} &= \frac{1}{\pi} \left\{ A_1^{(0)} \left(\frac{\partial Z_1}{\partial \tau} \right)^{(0)} + \sum_1^{\infty} \frac{\pi \sin n\varphi}{\sin \varphi} \left(\frac{dA_n}{d\tau} \right)^{(0)} \right\} \\ &= \frac{1}{\pi} \left\{ A_1^{(0)} \left(\frac{\partial Z_1}{\partial \tau} \right)^{(0)} + \frac{\pi}{2bv \sin \varphi} \left(\frac{\partial \Gamma}{\partial \tau} \right)^{(0)} \right\} , \end{aligned}$$

oder unter Benutzung der Abkürzung $C = \frac{k t_0 \cos \alpha}{2b + k t_0 \cos \alpha}$:

$$\left(\frac{\partial \frac{w}{v}}{\partial \tau} \right)^{(0)} = \frac{1}{\pi} (1 - C) C \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{\partial Z_1}{\partial \tau} \right)^{(0)} .$$

Wir können jetzt die Ausdrücke für $R^{(0)}$ und $\left(\frac{\partial R}{\partial \tau} \right)^{(0)}$ aufstellen. Es ergibt sich

$$R^{(0)} = \frac{Q v^2}{2} k b^2 t_0 \gamma (\cos \alpha + A_1^{(0)} \sin \alpha) \cdot \frac{\sin^3 \varphi^*}{3} ,$$

oder wegen $A_1^{(0)} = C \operatorname{tg} \alpha$:

$$R^{(0)} = \frac{Q v^2}{2} k b^2 t_0 \gamma (1 + C \operatorname{tg}^2 \alpha) \cos \alpha \cdot \frac{\sin^3 \varphi^*}{3} .$$

Ferner folgt

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial R}{\partial \tau} \right)^{(0)} &= \frac{Q v^2}{2} k b^2 t_0 \gamma \sin \alpha \int_0^{\varphi^*} \left(\frac{\partial \frac{w}{v}}{\partial \tau} \right)^{(0)} \cos \varphi \sin^2 \varphi d\varphi \\ &= \frac{Q v^2}{2} k b^2 t_0 \gamma \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha \frac{(1-C)C}{\pi} \int_0^{\varphi^*} \left(\frac{\partial Z_1}{\partial \tau} \right)^{(0)} \sin^2 \varphi \cos \varphi d\varphi , \end{aligned}$$

so daß jetzt nur noch der Ausdruck $\left(\frac{\partial Z_1}{\partial \tau}\right)^{(n)}$ aus § 1 zu ermitteln ist.

Hierzu brauchen wir nur in der Formel (1) von § 1 rechts für Γ die Reihe $2b_v \sum_1^{\infty} A_n \sin n \varphi$ einzusetzen und die Glieder zu sammeln, die mit A_1 multipliziert sind; der Faktor, der sich durch Ausrechnung der Integrale ergibt, ist dann $Z_1(\varphi)$, wenn $\xi = -\frac{b}{2} \cos \varphi$ gesetzt ist. Die Ausführung der Integrale ist auf elementarem Wege möglich und liefert

$$Z_1(\varphi) = \pi + \tau \left\{ \frac{\cos \varphi}{\sin^3 \varphi} \log \frac{1 + \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}{1 - \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} - \frac{\cos 2 \varphi}{\sin^2 \varphi \cos \varphi} \right\}$$

$$\left(\frac{\partial Z_1(\varphi)}{\partial \tau}\right)^{(n)} = \frac{\cos \varphi}{\sin^3 \varphi} \log \frac{1 + \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}{1 - \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} - \frac{\cos 2 \varphi}{\sin^2 \varphi \cos \varphi}$$

Wegen

$$\int_0^{\varphi^*} \frac{\cos^2 \varphi}{\sin \varphi} \log \frac{1 + \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}{1 - \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} d\varphi = \cos \varphi^* \log \frac{1 + \operatorname{tg} \frac{\varphi^*}{2}}{1 - \operatorname{tg} \frac{\varphi^*}{2}} - \varphi^* + 2 \left(\operatorname{tg} \frac{\varphi^*}{2} + \frac{1}{3^2} \operatorname{tg}^3 \frac{\varphi^*}{2} + \frac{1}{5^2} \operatorname{tg}^5 \frac{\varphi^*}{2} + \dots \right)$$

ergibt sich daher schließlich als Endformel für das Rollmoment:

$$R = \frac{\rho v^2}{2} k b^2 t_0 \gamma \left[(1 + C \operatorname{tg}^2 a) \cos a \frac{\sin^3 \varphi^*}{3} + \frac{\tau \sin a \operatorname{tg} a}{\pi} (1 - C) C \left\{ \cos \varphi^* \log \frac{1 + \operatorname{tg} \frac{\varphi^*}{2}}{1 - \operatorname{tg} \frac{\varphi^*}{2}} - \varphi^* - \frac{\sin 2 \varphi^*}{2} + 2 \left(\operatorname{tg} \frac{\varphi^*}{2} + \frac{1}{3^2} \operatorname{tg}^3 \frac{\varphi^*}{2} + \dots \right) \right\} \right] \quad (2)$$

Der Faktor von τ ist, wie die Ausrechnung zeigt, stets positiv und wächst mit dem Anstellwinkel a . Da gerade bei größeren Werten von a die Wirksamkeit der Querruder von besonderer Bedeutung ist, so deutet dies Ergebnis darauf hin, daß die Pfeilstellung des Tragflügels im Sinne der Flugsicherheit wirkt, was mit den Erfahrungen und auch mit dem natürlichen Gefühl der Piloten übereinstimmt.

Mathematisches Seminar Breslau, den 17. Mai 1934.

Eine angenäherte Berechnung von Ringschalen

Von H. Steuding in Breslau

Im Maschinenbau besteht das Bedürfnis nach einer einfachen Berechnung von Ringschalen, bei denen die Biegung ausschlaggebend wird, so daß die Vereinfachungen der sogenannten Membrantheorie unzulässig werden. An den Stellen nämlich, wo die Tangente an die erzeugende Meridiankurve eine zur Umdrehungsachse senkrechte Richtung annimmt, leistet nur die Biege- steifigkeit der Wand einen Widerstand gegen die Verformung der Schale. Eine Membran würde sich an diesen Stellen falten. Nun führt jedoch die strenge Biegungstheorie in den meisten praktisch vorkommenden verwickelten Fällen zu sehr umständlichen Rechnungen und auch zu schlecht konvergenten bzw. divergenten Entwicklungen gerade an den oben angedeuteten empfindlichen Stellen der Ringschale. Es sei mir daher gestattet, auf eine einfache angenäherte Berechnung hinzuweisen, die sich an das Verfahren der elastischen Gelenkkette von Hencky, welche man sich noch nachgiebig gestützt denken muß, anlehnt.

Denken wir uns auf der Schalenfläche ein rechtwinkliges Netz von Meridiankurven und Parallelkreisen gezogen (Abb. 1), so können wir die Ringschale durch ein biege- steifes Gerippe von Meridian- und Parallelkreisrippen mit den entsprechenden Steifigkeiten der zugehörigen Maschenfelder der Schalenwand ersetzen.

Bei der Formänderung der Meridianrippen kann ihre Längenänderung vernachlässigt werden, denn nur ihre Biegung ist maßgebend. Bei den Parallelkreisrippen ist unter Voraussetzung einer in der Regel vorkommenden achsensymmetrischen Belastung, auf die wir uns hier beschränken wollen, die Biegung ganz unbedeutend, dagegen die Längenänderung wesentlich, denn die Meridianrippe kann sich nur verbiegen, wenn die Parallelkreisrippe ihre Länge ändert, da diese beiden Formänderungen miteinander kinema-

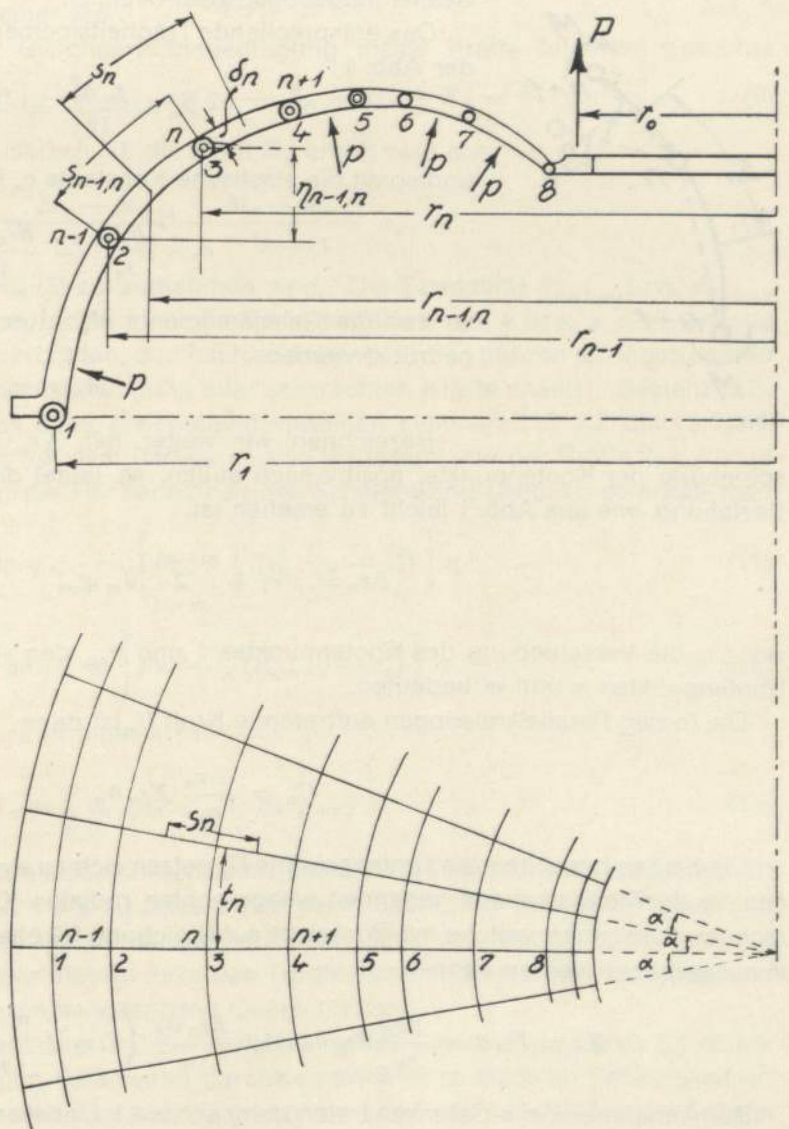


Abb. 1

tisch verknüpft sind. Die achsensymmetrische Verformung der Ringschale oder des sie ersetzenden Gerippes ist somit durch die Verbiegung der Meridianrippen allein bestimmt.

Entsprechend einer elastischen Gelenkkette denken wir uns die einzelnen Teilstücke der Meridianrippe starr, dagegen die Knotenpunkte als elastische Gelenke, so daß die Verbiegung der Rippe nur durch Drehung benachbarter Rippenstücke gegeneinander in den Knotenpunkten zustande kommt. Die elastische Konstante für ein solches Gelenk folgt aus der bekannten Biegeformel

$$\frac{d\vartheta}{ds} = \frac{M}{EJ}, \quad (1)$$

welche nach Integration und Mittelwertbildung über die Rippenlänge s von Mitte zu Mitte der beiden benachbarten Felder (Abb. 2) die angenäherte Form

$$\frac{\vartheta}{s} = \frac{M}{EJ} \quad (2)$$

erhält, wo ϑ der Stabdrehwinkel und M das Gelenkmoment dann positiv gelten sollen, wenn das Gelenk aufgebogen wird (Abb. 2).

Das entsprechende Trägheitsmoment J_n ist mit den Bezeichnungen der Abb. 1

$$J_n = \frac{t_n \delta_n^3}{12} = \frac{r_n \delta_n^3 \alpha}{12} \quad (3)$$

und somit die elastische Konstante c_n für das n -te Gelenk (Abb. 1)

$$c_n = \frac{EJ_n}{s_n} = \frac{Er_n \delta_n^3 \alpha}{12 s_n}, \quad (4)$$

so daß die Gelenkmomente M_n durch die Stabdrehwinkel ϑ_n ausgedrückt werden:

$$M_n = c_n \vartheta_n \quad (5)$$

Abb. 2

Bezeichnen wir weiter mit Δr_n die waagerechte radiale Verschiebung der Knotenpunkte, positiv nach außen, so lautet die oben erwähnte kinematische Beziehung, wie aus Abb. 1 leicht zu ersehen ist,

$$\Delta r_n = \Delta r_1 + \sum_{m=1}^{m=n-1} \vartheta_m \eta_{nm}, \quad (6)$$

wo Δr_1 die Verschiebung des Knotenpunktes 1 und η_{nm} den Höhenunterschied zwischen den Knotenpunkten n und m bedeuten.

Die in den Parallelkreisrippen auftretende Kraft U_n ist dann

$$U_n = \frac{\Delta r_n}{r_n} E s_n \delta_n \quad (7)$$

Die beiden benachbarten Umfangskräfte U_n setzen sich zu einer am Knotenpunkt n angreifenden, in der Meridianebene liegenden waagerechten radialen Kraft X_n , positiv nach innen gerechnet, zusammen, welche mit Rücksicht auf Gleichung (6) ebenfalls durch die Stabdrehwinkel ϑ ausgedrückt werden kann

$$X_n = U_n \alpha = \frac{\Delta r_n}{r_n} E s_n \delta_n \alpha = \frac{E s_n \delta_n}{r_n} \left(\Delta r_1 + \sum_{m=1}^{m=n-1} \vartheta_m \eta_{nm} \right) \alpha \quad (8)$$

Bei Annahme von n Gelenken treten demnach $n+1$ Unbekannte, und zwar die n Stabdrehwinkel ϑ und die eine Verschiebung Δr_1 auf. Dafür haben wir $n+1$ Gleichungen, und zwar je

eine Gleichgewichtsgleichung an jedem der n Gelenke und schließlich die $n+1$ te Gleichgewichtsgleichung am freien Ende, d. h. dem $n+1$ ten Knotenpunkte, des letzten Gliedes der Kette.

Die Normalgleichung dieses Systems, welche das Gleichgewicht eines Gelenkes n gegen eine waagrechte radiale Verschiebung zum Ausdruck bringt, erhalten wir in folgender Weise. Auf das Gelenk n wirken als Reaktionskräfte: erstens die Stabkräfte $S_{n-1,n}$ und $S_{n,n+1}$ der beiden anschließenden Kettenglieder der Meridianrippe (Abb. 3), zweitens die in Gleichung (8) angegebene radiale Kraft X_n aus den beiden Umfangskräften der angeschlossenen Parallelkreisrippen, drittens die Auflagerkraft H_n aus den Gelenkmomenten M_{n-1} , M_n , M_{n+1} und viertens die waagrechte Komponente K_n einer vorgegebenen Belastung. Aus der Gleichgewichtsbedingung dieser Kräfte folgt die gesuchte Gleichung

$$S_{n-1,n} \cos \varphi_{n-1} - S_{n,n+1} \cos \varphi_n - X_n + H_n + K_n = 0 \quad (9)$$

wobei X_n aus Gleichung (8) einzusetzen ist, die Kraft H_n erhält man aus

$$H_n = \frac{M_n - M_{n-1}}{\eta_{n-1,n}} + \frac{M_n - M_{n+1}}{\eta_{n,n+1}}, \quad (10)$$

wo die Momente M aus Gleichung (5) zu entnehmen sind. Die Stabkräfte $S_{n-1,n}$ bzw. $S_{n,n+1}$ erhält man in sehr einfacher Weise, indem man alle Meridianstäbe $n-1, n$ bzw. $n, n+1$, welche dieselben zwei Parallelkreise verbinden, durchschneidet und für den ganzen so abgetrennten oberen Schalenteil die Gleichgewichtsbedingung aller senkrechten Kräfte ansetzt. Besteht z. B. die Belastung der Ringschale aus einer gleichmäßig verteilten Linienkraft P auf die Längeneinheit des inneren Flanschrings mit dem Radius r_o , also insgesamt von der Größe $2\pi r_o P$, und aus einer Flächenbelastung p auf die Flächeneinheit der Schalenwand (Abb. 1), so erhält man

$$S_{n-1,n} \sin \varphi_{n-1} = \left[Pr_o + \frac{p}{2} (r_{n-1,n}^2 - r_o^2) \right] a \quad (11)$$

$$S_{n,n+1} \sin \varphi_n = \left[Pr_o + \frac{p}{2} (r_{n,n+1}^2 - r_o^2) \right] a \quad (12)$$

Die Knotenlastkomponente K_n wird in diesem Fall

$$K_n = \frac{p}{2} r_n (\eta_{n-1,n} + \eta_{n,n+1}) a \quad (13)$$

Die Winkelerteilung α der Parallelkreise hebt sich aus dem ganzen Gleichungssystem (9) heraus. Bei Zahlenrechnungen ist $\alpha = 1$ zu setzen. Nur wenn die Schale wirkliche Rippen hat, ist α durch die natürliche Teilung der vorhandenen Rippen bestimmt, welche sich dann mit unseren fingierten decken. J_n ist in diesem Falle das Trägheitsmoment des aus der Rippe und dem zugehörigen Wandstück zusammengesetzten Querschnittes.

Bei der Einteilung der Meridiankurve und der Aufstellung des Gleichungssystems (9) ist folgendes zu beachten. Die Einteilung muß, wenn durchweg annähernd dieselbe Genauigkeit erreicht werden soll, ungleichmäßig sein, und zwar ist sie an den empfindlichen Stellen der Schale, wo die Neigung der Tangente an die Meridiankurve flacher verläuft, enger zu wählen, dagegen

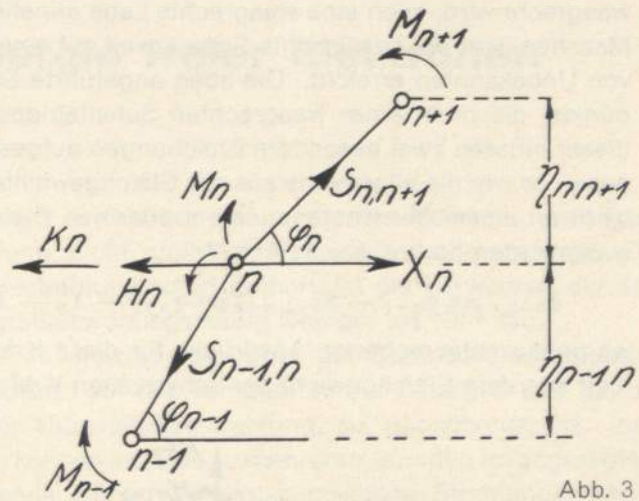


Abb. 3

kann sie an den Stellen, wo diese Neigung steiler wird, beträchtlich vergrößert werden. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Meridianrippenstücke in den Scheiteln der Schale, wo die Tangente waagrecht wird, auch eine waagrechte Lage annehmen (Abb. 1). Durch die verschieden großen Maschen wird die gewünschte Genauigkeit mit einer geringsten Anzahl von Gelenken und somit von Unbekannten erreicht. Die oben angeführte Gleichung (9) bezieht sich auf solche Knotenpunkte, die nicht einer waagrechten Scheitelrippe angehören. Für die beiden Knotenpunkte dieser müssen zwei besondere Gleichungen aufgestellt werden. Die eine Gleichung erhält man genau so wie die allgemeine aus der Gleichgewichtsbedingung aller waagrechten Kräfte, jedoch nicht an einem der Knotenpunkte n oder $n+1$, sondern an beiden zugleich, d. h. am ganzen waagrechten Stab $n, n+1$, Abb. 4,

$$S_{n-1,n} \cos \varphi_{n-1} - S_{n+1,n+2} \cos \varphi_{n+2} - X_n - X_{n+1} + H_n - H_{n+1} + K_n - K_{n+1} = 0 \quad (14)$$

wo genau entsprechende Ausdrücke für diese Kräfte einzusetzen sind. Die andere Gleichung folgt aus dem Gleichgewicht der senkrechten Kräfte an einem der Knotengelenke n oder $n+1$.

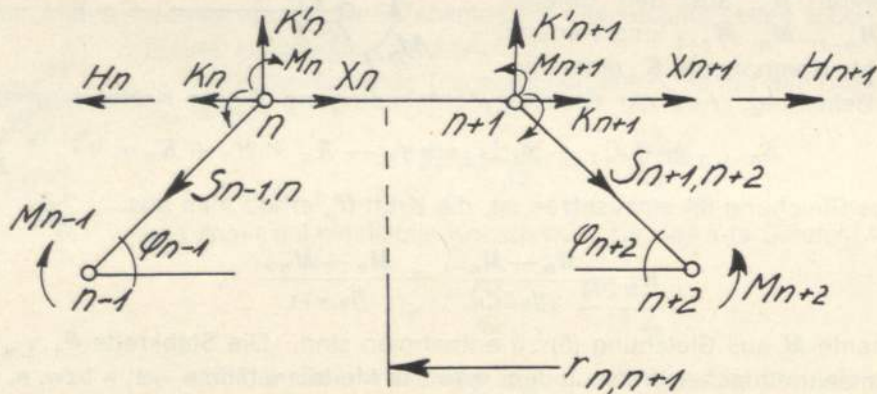


Abb. 4

Für das Gelenk $n+1$ erhält man

$$\frac{M_{n+1} - M_n}{s_{n,n+1}} = S_{n+1,n+2} \sin \varphi_{n+2} - K_{n+1}^1 = - \left[Pr_o + \frac{p}{2} (r_{n,n+1}^2 - r_o^2) \right] \alpha \quad (15)$$

und für das Gelenk n die identische Gleichung

$$\frac{M_n - M_{n+1}}{s_{n,n+1}} = S_{n-1,n} \sin \varphi_{n-1} - K_n^1 = \left[Pr_o + \frac{p}{2} (r_{n,n+1}^2 - r_o^2) \right] \alpha \quad (15a)$$

Wegen der ganz elementaren Betrachtungen erübrigt es sich, noch auf die von der allgemeinen Gleichung abweichenden Randgleichungen einzugehen oder ein Zahlenbeispiel anzuführen. Es sei nur bemerkt, daß beim Knotengelenk 1 sogar eine normale Gleichung entsteht, wenn die beiden symmetrischen Schalenhälften kontinuierlich ineinander übergehen. Sind diese gelenkig verbunden, so ist einfach $M_1 = 0$ zu setzen, ohne die Gleichung zu ändern. Wird der Rand unverschieblich festgehalten, so verschwindet Δr_1 , und diese Gleichung fällt überhaupt aus dem System heraus, indem sich auch die Anzahl der Unbekannten um die eine Unbekannte Δr_1 vermindert. Diese Gleichung dient dann zur Ermittlung der neu hinzutretenden waagrechten Auflagerkraft.

Nach Auflösung des Gleichungssystems (9) können die Spannungen aus den Kräften, Gleichung (7) und (11), und den Momenten, Gleichung (5), sowie die waagrechten und senkrechten Verschiebungen der Knotenpunkte aus Gleichung (6) und einer entsprechend gebauten unmittelbar angegeben werden.

Diese einfache Berechnungsart läßt sich auf alle achsensymmetrische Ring- und gewöhnliche Schalen, sowie Kegel- und Zylinderschalen, wie sie bei Turbinengehäusen oder Deckeln und anderen Behältern des Maschinenbaues vorkommen, anwenden.

Über eine der Phosphoreszenz ähnliche Umwandlung von Lichtenergie in Energie freier Elektronen

Von R. Suhrmann in Breslau

Viele Substanzen besitzen die Eigenschaft zu fluoreszieren, d. h. ihre Molekeln vermögen bei Belichtung mit kurzwelliger Strahlung Licht größerer Wellenlänge auszusenden. Da die Fluoreszenz mit der Beendigung der Bestrahlung sofort aufhört, ist die Verweilzeit der angeregten Molekeln sehr klein; sie beträgt größenordnungsmäßig weniger als 10^{-6} sec.

Kühlt man eine bei Zimmertemperatur im ultravioletten Licht der Quarzquecksilberlampe fluoreszierende Substanz, z. B. eine Eierschale, auf die Temperatur der flüssigen Luft ab, so leuchtet sie auch nach dem Aufhören der Ultraviolettbestrahlung, sie phosphoresziert. Ihre durch die Bestrahlung angeregten Molekeln können jetzt bis zu mehreren Stunden im angeregten Zustande verharren. Der phosphoreszierende Körper vermag kurzweilige Strahlungsenergie aufzuspeichern und sie als Lichtenergie größerer Wellenlänge wieder zu emittieren.

Die Verweilzeit der bei tiefen Temperaturen angeregten Molekeln einer phosphoreszierenden Substanz kann durch Rotbestrahlung oder durch Temperaturerhöhung beträchtlich verkürzt werden. In diesem Fall sendet der phosphoreszierende Körper die vorher aufgenommene Anregungsenergie in verhältnismäßig kurzer Zeit aus, d. h. er leuchtet plötzlich hell auf und erlischt dann nahezu vollständig.

Während der Untersuchung lichtelektrischer Zellen bei tiefen Temperaturen wurde im Physikalisch-chemischen Institut eine neuartige Erscheinung beobachtet, die der Phosphoreszenz sehr ähnlich ist, bei der aber die Anregungsenergie beim „Ausleuchten“ des Anregungszustandes nicht in Form von Licht, sondern als Energie freier Elektronen ausgesandt wird¹⁾.

Die für die Versuche verwendete lichtelektrische Zelle ist (unter Fortlassung für das Folgende unwesentlicher Einzelheiten) in Abb. 1 schematisch abgebildet. Die eigentliche Photozelle *Z* aus Wolframglas ist durch ein Quarzfenster *F*₂ für den Lichteintritt verschlossen. Bei *e*₁ und *e*₂ befinden sich Einschmelzungen für den Anodendraht *A* und die Kathodenzuführung *K*, die an der Glaswandung angeschmolzen ist und mit der gestrichelt gezeichneten Innenversilberung der Zelle leitenden Kontakt hat. Oberhalb des Fensters *F*₂ ist das Quarzrohr *R* angeschmolzen, das oben mit dem Quarzfenster *F*₁ verschlossen ist. *R* ist evakuiert. Hierdurch wird verhütet, daß sich beim Abkühlen der Zelle mit flüssiger Luft oder flüssigem Wasserstoff auf *F*₂ Wasserdampf oder Luft kondensieren und das Fenster trüben. Der im Dewargefäß befindliche Teil der Zelle ist durch Umhüllen mit einer geerdeten Metallfolie elektrostatisch geschützt.

Die Innenversilberung der Photozelle ist mit Kalium bedeckt, das im Hochvakuum eindestilliert wurde. Die Kaliumoberfläche wurde entweder für kurze Zeit der Einwirkung von atomarem Wasserstoff ausgesetzt oder mit Naphthalindämpfen behandelt. Darauf dampfte man (spurenweise) atomar verteiltes Kalium auf. Hierauf wurde die Zelle unter Hochvakuum abgeschmolzen und in das Dewargefäß *D* eingebaut, das man mit flüssiger Luft oder flüssigem Wasserstoff füllen konnte.

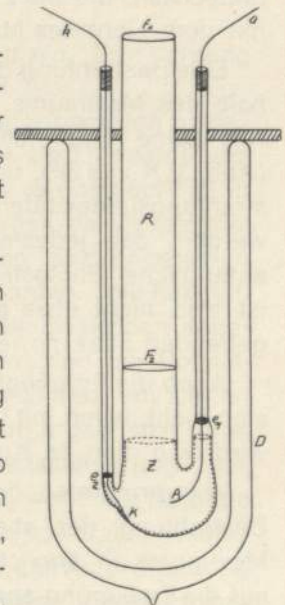


Abb. 1. Lichtelektrische Zelle zur Untersuchung des Photoeffektes bei tiefen Temperaturen

¹⁾ Vgl. auch R. Suhrmann und D. Dempster, Phys. Z., 35, 148 (1934); R. Suhrmann, Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, 13, 148—222 (insbesondere S. 202 ff.) 1934.

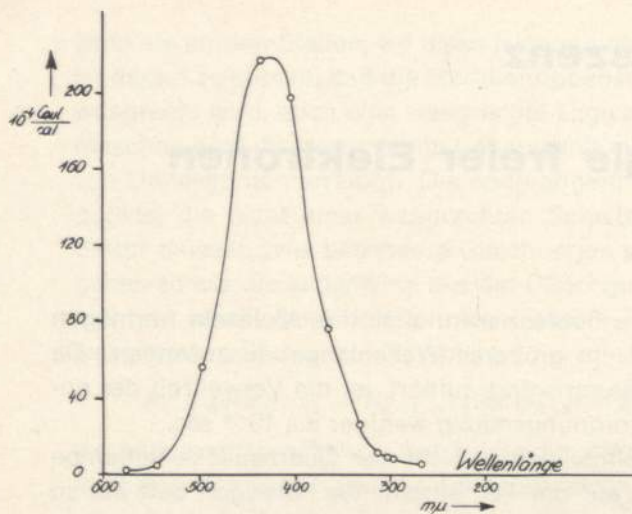


Abb. 2
Spektrale Empfindlichkeitskurve einer mit atomarem Wasserstoff sensibilisierten Kaliumoberfläche

silberlinie $405\text{ m}\mu$, so nimmt die Empfindlichkeit am Maximum beträchtlich ab (Abb. 3, Kurve 1). Nach dem Erwärmen auf Zimmertemperatur erhält man wieder die ursprüngliche Empfindlichkeit, die bei Zimmertemperatur durch Bestrahlung mit dem Licht des Maximums nicht verändert wird.

Eine Bestrahlung der abgekühlten Kathode mit Licht außerhalb des Maximums, z. B. mit der Quecksilberlinie $297\text{ m}\mu$, ruff keine Empfindlichkeitsänderung am Maximum hervor (Abb. 3, Kurve 2)³⁾, und zwar auch dann nicht, wenn die Bestrahlungsintensitäten von 405 und $297\text{ m}\mu$ so abgeglichen werden, daß jedesmal während der Bestrahlung derselbe anfängliche Photostrom fließt. Die verschiedene Wirkung ist also nicht etwa durch die verschiedene Größe der übergehenden Elektronenströme bedingt.

Auch die Empfindlichkeit außerhalb des Maximums ändert sich nicht, wenn mit Licht außerhalb des Maximums bestrahlt wird, wie man an Kurve 3, Abb. 3 erkennt.

Wir vermuteten, daß die Empfindlichkeitsverminderung bei Bestrahlung der abgekühlten Kathode mit dem Licht des Maximums in ähnlicher Weise wie bei der Phosphoreszenz auf die Erzeugung angeregter Zentren zurückzuführen sei und versuchten, ob man auch hier die angeregten Zentren durch Rotbestrahlung wieder in den Normalzustand zurückbringen kann. Wie man aus Abb. 4 ersieht, ist dies in der Tat der Fall. Bei Bestrahlung mit $405\text{ m}\mu$ sinkt die Empfindlichkeit bis zum Aufhören der Belichtung. Im Dunkeln steigt sie sehr langsam an, da einzelne Zentren, deren Verweilzeit weniger als ca. 2 Stunden beträgt, innerhalb dieser Zeit wieder in den Normalzustand zurückgehen. Sobald mit rotem Licht ausgeleuchtet

³⁾ Die geringfügige Änderung der Empfindlichkeit ist auf die Wirkung des Meßlichtes ($405\text{ m}\mu$) zurückzuführen.

Der bei Belichtung durch F_1 und F_2 an der Kathodenoberfläche ausgelöste Photoelektronenstrom konnte mittels der Kathodenzuführung k oder der Anodenzuführung a einem Fadenelektrometer zugeleitet werden. An der mit dem Elektrometer nicht verbundenen Elektrode lag die Beschleunigungsspannung.

Die durch Abb. 2 wiedergegebene spektrale Empfindlichkeitskurve zeigt den pro Einheit der auffallenden Lichtenergie erhaltenen Photostrom, der mit spektral zerlegtem Licht an einer durch atomaren Wasserstoff sensibilisierten Kaliumoberfläche ausgelöst wird. Diese Kurve weist bei $430\text{ m}\mu$ ein spektrales Maximum auf.

Bestrahlt man nun die mit flüssiger Luft auf 83° abs. abgekühlte Kathode mit dem Licht des Maximums, z. B. mit der Queck-

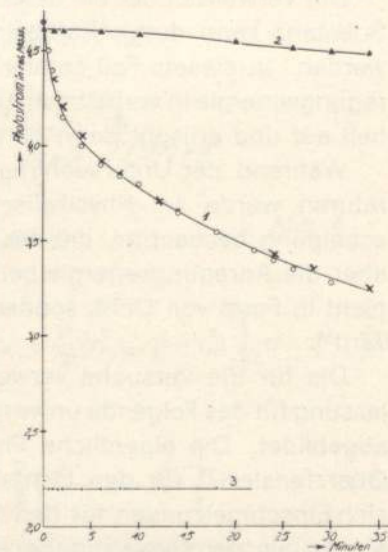


Abb. 3. Kurve 1: Zeitliche Abnahme der lichtelektrischen Empfindlichkeit der abgekühlten Kathode am spektralen Maximum ($405\text{ m}\mu$) beim Bestrahlen mit dem Licht des Maximums. Kurve 2: Zeitlicher Verlauf der Empfindlichkeit der abgekühlten Kathode am spektralen Maximum beim Bestrahlen mit Licht außerhalb des Maximums ($297\text{ m}\mu$). Kurve 3: Zeitlicher Verlauf der Empfindlichkeit der abgekühlten Kathode außerhalb des spektralen Maximums ($297\text{ m}\mu$) beim Bestrahlen mit $297\text{ m}\mu$

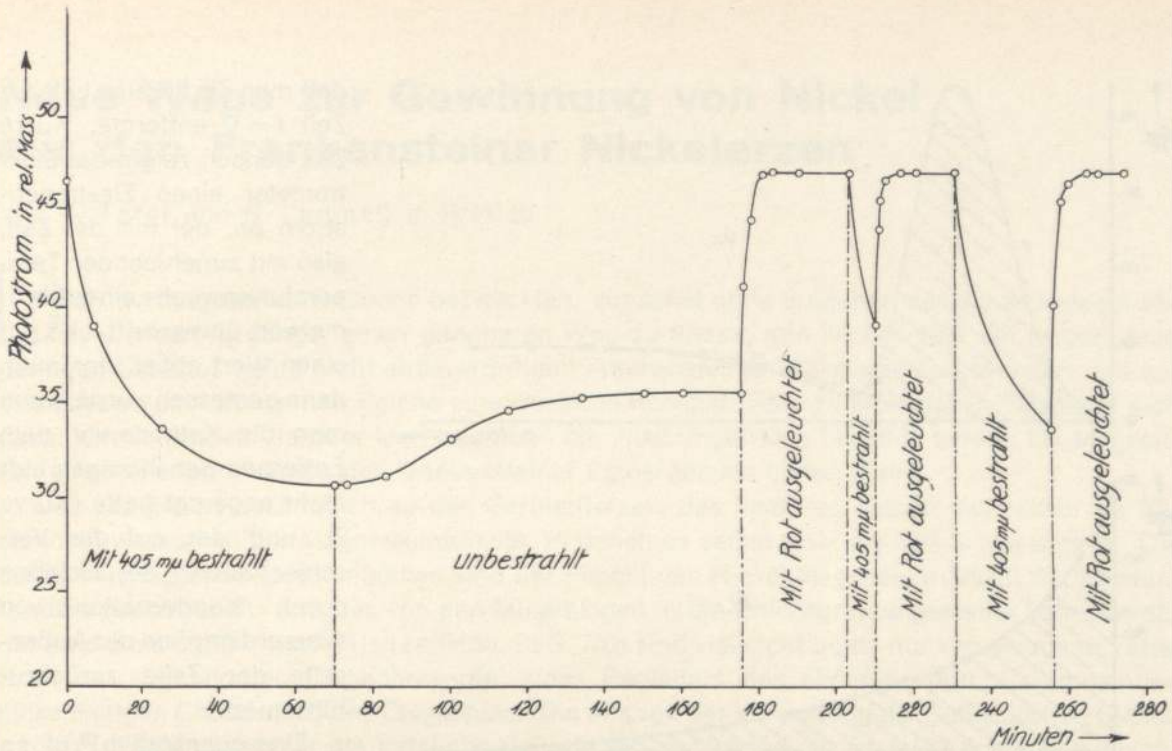


Abb. 4. Änderung der lichtelektrischen Empfindlichkeit der abgekühlten Kathode für 405 $m\mu$ beim Bestrahlen mit 405 $m\mu$ und bei Rotausleuchtung der angeregten Kathodenoberfläche

wird, stellt sich der Anfangswert der Empfindlichkeit schon nach kurzer Zeit ein. Den Vorgang der Anregung und der Rotausleuchtung kann man beliebig oft wiederholen.

Während die Anregungsenergie beim Rotausleuchten oder Erwärmen des angeregten phosphoreszierenden Körpers als Lichtstrahlung ausgesandt wird, mußte sie in unserem Fall in

anderer Form abgegeben werden, da wir keinerlei Aufleuchten beim Erwärmen der angeregten Photokathode beobachten konnten. Wir nahmen an, daß sie als Energie freier Elektronen abgegeben würde und ermittelten den bei Rotausleuchtung der angeregten Kathode emittierten Elektronenstrom. In der Tat ergab sich eine beträchtliche Empfindlichkeitssteigerung der Photokathode für rotes Licht, wenn die Kathode vorher mit dem Licht eines der spektralen Maxima bestrahlt worden war (Abb.5). Die Rotbestrahlung veranlaßte also die angeregten Zentren, ihre Energie an Elektronen weiterzugeben, die nun zusätzlich emittiert wurden.

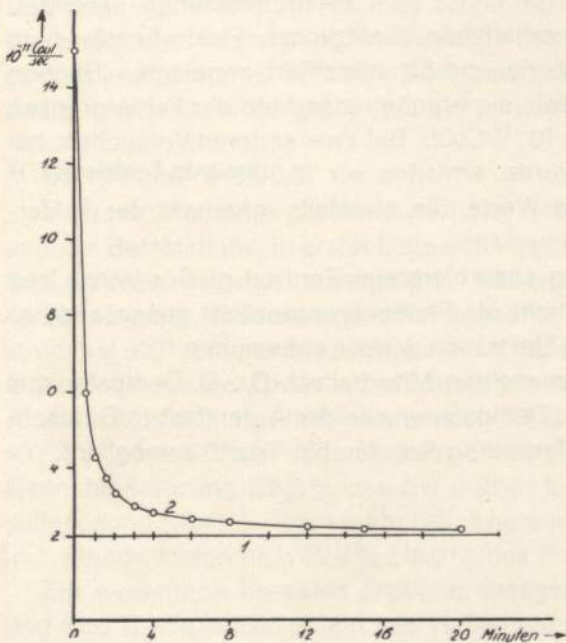


Abb. 5. Kurve 1: Lichtelektrische Empfindlichkeit der abgekühlten Kathode für rotes Licht im unangeregten Zustand. Kurve 2: Lichtelektrische Empfindlichkeit der abgekühlten Kathode für rotes Licht im angeregten Zustand

Waren unsere Vorstellungen richtig, so mußte die vorher angeregte gekühlte Kathode auch im Dunkeln beim Erwärmen auf Zimmertemperatur Elektronen emittieren. Abb. 6a zeigt, daß dies in der Tat zutrifft. Kurve 1 dieser Abbildung wurde erhalten, indem die durch Bestrahlen mit dem Licht des spektralen Maximums angeregte Kathode im Dunkeln dadurch erwärmt wurde,

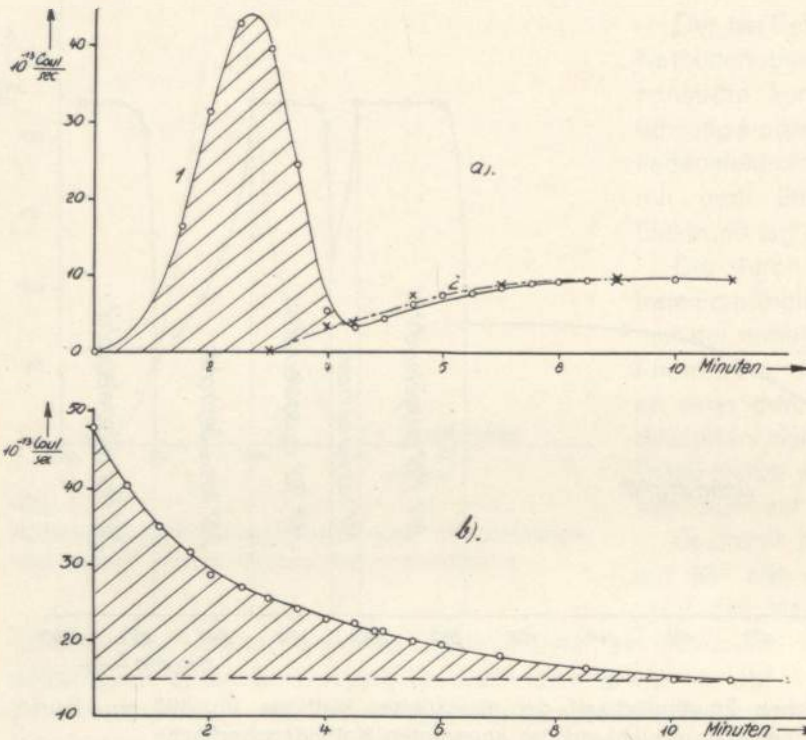


Abb. 6. a) Kurve 1: Photostrom, der beim Erwärmen einer bei 83° abs. angeregten Kathode emittiert wird. Kurve 2: Beim Erwärmen einer unangeregten Kathode auftretender Dunkelstrom. b) Photostrom, der von einer bei 83° abs. angeregten Kathode bei Rotausleuchtung zusätzlich emittiert wird.

ten. Abb. 6b zeigt den bei der Rotausleuchtung erhaltenen zusätzlichen Elektronenstrom in Abhängigkeit von der Belichtungszeit. Die in Abb. 6a und 6b schraffiert angelegten Flächen stellen die jedesmal emittierten Ladungsmengen dar; sie ergeben innerhalb der Fehlergrenzen denselben Wert, nämlich $4,8 \cdot 10^{-10}$ Coul. und $5,0 \cdot 10^{-10}$ Coul. Bei zwei anderen Versuchen, bei denen die Kathodenoberfläche stärker angeregt wurde, erhielten wir $15,0 \cdot 10^{-10}$ und $14,1 \cdot 10^{-10}$ Coul., sowie $9,5 \cdot 10^{-10}$ und $8,1 \cdot 10^{-10}$ Coul., also Werte, die ebenfalls innerhalb der Fehlergrenzen übereinstimmen.

Die bei tiefen Temperaturen durch Bestrahlung absorbierender Zentren großer Verweilzeit aufgespeicherte Anregungsenergie braucht also nicht als Phosphoreszenzlicht ausgesandt zu werden; sie kann auch in Form von Energie freier Elektronen wieder entweichen.

Die geschilderten Untersuchungen wurden von meinen Mitarbeitern Dr. D. Dempster aus Dundee und Dipl.-Ing. A. Mittmann ausgeführt; Dr. Dempster wurde der Aufenthalt in Deutschland durch ein Stipendium des „Sir James Caird Travelling Scholarship Trust“ ermöglicht.

daß man die flüssige Luft zur Zeit $t = 0$ entfernte. Kurze Zeit danach zeigte das Elektrometer einen Elektronenstrom an, der mit der Zeit, also mit zunehmender Temperatur, anwuchs, einen Maximalwert überschritt und auf einen Wert abfiel, der auch dann gemessen wurde, wenn man die Kathode vor dem Entfernen der flüssigen Luft nicht angeregt hatte (Kurve 2), und der auf die Verschlechterung der Isolation durch Kondensation von Wasserdampf an der Außenseite der Zelle zurückzuführen ist.

Eine quantitative Prüfung konnten wir dadurch vornehmen, daß wir die nach gleicher vorangehender Anregung einmal bei Erwärmung, ein andermal bei Rotausleuchtung abgegebene Elektronenmenge ermittel-

Neue Wege zur Gewinnung von Nickel aus den Frankensteiner Nickelerzen

Von V. Tafel und G. Lampe¹⁾ in Breslau

Die hier mitgeteilten Versuche bezweckten, zunächst ohne Eingehen auf die sich dabei abspielenden Vorgänge, einen gangbaren Weg zu finden, den Nickelinhalt der wegen ihres geringen Gehaltes heute nicht abbauwürdigen Frankensteiner Nickelerze zu gewinnen und auf diese Weise dem Deutschen Reiche eine wertvolle Rohstoffquelle zu erschließen. Man war sich dabei von vornherein darüber klar, daß auch ein Ausbringen von bis 80% bereits die Möglichkeit einer Wiederaufnahme des Frankensteiner Erzbergbaues bieten könne.

Das Erz gehört bekanntlich zu den Garnieriterzen, das heißt, es enthält das Nickel als Bestandteil wasserhaltiger Magnesiumsilikate, in denen es selbst wohl als *NiO*-Silikat auftritt. Die beiden wichtigsten Nickelminerale sind der Pimelit, ein Nickel-Magnesium-Silikat mit schwankendem Nickelgehalt, und der von den Mineralogen in die Chloritgruppe gestellte Schuchardit mit etwa 5 bis 6% *Ni*; nach Hintze (Hdb. II, S. 760) sind vielleicht beide nur verschiedene Varietäten der sogenannten Chrysopraserde, eines Begleiters des ebenfalls dort vorkommenden nickelhaltigen Chalzedons, des Chrysopras. Die uns von der Verwaltung der Schlesischen Nickelwerke zu Frankenstein für die Versuche freundlichst zur Verfügung gestellte Erzprobe enthielt: 1,83% *Ni*, 12,4% *Fe*, 1,2% *Mn*, 4,5% *Al₂O₃*, 17,5% *MgO*, 0,3% *CaO*, 48,6% *SiO₂*.

Die Versuche wurden in der Richtung vorgenommen, den (oxydischen) Nickelinhalt des Erzes in wäßrige Lösung überzuführen. Sie erstreckten sich auf eine direkte Behandlung mit Lösungsmitteln, auf chlorierende und chlorierend-verflüchtigende Röstung, auf Behandlung des Roherzes und des vorher reduzierten Erzes mit Chlorgas und schließlich auf Behandlung des Roherzes mit schwefeliger Säure in Abwesenheit und in Gegenwart von Luft sowie von an Sauerstoff angereicherter Luft. Es mag schon jetzt darauf hingewiesen werden, daß als einziges für die praktische Ausführung in Betracht kommendes Verfahren das zuletzt angedeutete festgestellt wurde. Immerhin bieten aber auch die übrigen Versuchsergebnisse so viel Interessantes, daß auch deren Mitteilung angebracht erscheint.

1. Direkte Laugung

In Betracht kommen neben verdünnter Schwefelsäure wegen der Gefahr einer starken Lösung anderer Bestandteile, in erster Linie des Magnesiums, alkalische Lösungsmittel und Salzlösungen. Von solchen wurden ausprobiert: Natronlauge, Ammoniak und ammoniakalische Ammonkarbonatlösung, indessen gänzlich ergebnislos; auch Behandeln einer vorher im Wasserstoffstrom bei 900° reduzierten Erzprobe mit einer einprozentigen Ammoniak-Ammonkarbonat-Lösung ergab vollkommene Unlöslichkeit des Nickels. Von Salzlösungen wurden versucht: eine 25proz. Ammonchloridlösung; in ihr lösten sich 5,7% des Nickels und nach dem Brennen des Erzes bei 400° 4,2%, bei 800° nur noch Spuren. Etwas günstiger war die Löslichkeit in einer kalt gesättigten Eisenchloridlösung (28,2% des *Ni*) und in einer schwach angesäuerten, kalt gesättigten Ferrisulfatlösung (48,4%). Noch mehr Glück hatten wir mit an schwefeliger Säure gesättigtem Wasser: in 1 Stunde lösten sich 52,8% (46,0% des Eisens), in 48 Stunden 55,0% des Nickels.

Ein wesentlich besseres Ergebnis zeitigten die Laugeversuche mit Schwefelsäure (Tafel 1 und Bild 1); sie lassen schon von verhältnismäßig schwachen Säurekonzentrationen an je nach den Versuchsbedingungen (Laugedauer, Temperatur) mehr oder weniger vollständige Löslichkeit des Nickels erkennen. Allerdings ist auch die relative Eisenlöslichkeit sehr erheblich. Beide

¹⁾ Ein Teil der Versuche wurde durch die Herren Dipl.-Ing. E. Niklas und Friedel im Rahmen des „Ingenieurdienstes“ ausgeführt.

Tafel 1

Behandeln von Roherz mit Schwefelsäure

a) Laugung in Schwefelsäure allein									
Vers. Nr.	Einw. g	H_2SO_4		Temp. °C	Laugedauer Min.	gelöst % v. Vorl.		Bemerkungen	
		g/100 cm ³	cm ³			Ni	Fe		
300	2.0	1.7	200	100	180	86.7	57.0		
299	2.0	3.5	200	100	180	90.5	72.4		
298	2.0	16.5	100	100	180	96.4	78.4		
279	2.0	konz.	25	100	180	94.8	88.7		
25	2.5	4.6	250	~50	60	75.7	47.9		
23	2.5	9.1	250	~50	60	78.4	49.6		
27	2.5	13.1	250	~50	60	82.0	53.0		
79	0.5	13.1	100	~70	60	28.4	n. b.	Vorl. 1 h bei 930/940° gebrannt	
b) Laugung in Schwefelsäure + Kochsalz									
								NaCl g	
26	2.5	4.6	250	~50	60	75.7	35.8	2.5	
24	2.5	9.1	250	~50	60	72.8	40.0	5.0	
22	5.0	13.1	500	~50	60	73.4	46.0	5.0	
19	5.0	13.1	500	~50	60	91.0	71.8	25.0	
c) Laugung in Schwefelsäure + Glaubersalz									
								Na ₂ SO ₄ g	
31	2.5	2.9	256	~50	60	55.7	38.3	10	theor. H_2SO_4 -Menge
32	2.5	2.9	256	~50	60	55.0	42.6	2	dto.

steigen mit zunehmender Säurekonzentration zunächst sehr rasch (und zwar die von Nickel rascher als die von Eisen), von etwa 3 bis 4 g H_2SO_4 in 100 cm³ an nur noch sehr langsam. Wie die unter b) und c) der Tafel 1 außerdem mitgeteilten Werte erkennen lassen, hat ein Zusatz von Kochsalz oder Glaubersalz, wie er von anderer Seite vorgeschlagen wurde, in diesem Falle keinen oder fast keinen Einfluß. Vorhergehendes Brennen des Roherzes, durch das die Löslichkeit des Eisens herabgesetzt werden sollte, vermindert zugleich die des Nickels in so starkem Maße, daß es nicht in Betracht kommt.

2. Chlorierung

Alle Chlorierungsversuche, sei es zur Erzielung einer Verflüchtigung, sei es einer Wasserlöslichkeit des Nickels, schlugen vollkommen fehl, soweit sie sich mit dem Roherz befaßten. Dabei wurde neben der Behandlung mit Chlorgas die chlorierende Röstung unter Verwendung von Natrium-, Kalium- und Kalziumchlorid, mit und ohne Zusatz von Pyrit oder Kieselsäure, bei den verschiedensten Temperaturen ohne jeden Erfolg ausprobiert. Lediglich mit Chlorgas gelang es, bei 1050° das Nickel, allerdings auch das Eisen, beinahe restlos zu verflüchtigen.

Wesentlich günstiger gestalteten sich die Ergebnisse, als man daran ging, das

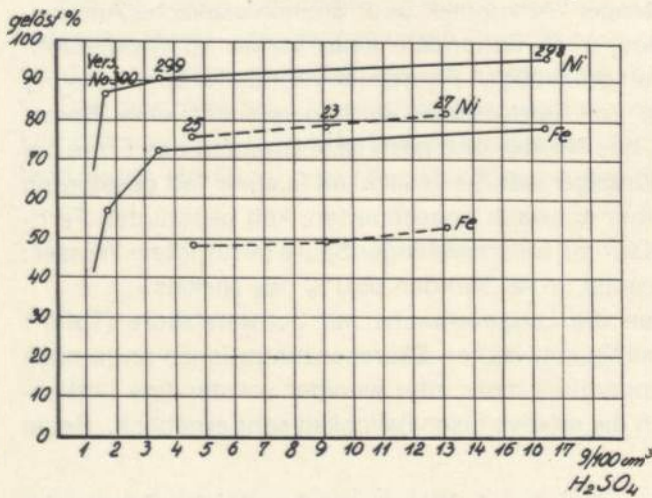


Abb. 1. Behandeln von Roherz mit Schwefelsäure verschiedener Konzentration

vorher mittels Wasserstoffs reduzierte Erz mit Chlorgas zu behandeln. Wie die Tafeln 2 und 3 sowie die dazu gehörenden Kurvenbilder erkennen lassen, gelingt es so tatsächlich, das Nickel bis zu etwa 80% in wasserlösliche Form überzuführen, während nur sehr geringe Eisenmengen gelöst werden.

Tafel 2

Behandeln von reduziertem Erz mit Chlorgas

Einfluß der Chlorierungstemperatur

Erz bei 800° reduziert. Chlorierungsdauer: 60 Min. Einwage: 2,0 g

Vers. Nr.	Chlorierungstemp. °/C	wäßr. Lösung % d. Vorl.	
		Ni	Fe
143	200	6.8	7.0
144	220—230	74.3	7.0
149	250	79.3	1.9
160	250	74.7	3.1
161	260—270	80.3	1.0
150	270—300	75.7	0.0
181	290—300	73.9	0.7
151	320—330	74.1	0,0
152	340—360	62.7	0.0

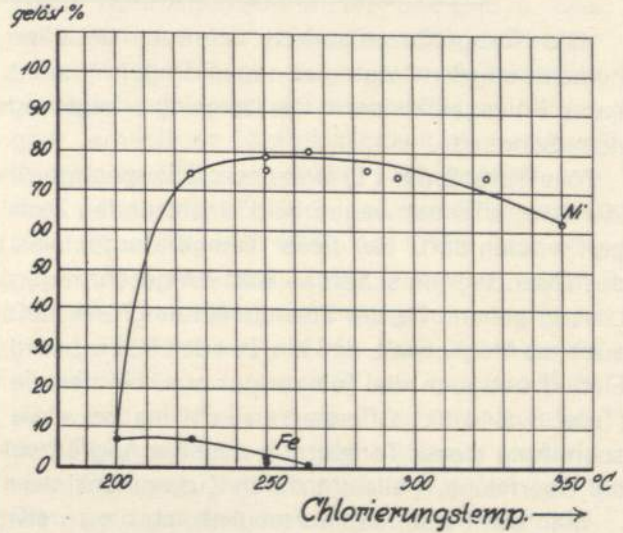


Abb. 2. Behandeln von reduziertem Erz mit Chlorgas bei verschiedenen Temperaturen

Tafel 3

Behandeln von reduziertem Erz mit Chlorgas

Einfluß der Reduktionstemperatur

Chlorierungstemp.: rd. 250°. Erhitzungsdauer: 60 Min. Einwage: 2,0 g

Vers. Nr.	Reduktionstemp. °/C	wäßr. Lösung % d. Vorl.	
		Ni	Fe
147	700	22.8	0.0
163	750	66.5	3.4
179	775—785	80.4	1.5
149	790—810	79.3	1.9
180	850	76.3	0.7
131	900—1060	59.3	1.0

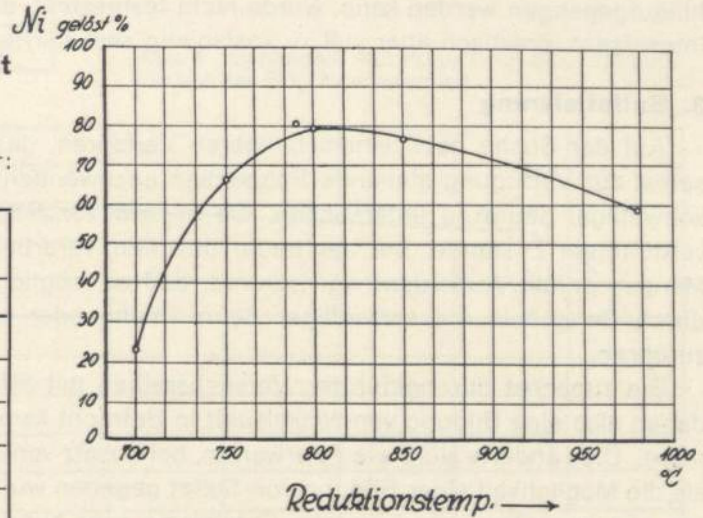


Abb. 3. Behandeln von reduziertem Erz mit Chlorgas, Einfluß der Reduktionstemperatur

Die Versuche wurden durchweg im elektrisch beheizten Röhrenofen durchgeführt. Zur Reduktion verwendete man etwa 12 g Einwage und eine Erhitzungsdauer (ohne Anheizen und Abkühlen, das natürlich ebenfalls im Wasserstoffstrom erfolgte) von 1 Stunde. Für die Chlorierungsversuche (wie auch für alle folgenden) diente eine Einwage von 2,0 g des sorgfältig im Exsikkator aufbewahrten und auf seinen Gehalt an Nickel und Eisen untersuchten Reduktionsproduktes. Die Erhitzungsdauer betrug auch bei der Chlorierung 1 Stunde, da, wie aus folgender Zusammenstellung hervorgeht, darüber hinaus eine Zunahme der Nickellöslichkeit nicht mehr erfolgt:

Chlorierungsdauer Min.	wäßrige Lösung % v. Vorl.		
	Ni	Fe	
30	59,4	1,45	Erz bei 1000° reduziert. Chlorierungstemperatur: 300°
60	63,1	0,65	
90	61,8	1,45	
120	53,1	2,90	

Die Korngröße entsprach, wie auch bei allen übrigen Versuchen, falls nichts besonderes bemerkt ist, dem, was man „analysenfein“ nennt, d. h. das Erz wurde zuvor zu einem unfehlbaren Pulver zerkleinert. Die Laugung erfolgte jedesmal in 300 cm³ Wasser eine Stunde lang auf dem Sandbade.

Wie Tafel 2 (Bild 2) erkennen läßt, genügt eine sehr geringe Chlorierungstemperatur, etwa 250°, die, offenbar wegen bald einsetzenden Zerfalles des Nickelchlorides, um nicht viel gesteigert werden darf. Bei dieser Temperatur ist, was besonders günstig erscheint, die Dissoziation des Eisenchlorids schon so weit fortgeschritten, daß nur noch sehr geringe Mengen davon in Lösung gehen. Da der Eisengehalt des Rückstandes nicht festgestellt wurde, besteht natürlich auch die Möglichkeit, daß ein Teil des Eisenchlorids verdampft ist. — Einen nicht unwesentlichen Einfluß übt auch die Temperatur aus, bei der die vorhergehende Reduktion des Erzes erfolgte (Tafel 3, Bild 3). Offenbar erreicht sie bei etwa 800° ihren Bestwert und es findet bei Überschreitung dieser Temperatur eine die Angreifbarkeit herabsetzende physikalische Veränderung der Oberfläche, vielleicht durch Zusammensintern der kleinsten Teilchen, statt.

Man sieht also, daß es möglich ist, bis zu etwa 80% des Nickelinhaltes der Frankensteiner Erze praktisch ohne das Eisen in Lösung überzuführen, wenn man sie zunächst bei etwa 780 bis 800° eine Stunde lang im reduzierenden Gasstrom behandelt und anschließend bei etwa 250°, ebenfalls eine Stunde lang, einen Chlorstrom darüber leitet. Wie weit dabei in der Korngröße hinaufgegangen werden kann, wurde nicht festgestellt, da das Verfahren zwar theoretisch ganz interessant, praktisch aber viel zu kostspielig sein dürfte.

3. Sulfatisierung

Auf der Suche nach einem billigeren Verfahren, das außerdem gestattet, in Frankenstein selbst zur Verfügung stehende Reagentien anzuwenden, war es naheliegend, den Einfluß von schwefliger Säure zu untersuchen, die in Form von Röstgasen, wenn auch in durch Luft stark verdünntem Zustande, bei der heute üblichen Verarbeitung ausländischer Erze in größeren Mengen anfällt. Außerdem war bekannt, daß es möglich ist, den Nickelinhalt oxydischer Erze durch Behandeln mit schwefliger Säure mehr oder weniger in wasserlösliche Form überzuführen.

Die zunächst durchgeführten Versuchsreihen mit SO₂-Gas allein und mit Dampfzusatz, bei denen also eine Bildung von Nickelsulfit in Betracht kam, ergaben keine befriedigenden Ergebnisse. Dies änderte sich, wie zu erwarten, bei Zusatz von Luft (s. Tafel und Bild 4, 5, 6), das heißt, als die Möglichkeit einer Bildung von Sulfat gegeben wurde. Allerdings sind zur Erzielung auch nur einigermaßen nennenswerter Ergebnisse sehr hohe SO₂-Konzentrationen erforderlich, wie sie im normalen Röstbetrieb kaum je vorkommen; auch die notwendigen Zeiten sind recht bedeutend, doch ließe sich dieser Übelstand in Kauf nehmen durch Verwendung einer Einrichtung, bei welcher, etwa ähnlich der des Karbonylverfahrens, eine häufige Rückführung der Röstgase erfolgt. Aber auch bei siebenstündiger Einwirkung muß man ein Gas mit mindestens 10 Vol-Prozent SO₂ anwenden, will man auf etwa 80% Nickellöslichkeit kommen (Bild 6). Unter 9 Vol.-Proz. SO₂ findet überhaupt keine Einwirkung statt (Tafel und Bild 4). Als günstigste Behandlungstemperatur stellte sich eine solche von etwa 650 bis 700° heraus (Tafel und Bild 5). Bei dieser Temperatur ist auch die Löslichkeit des Eisens schon stark im Abnehmen begriffen, natürlich infolge des bereits bei etwa 600° einsetzenden Zerfalles des Eisensulfates.

Tafel 4

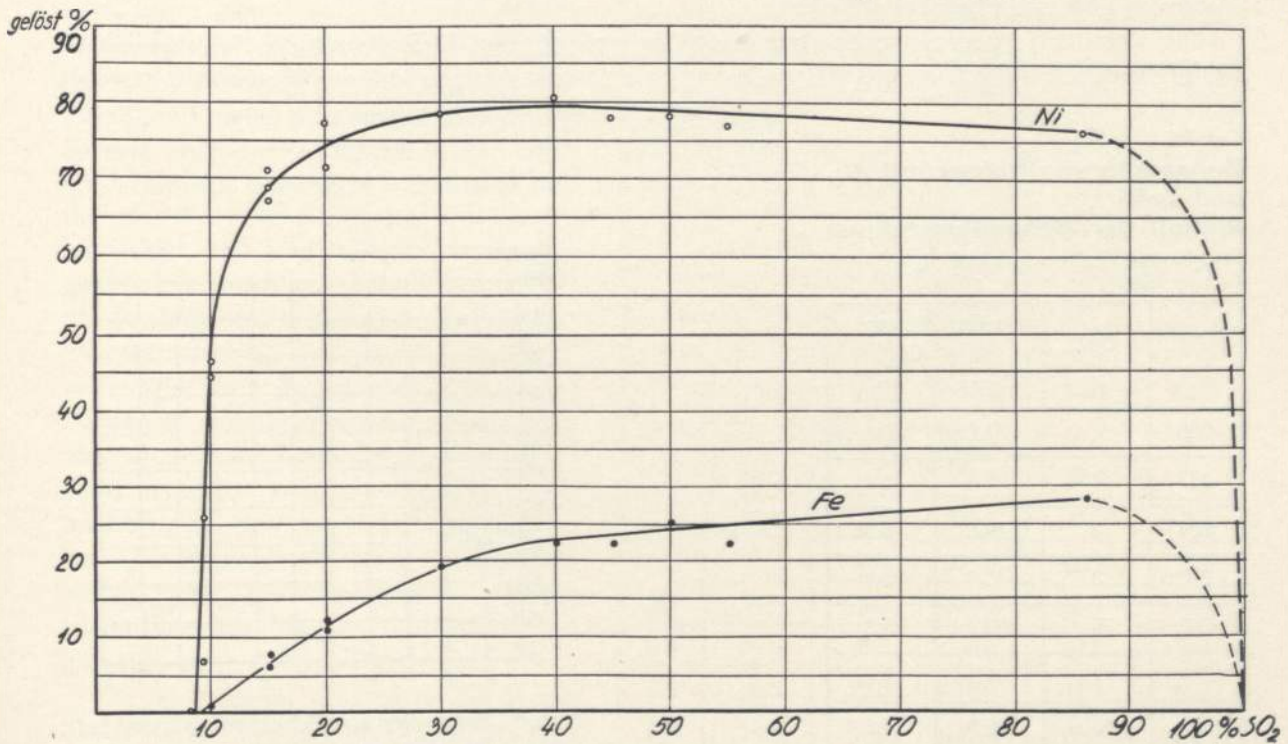
Behandeln von Roherz mit SO_2 und Luft Einfluß der SO_2 -Konzentration

Erhitzungsdauer auf 650° : 180 Min. (Vers. 227, 215, 229, 176: 60 Min.) Einwage: 2,0 g

Vers. Nr.	SO_2 Vol. %	Luft Vol. %	wäßr. Lösung % d. Vori.	
			Ni	Fe
241	5	95	0.0	0.0
260	8	92	0.0	0.0
263	9	91	7.1	Sp.
261	9	91	26.1	Sp.
264	10	90	44.6	0.65
270	10	90	46.7	0.8
240	15	85	68.6	7.9
249	15	85	69.7 ₅	8.1
257	15	85	72.1	6.5
250	20	80	72.3	10.7 ₅
256	20	80	78.6	12.4
251	30	70	79.2	19.1
252	40	60	81.1 ₅	22.4
(227)	45	55	78.6	22.4
253	50	50	78.4	25.2
(215)	55	45	77.3	22.1
(229)	87.5	12.5	76.6	28.6
(176)	100	0	0.0	Sp.

Als — und zwar zunächst ohne große Hoffnung auf Erfolg — Versuche mit an (einer Bombe entnommenem) Sauerstoff angereicherterem SO_2 -Luftgemenge ausgeführt wurden, stellte sich heraus, daß es so möglich ist, auch mit einem SO_2 -Gehalt von 5 Vol.-Proz. recht befriedigende Werte zu erhalten (siehe Tafel und Bild 8). Das Verblüffende dabei ist die Tatsache, daß schon ganz geringe Mengen zugesetzten Sauerstoffes genügen, mit einem so armen Röstgas bereits ganz erhebliche Nickellöslichkeit zu erzielen. Wie man aus Tafel und Bild 7 erkennt, erreicht man mit nur $\frac{1}{4}$ Vol.-Proz. Sauerstoffzusatz bei 5 Vol.-Proz. SO_2 über 66%, bei 10 Vol.-Proz. SO_2 gegen 78% Nickellöslichkeit, während weitere Steigerung der Sauerstoffmenge eine nur sehr geringe Zunahme ergibt. Es muß sich also um eine Art Aktivierung der SO_2 bzw. des zweifellos die wichtigste Rolle bei dem Verfahren spielenden Fe_2O_3 handeln, für die indessen vorläufig eine Erklärung nicht gegeben werden kann. Denn es erscheint fast unglaublich, daß z. B. eine Erhöhung des Sauerstoffgehaltes eines Gemisches von 5 Vol.-Proz. SO_2 , 20 Vol.-Proz. O_2 und 75 Vol.-Proz. N_2 , in dem der Sauerstoff doch in

Abb. 4 Behandeln von Roherz mit SO_2 und Luft. Einfluß der SO_2 -Konzentration



Tafel 5

Behandeln von Roherz mit SO_2 und Luft

Einfluß der Temperatur

SO_2 -Konzentration: 55 Vol. %

Erhitzungsdauer: 60 Min.

Einwage: 2,0 g

Vers. Nr.	Temp. °C	wäbr. Lösung % d. Vorl.	
		Ni	Fe
219	450	51.4	13.5
218	500	64.9	21.6
217	550	70.0	26.6
216	600	75.6	28.3
215	650	77.3	22.1
220	700	76.7	15.8
223	750	71.1	7.6
224	800	50.2	5.4
225	850	11.0	3.7
226	900	10.9	2.6

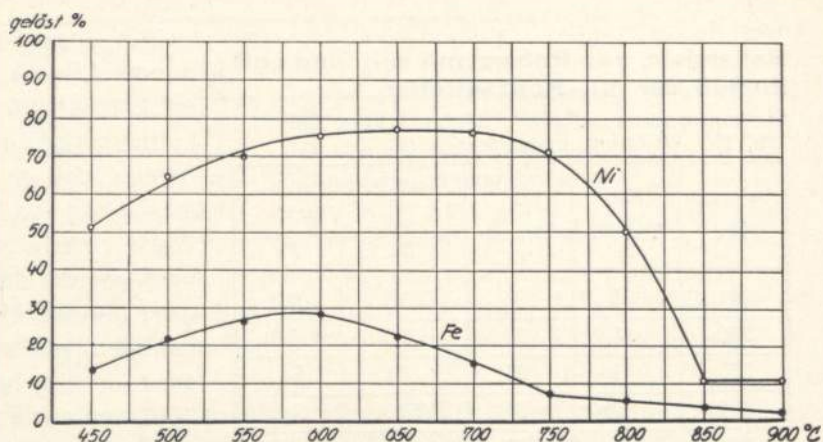


Abb. 5. Behandeln von Roherz mit SO_2 und Luft
Einfluß der Temperatur

vollkommen freiem Zustand vorliegt, um 0,5% eine derartige Verschiebung des Beginns der Löslichkeitskurve bewirkt, wie sie Bild 8, in dem die Kurve der Behandlung ohne Sauerstoff zum Vergleich eingezeichnet ist, erkennen läßt. An dem Ergebnis ändert sich auch nichts, wie die Versuche Nr. 313 und 314 (Tafel 7) erkennen lassen, wenn man den Sauerstoff nicht einer Bombe entnimmt, sondern ihn aus einem Gemisch von $KClO_3$ und MnO_2 erzeugt; das heißt, die Herkunft des Sauerstoffes spielt keine Rolle. Einigermaßen zweifelhaft erscheint auch die bei 1 Vol.-Proz. O_2 auftretende anormale Erhöhung

der Nickellöslichkeit, obgleich sie durch drei Versuche belegt ist. Den Einfluß der Behandlungsdauer zeigen an einem Beispiel Tafel und Bild Nr. 9; er ist bedeutend geringer als bei Verwendung von Luft und SO_2 allein (Bild 6).

Die Versuche lassen also erkennen, daß es gelingt, den Nickelinhalt des Frankensteiner Roherzes durch mehrstündiges Behandeln mit durch sehr geringe Mengen (etwa 0,5 Vol.-Proz.)

Sauerstoff angereicherten Röstgasen bei einer Temperatur von etwa 650° zu etwa 70% in wasserlösliche Form überzuführen. Wie aus den Versuchen Nr. 321 und 322 (Tafel und

Tafel 6

Behandeln von Roherz mit SO_2 und Luft

Einfluß der Behandlungsdauer

SO_2 -Konzentration: 10 Vol. %

Temp.: 650°

Vers. Nr.	Zeit h	wäbr. Lösung % d. Vorl.	
		Ni	Fe
268	1	31.0	0.2
267	1	28.4	0.2
264	3	44.6	0.65
270	3	46.7	0.8
269	5	63.4	3.3
311	7	81.1	14.9
312	10	82.0	15.6

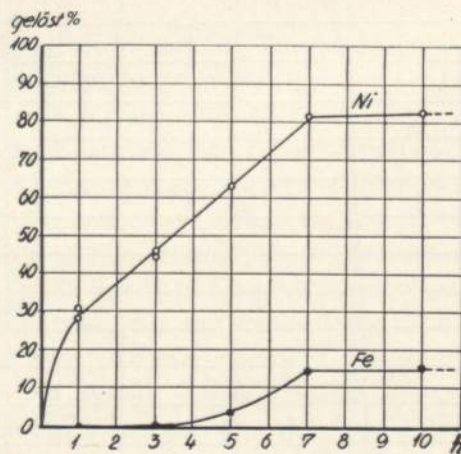


Abb. 6. Behandeln von Roherz mit SO_2 und Luft
Einfluß der Behandlungsdauer

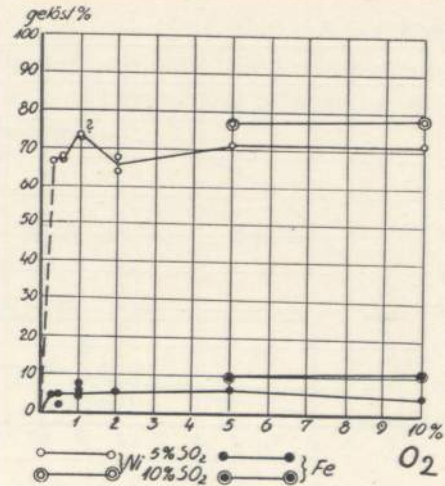
Tafel 7

Behandeln von Roherz mit SO_2 , Luft und Sauerstoff. Einfluß der Sauerstoffkonzentration

Temp.: 650° . Behandlungsdauer: 180 Min. Einwage: 2,0 g

Vers. Nr.	Luft Vol. %	SO_2 Vol. %	O_2 Vol. %	wäßr. Lösung % v. Vorl.	
				Ni	Fe
306	94.75	5.0	0.25	66.35	4.6
296	94.5	5.0	0.5	66.75	2.3
304	94.5	5.0	0.5	67.55	5.1
305	94.0	5.0	1.0	72.85	5.7
313	94.0	5.0	1.0*	73.65	7.3
314	94.0	5.0	1.0*	72.5	4.8
295	93.0	5.0	2.0	63.85	5.5
310	93.0	5.0	2.0	67.8	5.3
285	90.0	5.0	5.0	71.1	6.4
309	85.0	5.0	10.0	71.1	4.7
283	85.0	10.0	5.0	77.3	9.8
284	80.0	10.0	10.0	77.95	10.3

* Sauerstoff aus $KClO_3 + MnO_2$ erzeugt

Abb. 7. Behandeln von Roherz mit SO_2 , Luft und Sauerstoff
Einfluß der Sauerstoff-Konzentration

Tafel 8

Behandeln von Roherz mit $SO_2 +$ Luft + Sauerstoff

Einfluß der SO_2 -Konzentration

Erhitzungsdauer: 180 Min. Temperatur: 650°
Einwage: 2,0 g

Vers. Nr.	Luft Vol. %	SO_2		wäßr. Lösung % des Vorl.	
		Vol. %	% d. theor. Menge	Ni	Fe
a) Sauerstoffmenge: 5 Vol. %					
293	94.5	0.5	93.8	0.0	0.0
291	94.0	1.0	187.5	36.4	0.45
290	93.0	2.0	375.0	38.1	3.4
287	92.5	2.5	469.0	58.6	1.8
285	90.0	5.0	938.0	71.1	6.4
289	87.5	7.5	1407.0	75.1	9.6
283	85.0	10.0	1875.0	77.3	9.8
292	75.0	20.0	3750.0	77.6	13.0
b) Sauerstoffmenge: 0.5 Vol. %					
315	98.5	1.0	187.5	22.0	0.0
316	97.0	2.5	469.0	47.0	2.3
320	94.5	5.0	938.0	66.2	6.4
296	94.5	5.0	938.0	66.7	(2.3)
304	94.5	5.0	938.0	67.5	5.1
318	89.5	10.0	1875.0	77.5	13.9
319	79.5	20.0	3750.0	80.8	20.6

Bild 9) hervorgeht, läßt sich das Ergebnis bedeutend (um fast 20 Einheiten) verbessern, wenn man die offenbar eine weitere Sulfatisierung störende Sulfatschicht, die sich auf den einzelnen Erzteilchen gebildet hat, durch dazwischen geschaltete Laugung entfernt.

Schließlich wurde auch noch der Einfluß der Korngröße untersucht (Tafel 10). Man sieht, daß eine außerordentlich weitgehende Ausmahlung erforderlich ist, um die gewünschten Ergebnisse zu erreichen. Indessen sind die dort gefundenen Werte, wie aus der Behandlung der einzelnen Kornklassen in unzerkleinertem und analysenfein gemahlenem Zustand hervorgeht, noch nicht als vollkommen einwandfrei zu betrachten, da sich dabei im Vergleich zu dem unabgesiebten Material unverhältnismäßig hohe Löslichkeitswerte ergeben (siehe Vers. 335, 326, 327 und 328 im Vergleich zu Vers. 305).

Ob es möglich sein wird, auf Grund dieser Versuchsergebnisse ein auch wirt-

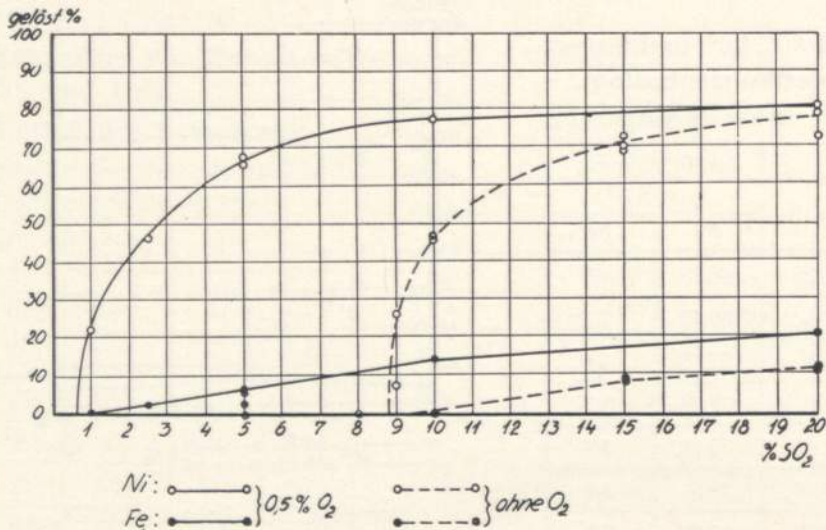


Abb. 8. Behandeln von Roherz mit SO₂, Luft und Sauerstoff
Einfluß der SO₂-Konzentration

Tafel 9

**Behandeln von Roherz mit SO₂ (5 0/0),
Luft (94,5 0/0) und Sauerstoff (0,5 0/0)**

Einfluß der Behandlungsdauer

Temperatur: 650°

Vers. Nr.	Zeit h	wäbr. Lösung % v. Vorl.						Bemerkungen
		Ni			Fe			
307	1	56.9			3.7			
304	3	67.6			5.1			
301	5	72.0			5.5			
302	7	73.8			5.5			
308	10	76.4			7.3			
321	3 × 1	1. 63.1	2. 17.3	3. 3.0	1. 3.7	2. 2.3	3. 0.9	dreimal je 1 h erhitzt, dazwisch. gelaugt
322	3 × 1	67.2	13.7	5.1	5.3	1.1	2.1	

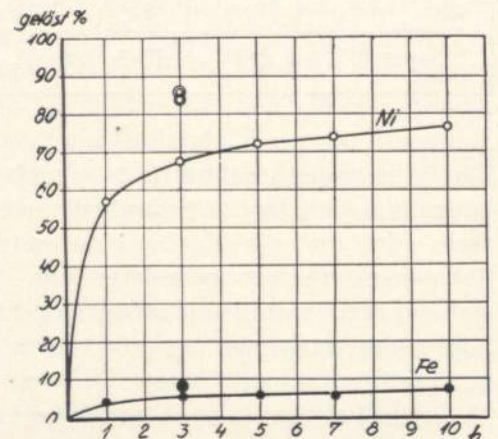


Abb. 9. Behandeln von Roherz mit SO₂, Luft und Sauerstoff
Einfluß der Behandlungsdauer (Doppelkreise: Vers. Nr. 321 und 322)

schaftlich brauchbares Verfahren auszuarbeiten, mag die Zukunft lehren. Vor allem wird es auf die Ausarbeitung einer geeigneten Apparatur und auf den Preis des Sauerstoffes ankommen, auch die weitgehende Ausmahlung dürfte mit nicht unerheblichen Kosten verbunden sein. Vielleicht bieten die Ergebnisse der dazwischen geschalteten Laugung (Vers. Nr. 321, 322) einen Fingerzeig, auch mit größerem Material auszukommen. Ein Problem für sich bildet natürlich die Weiterverarbeitung der Laugen, in denen vor allem auch die Trennung des Nickels von Eisen und von den recht erheblichen Magnesiummengen eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt. Gerade auf diesen Punkt, auf den bisher keine Rücksicht genommen wurde, werden sich weitere Versuche zu erstrecken haben; ferner auf die Anwendbarkeit des Verfahrens auf andere Oxyderze, die sich, wie man bereits jetzt absehen kann, wesentlich anders zu verhalten

scheinen. Vielleicht gelingt es dann auch, die Rolle des zusätzlichen Sauerstoffes und die des Eisengehaltes, die von besonderer Bedeutung zu sein scheint, zu klären. Die Verfasser würden sich jedenfalls freuen, wenn die hier veröffentlichte Arbeit eine Möglichkeit böte, eines unserer wichtigsten Metalle aus einheimischen Rohstoffen zu gewinnen.

Tafel 10

Behandeln von Roherz mit SO_2 (5%) + Luft (94%) + Sauerstoff (1%). Einfluß der Korngröße

Behandlungsdauer: 180 Min. Temp.: 650°. Einwage: 2.0 g

Vers. Nr.	Korngröße mm	1) wäßr. Lösung % d. Vorl.		2) wäßr. Lösung % d. Vorl.		Ni i. Vorl. %
		Ni	Fe	Ni	Fe	
		305	0—5.5			
331	0—0.35	64.4	2.0			
330	0.35—0.5	60.6	2.8			
323	0—1.0	58.8	n. b.			1.81
329	0—1.0	53.85	1.6			
335	(0—1.0)			75.35	5.6	
326	(0—1.0)			81.65	10.5	
324	1.0—2.0	41.5	n. b.			1.81
327	(1.0—2.0)			75.6	7.6	
325	4.5—5.5	34.3	3.2			1.43
328	(4.5—5.5)			77.6	12.5	

Vers. Nr. 305: nicht abgeseibtes Ausgangsmaterial
 1) Körnung ohne weitere Zerkleinerung behandelt
 2) Körnung vor Behandlung weiter analysenfein gemahlen

Über die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres

Von Erich Waetzmann in Breslau

§ 1. Definition der Reizschwelle

Wenn von der Empfindlichkeit des Ohres gesprochen wird, so denkt man dabei in erster Linie an seine Intensitätsempfindlichkeit gegenüber Tönen bestimmter Höhe. Die Empfindlichkeit ist durch die Reizschwelle charakterisiert. Diese kann in verschiedener Weise definiert und in verschiedenen Maßen festgelegt werden. Man gibt entweder Schwellendrucke oder Schwellenenergien an. Je kleiner die Reizschwelle ist, um so größer ist die Empfindlichkeit.

Die grundlegende Untersuchung über die Schwellenintensität des Ohres, die auch heute noch von größter Bedeutung ist, verdanken wir M. Wien¹⁾. Er geht in der Weise vor, daß eine Tonquelle (Telephon) Schall frei in den Raum abstrahlt. Das Ohr wird in eine solche Entfernung von der Schallquelle gebracht, daß eben noch eine Tonempfindung zustande kommt, und es wird berechnet, wie groß die in einer Sekunde durch 1 cm² senkrecht zur Strahlrichtung wandernde Schallenergie an der Stelle des Ohres sein würde, wenn das Ohr nicht da wäre (ungestörtes Schallfeld). Diese sekundliche Energie pro Flächeneinheit [erg/cm² sec] wird definitionsmäßig als Schwellenenergie festgelegt. Zuweilen wird noch statt der Flächeneinheit die Größe des Trommelfells bzw. die Größe einer ihr äquivalenten Kolbenmembran eingeführt [erg/sec]. Statt der Energie kann natürlich auch der an der betreffenden Stelle des Feldes herrschende Schallwechseldruck (jetzt vielfach als Schalldruck bezeichnet) berechnet werden. Man erhält dann die Reizschwelle im Druckmaß [dyn/cm²]. Es kann die Amplitude oder der Effektivwert des Druckes angegeben werden. In der Regel wird mit dem Effektivwert gerechnet, was wir im folgenden auch tun wollen. Die Wiensche Definition hängt aufs engste mit seiner Meßanordnung zusammen. Sie kann etwa folgendermaßen formuliert werden: Reizschwelle ist die sekundliche Energie pro cm², die an einer bestimmten Stelle im freien ungestörten Schallfeld herrschen muß, damit das Ohr, an diese Stelle gebracht, gerade eben eine Tonempfindung hat. Wir wollen sie durch die Schlagworte charakterisieren: „Sekundliche Schallfeldenergie“ bzw. „Druck im (ungestörten) Schallfeld“.

Energie und Druck an irgendeiner Stelle eines zunächst ungestörten Schallfeldes ändern sich aber, sobald das Ohr des Beobachters an die betreffende Stelle gebracht wird. Einmal treten Reflexion und Beugung am Kopfe des Beobachters auf, zweitens resoniert der Gehörgang auf bestimmte Töne und endlich findet infolge der Energieentnahme durch das Trommelfell eine Rückwirkung vom Trommelfell auf das angrenzende Schallfeld statt, wodurch der Energiewert an der betreffenden Stelle ebenfalls geändert wird. Es ist also ein Irrtum, wenn man meint, es könne unabhängig vom Kopf des Beobachters und vom Ohr festgelegt werden, welche Energie dem Ohr in einem Schallfeld „dargeboten“ wird.

Einen entsprechenden Fehler würde man machen, wenn man nach dem Energiebetrag fragt, der einer Maschine aus einem elektrischen Leitungsnetz „dargeboten“ wird. Diese Frage ist sinnlos, weil sich sofort beim Ankoppeln der Maschine eine ganz andere Energieverteilung als vorher einstellt, und weil die neue Energieverteilung von den Eigenschaften der Maschine abhängt.

Die Wiensche Definition der Reizschwelle ist also die denkbar umfassendste. Die Größe der Zahlenwerte, die gemäß dieser Definition gewonnen werden, wird nicht allein durch die Eigenschaften des Ohres einschließlich des Gehörganges bestimmt, sondern auch noch durch

¹⁾ M. Wien, Pflügers Archiv 97, S. 1; 1903.

die Umgebung des Ohres, nämlich den Kopf des Beobachters²⁾). Hiernach stecken in den Wienschen Zahlen für die Ohrempfindlichkeit, soweit sie physikalisch-physiologisch und nicht rein psychisch bedingt ist, folgende fünf Faktoren: erstens die Größe der Schallstauung am Kopf, zweitens der Grad der Resonanz des Gehörganges, drittens die Güte der Anpassung des Ohres bzw. des Trommelfells bei der Schallaufnahme, viertens die Größe des Energieverlustes bei der Schallfortleitung bis zu den Nerven hin und fünftens der Wirkungsgrad der Umsetzung der mechanisch-akustischen Energie in Nervenerregung.

Die Schallstauung am Kopf dürfte von Person zu Person praktisch genau die gleiche sein. Es würde also naheliegen, den Einfluß des Kopfes bei der Definition der Reizschwelle nicht mehr zu berücksichtigen, sondern die Reizschwelle zu definieren als die sekundliche Schallenergie bzw. als den Schalldruck, der an der Schwelle der Hörempfindung am Eingang in das Ohr, also in der äußeren Grenzebene des Gehörganges, herrscht. Da diese Größen meßtechnisch kaum faßbar sind, verzichtet man auch noch darauf, den Einfluß des Gehörganges zu berücksichtigen und geht gleich bis an das Trommelfell. Man definiert dann die Reizschwelle als den an der Schwelle der Hörempfindung am Trommelfell herrschenden Druck. Wir wollen sie durch das Schlagwort charakterisieren: „Druck am Trommelfell“. Diese Schwellendrucke sind namentlich für diejenigen Tönhöhen bedeutend größer als die Wienschen (Druck im ungestörten Schallfeld), für die starke Stauwirkung am Kopf und gleichzeitig Resonanz im Gehörgang auftritt. Bei dem größten Teil der bisher ausgeführten Schwellendruckmessungen ist tatsächlich der am Trommelfell herrschende Schwellendruck bestimmt worden. Hierbei wird der Schallgeber (Telephon oder Thermophon) dicht an das Ohr gepreßt, und es wird der in dem so gebildeten Hohlraum an der Schwelle herrschende Druck gemessen, wodurch nicht nur der Einfluß des Kopfes ausgeschaltet ist, sondern für die tieferen Töne auch der Einfluß des Gehörganges.

Im Energiemaß würde man die Reizschwelle entsprechend definieren als diejenige sekundliche Energie (Schalleistung), die an der Grenze der Hörempfindung vom Trommelfell aufgenommen wird. Wir wollen diese Definition durch das Schlagwort charakterisieren: „Sekundliche Trommelfellenergie“. Da sicher zu sein scheint, daß das äußere Ohr und die Wände des Gehörganges merkliche Energiebeträge nicht absorbieren, kommt es auf das gleiche hinaus, ob man von der vom Trommelfell oder der vom Ohr aufgenommenen Energie spricht.

Zur Umrechnung der Druckwerte am Trommelfell auf die sekundlichen Trommelfellenergien benutzte man früher einfach die Beziehungen, die zwischen Druck und Energie in einer rein fortschreitenden Welle bestehen. Das ist nicht richtig. Vielmehr muß der Einfluß des (für verschiedene Töne verschiedenen) akustischen Widerstandes des Trommelfells mit in Rechnung gesetzt werden, wie wir in § 2 formelmäßig darlegen werden (Gleichung 4).

Ferner wurden vielfach die Schallfeldenergien und die Trommelfellenergien bzw. die entsprechenden Druckwerte nicht genügend auseinander gehalten, so daß Zahlen miteinander verglichen wurden, die gar nicht vergleichbar waren. Um aus den Wienschen Druckwerten die Trommelfellenergien zu erhalten, müssen zunächst unter Berücksichtigung der Schallstauung am Kopfe des Beobachters sowie der Impedanz des Trommelfells und der Resonanz des Gehörganges die Druckwerte im ungestörten Schallfeld auf die Druckwerte am Trommelfell umgerechnet werden. Diese Umrechnung bietet heute keine grundsätzlichen Schwierigkeiten mehr. Abb. 1³⁾ zeigt das Verhältnis der Druckwerte p_1 am Trommelfell zu den Druckwerten p im

²⁾ Es klingt zunächst ein wenig paradox, wenn gesagt wird, daß in die Wiensche Meßmethode und Definition der Einfluß des Kopfes mit eingeht, weil ja von Wien Werte angegeben werden, die gerade im freien Schallfeld herrschen würden. Es darf aber nicht vergessen werden, daß die Einstellung der Schallquelle, aus der die Schwellenwerte errechnet werden, erfolgt, während sich der Kopf (mit Ohr) im Schallfeld befindet. Könnte ein Ohr isoliert für sich ohne den Kopf in das Schallfeld gebracht werden, so würden sich andere Schwellenwerte als bei Wien ergeben; also wird in der Tat der Einfluß des Kopfes berücksichtigt und damit diejenige Definition der Reizschwelle gegeben, die sämtliche in Betracht kommenden Faktoren umfaßt.

³⁾ Entnommen aus: G. v. Békésy, Ann. d. Phys. [5] 14, S. 51; 1932.

ungestörten Schallfeld als Funktion der Tonhöhe. Für tiefere Frequenzen (starke Beugung am Kopfe des Beobachters, schlechte Anpassung des Trommelfells, fehlende Resonanz des Gehörganges) sind die beiden Druckwerte etwa gleich. Für höhere Frequenzen sind die Drücke am Trommelfell größer als die im ungestörten Schallfeld. Die der Berechnung zugrunde liegenden Impedanzwerte sind einer Arbeit von J. Tröger⁴⁾ entnommen. Die weitere Umrechnung der

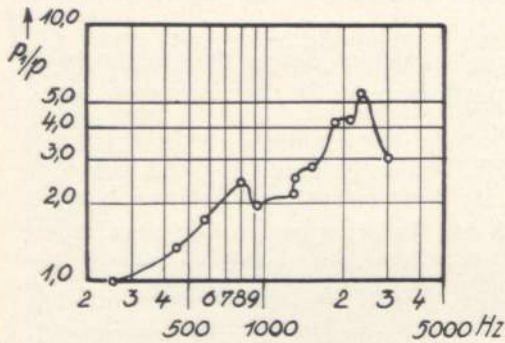


Abb. 1. Verhältnis Druck am Trommelfell zu Druck im Schallfeld als Funktion der Frequenz

Druckwerte am Trommelfell auf die Trommelfellenergien geschieht dann — wie schon erwähnt — nach Gleichung 4, wobei also die Trommelfellimpedanzen nochmals eine Rolle spielen.

Man könnte daran denken bei der Definition der Reizschwelle auch noch den Einfluß der schallfortleitenden Teile des Ohres zu eliminieren und die Reizschwelle zu definieren als die sekundlich den Nerven dargebotene Energie. Das wäre also die Schalleistung an der Stelle, an der die Umsetzung der Schalleistungen in Nervenerregung vor sich geht. Diese braucht mit der Schalleistung am Trommelfell nicht identisch zu sein; vielmehr könnte in verschiedenen Ohren sehr wohl ein verschiedener Energieverlust auf dem Wege bis zur Nervenerregung stattfinden. Die

Schalleistung am Orte der Nervenerregung ist aber meßtechnisch zur Zeit nicht faßbar, so daß die entsprechende Definition der Reizschwelle praktisch keinen Sinn hätte.

Dagegen könnte man noch an eine andere Definition der Reizschwelle denken, die zwar bisher nicht benutzt wird, die aber logisch einwandfrei und meßtechnisch faßbar ist, und die insofern besonders anschaulich ist, als hier auch die Frage nach der „dem Ohre dargebotenen“ Energie einen gewissen Sinn bekommt. Reizschwelle sei die am Trommelfell bestehende Energiedichte, bei deren Vorhandensein gerade eben eine Tonempfindung zustande kommt. Wir wollen diese Definition durch das Schlagwort charakterisieren: „Energiedichte am Trommelfell“. Es ist aber zu beachten, daß in die Umrechnung des Druckes am Trommelfell auf die Energiedichte wiederum die Impedanz des Trommelfells eingeht (Gleichung 7).

Wie wir gesehen haben, ist es ein ziemlich verwickeltes Problem, die Hörschwelle eindeutig und anschaulich festzulegen. Es sind verschiedene Definitionen möglich, die namentlich durch die verschiedenen Meßanordnungen nahegelegt werden; es ist nicht leicht, die verschiedenen Meßwerte aufeinander umzurechnen. Beim Auge liegen die Verhältnisse sehr viel einfacher als beim Ohr, und zwar aus folgenden Gründen: Wegen der Kleinheit der Lichtwellen gegenüber den Dimensionen schon des Auges allein spielt die Umgebung (Kopf) überhaupt keine Rolle. Ein Resonator (Gehörgang) ist dem Auge nicht vorgelagert. Reflexionen in der Pupillenebene (Trommelfellebene) bzw. an der Hornhaut finden nur in geringem Maße statt. Beugung am Pupillenrande dürfte zu vernachlässigen sein. Ein Energiestrom im freien Feld beim Licht wird also durch das Hineinbringen des Auges in das Feld kaum geändert, während ein Energiestrom im freien Feld beim Schall durch das Hineinbringen des Ohres stark geändert wird. Hierin liegt letzten Endes die Begründung dafür, daß im Fall Licht — Auge die Definition der Reizschwelle keine Schwierigkeiten macht, während im Fall Schall — Ohr sehr erhebliche Schwierigkeiten vorhanden sind.

§ 2. Formelmäßige Darstellung

Eine Schallwelle ist eine rein fortschreitende, eine rein stehende oder eine aus einem fortschreitenden und einem stehenden Anteil „gemischte“ Welle. Die (mittlere) sekundliche

⁴⁾ J. Tröger, Phys. Zeitschr. 31, S. 26; 1930.

Energie L pro cm^2 senkrecht zur Strahlrichtung oder, mit anderen Worten, der sekundliche Energiestrom oder die Schalleistung pro cm^2 in einer gemischten Welle ist allgemein:

$$L = u p \cos \varphi \quad (1)$$

wo p den Effektivwert des Schalldruckes, u den Effektivwert der Geschwindigkeit der Mediumteilchen (jetzt vielfach als Schallschnelle bezeichnet) und φ die Phasendifferenz zwischen Druck und Geschwindigkeit bedeutet. Wenn die Impedanz für eine Fläche von 1 cm^2 Größe, die senkrecht zur Strahlrichtung liegt, mit $z = w + i q$ bezeichnet wird, so ist definitionsmäßig

$$u^2 = \frac{p^2}{w^2 + q^2} \quad (2)$$

Ferner ist $p \cos \varphi = w u$. Setzen wir diese Werte in (1) ein, so ergibt sich:

$$L = \frac{w}{w^2 + q^2} p^2 \quad (3)$$

Wählt man als Maßeinheit für die Impedanz den Schallwiderstand der Luft $c \rho$ (c Schallgeschwindigkeit, ρ Dichte des Mediums) und bezeichnet die so gemessene Impedanz

$\frac{z}{c \rho} = \frac{w}{c \rho} + i \frac{q}{c \rho}$ mit $\bar{z} = \bar{w} + i \bar{q}$, so folgt

$$L = \frac{\bar{w}}{w^2 + q^2} \cdot \frac{p^2}{c \rho} = \bar{U} \cdot \frac{p^2}{c \rho} \quad (4)$$

Für eine rein fortschreitende Welle in Luft ist $\bar{w} = 1$ und $\bar{q} = 0$, so daß der sekundliche Energiestrom L_f in diesem Fall den bekannten Wert erhält.

$$L_f = \frac{p^2}{c \rho} \quad (4a)$$

Diese Beziehung wurde früher fälschlicherweise benutzt, um den Druck am Trommelfell auf Trommelfellenergie umzurechnen.

Für eine rein stehende Welle, die bei vollständiger Reflexion an irgendeiner Ebene zustande kommt, kann für diese Ebene $\bar{w} = 0$ und $\bar{q} = \infty$ angesetzt werden, so daß der sekundliche Energiestrom L_{st} in diesem Fall den Wert erhält:

$$L_{st} = 0 \quad (4b)$$

Ü nennen wir den „Übertragungsfaktor“. Er gibt das Verhältnis der von unserer Fläche wirklich aufgenommenen zu der maximal aufnehmbaren Energie an. Die letztgenannte ist gleich L_f .

Wenn die Fläche, auf die die Schallwelle auftrifft, nicht die Größe von 1 cm^2 , sondern die Größe F hat, so sind die rechten Seiten der Gleichungen für L noch mit F zu multiplizieren, um den Energiestrom durch die gesamte Fläche zu erhalten.

Die sekundliche Energie läßt sich auch noch anders ausdrücken als es in (3) und (4) geschieht, nämlich durch den Effektivwert p_e des Druckes der einfallenden Welle allein (nicht der gesamten Welle, die sich aus einfallender und reflektierter zusammensetzt) und durch den Absorptionskoeffizienten a der Fläche. Es ist gemäß der Definition des Absorptionskoeffizienten:

$$L = a \frac{p_e^2}{c \rho} \quad (5)$$

Ist der Absorptionskoeffizient $a = 1$, so heißt das, von der Gesamtenergie der auffallenden Welle wird nichts reflektiert. Die Gesamtwelle ist eine rein fortschreitende Welle. Demgemäß geht Gleichung (5) in (4a) über. Ist dagegen $a = 0$, so heißt das, die gesamte auffallende Energie wird reflektiert, die Gesamtwelle ist eine rein stehende Welle; Gleichung (5) geht in (4b) über. Abgesehen von diesen beiden Extremfällen müßte aber zur Berechnung von L sowohl a als auch p_e bekannt sein. Der Absorptionskoeffizient a steht in eindeutiger Beziehung zur Impedanz $\bar{z} = \bar{w} + i \bar{q}$, und zwar ist

$$a = \frac{4 \bar{w}}{(\bar{w} + 1)^2 + \bar{q}^2}$$

Aus w und q läßt sich also der Absorptionskoeffizient berechnen. Da aber noch p_e unbekannt ist, und es noch keine Methode zu seiner Messung gibt, hat die Definition von L mittels der Gleichung (5) wenig Wert. Man kann zwar mit Hilfe von \bar{w} und \bar{q} und durch Gleichsetzen der rechten Seiten von (4) und (5) aus dem p -Wert den p_e -Wert berechnen; würde man aber mit diesem p_e -Wert in (5) eingehen, so würde (5) natürlich in (4) übergehen.

Es ist vielleicht nicht uninteressant, ein Beispiel für eine Umrechnung von p auf p_e anzugeben. Für die Frequenz von 250 Hertz erhält man mit den von Tröger für diese Frequenz angegebenen w - und q -Werten eines Trommelfells die Beziehung $p_e = \frac{p}{1,9}$

Der zugehörige Absorptionskoeffizient a errechnet sich zu etwa 0,15, das heißt, der Reflexionskoeffizient des Trommelfells für diese Frequenz ist 0,85, also recht groß. Für vollkommene Reflexion wäre p_e genau gleich $\frac{p}{2}$, also dürfte die oben angegebene Beziehung recht gut stimmen. In dem vorliegenden Falle kann übrigens der Druck p am Trommelfell noch ungefähr gleich dem Druck der rein fortschreitenden Welle im ungestörten Schallfeld (Wien) gesetzt werden. Infolge der großen Wellenlänge findet eine merkliche Schallstauung am Kopfe nicht statt, so daß der Druck am Eingang des Gehörganges gleich dem Druck im ungestörten Schallfeld ist. Ferner muß der Druck p am Trommelfell praktisch gleich dem Druck am Gehörgang sein, da dessen Länge klein im Verhältnis zur Wellenlänge ist.

Übrigens ist durch a allein das akustische Verhalten der Fläche noch nicht vollkommen charakterisiert; vielmehr muß neben a noch der bei einer Reflexion auftretende Phasensprung ϑ gegeben sein, der mit den Komponenten \bar{w} und \bar{q} des akustischen Widerstandes in der Beziehung steht

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{2 \bar{q}}{\bar{w}^2 + \bar{q}^2 - 1}$$

Aus \bar{w} und \bar{q} läßt sich also der Absorptionskoeffizient a berechnen, während umgekehrt durch a allein \bar{w} und \bar{q} noch nicht festgelegt sind.

Die Energiedichte (mittlere Energie pro Kubikzentimeter) in einer „gemischten“ Schallwelle ist

$$E = \frac{1}{2} \rho u^2 + \frac{1}{2} \frac{p^2}{c^2 \rho} \quad (6)$$

Ersetzt man hierin u^2 nach Gleichung (2) und führt noch \bar{w} und \bar{q} ein, so folgt:

$$E = \frac{p^2}{2 c^2 \rho} \cdot \frac{\bar{w}^2 + \bar{q}^2 + 1}{\bar{w}^2 + \bar{q}^2} \quad (7)$$

Für eine rein fortschreitende Welle ($\bar{w} = 1$, $\bar{q} = 0$) wird

$$E_f = \frac{p^2}{c^2 \rho} = \frac{L_f}{c} \quad (7a)$$

und für eine rein stehende Welle

$$E_{st} = \frac{p^2}{2 c^2 \rho} \quad (7b)$$

Unsere Formeln (4) und (7) geben also die Möglichkeit, aus dem Druck am Trommelfell die Trommelfellenergie bzw. die Energiedichte am Trommelfell zu berechnen, vorausgesetzt, daß die Komponenten \bar{w} und \bar{q} der Trommelfellimpedanz bekannt sind. Wir sprechen immer kurz von der „Trommelfellimpedanz“. Damit ist die Impedanz des gesamten Schwingungsbildes gemeint, das aus dem Trommelfell und den dahinter liegenden Teilen des Ohres, soweit sie die Schwingungen des Trommelfells beeinflussen, besteht, wobei die Messung von der Seite des Trommelfells her zu erfolgen hat. Über die Umrechnung des Druckes im (ungestörten) Schallfeld auf den Druck am Trommelfell ist schon in § 1 das Nötige gesagt worden.

§ 3. Meßmethoden und Meßresultate

Es sind in der Hauptsache die zwei Fälle zu unterscheiden, daß sich der Schallgeber in einem gewissen Abstand vom Ohr des Beobachters befindet (Schallfeldmethode) oder daß er fest an das Ohr angedrückt wird (Schallgeber in Ohrlage). Im ersten Falle wird der „Druck im Schallfeld“, im zweiten Falle der „Druck am Trommelfell“ gemessen. Nach der zweiten Methode haben

namentlich verschiedene amerikanische Forscher⁵⁾ Schwellenwerte erhalten die — in der früher üblichen Weise auf Energiemaß umgerechnet — bis zu 2 und 3 und selbst 4 Zehnerpotenzen größer sind als die Schwellenwerte, die M. Wien⁶⁾ nach der Schallfeldmethode gefunden hat. Auf diese Unterschiede und ihre möglichen Ursachen wurde schon vor längerer Zeit hingewiesen⁷⁾. B. Langenbeck⁸⁾ kommt in einer ausführlichen Untersuchung und auf Grund umfangreicher eigener Messungen zu dem Schluß, daß die Abweichungen zwischen den Wienschen und den amerikanischen Resultaten durch die Verschiedenheit der Methoden bedingt seien, während im Gegensatz hierzu E. Meyer⁹⁾ „wesentliche systematische Unterschiede“ zwischen beiden Meßverfahren nicht feststellen konnte. Bisher ist es also noch nicht gelungen, die Unterschiede in den Resultaten der verschiedenen Autoren in befriedigender Weise zu erklären und eine Entscheidung darüber herbeizuführen, welche Meßwerte als endgültige angesehen werden dürfen. Auch bei grundsätzlich richtiger Umrechnung — gemäß den Angaben in § 1 und 2 — der Schallfeldwerte auf Trommelfellwerte und der Druckwerte auf Energiewerte bleiben sehr erhebliche Differenzen bestehen. Für eine auch in quantitativer Beziehung einwandfreie Umrechnung fehlt leider die Voraussetzung, nämlich die Kenntnis der Impedanzwerte sämtlicher untersuchter Ohren. Wir müssen deshalb bei der Umrechnung für die verschiedenen Ohren die Impedanzwerte einsetzen, die J. Tröger¹⁰⁾ für ein ganz bestimmtes Ohr gemessen hat. Die in neuerer Zeit gefundenen Zahlen liegen zum größten Teil zwischen den älteren amerikanischen und den Wienschen Zahlen.

Heisig und Waetzmann¹¹⁾ haben Reizschwellenmessungen nach einem Verfahren ausgeführt, das von den bisher genannten grundsätzlich verschieden ist. Bei diesem von Hahnemann und Hecht¹²⁾ angegebenen Verfahren wird die Trommelfellenergie unmittelbar gemessen, also nicht erst auf dem Umwege über den Druck am Trommelfell. Es werden hierbei Resonanztelefone (in Ohrlage) benutzt, deren akustischer Wirkungsgrad für die Resonanzfrequenz nach einem besonderen Verfahren bestimmt wird. Das Produkt aus dem akustischen Wirkungsgrad und der dem Telephon an der Schwelle zugeführten gesamten Leistung, die aus den Betriebsdaten berechnet wird, ist dann die vom Trommelfell aufgenommene Reizleistung. Die Heisig-Waetzmannschen Schwellenwerte sind — soweit hier überhaupt ein Vergleich möglich ist — um durchschnittlich 2 Zehnerpotenzen größer als die Wienschen. Zu beachten ist aber, daß bei den Resonanztelefonen Reizströme bis herab zu 10^{-10} Amp. vorkommen. Vielleicht wird die genaue Untersuchung der Methode und speziell des Verhaltens von Telefonen bei derartig kleinen Reizströmen Licht in die noch herrschende Wirrnis bringen.

Mit Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft werden im hiesigen Institut Untersuchungen über akustische Schwellenwerte durchgeführt. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde in neuerer Zeit vor allem nach der Methode „Schallgeber in Ohrlage“ und unter Benutzung des Thermophons als Tonquelle gearbeitet¹³⁾. Die eigentlichen Messungen wurden zum größten Teil von meinem Mitarbeiter Herrn W. Geffcken ausgeführt. In den

⁵⁾ Vgl. z. B. H. Fletcher und R. Wegel, Phys. Rev. 19, S. 553; 1922. — F. W. Kranz, Phys. Rev. 21, S. 573; 1923.

⁶⁾ M. Wien, a. a. O.

⁷⁾ E. Waetzmann, Phys. Zeitschr. 26, S. 740; 1925.

⁸⁾ B. Langenbeck, Pflügers Archiv 226, S. 11; 1930.

⁹⁾ E. Meyer, Zeitschr. f. Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde 27, S. 418; 1930.

¹⁰⁾ J. Tröger, a. a. O.

¹¹⁾ E. Waetzmann und H. Heisig, Ann. d. Phys. [5] 9, S. 921; 1931. — E. Waetzmann; Ann. d. Phys. [5] 10, S. 846; 1931.

¹²⁾ W. Hahnemann und H. Hecht, Ann. d. Phys. [4] 60, S. 454; 1919. Ebenda [4] 63, S. 56; 1920 und 70, S. 283; 1923.

¹³⁾ E. Waetzmann und W. Geffcken, Phys. Zeitschr. 34, S. 234; 1933. — W. Geffcken, Ann. d. Phys. [5] 19, S. 829; 1934. — W. Geffcken und L. Keibs, Ann. d. Phys. [5] 16, S. 404; 1933. — E. Franke, Ann. d. Phys. [5] 20, S. 780; 1934. — E. Waetzmann und L. Keibs, Ann. d. Phys. [5] 22, S. 247, 1935.

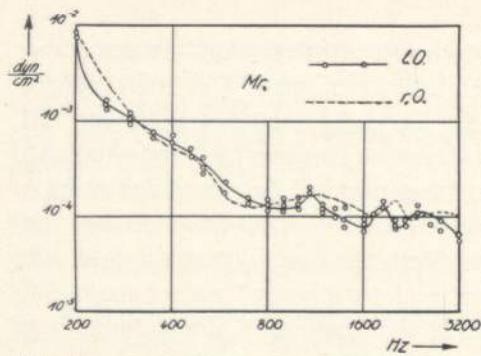


Abb. 2
Schwellendruckkurven, Versuchsperson Mr

Abb. 2—4 sind die Schwellendruckkurven je für die beiden Ohren der drei Versuchspersonen Mr., Kb. und Gr. angegeben.

Diese Personen waren im landläufigen Sinne „normal hörend“. Als Abszissen sind die Frequenzen in Hertz, als Ordinaten die Schwellendrucke (Effektivwerte) in dyn/cm^2 aufgetragen, beides in logarithmischem Maßstab. Die eingezeichneten Meßwerte beziehen sich sämtlich auf die linken Ohren, die zugehörigen Kurven sind ausgezogen. Die Kurven für die rechten Ohren, für die der Übersichtlichkeit halber Meßwerte nicht eingetragen sind, sind gestrichelt gezeichnet. Der Verlauf der Kurven für die beiden Ohren ein und derselben Versuchsperson ist durchaus ähnlich, wenn auch die Maxima und Minima in den unregelmäßigen Schwankungen mehr oder weniger ausgeprägt und mehr oder weniger stark gegen einander verschoben sind. Dagegen sind die Kurvenpaare von Person zu Person charakteristisch verschieden. Mit dieser Feststellung soll natürlich nicht behauptet werden, daß sich mit wachsender Zahl der Versuchspersonen nicht auch durchaus ähnliche Kurvenpaare für verschiedene Personen finden werden.

Für die Kurvenpaare der Abb. 5—7 liegen nur verhältnismäßig wenig Meßwerte vor, so daß die unregelmäßigen Schwankungen herausfallen. Bei jeder der drei Versuchspersonen Wtz_1 (Vater), Wtz_2 (Tochter) und Wtz_3 (Sohn), die im Alter von 50, 15 und 11 Jahren standen, sind die Kurven für die beiden Ohren wieder sehr ähnlich. Ferner fällt aber auf, daß auch die drei Kurvenpaare untereinander nicht mehr charakteristisch verschieden, sondern charakteristisch ähnlich sind. Man achte besonders auf die große Empfindlichkeit aller sechs Ohren in der Gegend zwischen 1600 und 3200 Hertz. Es ist nicht gut vorstellbar, daß diese auffallend starke Ähnlichkeit in den Schwellendruckkurven von Vater und Kindern ein bloßer Zufall sein sollte. Vielmehr dürfte hier Familienähnlichkeit im Gehörorgan vorliegen. Man sieht das vielleicht noch deutlicher

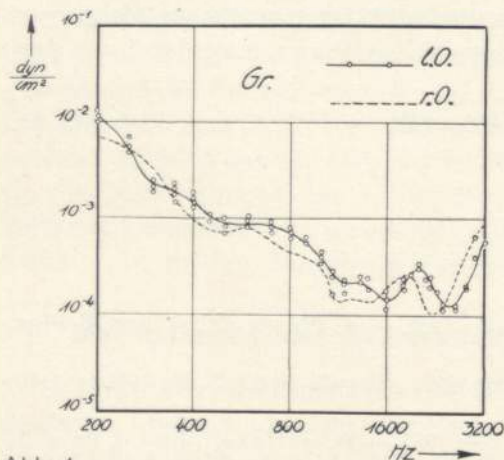


Abb. 4
Schwellendruckkurven, Versuchsperson Gr

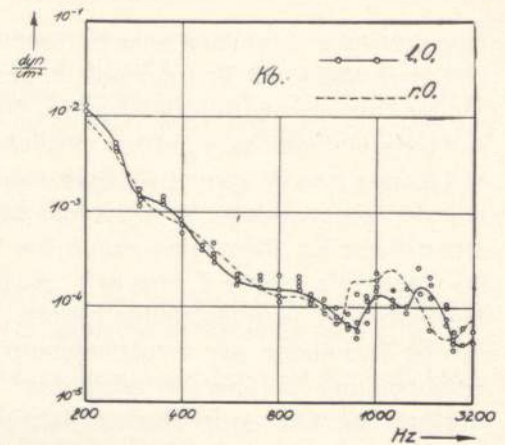


Abb. 3
Schwellendruckkurven, Versuchsperson Kb

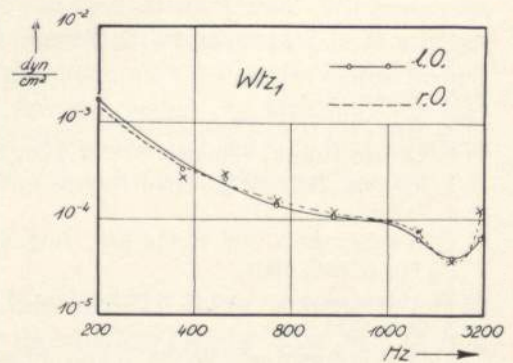


Abb. 5
Schwellendruckkurven, Versuchsperson Wtz_1

an Abb. 8. Hier sind die Meßwerte für alle sechs Ohren eingetragen, und es ist eine einzige Kurve hindurchgelegt. Die vollen Kreise deuten an, daß hier zwei Meßwerte genau zusammenfallen. Die Werte für alle sechs Ohren streuen nicht mehr als des öfteren die Meßwerte für ein und dasselbe Ohr streuen. Familienähnlichkeit beim Stimmorgan ist bekannt und ist auch nicht weiter verwunderlich. Wenn bei Verwandten die äußere Kopfform und der Gesichtsschnitt ähnlich sind, so würde es direkt auffallend sein, wenn nicht auch die Höhlungen im Kopf, die für die Klangfarbe der Stimme maßgebend sind, einander ähnlich wären. Wenn sich aber in weitgehendem Maße eine Familienähnlichkeit bei einem so fein gebauten Organ wie dem Gehörorgan zeigen sollte, so wäre das doch recht bemerkenswert. Somit ergibt sich aus der mitgeteilten Beobachtung die Aufgabe, in systematischer Weise vergleichende Messungen der Ohrempfindlichkeit bei Angehörigen der gleichen Familie vorzunehmen.

Die Schwellendruckkurve der Abb. 9 ist durch Mittelbildung aus vierzehn Einzelkurven entstanden. Es handelt sich um die vierzehn Ohren der vorstehend genannten sechs Versuchspersonen und einer siebenten Versuchsperson, Fra., für deren beide Ohren die Schwellendruckkurven bereits bei W. Geffcken¹⁴⁾ angegeben sind. Für jede Person ist der Mittelwert für die beiden Ohren gebildet und in Abb. 9 eingetragen, so daß bei jeder Frequenz sieben Meßwerte eingezeichnet sind. Ich möchte annehmen, daß man auch den Absolutwerten dieser Kurve weitgehend Vertrauen schenken darf. Für die hohen Frequenzen könnte sich allerdings schon die Resonanz der Druckkammer (Thermophon + Gehörgang) bemerkbar machen, die bei der Berechnung der Druckwerte noch nicht berücksichtigt ist. Resonanz würde eine Erhöhung der Druckwerte am Trommelfell bewirken.

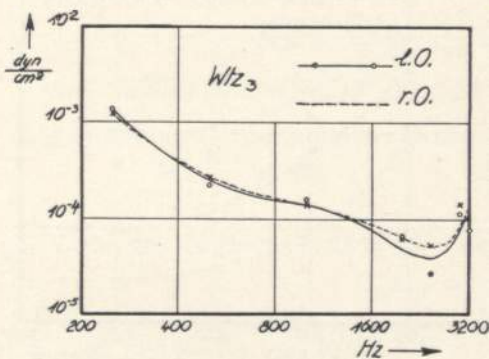


Abb. 7
Schwellendruckkurven, Versuchsperson Wtz_3

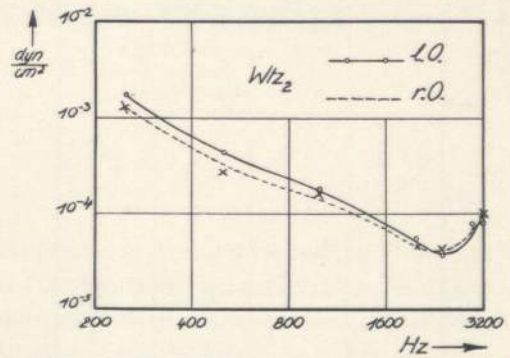


Abb. 6
Schwellendruckkurven, Versuchsperson Wtz_2

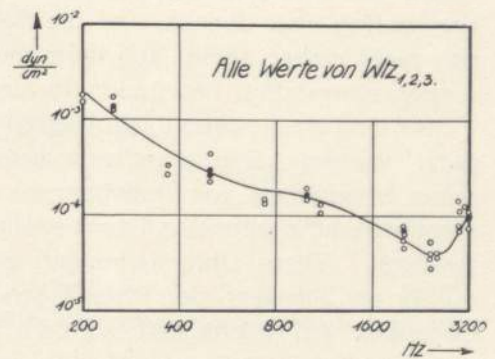


Abb. 8. Mittlere Schwellendruckkurve der drei Versuchspersonen Wtz_1 , Wtz_2 und Wtz_3

In Abb. 10 ist die ausgezogene die Breslauer Kurve, die gestrichelte eine der älteren amerikanischen¹⁵⁾ und die strichpunktierte Kurve ist die M. Wiensche Kurve, umgerechnet aus „Druck im Schallfeld“ auf „Druck am Trommelfell“. Um diese Umrechnung exakt durchführen zu können, müßten, wie schon erwähnt, die Trommelfellimpedanzen der von Wien untersuchten

¹⁴⁾ W. Geffcken, a. a. O.

¹⁵⁾ H. Fletcher und R. Wegel, a. a. O.

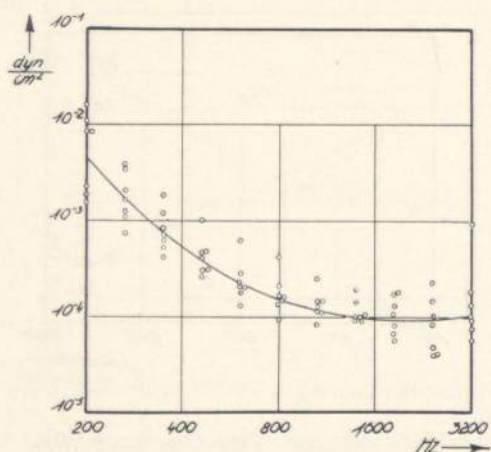


Abb. 9. Mittlere Schwellendruckkurve für vierzehn Ohren

Verhältnis 4,5:1. Das bedeutet im Energiemaß — gleiche Trommelfellimpedanzen vorausgesetzt — ein Verhältnis von etwa 20:1. Die amerikanische Kurve ist wie die Breslauer Kurve mit Schallgeber am Ohr gewonnen, soll also unmittelbar den Druck am Trommelfell angeben. Allerdings haben Fletcher und Wegel bei der Druckbestimmung die Nachgiebigkeit des Trommelfells nicht berücksichtigt. Bei einer entsprechenden Korrektur müßten nach einer Überschlagsrechnung die Druckwerte durchschnittlich etwa im Verhältnis 2,5:1 verkleinert werden. Die in Abb. 10 noch eingezeichneten Kreise markieren Schwellendruckwerte am Trommelfell, die Békésy¹⁶⁾ mit einer besonders durchsichtigen und originellen Versuchsanordnung bestimmt hat. Die mit Kreuzen bezeichneten — nicht korrigierten — Meßwerte stammen von Kingsbury¹⁷⁾, der ebenfalls mit Schallgeber in Ohrlage gemessen hat. Man könnte fast auf den Gedanken kommen, daß die Hörschärfe eines Teiles der amerikanischen Beobachter besonders gering war. Jedoch sind die Berechnungen nicht sicher genug, um derartige Vermutungen einwandfrei begründen zu können.

Wir sind im hiesigen Institut damit beschäftigt, weitere Reizschwellenuntersuchungen sowie Messungen von Impedanzen und Absorptionskoeffizienten von Trommelfellen durchzuführen. Diese Untersuchungen sind nicht nur für den Physiker, den Physiologen und den Ohrenarzt von Wichtigkeit, sondern auch für den Ingenieur. Beispielsweise ist zur wissenschaftlichen Durchdringung der Fernsprechtechnik mit und ohne Draht die genaue Kenntnis der Eigenschaften des Ohres unbedingt notwendig. Wir haben es hier also mit einem der besonders reizvollen Probleme zu tun, die nicht isoliert für sich stehen, sondern zahlreiche Gebiete des menschlichen Wissens und der Forschung miteinander verbinden.

Breslau, Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, Januar 1935.

¹⁶⁾ G. v. Békésy, Ann. d. Phys. [5] 13, S. 111; 1932.

¹⁷⁾ B. A. Kingsbury, Phys. Rev. 29, S. 588; 1927.

Ohren bekannt sein. Da dies nicht der Fall ist, wurden die von J. Tröger angegebenen Impedanzwerte zugrunde gelegt; es wurden also die Wienschen Druckwerte mit den aus Abb. 1 für die einzelnen Frequenzen entnommenen Zahlenwerten der Größe $\frac{p_1}{p}$ multipliziert. Darin liegt natürlich eine gewisse Willkür; der Sinn der ausgeführten Korrektur ist aber bestimmt richtig und auch an der Richtigkeit der Größenordnung der Korrektur dürfte kaum zu zweifeln sein. Die Breslauer Kurve nähert sich der M. Wienschen überraschend stark, und der Verlauf beider Kurven im logarithmischen Maßstab ist sehr ähnlich. Der Unterschied besteht im wesentlichen in einer Parallelverschiebung. Die Zahlenwerte der Schwellendrucke stehen durchschnittlich etwa im

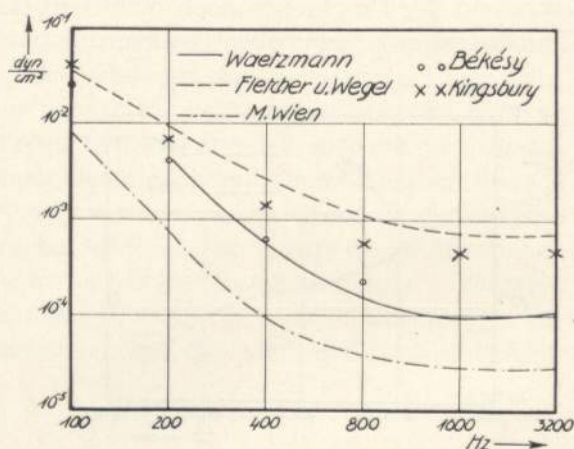


Abb. 10
Schwellendruckkurven verschiedener Autoren

Zur Berechnung der hydraulischen Wandler

Von Wilhelm Wagenbach in Darmstadt

I. Aufgabenstellung

Der hydraulische Umformer, der von Föttinger ursprünglich zur Untersetzung der Drehzahl zwischen der Dampfturbine und der Schraube von Turbinenschiffen geschaffen wurde¹⁾, gewinnt in allen Antrieben mit schwierigen Anlaufverhältnissen und insbesondere als stufenloses Schaltgetriebe in Diesellokomotiven und Automobilen neue Bedeutung. Als wertvoll erweist sich dabei die Möglichkeit, bei ausreichender Drehzahl auf kleinem Raum und mit kleinem Gewicht große Leistungen mit großem Anfahrmoment, gutem Wirkungsgrad und mit einem sich selbsttätig nach dem Bedarf regelnden Übersetzungsverhältnis übertragen zu können. Eine Reihe von Firmen beschäftigt sich mit der Entwicklung des „Wandlers“, der eine Verbindung des Föttingerschen Umformers mit einer hydraulischen Kupplung darstellt. Zum Anfahren und in der Steigung wird der Umformer, auf ebener Strecke die Kupplung eingeschaltet, und zwar erfolgt im allgemeinen das Einschalten durch Füllen des Getriebes mit Öl.

Bei der Anpassung des Föttingergetriebes an die neuen Aufgaben tritt eine Fülle neuer Fragen auf, die auf dem Gebiet der Materialauswahl, der Gestaltung und Herstellung und schließlich auch auf hydraulischem Gebiet liegen. Eine hydraulische Teilaufgabe sei hier herausgeschält und behandelt.

Der Meridianschnitt eines Umformers, die Aufteilung des Raums auf die einzelnen Räder und die Schaufelzahlen seien gegeben. Das Primärrad soll bei $n_p = 950$ eine Leistung von 30 PS, somit ein Drehmoment von $M_P = 22,6 \text{ mkg}$ aufnehmen und auf das $\psi = 2,4$ fache bei stoßfreier Gangart übersetzen.

Die günstigsten Schaufeln, die den geringsten Reibungsverlust verursachen, sollen ermittelt werden. Dabei sei die Entscheidung über folgende drei Punkte freigestellt:

1. Aufteilung des Drehmoments

$$M_P = \frac{Q\gamma}{g} (r_2 c_{u2} - r_8 c_{u8}) = \frac{c_{m1}' F_1' \gamma}{g} (r_2 c_{u2} - r_8 c_{u8}) \quad (1)$$

auf die Stromstärke $c_{m1}' F_1'$ und die Dralldifferenz,

2. Aufteilung des sekundären Drehmoments auf die beiden Laufräder

$$M_{S1} = \psi_1 M_P \quad M_{S2} = \psi_2 M_P \quad M_L = (\psi - 1) M_P \quad (2)$$
$$\psi_1 + \psi_2 = \psi$$

3. Wahl des Anfangsdralls δ_1 (vor dem Pumpenrad)

$$r_1 c_{u1} = r_8 c_{u8} = \delta_1 (r_2 c_{u2} - r_1 c_{u1}) \quad (3)$$

Um die Rechnung durchsichtig zu halten, wird mit den einfachen Vorstellungen der älteren Hydraulik gearbeitet, das heißt

1. statt der räumlichen Strömung sollen nur die Verhältnisse auf einem „mittleren Stromfaden“ betrachtet werden. Die mittlere Flutfläche ist durch die Bedingung bestimmt, daß sie den Flüssigkeitsstrom Q in zwei gleiche Hälften teilt,
2. die Reibungsverluste werden dem Quadrat der Relativgeschwindigkeiten proportional gesetzt,
3. die Wirbelverluste durch den „Stoß“ werden proportional den $\frac{c_s^2}{2g}$ gesetzt, wobei c_s die Stoßkomponente der Geschwindigkeit bedeutet.

¹⁾ Eine neue Lösung des Schiffsturbinenproblems, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 1910.

Der Versuch, durch Differentiation die optimalen Bedingungen zu ermitteln, führte auf sehr verwickelte Rechnungen, so daß schließlich nur der Weg frei blieb, eine Reihe von Vergleichsrechnungen durchzuführen.

Bevor die Rechnung begonnen wird, sollen zur Erhöhung der Übersichtlichkeit die verwendeten Bezeichnungen zusammengestellt werden.

II. Bezeichnungen

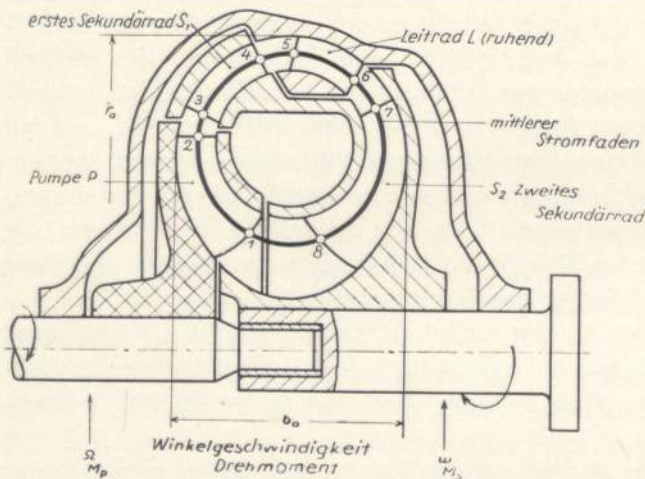


Abb. 1. Querschnitt durch den betrachteten Wandler

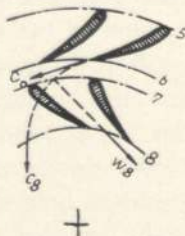


Abb. 2. Schematische Darstellung d. Schaufeln

Der betrachtete Umformer enthält ein Pumpenrad P , zwei Turbinenräder S_1 und S_2 und einen zwischen beide geschalteten Leitapparat L . Die Drehzahl wird ins Langsame übersetzt. (Abb. 1).

Die Geschwindigkeiten werden nach den Normen bezeichnet. Vergl. Abb. 2–4.

$c_{1,2} \dots s$ Die örtliche Lage einzelner Größen wird durch Indizes kenntlich gemacht.

Ω, U, W_u, W Die Geschwindigkeiten am Primärrad werden durch große Buchstaben hervorgehoben.

c_m' die ohne Berücksichtigung der Verengung berechnete Durchflußkomponente der Geschwindigkeit (Abb. 6).

$c_m = \frac{c_m'}{\varphi}$ die Durchflußkomponente mit Berücksichtigung der Verengung.

Für den Fall, daß die Durchflußgeschwindigkeit c_m' über den Querschnitt nicht konstant ist, wird mit dem c_m' auf dem mittleren Stromfaden gerechnet und ein Berechnungsquerschnitt F' eingeführt.

$$F' = \frac{Q}{c_m'}$$

$$1 - \varphi = \frac{s'}{t \sin \alpha} \text{ bzw. } = \frac{s'}{t \sin \beta} \text{ verhältnismäßige Verengung}$$

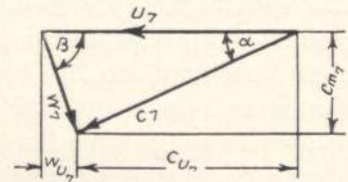


Abb. 3. Stoßfreier Eintritt im Punkt 7

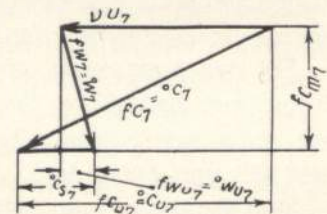


Abb. 4. Eintritt mit Stoß

$s' = \frac{s}{\cos \psi}$ scheinbare Schaufelstärke in der Flutfläche

$\cos \psi$ Cosinus des Neigungswinkels zwischen der Schaufelfläche und der Senkrechten auf der Flutfläche

Ω konstante Winkelgeschwindigkeit des Primärrades

$\omega = \frac{\Omega \epsilon_0}{\psi}$ sekundäre Winkelgeschwindigkeit beim Grundzustand

$\nu \omega$ sekundäre Winkelgeschwindigkeit bei beliebigem Betriebszustand
 γ spezifisches Gewicht der Arbeitsflüssigkeit (für Öl 950 kg/m³).

Unterschieden wird zwischen den Grundgrößen bei stoßfreiem Durchtritt und den Größen bei verändertem Betriebszustand.

$\cdot c_7$ Letzterer wird durch einen vorgesetzten Punkt gekennzeichnet.

$f = \frac{\cdot Q}{Q}$ Die Füllung f und

$\nu = \frac{\cdot n}{n}$ das Tourenverhältnis ν geben die verhältnismäßige Änderung der Stromstärke Q und der Winkelgeschwindigkeit ω bei veränderten Betriebsverhältnissen an (Abschnitt V)

$D = r c_u$ Drall für die Masseneinheit

$D_2 = r_2 c_{u2}$ Drall im Punkt 2 beim (stoßfreien) Grundzustand

$D_{28} = r_2 c_{u2} - r_8 c_{u8}$ Änderung des Dralls von Punkt 2 bis 8 beim Grundzustand

$\cdot D_{28}$ Änderung des Dralls bei beliebigem Betriebszustand

$\delta_1 = \frac{D_1}{D_{28}}$ verhältnismäßiger Drall beim Eintritt ins Pumpenrad

$H = \frac{\Omega}{g} D_{28}$ Energiegefälle in dem Primärrad

H entspricht dem Begriff $H_{th} = \frac{H}{\epsilon}$ bei Pumpen, ϵH bei Turbinen

h mittlere Belastung der Schaufelfläche durch den dynamischen Druck in m Flüssigkeitssäule

$- M_P, M_{S1}, M_{S2}, - M_L$ durch die Strömung auf die Schaufeln des Primärrades, des ersten und zweiten Sekundärrades und des Leitrades übertragene Drehmomente

$\mu_P = \frac{\cdot M_P}{M_P}$ Verhältnis eines Momentes bei beliebigem Betriebszustand zum primären Moment beim Grundzustand

$\mu_{S1} = \frac{\cdot M_{S1}}{M_P}; \mu_{S2} = \frac{\cdot M_{S2}}{M_P};$

$\psi_1 = \frac{M_{S1}}{M_P}; \psi_2 = \frac{M_{S2}}{M_P}$ Verhältnis der abgegebenen Drehmomente zum eingeleiteten Moment beim Grundzustand, also Übersetzung der Momente

$\psi = \psi_1 + \psi_2$ Gesamtübersetzung des eingeleiteten Momentes auf das abgegebene

L_P, L_S durch die Schaufeln übertragene primäre und sekundäre Nutzleistung

L_r Verlustleistung in dem Wandlerkreislauf

h_r, h_w Reibungsverlust, Wirbel-(Stoß-)verlust

λ Reibungsbeiwert in $h_r = \lambda \frac{l w^2}{4R 2g}$

σ Stoßbeiwert in $h_w = \sigma \frac{c_s^2}{2g}$

- F Querschnitt des Flüssigkeitsstroms
 U benetzter Umfang
 $R = \frac{F}{U}$ hydraulischer Radius
 Ok', Os' benetzte Oberfläche im Kranz und an den Schaufeln
 F_p meridionale Projektion der Schaufelfläche
 r_s Schwerpunktradius von F_p
 V_P, V_L, V_{S1}, V_{S2} Inhalt der von Schaufeln besetzten Teile der einzelnen Räder
 $(V = 2\pi r_s F_p)$
 z Schaufelzahl
 ϵ_0 hydraulischer Wirkungsgrad im Grundzustand
 ϵ hydraulischer Wirkungsgrad bei beliebigem Betriebszustand

Maßeinheiten stets: m, kg, s .

III. Hauptgleichungen

Das durch die Strömung auf die Schaufeln des Primärrades wirkende Drehmoment hat die Größe

$$-M_P = \frac{F_1' c_{m1}' \gamma}{g} (r_2 c_{u2} - r_8 c_{u8}) = \frac{Q \gamma H}{\Omega} \quad (4)$$

entsprechend ergibt sich für die übrigen Räder

$$\begin{aligned}
 +M_{S1} &= \frac{F_1' c_{m1}' \gamma}{g} (r_2 c_{u2} - r_4 c_{u4}) \\
 -M_L &= \frac{F_1' c_{m1}' \gamma}{g} (r_6 c_{u6} - r_4 c_{u4}) \\
 +M_{S2} &= \frac{F_1' c_{m1}' \gamma}{g} (r_6 c_{u6} - r_8 c_{u8}) \\
 \hline
 -M_P - M_L &= M_{S1} + M_{S2}
 \end{aligned}$$

Bei stoßfreiem Gang bleibt der Drall beim Durchgang durch den Spaltraum konstant:

$$r_8 c_{u8} = r_1 c_{u1} \text{ usw.}$$

Die Schaufelwinkel am Ein- und Austritt ergeben sich aus der Richtung der Geschwindigkeit:

$$W_{u1} = U_1 - c_{u1}; \quad c_{m1}' = \frac{Q}{F_1'}; \quad c_{m1} = \frac{c_{m1}'}{q_1} \quad \text{tg } \beta_1 = \frac{c_{m1}}{W_{u1}} \text{ usw.}$$

Da bei geometrisch ähnlichen Konstruktionen c_m und c_u mit rn wachsen, müssen beliebige

lineare Abmessungen r und b mit $\sqrt[5]{\frac{M}{n^2}}$ wachsen oder

$$r^5 = q^5 \frac{M}{n^2}; \quad b^5 = \beta^5 \frac{M}{n^2} \quad (5)$$

q und β sind dann Kenngrößen der betrachteten Wandlertype.

Für den später untersuchten Wandler (Abb. 1) haben wir zur Berechnung der Radien r_2, r_a und der Gesamtbreite b_a (Formel 2) gewählt

$$q_2 = 1,53 \quad q_a = 2,28 \quad \beta_a = 1,65$$

Im übrigen gibt die Tafel 1 Auskunft über die gewählten Abmessungen.

Die Wahl von q und β entscheidet weitgehend über die erreichbaren Wirkungsgrade und den Preis des Wandlers. Die unterste Grenze für die Abmessungen wird durch die Kavitationsgefahr bedingt, die mit wachsender spezifischer Belastung der Schaufelfläche immer größer wird.

Der spezifische Flächendruck ergibt sich aus

$$h = \frac{M}{z F_p r_s \gamma} \quad \text{oder} \quad h = \frac{2 \pi M}{z \gamma V} \quad (6a)$$

Der verhältnismäßige, auf H bezogene Flächendruck ist

$$h_1 = \frac{h}{H} = \frac{2 \pi M Q \gamma}{z \gamma V M_p \Omega} \quad \text{oder} \quad h_1 = \frac{2 \pi Q}{z \Omega} \frac{M}{V M_p} \quad (6b)$$

(M , z , V sind auf ein beliebiges Rad, Ω und M_p auf das Primärrad bezogen.) Gleicher spezifischer Flächendruck herrscht dann in allen Rädern, wenn $\frac{M}{z V}$ konstant oder

$$z_L V_L = (\psi - 1) z_P V_P; \quad z_{S1} V_{S1} = \psi_1 z_P V_P; \quad z_{S2} V_{S2} = \psi_2 z_P V_P \quad (7)$$

Um mit einem Wandler von gegebenen Hauptabmessungen bei gegebener Drehzahl eine möglichst große Leistung zu übertragen, wird man den gesamten Rotationshohlraum

$$V_P + V_L + V_{S1} + V_{S2} + \Sigma \text{ Spalträume}$$

so auf die einzelnen Räder verteilen, daß auf den Schaufelrückseiten durchweg der gleiche Druck herrscht.

Nach dieser Betrachtungsweise könnten die Spalträume überflüssig erscheinen. Auch sie sind jedoch nötig, um beim Arbeiten mit Stoß die Wirbelbildung zu mildern. Sie sollen nur nicht übertrieben groß gemacht werden. Der Bildung der Eintrittswirbel wird zweckmäßig durch Runden des Schaufelkopfes und Schärpen des Schaufelendes entgegengewirkt (Abb. 2).

Durch Erhöhen des Gesamtdrucks im Wandler kann man die Kavitationsgrenze höher rücken, muß dafür aber den Nachteil von Druckstopfbüchsen in den Kauf nehmen.

Wir fanden es zeitsparend, statt mit dem gegebenen Drehmoment und der ursprünglichen Drehzahl mit reduzierten Werten zu rechnen, die sich aus $M_{II} = \frac{M}{G^2}$ und $n_{II} = \frac{n}{G}$ ergeben, wo

$$G^2 = \frac{g M_p}{r_1 F'_1 \gamma} m^2/s^2 \quad \text{ist.} \quad (8)$$

Wir rechnen somit mit

$$M_{II} = \left[\frac{r_1 F'_1 \gamma}{g} \right] mkg \quad ; \quad n_{II} = n \sqrt{\frac{r_1 F'_1 \gamma}{g M_p}} \quad (17)$$

(Die Gleichungen sind nicht mehr dimensionsgerecht, die einzelnen Größen sind auch hier in m , kg , s einzusetzen.)

IV. Reibungsverluste bei stoßfreiem Gang

a) Der Rechnungsansatz. Es wird vorausgesetzt, daß die Reibungsverluste ähnlich

$$h_r = \lambda \frac{L}{4 R} \frac{w^2}{2 g} = \lambda \int \frac{U}{4 F} \frac{w^2}{2 g} dL \quad (9)$$

berechnet werden können. Die Wirbelverluste, wie sie infolge des Einflusses der Schaufeln unvermeidlich sind, sollen durch die Größe von λ mittelbar berücksichtigt werden. Statt der Verlusthöhe h_r werde die Reibungsleistung

$$L_r = Q \gamma h_r = F w \gamma h_r \quad (10)$$

eingeführt. Aus (9) und (10) ergibt sich

$$L_r = \frac{\lambda \gamma}{8 g} \int w^3 dO \quad , \quad \text{wo } dO = U dL$$

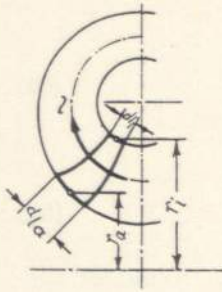


Abb. 5

die Oberfläche des durchflossenen Kanals darstellt. Diese Oberfläche trennen wir in Kranz- und Schaufelfläche, in $O = Ok' + Os'$ und ermitteln

$$dOk' = 2\pi (r_a dl_a + r_i dl_i) \quad \varphi = dOk \cdot \varphi \quad (11)$$

Der Faktor φ berücksichtigt die Verkleinerung der Rotationsfläche durch die Schaufeln. Die Schaufeloberfläche ergibt sich aus der meridionalen Schaufelprojektion F_p und deren Winkel $(90 - \alpha')$ gegen die wirkliche Schaufel.

$$dOs' = \frac{2z dF_p}{\sin \alpha'} = \frac{dOs}{\sin \alpha \cos \psi} \quad \text{bzw.} \quad = \frac{dOs}{\sin \beta \cos \psi} \quad (12)$$

Falls die Schaufel senkrecht auf der Flutfläche stünde, ist α' mit dem Schaufelwinkel α oder β identisch. Das ist praktisch nicht voll erreichbar, die Schaufel steht meist unter einem Winkel ψ gegen die Senkrechte zur Flutfläche geneigt; dann ist

$$\begin{aligned} \sin \alpha' &= \sin \alpha \cos \psi \quad \text{bei der Leitschaufel} \\ \sin \alpha' &= \sin \beta \cos \psi \quad \text{bei der Laufschaufel.} \end{aligned} \quad (13)$$

Da die Winkelabweichung ψ sich erst nach der endgültigen Schaufelkonstruktion bestimmen läßt und zudem klein gehalten werden kann, wird bei den folgenden Vergleichsrechnungen $\cos \psi = 1$ gesetzt.

Für den gesamten Kreislauf beträgt die Verlustleistung

$$\begin{aligned} L_r = \frac{\lambda \gamma}{8g} & \left[\int_8^1 w^3 dOk + \int_1^2 (W^3 \varphi dOk + \frac{W^4}{c_m} dOs) + \int_2^{2,5} W^3 dOk + \int_{2,5}^3 w^3 dOk \right. \\ & + \int_3^4 (w^3 \varphi dOk + \frac{w^4}{c_m} dOs) + \int_4^5 c^3 dOk + \int_5^6 (c^3 \varphi dOk + \frac{c^4}{c_m} dOs) \\ & \left. + \int_6^7 w^3 dOk + \int_7^8 (w^3 \varphi dOk + \frac{w^4}{c_m} dOs) \right] \quad (14) \end{aligned}$$

Die Bedeutung der Integrationsgrenzen ergibt sich aus der Abb. 1.

Um das Aufzeichnen von Vergleichsschaufelungen zu ersparen, wurde die Integration durch eine Mittelwertbildung ersetzt. Es wurde ein geradliniger Verlauf der w^3 bzw. $w^3 \varphi$ über Ok und der $\frac{w^4}{c_m}$ über Os angenommen. Trennt man nun noch die Verluste innerhalb der Schaufelräume und Spalträume in L_{r1} und L_{r2} , dann ergibt sich

$$\begin{aligned} L_{r1} = \frac{\lambda \gamma}{16g} & \left[Ok_{12} (\varphi_1 W_1^3 + \varphi_2 W_2^3) + Os_{12} \left(\frac{W_1^4}{c_{m1}} + \frac{W_2^4}{c_{m2}} \right) + Ok_{34} (\varphi_3 w_3^3 + \varphi_4 w_4^3) \right. \\ & + Os_{34} \left(\frac{w_3^4}{c_{m3}} + \frac{w_4^4}{c_{m4}} \right) + Ok_{56} (\varphi_5 c_5^3 + \varphi_6 c_6^3) + Os_{56} \left(\frac{c_5^4}{c_{m5}} + \frac{c_6^4}{c_{m6}} \right) \\ & \left. + Ok_{78} (\varphi_7 w_7^3 + \varphi_8 w_8^3) + Os_{78} \left(\frac{w_7^4}{c_{m7}} + \frac{w_8^4}{c_{m8}} \right) \right] \quad (15a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{r2} = \frac{\lambda \gamma}{16g} & \left[Ok_{81} (w_8^3 + w_1^3) + Ok_{23} (W_2^3 + w_3^3) + Ok_{45} (c_4^3 + c_5^3) \right. \\ & \left. + Ok_{67} (w_6^3 + w_7^3) \right] \quad \text{oder abgekürzt} \quad (15b) \end{aligned}$$

$$L_{r1} = \frac{\lambda \gamma}{16g} [\mathfrak{S}_1] \quad L_{r2} = \frac{\lambda \gamma}{16g} [\mathfrak{S}_2]$$

Der hydraulische Wirkungsgrad ist $\varepsilon_o = 1 - \frac{L_r}{L_p}$ oder

$$\varepsilon_o^{*/} = 100 - \frac{100 \lambda \gamma}{16g M_P \Omega} [\mathfrak{S}_1 + \mathfrak{S}_2] \quad (16)$$

²⁾ Nicht zu verwechseln mit dem Momentenübersetzungsverhältnis ψ'

b) Zahlenmäßige Bestimmung der Reibungsverluste

Die nun folgende Zahlenrechnung vereinfacht sich, wenn wir die hydraulische Berechnung statt für $M_P = 22,6 \text{ mkg}$ $n_P = 950$ nach der Gleich. 8 für

$$M_{II} = \frac{r_1 F'_1 \gamma}{g} 0,332 \text{ mkg} \quad n_{II} = n \sqrt{\frac{r_1 F'_1 \gamma}{g M_P}} = 115 \quad (17)$$

$$\Omega = \frac{\pi}{30} n_{II} = 12,03 \text{ s}^{-1} \quad \text{ausführen.}$$

Die Gleichung (1) vereinfacht sich dann zu

$$1 = c_{m1}' \left(\frac{r_2}{r_1} c_{u2} - \frac{r_8}{r_1} c_{u1} \right) \quad (1a)$$

Durch Multiplikation mit $U_1 = r_1 \Omega$ erhält man

$$\frac{U_1}{c_{m1}'} = gH \quad (1b)$$

In Verbindung mit (2) und (3) ergibt sich weiter

$$\begin{aligned} c_{u1} &= \frac{\delta_1}{c_{m1}'} & c_{u2} &= \frac{r_1 l + \delta_1}{r_2 c_{m1}'} & c_{u3} &= \frac{r_1 l + \delta_1}{r_3 c_{m1}'} & c_{u4} &= \frac{r_1 l + \delta_1 - \psi_1}{r_4 c_{m1}'} \\ c_{u5} &= \frac{r_1 l + \delta_1 - \psi_1}{r_5 c_{m1}'} & c_{u6} &= \frac{r_1 \delta_1 + \psi_2}{r_6 c_{m1}'} & c_{u7} &= \frac{r_1 \delta_1 + \psi_2}{r_7 c_{m1}'} & c_{u8} &= \frac{r_1 \delta_1}{r_8 c_{m1}'} \end{aligned} \quad (18)$$

Die Geschwindigkeiten, die in Gleichung (15) einzusetzen sind, ergeben sich aus

$$c^2 = c_u^2 + c_m^2 \quad w^2 = w_u^2 + c_m^2 \quad W^2 = W_u^2 + c_m^2 \quad (19)$$

$$w_u = u - c_u \quad W_u = U - c_u \quad U = r \Omega \quad u = r \omega = \Omega \frac{\varepsilon_1}{\psi}$$

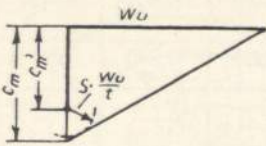


Abb. 6

ε_1 wird zunächst geschätzt, φ kann aus c_{m1}' , w_u , Schaufelzahl z und Schaufelstärke s graphisch bestimmt werden. (Abb. 6.) c_{m1}' wurde nach Annahme der c_{m1}' -Verteilung aus $2\pi r c_{m1}' db$ für die Punkte 1–8 graphisch ermittelt. Als Maß für das mit Q veränderliche c_{m1}' führen wir die fingierten Querschnitte $F' = \frac{Q}{c_{m1}'}$ ein.

Graphisch bestimmt wurden auch die Oberflächen der Kränze Ok und der Schaufelprojektionen Os . Die Tafel 1 gibt die Ausgangswerte für die anschließenden Rechnungen:

Tafel 1

Punkt	1	2	3	4	5	6	7	8	
r	0.1018	0.1857	0.2050	0.2540	0.2593	0.2369	0.2115	0.0970	
$\frac{r_1}{r_i}$	1.000	0.548	0.497	0.401	0.393	0.430	0.481	1.052	
$\Omega = 12,03 U$	1.225	2.235						1.168	
$100 F'$	3.356	3.887	4.230	4.941	5.050	4.660	4.273	3.356	
Schaufelzahl z	Pumpe $z = 14$		S_I $z = 18$		Leitrad $z = 18$		S_{II} $z = 14$		
$100 \frac{s}{t}$	8.78	4.80	5.60	4.62	4.42	4.83	4.21	9.16	
$100 O_k$	7.37	17.6	5.27	21.5	9.80	19.0	9.68	25.8	7.37
$100 O_s$		11.5		7.68		9.22		16.7	

Tafel 2

Gegeben :

$c_{m1}' = 0,54; \delta_1 = 0,60; \psi_1 = 1,40; \psi_2 = 1,00; \omega = \Omega \frac{\varepsilon_0}{\psi} = 12,03 \approx \frac{0,903}{2,40}$								
Punkt	1	2	3	4	5	6	7	8
U	0.461	—	0.928	1.150	—	1.072	0.958	0.439
c_u	1.111	1.624	1.471	0.148	0.145	1.274	1.425	1.168
W_u	0.114	0.609	—	—	—	—	—	—
w_u	-0.650	—	-0.543	+1.002	—	-0.202	-0.467	-0.729
c_m'	0.540	0.467	0.442	0.376	0.371	0.401	0.438	0.540
$100 w_u \frac{s}{t}$	1.010	2.920	3.120	4.450	0.640	6.160	2.020	6.820
c_m	0.592	0.505	0.484	0.427	0.388	0.467	0.466	0.608
c^2	1.586	—	—	0.205	0.172	1.840	—	—
W^2	0.364	0.626	—	—	—	—	—	—
w^2	0.775	—	0.530	1.188	—	0.259	0.435	0.900
φ	0.912	0.924	0.914	0.881	0.956	0.857	0.940	0.888
W^3	0.220	0.495	—	—	—	—	—	—
c^3	1.995	—	—	0.0926	0.0712	2.498	—	—
w^3	0.682	—	0.386	1.295	—	0.132	0.287	0.854
100 \mathfrak{B}_1					100 \mathfrak{B}_2			
Punkt	100 O_k	100 $O_k \varphi w^3$	100 O_s	100 $O_s \frac{W^4}{c_m}$	100 O_k	100 $O_k w^3$		
1	17.6	3.52	12.20	2.73	7.37	5.02		
2		8.04		9.47			5.27	2.61
3	21.5	7.56	7.55	4.38	9.80	2.03		
4		24.52		25.00			9.80	0.907
5	19.0	1.29	6.12	4.65	9.68	0.698		
6		40.62		44.45			9.68	1.28
7	25.8	6.96	16.55	6.72	7.37	2.78		
8		19.57		22.05			7.37	6.29
100 \mathfrak{B}		112.08		119.45		21.615		
<i>Ergebnis:</i> $\varepsilon_0 = 100 - 3,8 \Sigma \mathfrak{B} = 90,4 \%$								

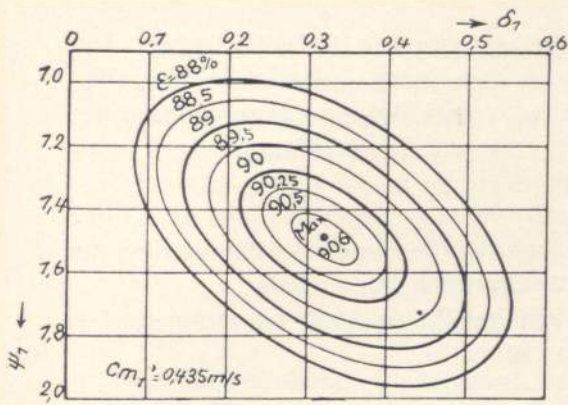


Abb. 7
Abb. 7—9. Linien gleichen Wirkungsgrades ϵ im δ_1 — ψ_1 —Feld (ϵ —Berg) bei jeweils konstanter Stromstärke und günstigstem Betriebszustand

$$\delta_1 = \frac{\text{Drall beim Eintritt in das Pumpenrad}}{\text{Dralländerung im Pumpenrad}}$$

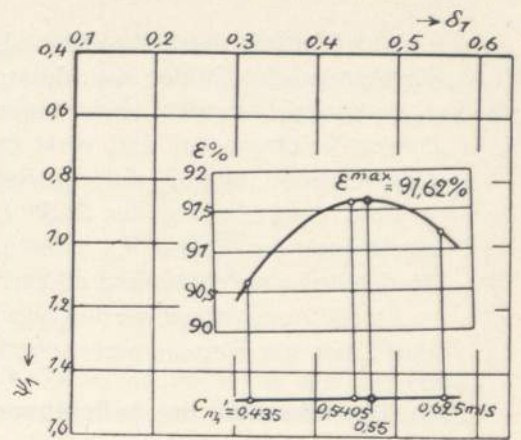


Abb. 10. Interpolieren von ϵ^{max} aus den Höchstwerten der ϵ —Berge in den Abb. 7—9

$$\psi_1 = \frac{\text{Drehmoment im ersten Sekundärrad}}{\text{Drehmoment des Pumpenrades}}$$

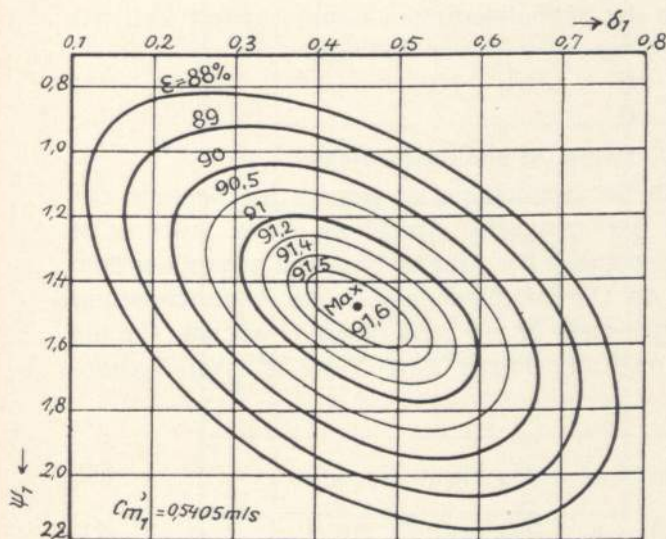


Abb. 8

Das Schema einer Durchrechnung zeigt die Tafel 2. Es wurde das Gebiet

$$c_{m1}' = 0,435 \text{ bis } 0,625 \text{ m/s} \quad \delta_1 = 0,17 \text{ bis } 0,8 \quad \psi_1 = 0,60 \text{ bis } 2,25 \text{ untersucht.}$$

Die mit $\lambda = 0,025$ errechneten Wirkungsgradberge sind in den Abb. 7—9 im δ_1 — ψ_1 Feld dargestellt.

Es ergeben sich in jedem Feld folgende Höchstwerte:

$\epsilon_o = 90,6$	bei	$c_{m1}' = 0,435$	$\delta_1 = 0,32$	$\psi_1 = 1,49$
$\epsilon_o = 91,6$		$c_{m1}' = 0,5405$	$\delta_1 = 0,45$	$\psi_1 = 1,48$
$\epsilon_o = 91,22$		$c_{m1}' = 0,625$	$\delta_1 = 0,56$	$\psi_1 = 1,475$

Abb. 10 gibt einen Schnitt durch die jeweils günstigsten Punkte, durch den interpoliert wird

$$\epsilon_o^{max} = 91,62 \quad c_{m1}' = 0,55 \quad \delta_1 = 0,470 \quad \psi_1 = 1,48$$

Es sei daran erinnert, daß diese ϵ_o nur Vergleichsziffern sein können, schon deshalb, weil die f der Gleichung (14) durch die grobe Mittelwertbildung in (15) ersetzt wurde.

Das Ergebnis zeigt, daß kleine Schaufelwinkel die Verluste rasch in die Höhe treiben. Das Abstimmen der Größen c_{m1}' , δ_1 und ψ_1 geschah immer in dem Sinne, daß allzuhohe w_u (W_u , c_u) abgebaut wurden. Eine Verstärkung des Umlaufs (c_{m1}') gestattet eine Verminderung des Dralls (Gleichung 1a) und wirkt daher so lange günstig, bis die Durchflußkomponente einen überragenden Einfluß auf die Reibungsgröße gewinnt.

Eine Vergrößerung der Stufenzahl (also der Radzahl) würde ermöglichen, die $\Delta r c_u$ und damit auch die c_u , w_u , W_u günstig zu beeinflussen, dagegen würde wegen der Vermehrung der Stoßstellen der Wirkungsgrad bei veränderter Sekundär-Drehzahl stärker fallen.

Es soll nun gezeigt werden, wie in verhältnismäßig einfacher Weise auch ein rechnerisches Bild über die Reguliereigenschaften gewonnen werden kann.

V. Der Wandler bei beliebigem Betriebszustand. Berücksichtigung der Stoßverluste

a) Der Rechnungsansatz. Wir betrachten einen Wandler, der nach dem vorigen Abschnitt für stoßfreien Gang durchgerechnet ist. Bei unveränderter Antriebsdrehzahl werde nun das Sekundärmoment und damit auch die sekundäre Drehzahl zwischen Stillstand und Leerlauf geändert. Wie ändern sich der Wirkungsgrad, die Momente und die Verteilung der Last auf die beiden Laufräder?

Es sollen drei Verlustgruppen unterschieden werden:

1. Der Reibungswiderstand h_{r1} innerhalb der schaufelerfüllten Räume ändert sich mit dem Quadrat der jeweiligen Füllung f

$$f = \frac{Q}{Q}$$

Q ist die jeweilige, Q die ursprüngliche Stromstärke bei stoßfreiem Gang.

2. Der Reibungswiderstand h_{r2} innerhalb der Spalträume ist wegen des Fehlens der Schaufeln und der Kürze des Wegs nur von geringer verhältnismäßiger Größe. Auch er ist proportional dem Quadrat der Relativgeschwindigkeit der Arbeitsflüssigkeit gegenüber dem Rad. Hier spielt aber neben der Änderung der Durchflußmenge auch die Tourenänderung des Sekundärrades eine Rolle, so daß h_{r2} nicht mehr genau proportional f^2 wächst. Um die Rechnung nicht zu sehr zu erschweren, muß von diesem Einfluß der relativen Tourenänderung $\nu = \frac{n}{n}$ abgesehen werden.

Wir ersetzen daher $g \cdot h_r = g (\cdot h_{r1} + \cdot h_{r2}) = f^2 g h_r$ (20) und errechnen

$$g h_r = (1 - \epsilon_0) \frac{U_1}{c_{m1}'} \left(\text{aus } 1 - \epsilon_0 = \frac{g h_r}{g H} \text{ und Gl. (1b)} \right). \quad (21)$$

3. Die Stoßverluste. Es möge die einfache Annahme gemacht werden, daß jeder Stoßkomponente c_s (Abb. 4) ein Verlust an Druckhöhe von $\sigma \frac{c_s^2}{2g}$ entspricht. Selbst wenn diese Annahme nur sehr bedingt zutrifft, ermöglicht sie eine bequeme rechnerische Behandlung. Der σ -Wert müßte an Hand von Versuchsergebnissen mit ganzen Wandlern festgestellt werden.

Zuverlässige Versuche über die Größe der Stoßverluste an Turbinen sind nicht bekannt. Nach der Zeunerschen Theorie beträgt $\sigma = 1$, aus Versuchen von Dr.-Ing. Bambach (Forschungsarbeit 327) über die Verluste in Kniestücken läßt sich auf einen Wert $\sigma = \frac{2}{3}$ schließen, mit dem unten auch gerechnet wird.

Wir setzen bis auf weiteres $\sigma = \frac{2}{3}$, also

$$g \cdot h_w = \frac{1}{3} \cdot c_s^2 \quad (22)$$

Wir drücken nun alle „jeweiligen“ Geschwindigkeiten durch die Faktoren f und ν und zugehörige Grundgeschwindigkeiten aus und setzen diese Werte in die Arbeitsgleichung ein.

Diese bildet dann eine Beziehung zwischen dem frei gewählten Tourenverhältnis ν und der von ihr abhängigen Füllung f , die nun berechnet und gemeinsam mit ν zur Berechnung der sekundären Momente $\cdot M_{S_1}$ und $\cdot M_{S_2}$, des primären Momentes $\cdot M_P$ und des Wirkungsgrades benutzt werden kann.

Aus Abb. 3 und 4 ist ersichtlich, daß folgende Beziehungen gelten:

$$\begin{aligned} \text{für die Sekundärräder} & \quad \cdot w = f w \quad \cdot w_u = f w_u \\ \text{ähnlich für das Primärrad} & \quad \cdot W = f W \quad \cdot W_u = f W_u \\ \text{für das Leitrad} & \quad \cdot c = f c \quad \cdot c_u = f c_u \end{aligned}$$

U (im Primärrad) ist konstant, dagegen $\cdot u = \nu u$. Die Stoßkomponente ist von der Form $c_{s7} = f(c_{u7} + w_{u7}) - \nu u_7$, falls, wie in Abb. 4, der Stoß zwischen einem stillstehenden Leitrad und dem darauffolgenden Sekundärrad stattfindet. Im allgemeinen Fall ist c_s aus der plötzlichen Änderung des Dralls beim Übergang von einem ins nächste Rad zu berechnen. So ergibt sich

Tafel 3

Punkt	Drall	Stoßkomponenten
8	$\cdot D_8 = r_8(\nu u_8 - f w_{u8})$	$\cdot c_{s1} = \frac{r_8}{r_1}(\nu u_8 - f w_{u8}) - U_1 + f W_{u1}$ $= U_1(1 - f) - \frac{r_8}{r_1}u_8(\nu - f)$
1	$\cdot D_1 = r_1(U_1 - f W_{u1})$	
2	$\cdot D_2 = r_2(U_2 - f W_{u2})$	$\cdot c_{s3} = \frac{r_2}{r_3}(U_2 - f W_{u2}) - \nu u_3 + f w_{u3}$ $= (\nu - f)u_3 + \frac{r_2}{r_3}(f - 1)U_2$
3	$\cdot D_3 = r_3(\nu u_3 - f w_{u3})$	
4	$\cdot D_4 = r_4(\nu u_4 - f w_{u4})$	$\cdot c_{s5} = \frac{r_4}{r_5}(\nu u_4 - f w_{u4}) - f c_{u5}$ $= (\nu - f)\frac{r_4}{r_5}u_4$
5	$\cdot D_5 = r_5 c_{u5} f$	
6	$\cdot D_6 = r_6 c_{u6} f$	$\cdot c_{s7} = \frac{r_6}{r_7}f c_{u6} - \nu u_7 + f w_{u7}$ $= (\nu - f)u_7$
7	$\cdot D_7 = r_7(\nu u_7 - f w_{u7})$	
1) Berücksichtigt, daß bei stoßfreiem Gang $r_8 c_{u8} = r_1 c_{u1}$ ist.		

Die Arbeitsgleichung bei stoßfreiem Gang lautet

$$\Omega D_{28} = (D_{24} + D_{68}) \omega + g h_r \quad (23)$$

sie geht bei beliebiger Drehzahl νn des Sekundärrades über in

$$\Omega \cdot D_{28} = (\cdot D_{24} + \cdot D_{68}) \nu \omega + g \cdot h_r + \frac{1}{3} \Sigma c_s^2 \quad (24)$$

Setzt man in die \cdot Glieder die Abhängigkeit von der Füllung f und dem Tourenverhältnis ν ein, dann ergibt sich eine Gleichung von der Form

$$(A_{11} + a_{11}) f^2 + 2(A_{12} + a_{12}) f \nu + (A_{22} + a_{22}) \nu^2 + 2(A_1 + a_1) f + 2(A_2 + a_2) \nu + (A_0 + a_0) = 0 \quad (25)$$

oder nach Division durch $(A_{11} + a_{11})$

$$f^2 + 2b_{12} f \nu + b_{22} \nu^2 + 2b_1 f + 2b_2 \nu + b_0 = 0 \quad (26)$$

Unter A sind die Beiwerte aus der ursprünglichen Arbeitsgleichung, unter a die von den Stoßgliedern herrührenden Beiwerte zusammengefaßt. Die Beiwerte A und a bedeuten:

$$\begin{aligned}
 A_{11} &= +g h_r \\
 3 a_{11} &= + U_1^2 + \left(\frac{r_2 U_3}{r_3}\right)^2 - 2 u_2 U_2 + u_3^2 + \left(\frac{r_4 u_4}{r_5}\right)^2 + u_7^2 + \left(\frac{r_8 u_8}{r_1}\right)^2 - 2 u_8 U_8 \\
 2 A_{12} &= - u_2 W_{u_2} + u_4 w_{u_4} + u_6 c_{u_6} + u_8 w_{u_8} \\
 6 a_{12} &= + 2 u_2 U_2 + 2 u_3^2 - 2 \left(\frac{r_4 u_4}{r_5}\right)^2 - 2 u_7^2 - 2 \left(\frac{r_8 u_8}{r_1}\right)^2 + 2 u_8 U_8 \\
 A_{22} &= - u_4^2 - u_8^2 \\
 3 a_{22} &= + u_3^2 + \left(\frac{r_4 u_4}{r_5}\right)^2 + u_7^2 + \left(\frac{r_8 u_8}{r_1}\right)^2 \\
 2 A_1 &= + U_2 W_{u_2} - U_8 w_{u_8} \\
 6 a_1 &= - 2 U_1^2 - 2 \left(\frac{r_2 U_2}{r_3}\right)^2 + 2 u_2 U_2 + 2 u_8 U_8 \\
 2 A_2 &= + u_2 U_2 + u_8 U_8 \\
 6 a_2 &= - 2 u_2 U_2 - 2 u_8 U_8 \\
 A_o &= - U_2^2 \\
 3 a_o &= + U_1^2 + \left(\frac{r_2 U_2}{r_3}\right)^2
 \end{aligned} \tag{27}$$

Die Gleichung (26) stellt eine Hyperbel dar, da die Determinante $1 \cdot b_{22} - b_{12}^2 < 0$ ist. Zur Ausrechnung von f bilde man

$$f = - (b_{12} \nu + b_1) + \sqrt{(b_{12} \nu + b_1)^2 - (b_{22} \nu^2 + 2 b_2 \nu + b_o)} \tag{28}$$

Mit den so erhaltenen f - ν -Werten (ν von 0 bis etwa 2,3) bilde man $f \cdot D_{28}$, $f \cdot D_{24}$, $f \cdot D_{68}$ und zur Kontrolle auch $(\cdot h_r + \cdot h_w)$

Die Momente ergeben sich aus

$$M_P = \frac{F_1 f c_{m1} \gamma}{g} \cdot D_{28} \text{ usw.}$$

Es sollen statt ihrer die Verhältniszahlen

$$\mu_P = \frac{f \cdot D_{28}}{D_{28}}, \quad \mu_{s1} = \frac{f \cdot D_{24}}{D_{28}}, \quad \mu_{s2} = \frac{f \cdot D_{68}}{D_{28}} \tag{29}$$

ferner

$$\mu_s = \mu_{s1} + \mu_{s2} \quad \mu_P + \mu_L = \mu_s \quad \text{gebildet werden.}$$

Der Wirkungsgrad ergibt sich aus

$$\varepsilon = \frac{\cdot D_{24} + \cdot D_{68}}{\cdot D_{28}} \frac{\nu \omega}{\Omega} \quad \text{oder} \quad \varepsilon = 1 - \frac{\sum g (\cdot h_r + \cdot h_w)}{\Omega \cdot D_{28}}$$

$$\text{Da } \frac{\omega}{\Omega} = \frac{\varepsilon_o}{\psi} \text{ ist} \quad \varepsilon = \frac{\mu_{s1} + \mu_{s2}}{\mu_P} \frac{\nu \varepsilon_o}{\psi} \tag{30}$$

b) Zahlenmäßige Bestimmung der wichtigsten Größen — f , μ_P , μ_{s1} , μ_{s2} , ε — bei veränderter Sekundärdrehzahl. Die Durchrechnung erfolgte für die drei den Abb. 7–9 entnommenen günstigen Fälle für $\nu = 1$

I.	$c_{mi}' = 0.435$	$\delta_1 = 0.30$	$\psi_1 = 1.48$	$\varepsilon_o = 90.6$
II.	$c_{mi}' = 0.5405$	$\delta_1 = 0.45$	$\psi_1 = 1.47$	$\varepsilon_o = 92.0^1)$
III.	$c_{mi}' = 0.625$	$\delta_1 = 0.55$	$\psi_1 = 1.46$	$\varepsilon_o = 91.2$

¹⁾ Die Steigerung von $\varepsilon_o = 91.6$ auf 92.0 ergab sich in zweiter Annäherung nach Korrektur der $\omega = \Omega \frac{\varepsilon_o}{\psi}$.
 Im übrigen deckt sich die Lage der Punkte nicht genau mit den nachträglich interpolierten Maxima der Abb. 7—9.

Die Durchrechnung ist für den Fall III den folgenden Tafeln 4—6 zu entnehmen, sämtliche Ergebnisse sind den Kurvenblättern Abb. 11—13 zu entnehmen.

Es ergibt sich, daß für die geringste Stromstärke (Fall I) sowohl das Anlaufmoment mit $\mu_s = 7,636$ als auch die Wirkungsgrade bei übersteigter Drehzahl die höchsten Werte erreichen.

	$\nu = 0$		$\nu = 2,0$	
I.	$\mu_s = 7.636$	$\mu_P = 1.332$	$\varepsilon = 48.3 \%$	$\mu_P = 0.750$
II.	$\mu_s = 6.915$	$\mu_P = 1.178$	$\varepsilon = 33.55 \%$	$\mu_P = 0.7815$
III.	$\mu_s = 6.644$	$\mu_P = 1.136$	$\varepsilon = 18.85 \%$	$\mu_P = 0.766$

Rechnet man die spezifische Drehzahl $n_q = n \sqrt{\frac{Q}{VH}}$ und $h_I = \frac{2\pi Q}{z\gamma V}$ nach, so ergibt sich für $\nu = 1$

	I	II	III
$n_q =$	35.5	46.4	55.8
im Pumpenrad $h_I =$	0.152	0.189	0.218
im ersten Sekundärrad . $h_I =$	0.136	0.169	0.196
im Leitrad $h_I =$	0.154	0.191	0.221
im zweiten Sekundärrad $h_I =$	0.103	0.128	0.148

Führt man derartige Rechnungen für Wandler durch, die man gleichzeitig auf dem Prüfstand untersuchen kann, dann kann man rückwärts die Voraussetzungen für die Rechnung noch etwas hinbiegen und mit der Wirklichkeit in bessere Übereinstimmung bringen. Es darf vermutet werden, daß die sekundären Antriebsmomente nicht ganz die berechnete Höhe erreichen, daß also der Beiwert σ für die Stoßverluste um so höher wird, je weiter man sich von $\nu = 1$ entfernt.

Selbstverständlich muß man dann auch auf die Lagerreibungsverluste, die Ventilations- und Spaltverluste eingehen, die hier zur Vereinfachung nicht berücksichtigt wurden.

VI. Zusammenfassung

Es wird ein Rechenverfahren dargestellt, mit dem es möglich ist, die Abhängigkeit der Betriebseigenschaften hydraulischer Wandler von den Konstruktionsgrundlagen vorzusehen, und mit dessen Hilfe optimale Baubedingungen ermittelt werden können. Die Rechnung zerfällt in zwei Abschnitte, nämlich die Ermittlung der Reibungsverluste bei stoßfreiem Gang nach den Gleichungen (15) bis (19) und die Bestimmung der Füllung, der übertragenen Drehmomente und des Wirkungsgrades bei beliebiger Gangart zwischen Leerlauf und Stillstand des Abgabenteils nach den Formeln (24) bis (30).

Tafel 4. **Der Wandler bei veränderlichen Sekundärdrehzahlen**

Geg. $c_{m1}' = 0,625$ $\delta_1 = 0,55$ $\psi_1 = 1,46$ $\psi_2 = 0,94$					vorläufige Annahme $\epsilon_0 = 91,2\%$			
wichtige Geschwindigkeiten								
Punkt	1	2	3	4	5	6	7	8
r	0.1018	0.1857	0.2050	0.2540	0.2593	0.2369	0.2115	0.0970
U	1.225	2.235						1.168
u		0.849	0.938	1.162		1.083	0.968	0.443
c_u		1.360		0.058		1.025		0.926
W_u		0.875						0.242
w_u				1.104				-0.483

Tafel 5. **Ermittlung der Beiwerte der quadratischen Gleichungen (25) und (26) nach dem Schema 27**

	A_{11}	$3a_{11}$	$2A_{12}$	$6a_{12}$	A_{22}	$3a_{22}$	$2A_1$	$6a_1$	$2A_2$	$6a_2$	A_0	$3a_0$
U_1^2	1.51	+1.51						-3.01				+1.51
$\left(\frac{r_2}{r_3} U_2\right)^2$	4.10	+4.10						-8.20				+4.10
$u_2 U_2$	1.90	-3.79		+3.79				+3.79	+1.90	-3.79		
U_2^2	5.00											-5.00
$U_2 W_{u2}$	1.96						+1.96					
$u_2 W_{u2}$	0.74		-0.74									
u_3^2	0.88	+0.88		-1.76		+0.88						
u_4^2	1.35				-1.35							
$\left(\frac{r_4}{r_5} u_4\right)^2$	1.29	+1.29		-2.59		+1.29						
$u_4 w_{u4}$	1.28		+1.28									
$u_6 c_{u6}$	1.11		+1.11									
u_7^2	0.94	+0.94		-1.87		+0.94						
$\left(\frac{r_8}{r_1} u_8\right)^2$	0.18	+0.18		-0.36		+0.18						
u_8^2	0.20				-0.20							
$u_8 w_{u8}$	-0.21		-0.21									
$u_8 U_8$	0.52	-1.04		+1.04				+1.04	+0.52	-1.04		
$U_8 w_{u8}$	-0.56						+0.56					
ghr	+0.17	0,17										
Summe	0.17	+4.07	+1.44	-1.75	-1.55	+3.29	+2.52	-6.38	+2.41	-4.83	-5.00	+5.61

Beiwerte

$A_{11} = +0.17$	$a_{11} = +1.36$	$A_{11} + a_{11} = +1.53$	$b_{11} = +1.00$
$2A_{12} = +1.44$	$2a_{11} = -0.58$	$2(A_{12} + a_{12}) = +0.86$	$2b_{12} = +0.56$
$A_{22} = -1.55$	$a_{22} = +1.10$	$A_{22} + a_{22} = -0.45$	$b_{22} = -0.29$
$2A_1 = +2.52$	$2a_1 = -2.13$	$2(A_1 + a_1) = +0.39$	$2b_1 = +0.26$
$2A_2 = +2.41$	$2a_2 = -1.61$	$2(A_2 + a_2) = +0.81$	$2b_2 = +0.53$
$A_0 = -5.00$	$a_0 = +1.87$	$A_0 + a_0 = -3.13$	$b_0 = -2.05$
Kontrolle = 0.00	= 0.00		

Berechnung der Stromstärke (Füllung f) im Wandlerkreislauf bei veränderter Sekundärgeschwindigkeit (Tourenverhältnis ν)

Tafel 6

$$f = - (b_{12} \nu + b_1) + \sqrt{(b_{12} \nu + b_1)^2 - (b_{22} \nu^2 + 2b_2 \nu + b_0)}$$

$$f = - \Delta_1 + \sqrt{\Delta_1^2 - \Delta_2}$$

ν	1.00	0.00	0.25	0.50	0.75	1.35	1.75	2.00	2.30
ν^2	1.00	0.00	0.063	0.25	0.563	1.823	3.063	4.000	5.290
$b_{12} \nu$	0.280	0.00	0.070	0.140	0.210	0.378	0.490	0.560	0.640
b_1	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128
Δ_1	0.408	0.128	0.198	0.268	0.338	0.506	0.618	0.688	0.768
Δ_1^2	0.167	0.016	0.039	0.072	0.114	0.256	0.382	0.474	0.591
$b_{22} \nu^2$	-0.295	-0.000	-0.018	-0.074	-0.166	-0.537	-0.902	-1.178	-1.557
b_0	-2.045	-2.045	-2.045	-2.045	-2.045	-2.045	-2.045	-2.045	-2.045
Σ	-2.340	-2.045	-2.063	-2.119	-2.211	-2.582	-2.948	-3.223	-3.602
$2b_2 \nu$	+0.527	0.000	0.132	0.263	0.395	0.711	0.921	1.053	1.211
$-\Delta_2$	1.813	2.045	1.932	1.855	1.816	1.871	2.026	2.170	2.391
Δ_1^2	0.167	0.016	0.039	0.072	0.114	0.256	0.382	0.473	0.591
Σ_{12}	1.980	2.061	1.971	1.927	1.930	2.127	2.408	2.643	2.982
$\sqrt{\Sigma_{12}}$	1.408	1.436	1.404	1.388	1.389	1.458	1.522	1.625	1.727
$-\Delta_1$	-0.408	-0.128	-0.198	-0.268	-0.338	-0.506	-0.618	-0.688	-0.768
f	1.000	1.308	1.206	1.120	1.051	0.952	0.934	0.937	0.959

Tafel 7

Berechnung der Momente und des Wirkungsgrades Formeln 29 – 30

$-\nu r_8 u_8$	-0.043	-0.000	-0.011	-0.022	-0.032	-0.058	-0.075	-0.086	-0.099
$f(r_8 w_{u8} - r_2 W_{u2})$	-0.209	-0.274	-0.253	-0.235	-0.220	-0.199	-0.116	-0.196	-0.201
Σ	-0.252	-0.274	-0.264	-0.256	-0.252	-0.257	-0.271	-0.282	-0.300
$r_2 U_2$	+0.415	0.415	0.415	0.415	0.415	0.415	0.415	0.415	0.415
$\cdot D_{28}$	0.163	0.141	0.151	0.159	0.163	0.158	0.144	0.133	0.115
$f \frac{\cdot D_{28}}{D_{28}} = \mu_P$	1.000	1.136	1.123	1.095	1.051	0.923	0.828	0.766	0.715
$r_2 U_2$	+0.415	0.415	0.415	0.415	0.415	0.415	0.415	0.415	0.415
$f(r_4 w_{u4} - r_2 W_{u2})$	+0.118	0.154	0.142	0.132	0.124	0.112	0.110	0.111	0.113
$-\nu r_4 u_4$	-0.295	-0.000	-0.074	-0.148	-0.221	-0.396	-0.516	-0.590	-0.678
$\cdot D_{24}$	0.238	0.569	0.483	0.400	0.318	0.131	+0.009	-0.065	-0.150
$f \frac{\cdot D_{24}}{D_2} = \mu_{s1}$	1.46	4.581	3.589	2.750	2.055	0.768	0.052	-0.372	-0.886
$f(r_6 c_{u6} - r_8 w_{u8})$	0.196	0.256	0.236	0.219	0.206	0.187	0.183	0.184	0.188
$-\nu r_8 u_8$	-0.043	-0.000	-0.011	-0.022	-0.032	-0.058	-0.075	-0.086	-0.099
$\cdot D_{68}$	0.153	0.256	0.225	0.198	0.174	0.129	0.108	0.098	0.089
$f \frac{\cdot D_{68}}{D_{28}} = \mu_{s2}$	0.94	2.063	1.671	1.364	1.124	0.752	0.620	0.562	0.526
μ_s	2.40	6.644	5.260	4.114	3.179	1.520	0.672	0.190	-0.360
$\epsilon_0 \frac{\mu_s r}{\mu_P \psi} = \epsilon$	91.2	0.0	44.5	71.5	86.2	83.9	53.95	18.85	-44.0
$\frac{\mu_s}{\mu_P} = \cdot \psi$	2.400	5.850	4.680	3.760	3.023	1.634	0.811	0.248	-0.504

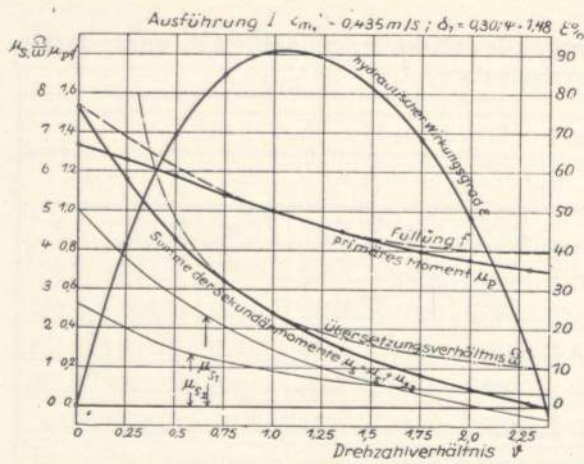


Abb. 11

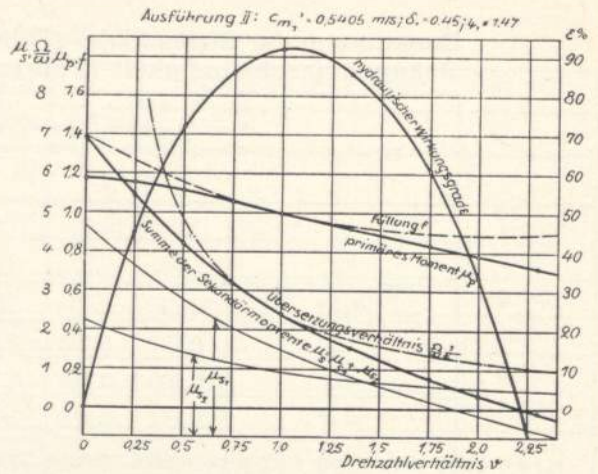


Abb. 12

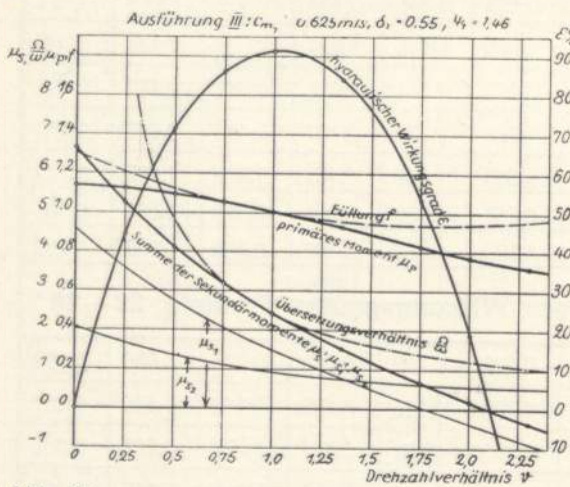


Abb. 13

Abb. 11—13. Die Wandler bei beliebigem Betriebszustand. Die Primärdrehzahl $n_p = 950$ wird konstant gehalten. Die Sekundärdrehzahl n_s ist veränderlich, sie beträgt bei stoßfreiem Gang, d. h. $v = 1$

$$n_s = \frac{950}{2,4} (\epsilon_{\max} 0,91) = 360$$

[Die strichpunktierten Linien stellen nicht $\frac{\Omega}{\omega}$, sondern $\frac{\Omega}{\omega} \frac{1}{\epsilon_{\max}}$ dar.]

Dargestellt ist der Verlauf des primären und sekundären Moments und die Verteilung des letzteren auf die beiden Räder, ferner der Wirkungsgradverlauf und die Änderung der Durchflußmenge (Füllung).

Beispielsweise wurde untersucht, wie für einen im Profil vorgeschriebenen Wandler der Wirkungsgrad von der Stromstärke der Arbeitsflüssigkeit, vom Ursprungdrall und von der Energieverteilung auf die beiden Sekundärräder abhängt. In den Abbildungen 7—10 wurde das Ergebnis in Form von Wirkungsgradbergen dargestellt. Darauf wurde für den günstigsten Punkt aus jedem der drei Felder das Betriebsverhalten des betreffenden Wandlers berechnet und die Ergebnisse in den Abbildungen 11—13 dargestellt.

Danach kann die Entscheidung getroffen werden, wie bei gegebenem Profil und gegebenen Bedingungen die Schaufeln zu bauen sind.

Mit der gleichen Rechnung können auch andere beim Entwerfen auftretende hydraulische Fragen, welche die Kenngrößen betreffen, beantwortet werden. In jedem Fall sind verhältnismäßig langwierige Vergleichsrechnungen notwendig. In der vorliegenden Studie soll ein Rechenverfahren gezeigt werden, das die vorzunehmende Arbeit nach Möglichkeit übersichtlich gestaltet und kürzt.

Diesellokomotiven unter Tage

Von Georg Wagener in Breslau

Mit der im Bergbau in den letzten Jahren erfolgten Zusammenfassung vieler einzelner Abbau- und Förderpunkte zu wenigen Hauptbetriebspunkten mit täglichen Fördermengen von 200 bis 500 t und darüber stiegen die Anforderungen an die Fördermittel unter Tage besonders in den Hauptstrecken mehr und mehr. Die Mechanisierung dieser für den Grubenbetrieb hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit ebenso wichtigen Förderung wie die Schachtförderung hat etwa um die Jahrhundertwende eingesetzt und die bis dahin für diesen Arbeitsgang verwendete menschliche und tierische Kraft fast völlig verdrängt. Während um 1900 auch die Hauptstreckenförderung noch in der Hauptsache auf dem Rücken der Grubenpferde ruhte, von denen z. B. im Ruhrgebiet 8400 unter Tage beschäftigt wurden, und nur langsam die Seil- und Kettenbahnen die Ablösung übernahmen, waren schon 1905 im gleichen Bezirk neben 149 Seil- und Kettenbahnen 48 Lokomotiven eingesetzt, von denen 32 mit Verbrennungsmotor (sog. Benzol-Loks) und eine mit Akkumulator versehen waren und 15 als Gleichstrom-Fahrdraht-Lokomotiven liefen. Bemerkenswert ist, daß die erste Benzol-Grubenlokomotive, von Deutz gebaut, bereits 1896 in Betrieb kam, und daß der Bergmann sich nicht scheute, den Verbrennungsmotor in erster Linie als Antriebsmittel für Grubenloks zu übernehmen, solange die elektrisch getriebenen noch in den Anfängen der Entwicklung steckten. Mit der raschen Entwicklung der Elektrotechnik und der gleichzeitigen der Druckluftlokomotiven änderte sich dieses Verhältnis. So wurden 1931 im Ruhrgebiet von der insgesamt gewonnenen Kohlenmenge 53 % mittels Fahrdraht, 28 % durch Druckluft, 10% mit Seilförderung in den Hauptstrecken befördert, während nur 9% auf die übrigen Arten (Akku-, Benzin-, Diesel-Lokomotiven, Bandfördermittel) entfielen.

Die erste Fahrdrahtlokomotive und, soweit sich ermitteln läßt, damit auch der erste Elektromotor im Bergbau, wurde im Jahre 1883 auf der Hohenzollerngrube in Oberschlesien in Betrieb genommen; sie hat nach langen Arbeitsjahren einen Ehrenplatz im Deutschen Museum in München erhalten. Es war nicht das erstmal, daß der oberschlesische Bergbau Pionierarbeit für die Entwicklung der Maschinenteknik geleistet hat, und es sei in diesem Zusammenhang an die Aufstellung einer der ersten Dampfmaschinen in Deutschland erinnert, die vor 147 Jahren in Tarnowitz als Wasserhaltungsmaschine für einen neuen Schacht gebaut wurde und von 1788 bis 1857 in Betrieb war.

Die Verteilung der Grubenlokomotiven auf die einzelnen Arten im oberschlesischen und niederschlesischen Bergbau zeigt endstehende Zahlenreihe. Die Hauptstreckenförderung verteilt sich demnach leistungsmäßig in Oberschlesien etwa zur Hälfte auf Lokomotiv- und auf Seilbahnförderung, wobei bei der ersteren die Fahrdraht-Loks 94 % ausmachen. (Von den Seilbahnen sind 83% elektrisch angetrieben.) Ganz anders liegen die Verhältnisse in Niederschlesien und es drücken sich hierin die anders gearteten Lagerungs- und Abbauverhältnisse aus. Es sind hier in der Hauptstreckenförderung zu etwa gleichen Teilen die Fahrdraht-, die Benzol-, die Diesellokomotiven und die Seilbahnen eingesetzt, wobei die größte Leistung in der Hauptstreckenförderung von den Dieselmotoren bestritten wird. Die guten Erfahrungen, die hier und in anderen Gruben mit dem Dieselmotor auf Grubenlokomotiven gemacht wurden, lassen es geraten erscheinen, ihn bei Neuanlagen und in allen den Fällen in engsten Wettbewerb einzubeziehen, in denen die Fahrdraht-Lokomotive aus sicherheitstechnischen Gründen oder aus Gründen schwieriger Leitungsverlegung, z. B. in druckhaftem Gebirge, nicht in Frage kommt. Besonders sprechen für ihn die geringen Betriebskosten, die durch seinen hohen Wirkungsgrad und den niedrigen Brennstoffpreis bedingt sind.

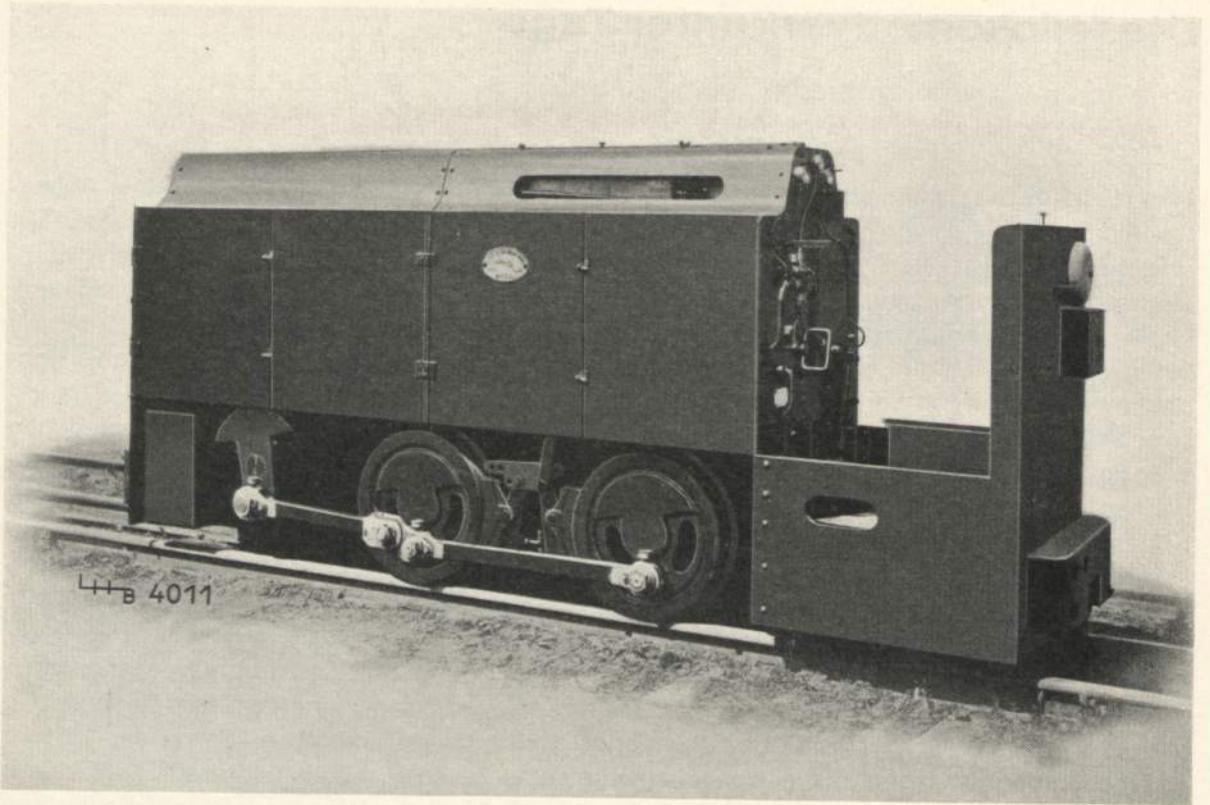


Abb. 1. Diesel-Grubenlokomotive der Linke-Hofmann-Busch-Werke A.-G. 50 PS; 10 t Dienstgewicht



Abb. 2. Diesel-Grubenlokomotive der Humboldt-Deutz-Motoren A.-G. 26 PS; 7 t Dienstgewicht

Als Bauart (Abb. 1 und 2) kommt für kleine Leistungen (15 bis 40 PS) ein liegender, langsamlaufender, kompressorloser Einzylinder-Vier- oder Zweitakt-Vorkammer-Motor mit Verdampfungskühlung in Frage, für größere (40—60 PS und darüber) ein stehender, raschlaufender, kompressorloser, 4- oder 6-Zylinder-Viertakt-Motor mit Druckeinspritzung und Umlaufkühlung. Der Antrieb erfolgt über ein 2- bis 4stufiges Wendegetriebe, bei dem die Zahnräder in ständigem Eingriff bleiben und der Gangwechsel über die zu jedem Gang gehörende Lamellen- oder Kegelkupplung vorgenommen wird. Daneben ist eine Drehzahländerung des Motors durch Beeinflussung des Reglers und damit des Brennstoff-Rückflußventiles an der Brennstoffpumpe in weiten Grenzen möglich. Um die Schlagwetter-Sicherheit des Motors nicht zu beeinträchtigen, erfolgt das Anlassen nicht elektrisch, sondern über einen Drehkolben- oder Zahnrad-Motor mittels Druckluft von 6—8 atü, die in Flaschen hochverdichtet mitgeführt, vom Motor oder einem Hilfsverdichter ergänzt wird und im Notfall der Gruben-Druckluftleitung entnommen werden kann.

Der Dieselmotor übertrifft den Vergasermotor, der mehr und mehr aus dem Grubenbetrieb verschwindet, auch hinsichtlich der Schlagwetter- und Feuersicherheit ganz erheblich, weil einmal der Flammpunkt des Diesel-Treiböls viel höher ist als der von leichtflüchtigen Brennstoffen wie Benzin oder Benzol, und weil zweitens die Arbeitsweise des Dieselmotors das Herausschlagen von zündfähigen Flammen am Einsaug- oder Auslaß-Stutzen unmöglich macht. Ist nämlich ein Ventil am Zylinder undicht, wodurch beim Benzinmotor Vergaser- oder Auspuffknaller entstehen können, so kann beim Dieselmotor gar keine Zündung eintreten, da nur bei dichtem Abschluß von Kolben und Ventilen die Kompression und die damit verbundene Erwärmung der im Zylinder befindlichen Luft so groß ist, daß der eingespritzte Brennstoff entzündet wird. Durch die am Auspuff angebrachten Sicherungen wie Kiesfilter, Wassereinspritzung oder Wasserverschluß und Plattenschutz werden die Abgase so weit abgekühlt, daß ihr Austritt keinerlei Zündgefährdung mehr aufweist (Abb. 3). Saugt der Motor mit der Luft explosive Grubenwetter an, so macht sich eine geringe Erhöhung der Drehzahl bemerkbar, ohne daß die Drucksteigerung im Zylinder unzulässig hoch wird. Ein etwas härteres Auspuffgeräusch wirkt in diesem Fall als Schlagwetteranzeiger. Die Diesellokomotive kann deshalb heute uneingeschränkt als schlagwettersicher angesehen werden. Die Aufsichtsbehörden im Bergbau werden sich nie ganz damit befreunden, brennbare Stoffe in größeren Mengen zusätzlich unter Tage zu lagern, wie es der Betrieb von Verbrennungsmotoren erfordert. Da die strengen Bestimmungen für Benzin (Gefahrenklasse I) aber auch für Dieselöl (Gefahrenklasse III) im Grubenbetrieb angewendet werden, müssen die Bedenken in dem gleichen Maß zurücktreten, wie die leichtflüchtigen Brennstoffe das Dieselöl an Feuergefährlichkeit und Verpuffungsgefahr übertreffen.

Auch die Verschlechterung der Grubenluft durch den etwaigen Gehalt der Abgase an unverbrannten Gasresten, insbesondere Kohlenoxyd, bleibt beim Dieselmotor weit hinter der beim Vergasermotor zurück. Der Gehalt an Kohlenoxyd beträgt im Auspuff eines Dieselmotors bei Vollast nie mehr als 0,1% und steigt auch bei Leerlauf kaum über 0,2 bis höchstens 0,4%, während der Vergasermotor bei Leerlauf infolge Luftmangels bis zu 10% Kohlenoxyd im Abgas aufweisen kann, was durch die Art der Regelung und den Unterschied im Verbrennungsvorgang bedingt ist. Die Schädlichkeitsgrenze liegt für Kohlenoxyd bei längerer Einwirkung bei einem Gehalt von 0,04% in der Atmungsluft. Hält man den zehnten Teil dieses Gehaltes, d. h. 0,004% Kohlenoxyd, für unbedingt unschädlich, so benötigt man im ungünstigsten Fall eine Wettermenge, die in m³/min etwa fünfmal so groß ist wie die Motorenleistung in PS. In einer von zwei Diesel-Loks von je 40 PS befahrenen Strecke wäre demnach eine Wettermenge von 400 m³/min erforderlich, damit der Gehalt an Kohlenoxyd in keinem Fall mehr als 0,004% beträgt. Zum Vergleich sei erwähnt, daß an verkehrsreichen Punkten Berlins ein Kohlenoxydgehalt von 0,027% zeitweise gemessen werden konnte.

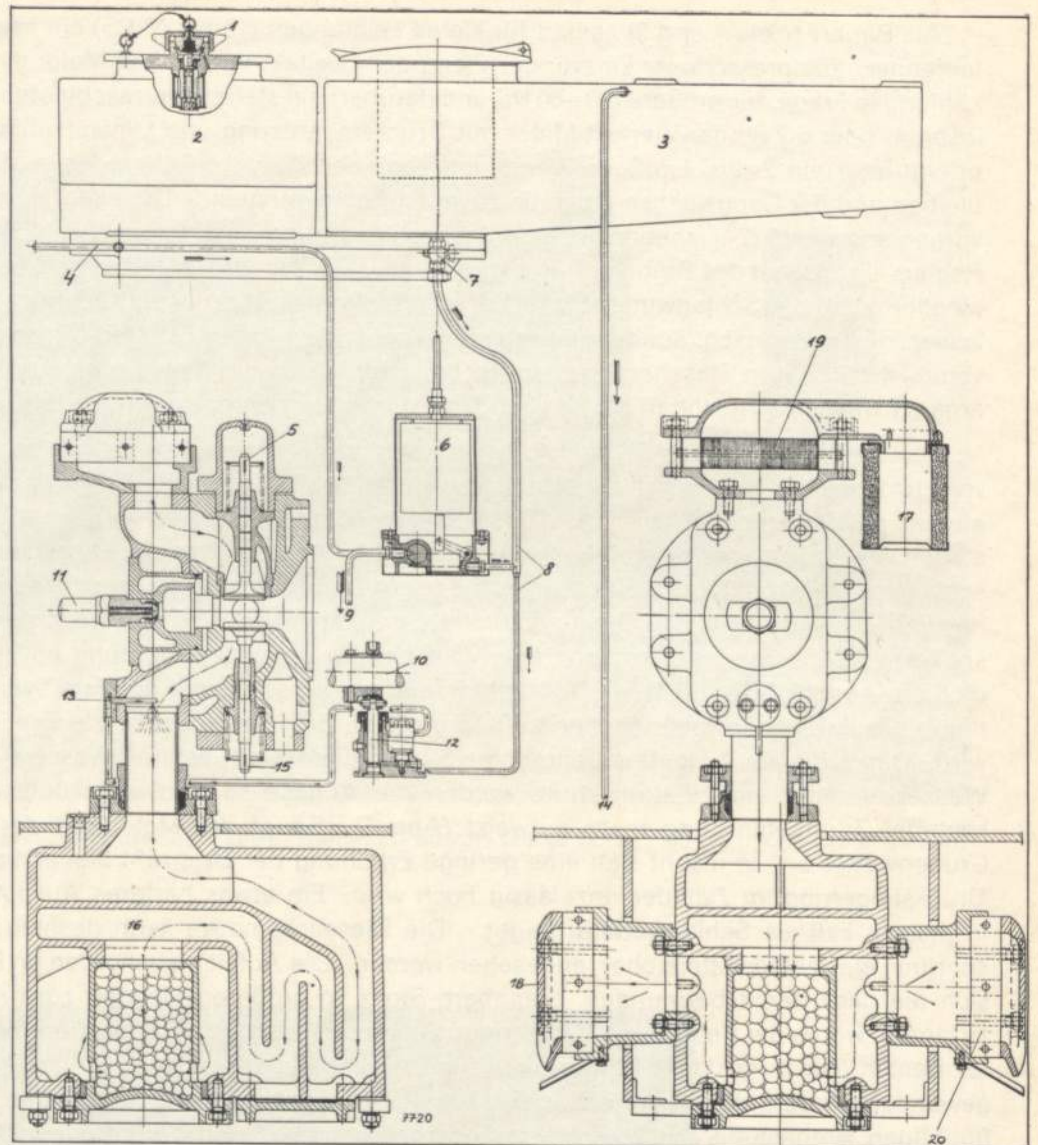
Die Geruchbelästigung, die der Diesel-Lok unter den Kumpels nicht ganz zu Unrecht die Bezeichnung „Stinkesel“ eingetragen hat, ist nicht ganz zu vermeiden, aber unschädlich. Durch

Abb. 3.

Sicherheitsvorrichtungen am Einlaß und Auspuff eines Dieselmotors für Grubenlokomotiven (Humboldt-Deutz-Motoren A.-G.)

Erläuterung:

- 1) Brennstoffbehälter
- 2) Kühlwasserbehälter
- 3) Sicherheitsfüllventil
- 4) Brennstoffleitung
- 5) Ansaugventil
- 6) Automatischer Brennstoffabstellapparat (Schwimmer)
- 7) Kontrollhahn
- 8) Kühlwasserleitung
- 9) Zur Brennstoffpumpe
- 10) Antriebsnocken auf der Kurbelwelle
- 11) Einspritzhauptventil
- 12) Kühlwassereinspritzpumpe
- 13) Wasserbrause
- 14) Kühlwasserüberlauf
- 15) Auspuffventil
- 16) Auspufftopf mit Kiestopf
- 17) Luftfilter
- 18) Schutzdeckel
- 19) Plattenschutz für die Ansaugleitung
- 20) Plattenschutz für die Auspuffleitung



sorgfältige Pflege, rechtzeitige Reinigung der Filter und sorgfältige Auswahl von Brennstoff und Schmiermitteln ist sie auf ein Geringstmaß zu beschränken.

Die Betriebskosten der Grubendiesel dürften in den meisten Fällen geringer sein als die anderer Bauarten, weil einmal ihr Anschaffungspreis, der etwa 500 RM je PS beträgt, unter Berücksichtigung der für Fahrdrabt- und Druckluftlokomotiven erforderlichen Leitungen und Nebenanlagen niedrig ist, und weil zweitens Brennstoffverbrauch und Brennstoffpreis gering sind. Der Dieselmotor arbeitet mit einer Brennstoffausnutzung von 30 bis 40%, bezogen auf die Nutzleistung an der Kurbelwelle, was einem Brennstoffverbrauch von 180 bis 200 g/PS/Std entspricht. Der stündliche Brennstoffbedarf einer 40-PS-Diesel-Lokomotive beträgt etwa 5 kg/Std Treiböl und 350 g/Std Schmieröl, woraus sich Brennstoff- und Schmiermittelkosten von 1,0 bis 1,5 Pf/Nutz-t-km ergeben. Die niedrigen Kosten haben den Dieselmotor in erster Linie in den Sattel der Grubenlokomotive gehoben, die praktische Bewährung läßt die Bedenken bei Behörde und Grubenverwaltung mehr und mehr zurücktreten. Die einzige Schwäche des Dieselmotors, nämlich daß er z. Zt. in der Hauptsache einen grubenfremden Brennstoff benötigt, muß durch die Umstellung auf Steinkohlen-Teeröl oder durch den Kohlenstaub-Dieselmotor beseitigt werden, an denen beiden z. Zt. noch, aber mit wachsendem Erfolg, gearbeitet wird.

Fördermittel unter Tage

Stand November 1934

Art:	Oberschlesien:		Niederschlesien:	
	Anzahl	Leistung PS	Anzahl	Leistung PS
1. Lokomotiven:				
Elektrische Fahrdrabt-	164	6 143	20	691
Akkumulator-	4	16	—	—
Druckluft-	—	—	—	—
Benzol-	24	360	36	570
Diesel-	2	46	21	726
2. Pferde	33	—	3	—
3. Andere:				
Seilbahnen	207	5 668	31	608
Kettenbahnen	115	1 413	23	323
Förderbänder	15	337	25	639
Schüttelrutschen	1 132	10 169	388	2 353
Bremsberg-Haspel	981	12 275	37	664
Strecken-Haspel	1 124	7 758	357	3 412

Die Talsperrenwirtschaft in Schlesien und ihre weitere Ausgestaltung

Von Artur Wechmann in Breslau

Die Oder und ihre Nebenflüsse sind wegen der eigenartigen meteorologischen Lage des Sudetenlandes Schlesien häufig verheerenden Hochwässern ausgesetzt. Die mittlere Jahresregenhöhe, die für Deutschland 660 mm beträgt, steigt im Riesengebirge bis 1380 mm. Von besonderem Einfluß auf die Wasserführung der Flüsse sind die meist im Sommer auftretenden ausgiebigen Regenfälle. Sie erreichten z. B. Ende Juli 1897 im Riesengebirge eine Stärke bis zu 239 mm in 24 Stunden und hatten ein außergewöhnlich großes Hochwasser in den linken, von den Sudeten her kommenden Nebenflüssen der Oder zur Folge; im Juli 1903, als das größte Hochwasser der Oder seit Bestehen der Oderstrombauverwaltung auftrat, wurden im Altwatergebirge Regenhöhen bis zu 240 mm innerhalb von 24 Stunden und von 318 mm innerhalb von 48 Stunden gemessen. Dort fielen damals innerhalb von zwölf Tagen 38% des mittleren Jahresniederschlags. Bei dem Hochwasser des Jahres 1930, das zu der ungewöhnlichen Zeit von Ende Oktober bis Anfang November auftrat, waren die Tagesniederschläge zwar nicht so stark, jedoch entwickelte sich ein sehr ausgedehntes Regengebiet mit 150 bis 200 mm in 70 Stunden, das sich in kaum verminderter Stärke sogar bis tief in das Flachland hinein erstreckte. Als erschwerend kam noch hinzu, daß der Sommer 1930 bereits sehr niederschlagsreich, der Boden also reichlich mit Feuchtigkeit durchtränkt war, so daß sich ein großer Abflußbeiwert ergab.

Die starken Niederschläge begünstigen in hohem Maße die Entwicklung großer Hochwässer. Tatsächlich sind auch ausnahmslos die größten Hochwässer auf Regenfälle zurückzuführen, während die Schneeschmelze von weniger gefährlichem Einfluß ist. Dies hat seinen Grund darin, daß das Tauwetter zunächst in dem in der Ebene liegenden Teil des Niederschlagsgebiets eintritt und dann ganz allmählich sich in immer höhere Lagen ausbreitet, so daß die Abflußzeit für das Schmelzwasser sich auf einen langen Zeitraum erstreckt. Gewöhnlich schmilzt der letzte Schnee in den höchsten Teilen des Gebirges erst in der ersten Maihälfte weg, wenn in der Ebene der Winter schon vergessen ist. Auch der ungewöhnlich harte und schneereiche Winter 1928/29 hat deshalb kein schädliches Hochwasser bei der Schneeschmelze zur Folge gehabt.

Aus der Tatsache, daß die größten Hochwässer eine Folge von Regenfällen sind, ergibt sich ohne weiteres, daß sie im Gegensatz zu den Schneeschmelzhochwässern in ganz unregelmäßiger Zeitfolge eintreten. Hierdurch wird die Bewirtschaftung des zur Verfügung stehenden Wasserschatzes außerordentlich erschwert. Dies ist um so bedauerlicher, als die starken Niederschläge eine erhebliche Abflußspende bedingen und dadurch der Unterschied der Abflußmengen bei Niedrigwasser und Hochwasser sehr bedeutend wird. In Gebirgstälern sind Abflußspenden bei Hochwässern von 3000 bis 4000 l/s. km² nicht selten, während sie bei Niedrigwasser auf 1 l/s. km² und noch weniger zurückgehen. Die Oder bei Breslau führt bei einem Niederschlagsgebiet von 21600 km² bei NNW. eine Wassermenge von 20 m³/s und bei HHW. von 2400 m³/s, das Verhältnis ist also 1 : 1200, und bei der Bartsch, einem ausgeprägten Flachlandfluß, schwankt die Abflußspende zwischen 0,3 und 75 l/s. km². Einen möglichst weitgehenden Ausgleich des Abflusses herbeizuführen, muß das Ziel einer planmäßigen Wasserwirtschaft sein. Die Anlage von Wasseraufspeicherungsräumen bildet hierfür ein ausgezeichnetes Mittel.

Die ersten Talsperren, die in Schlesien gebaut wurden (vgl. Abb. 1), dienten in erster Linie dem Hochwasserschutz. Unter dem Eindruck des verderbenbringenden Hochwassers vom Juli 1897, bei dem in einer einzigen Nacht auf der deutschen Seite des Gebirges Schäden in Höhe von 10 Millionen Mark entstanden, wurde ein großzügiger Plan zur Bekämpfung der Hochwassergefahren ausgearbeitet, dessen Ausführung 120 Millionen Mark erfordert hätte, eine

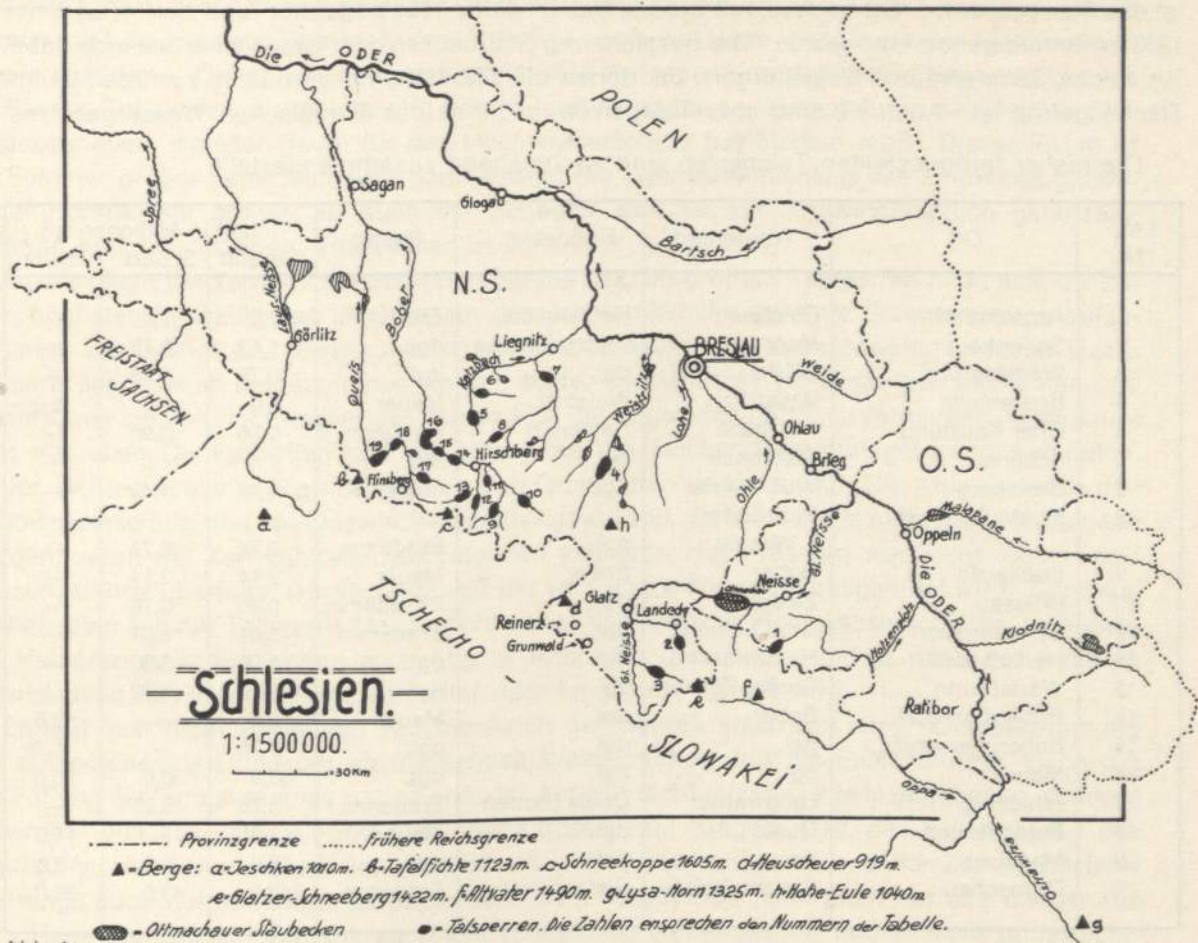


Abb. 1

Summe, die den damaligen gesetzgebenden Körperschaften so ungeheuerlich erschien, daß sie zunächst auf 85 Millionen zusammengestrichen wurde. Das „Gesetz betr. Maßnahmen zur Verhütung von Hochwassergefahren in der Provinz Schlesien“ vom 3. Juli 1900 (G.-S., S. 171), das sogenannte Hochwasserschutzgesetz, bewilligte jedoch schließlich nur 39 Millionen Mark. Die Anlage von Talsperren wurde im Gesetz ausdrücklich vorgesehen. Dabei lag der Gedanke nahe, das bei Hochwasser aufgespeicherte Wasser zur Erzeugung elektrischer Arbeit zu benutzen. Das Gesetz bestimmte daher, daß sowohl Talsperren, die allein dem Hochwasserschutz, als auch solche, die der Erzeugung von Arbeit, wie auch Talsperren, die beiden Zwecken dienen, erbaut werden könnten. Der eigentliche Zweck des Gesetzes wurde dadurch erweitert, allerdings auf Kosten des Hochwasserschutzes.

In neuerer Zeit ergab sich noch ein anderer Anlaß, Speicherräume vorzusehen. Die langdauernden Niedrigwasserstände der Oder bilden eine erhebliche Behinderung der Schifffahrt. Während die Schifffahrtssperre durch Frost mit einer gewissen Regelmäßigkeit eintritt, der Schifffahrtsbetrieb sich also danach einrichten kann, und Unterbrechungen durch Hochwasser nur kürzere Zeit dauern, ist das Eintreten einer Einschränkung oder sogar völligen Unterbrechung der Schifffahrt infolge zu geringer Fahrtiefen nach Eintrittszeit und Dauer gänzlich unberechenbar. Die Kanalisierung der Oder unterhalb der bereits kanalisierten Strecke von Cosel bis Ransern, 10 km unterhalb von Breslau, begegnet Schwierigkeiten wegen der Verwässerung des anliegenden Geländes. Wenn daher die Oderschifffahrt nicht gänzlich aussterben sollte, mußte Vorsorge für die Aufhöhung der niedrigen Wasserstände durch Abgabe von Zuschußwasser aus Sammelräumen getroffen werden. Die erste Talsperre, die vorzugsweise diesem Zwecke dienen soll,

ist das Staubecken bei Ottmachau, mit dessen Bau im Jahre 1926 begonnen und das im Sommer 1933 in Betrieb genommen wurde. Die Bezeichnung Staubecken oder Stauweiher hat sich dabei für solche Sammelräume eingebürgert, bei denen die Stauhöhe im Verhältnis zur überstauten Fläche gering ist. Auch sie sind aber Talsperren im Sinne des Preußischen Wassergesetzes.

Die bisher fertiggestellten Talsperren sind nachstehend zusammengestellt.

Lfd. Nr.	Ort	Wasserlauf	Flußgebiet	Bauart	Inhalt in Millionen m ³		
					Gesamt	Schutz	Nutz
1	Arnoldsdorf	Goldbach	Hotzenplotz	Erddamm	2,5	2,5	—
2	Seitenberg	Mohre	Glatzer Neisse	dgl.	1,13	1,13	—
3	Wölfelsgrund	Wölfel	dgl.	dgl.	0,78	0,78	—
4	Breitenhain	Weistritz	Weistritz	Mauer	8,0	2,0	6,0
5	Ober Kauffung	Katzbach	Katzbach	Erddamm	0,96	0,96	—
6	Schönau	Steinbach	dgl.	dgl.	1,6	1,6	—
7	Bremberg	Wüt. Neisse	dgl.	Mauer	4,42	4,42	—
8	Kl. Waltersdorf	Röhrdorfer Wasser	dgl.	Erddamm	0,74	0,74	—
9	Buchwald	Bober	Bober	Mauer	2,14	2,14	—
10	Grüssau	Zieder	dgl.	2 Erddämm.	0,70	0,70	—
11	Erdmannsdorf	Groß Lomnitz	dgl.	Erddamm	3,01	3,01	—
12	Herischdorf	Heidewasser	dgl.	dgl.	3,90	3,90	—
13	Warmbrunn	Großer Zacken	dgl.	dgl.	5,72	5,72	—
14	Boberröhrsdorf	Bober	dgl.	Mauer	0,5	—	0,5
15	Boberullersdorf	dgl.	dgl.	dgl.	1,75	—	1,75
16	Mauer	dgl.	dgl.	dgl.	50,0	30,0	20,0
17	Friedberg	Langwasser	Queis (Bober)	Erddamm	3,25	3,25	—
18	Goldentraum	Queis	dgl.	Mauer	11,0	—	11,0
19	Marklissa	dgl.	dgl.	dgl.	15,0	7,0	8,0
20	Ottmachau	Glatzer Neisse	Glatzer Neisse	Erddamm	143,0	43,0	95,0

Die Stauinhalte sind in der vorstehenden Zusammenstellung bei laufender Nummer 1 bis 19 bis zur Überlaufkante der Hochwasserentlastung gerechnet, bei dem Staubecken Ottmachau bis zum Höchststau, der 1,20 m über der Überlaufkrone liegt. Bei den Talsperren Mauer und Marklissa, bei denen je nach der Jahreszeit eine andere Nutzstauhöhe gehalten wird, sind die Stauräume in den Sommermonaten angegeben.

Je nach dem Zweck der Talsperren ist ihr Betrieb und damit die Bewirtschaftung des Wasserschatzes ein anderer. Dabei ergibt sich von vornherein die Schwierigkeit, daß bei Hochwasserschutzsperrren der Betrieb grundsätzlich anders sein muß als bei allen übrigen. Da, wie bereits erwähnt, schadenbringende Hochwässer in nicht voraussehender Folge eintreten, müssen die Schutzräume möglichst bald nach einem Hochwasser wieder entleert werden, damit sie für ein neu eintretendes Hochwasser frei sind. Daß dabei Wasser abgelassen werden muß, das sonst, sei es für Triebwerke, für landwirtschaftliche Bewässerung oder für die Schifffahrt, nicht benötigt wird, läßt sich nicht vermeiden. Namentlich die Erfahrung beim Hochwasser vom Oktober bis November 1930 hat aufs neue die Richtigkeit dieser Betriebsweise gelehrt. Damals sind im Bober dem großen Hochwasser drei kleinere Hochwasserwellen vorausgegangen, die zum Teil aufgespeichert wurden. Die Talsperre Mauer war bei Eintritt des großen Hochwassers daher bereits mehr gefüllt, als es im Interesse eines durchgreifenden Hochwasserschutzes wünschenswert gewesen wäre.

Die kleineren Stauweiher werden in der Weise betrieben, daß sie gewöhnlich leer sind und das Staugelände als Grünland benutzt werden kann. Bei einigen von ihnen war zunächst in Aussicht genommen den Betrieb selbsttätig ablaufen zu lassen, indem die Grundablässe und sonstigen Entnahmeverrichtungen keine Verschlüsse erhielten. Die Abflußmenge stellte sich

selbsttätig nach den Abmessungen der Öffnungen und der Stauhöhe ein. Er stellte sich jedoch heraus, daß es zweckmäßiger war, den Abfluß je nach der Höhe und Dauer des Hochwassers regeln zu können. Daher wurden noch nachträglich einfache Verschlussvorrichtungen eingebaut.

Bei den Talsperren, die gleichzeitig Schutz- und Nutzsperren sind, ist durch den Betriebsplan vorgeschrieben, welcher Raum für den Hochwasserschutz frei bleiben muß. Dieser Raum ist im Sommer größer bemessen, weil dann sowohl die Wahrscheinlichkeit des Eintretens gefährlicher Hochwässer größer, als auch der Schaden, den sie auf landwirtschaftlich genutztem Gelände anrichten können, erheblicher ist.

Leider reicht der vorhandene Stauraum gerade bei den größten Talsperren nicht aus, um bei dem höchsten beobachteten Hochwasser des Jahres 1897 die gesamte Schadenmenge aufzunehmen. Der Betrieb war daher zunächst so gedacht, daß nur bei außergewöhnlich hohen Hochwässern der Scheitel aufgenommen werden sollte, um derartige Verwüstungen in Städten und Dörfern, wie sie das Hochwasser des Jahres 1897 hervorgerufen hatte, zu vermeiden. Überhaupt geht aus allen Denkschriften und Berichten, die das Hochwasserschutzgesetz vorbereiteten, hervor, daß ausschließlich an den Schutz von Ortschaften gedacht war. Die Ansprüche an den Hochwasserschutz sind aber inzwischen größer geworden. Es würde jetzt nicht mehr verstanden werden, wenn bei den zahlreich auftretenden kleineren Hochwässern wertvolles Acker- und Wiesengelände überflutet würde, ohne daß der verfügbare Stauraum ausgenützt wird. Der neue Betriebsplan für die Talsperre Mauer sieht daher vor, daß der Hochwasserschutzraum bereits bei kleineren Anschwellungen vorsichtig in Anspruch genommen und je nach der weiteren Entwicklung des Hochwassers schneller oder langsamer gefüllt wird.

Es läßt sich nicht verhehlen, daß hierdurch der Betrieb erschwert wird. Die Bestimmung der zu speichernden und der abzulassenden Wassermenge und die Entscheidung, wann mit der Füllung des Schutzraumes zu beginnen ist, hängen nicht nur von jeweils gegebenen, sondern außerdem von zukünftig eintretenden Verhältnissen ab. Gegeben ist der Füllungsgrad des Stauraums, der Füllungsgrad des Wasserlaufs unterhalb der Sperre und der Zufluß, letzterer allerdings auch nur annäherungsweise; denn dem Staubecken fließt nicht nur das Wasser aus dem Hauptwasserlauf, sondern auch aus zahlreichen Nebenbächen und in nicht unbedeutlicher Menge auch unmittelbar von den Berghängen zu. Eine genaue Bestimmung des Zuflusses ist daher erst nachträglich aus dem leichter zu messenden Abfluß und dem Füllungsgrad des Stauraums möglich. Die voraussichtlich eintretenden Verhältnisse sind zu schätzen aus den Wasserstands- und Niederschlagsmessungen oberhalb und unterhalb der Sperre und der Wettervorhersage. Hieraus läßt sich die Schwierigkeit der richtigen Bedienung einer derartigen Talsperre und die Verantwortung, die der Betriebsleiter auf sich nehmen muß, beurteilen. Ist das Hochwasser vorüber, so ist es einfach, die Wassermengenkurve fein säuberlich aufzuzeichnen und nachträglich zu kritisieren, wie die Talsperre hätte bedient werden müssen, um den größtmöglichen Schutz herbeizuführen.

Die segensreichen Wirkungen der Schutzsperren haben sich bisher bei vielen Hochwässern gezeigt. Eine zeichnerische Darstellung des Einflusses der Talsperre Mauer beim Hochwasser 1930 gibt Abb. 2. Der größte Zufluß von 373 m³/s. wurde durch die kleineren Stauweiher auf 343 und durch die Talsperre weiter auf 282 m³/s herabgedrückt, trotz der bereits erwähnten vorangegangenen größeren Niederschläge, die eine teilweise Füllung des Stauraums bei Eintritt des Hochwassers bedingten. Durch die inzwischen in Kraft getretene neue Betriebsvorschrift wird erreicht, daß bei Ablauf eines gleichen Hochwassers wie 1930 ein Mehr an Stauraum von 7 Millionen m³ verfügbar ist, wodurch ein Überströmen des Hochwasserüberfalls vermieden und der Abfluß auf 250 m³/s vermindert werden kann.

Der Betrieb der Nutzsperren bietet zwar nicht so große Schwierigkeiten, erfordert aber ebenfalls einen sicheren Blick und gutes Verständnis für die wasserwirtschaftlichen Bedürfnisse aller Unterlieger. Es ist zwar verhältnismäßig leicht, den jeweiligen Bedarf an Abflußwasser zu bestimmen, jedoch schwierig, diesen Bedarf stets zu befriedigen. Es bedarf sorgfältigster

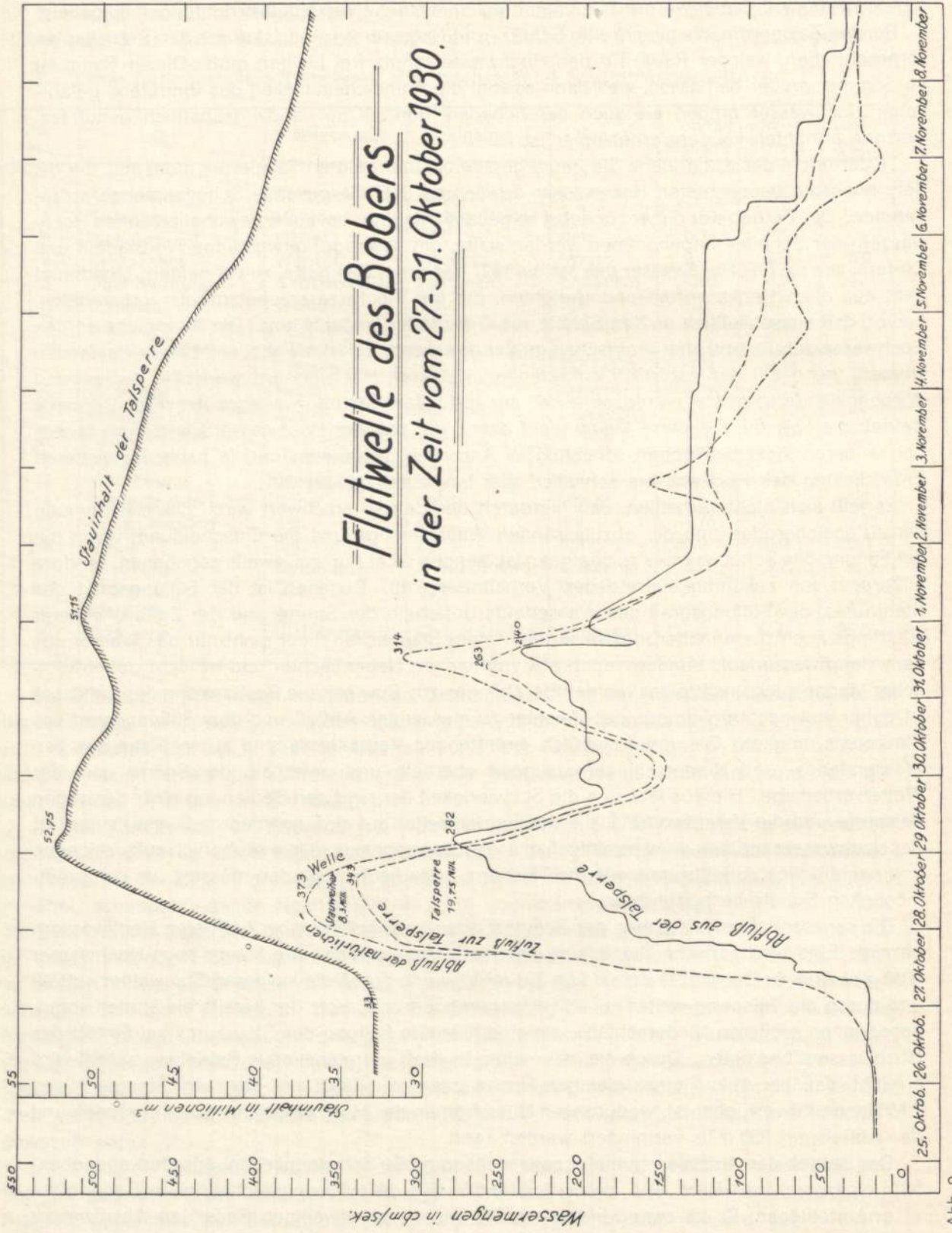


Abb. 2

Erwägung, ob je nach dem verfügbaren Stauinhalt der Bedarf auf kürzere Zeit voll oder für längere Zeit teilweise gedeckt werden soll. Bei den Talsperren, die der Erzeugung elektrischer Arbeit dienen, sind die Schwierigkeiten vom allgemein volkswirtschaftlichen Standpunkt aus gesehen geringer, weil sie stets mit Wärmekraftwerken zusammenarbeiten und die Versorgung der Bevölkerung mit Elektrizität auf jeden Fall gesichert ist. Die einzige Nutzsperre, die einem anderen Zweck, nämlich der Aufhöhung der niedrigen Wasserstände der Oder zur Förderung der Schifffahrt dient, ist vorläufig das Staubecken in Ottmachau. Ein Urteil über die Wirkung dieses Staubeckens abzugeben ist noch nicht möglich, weil seit seiner Inbetriebnahme eine ungewöhnliche Trockenheit herrschte, die eine Füllung des Beckens bis zu der zulässigen Grenze unmöglich machte, eine derartige Füllung in den ersten beiden Jahren, ehe die nötigen Erfahrungen vorliegen, auch nicht empfehlenswert gewesen wäre. Bisher wurde der Betrieb so gehandhabt, daß einzelne Wellen, öfters im Anschluß an natürliche Hochwasserwellen, abgegeben wurden, so daß den auf Fahrt befindlichen Schiffen die Möglichkeit gegeben war, ihr Ziel zu erreichen. Im Jahre 1934 wurde auf diese Weise trotz der ungünstigen Voraussetzungen eine Verlängerung der Schifffahrtsdauer um 30 Tage erzielt.

Die Regelung der Wasserwirtschaft unter Zuhilfenahme von Talsperren kann und darf in Schlesien nicht als abgeschlossen gelten. Sie bedarf der weiteren Ausgestaltung besonders nach drei Richtungen hin: nach der Anlage weiterer Sperren, nach der Verwendung des gesammelten Wassers und nach der Anpassung des Ausbaus der Wasserläufe an den Talsperrenbetrieb.

Schon die Tatsache, daß bei jedem großen Hochwasser an den Nebenflüssen der Oder umfangreiche Schäden auftreten, beweist, daß noch viel Arbeit zu leisten ist. Mehrere günstige Stellen für die Anlage von weiteren Schutzsperren sind bereits gefunden worden. Im Gebiet der Weistritz und Katzbach bedürfen dicht besiedelte Täler, wie z. B. das der Peile und der Schnellen Deichsa, eines durchgreifenden Schutzes, der durch Ausbau der Wasserläufe allein nicht zu erreichen ist. Es ist erforderlich, ganz planmäßig die gefährdeten Gebiete nach günstigen Staustellen zu durchforschen.

Für die Aufhöhung des Niedrigwassers der Oder genügt das Staubecken bei Ottmachau nicht, um die im Gesetz betr. die Oderwasserstraße vom 30. Juni 1913 vorgeschriebene Fahrwassertiefe von 1,40 m zu gewährleisten, die einen ständigen Verkehr von Schiffen mit mindestens dreiviertel Ladung von 500 Tonnen gestattet. Zwei weitere Staubecken in der Klodnitz bei Sersno und in der Malapane bei Turawa sind daher bereits im Bau und ein viertes in der Weistritz bei Borganie wird im Entwurf bearbeitet.

Ferner werden auf Veranlassung des Elbe-Oder-Kanal-Vereins e. V. in Görlitz die wasserwirtschaftlichen Vorarbeiten für zwei Becken unter der Oberleitung des Verfassers ausgeführt. Da die betreffenden Flußtäler — Queis und Lausitzer Neisse — einen zu geringen Stauraum bieten, wird die Möglichkeit untersucht, das überschüssige Wasser seitlich abzuleiten und in außerhalb der Flußtäler liegenden geeigneten Räumen zu sammeln. Auch wenn das Wasser, das zunächst zur Speisung des Kanals in Aussicht genommen ist, hierfür nicht Verwendung findet, haben die Sperren für die Abdrosselung des Hochwassers und für die landwirtschaftliche Bewässerung eine nicht zu unterschätzende Bedeutung.

Damit ist die Frage der Verwendung des aufgespeicherten Wassers angeschnitten. Das gesamte in Hochwasserschutzsperren angesammelte Wasser für irgendeinen Zweck nutzbringend zu verwenden, wird wegen des durch den Hochwasserschutz bedingten Betriebs dieser Sperren kaum jemals zu erreichen sein. Bei der Verwendung des Wassers aus Nutzsperren ist jedoch bisher die landwirtschaftliche Verwendung und die Wasserversorgung von Gemeinden und Industrie wenig berücksichtigt worden, soweit nicht durch die Vergleichmäßigung des Wasserabflusses, der durch die Talsperren erzielt wird, überhaupt alle Nutznießer am Wasser einen Vorteil haben. Und doch wird es erforderlich sein, gerade diesen Fragen erhöhte Aufmerksamkeit zuzuwenden. Elektrische Arbeit kann auch durch Wärme erzeugt werden,

und der Verkehr im Binnenlande ist nicht auf das Wasser angewiesen, sondern kann von der Eisenbahn aufgenommen werden. Für die Landwirtschaft und die Wasserversorgung jedoch gibt es keinen Ersatz, ein Grund, sie bevorzugt zu berücksichtigen. Daß die Landwirtschaft wegen ihrer überragenden volkswirtschaftlichen Bedeutung ganz besondere Fürsorge verdient, ist schon so oft hervorgehoben worden, daß es sich erübrigt, hierüber noch besondere Ausführungen zu machen; die Bereitstellung von Bewässerungswasser ist ein Mittel, diese Fürsorge zu beweisen.

Mit einer geregelten Talsperrenwirtschaft muß aber auch eine planmäßige Regelung der Wasserläufe Hand in Hand gehen. Durch Talsperren allein kann man die Hochwassergefahr in einem ganzen Flußgebiet nicht bannen. Sammelräume sind uns von der Natur nur in beschränktem Umfange zur Verfügung gestellt. Häufig sind da, wo die Geländegestaltung der Errichtung einer Sperre günstig wäre, sonstige Hindernisse vorhanden. Bald sind die Untergrundverhältnisse nicht einwandfrei, bald sind die Gebiete zu dicht besiedelt und bald — ist kein Wasser da. Durch Talsperren kann daher immer nur ein verhältnismäßig kleiner Teil des Niederschlagsgebietes eines Flusses erfaßt werden. Ihre Wirkung nimmt mit dem Größerwerden des Niederschlagsgebietes ab und hört an einem bestimmten Punkte des Wasserlaufs praktisch auf. Vor den in der Bevölkerung verbreiteten übertriebenen Erwartungen, die an Talsperren geknüpft werden, muß gewarnt werden. So große Speicherräume, daß alle Ausuferungen vermieden werden, lassen sich nicht schaffen. Oberhalb Breslau müßten z. B. Schutzzräume in einer Größe von 760 Millionen m³ angelegt werden, um diesen Zweck zu erreichen, was wohl als ausgeschlossen angesehen werden kann. Was aber erreicht werden muß, ist, daß die Abflußmenge aus den Talsperren unschädlich in einem geregelten und gepflegten, erforderlichenfalls eingedeichten Hochwasserbett abgeführt wird, in dem weder Ackerwirtschaft getrieben wird noch Gebäude errichtet werden. In mehreren Fällen, im besonderen in den Wasserlaufstrecken unmittelbar unterhalb der kleineren Stauweiher im Gebirge, ist dies bereits erreicht. In größerem Umfange sind die erforderlichen Ausbauarbeiten am Bober und Queis vorgesehen.

Auf dem Gebiete der Talsperrenwirtschaft und dem damit zusammenhängenden Ausbau der Wasserläufe bietet sich in Schlesien somit noch ein reiches Betätigungsfeld. Die aufzuwendende Arbeit trägt reiche Früchte, selbst wenn eine sogenannte Rentabilität nicht herauszurechnen ist, dienen doch die Arbeiten dazu, Hab und Gut zu schützen, den Ertrag des Bodens zu steigern, das Lebens- und Kulturelement Wasser richtig zu verteilen und damit den Volkswohlstand zu heben.

Das südliche Querhaus der Stiftskirche St. Peter zu Wimpfen im Tal

Ein Frühwerk Erwin von Steinbachs

Von Adolf Zeller in Breslau

Gelegentlich der Projektion einer Ansichtskarte des Südportales der Westseite des Straßburger Münsters fiel mir schon seit einigen Jahren die eigentümliche Übereinstimmung der obersten Gruppe des Tympanons: Christus als Weltrichter, mit den krönenden Figuren des Portales des südlichen Querschiffes in Wimpfen i. Tal: Christus und die beiden Engel mit den Leidenswerkzeugen auf.

Bevor ich nun diese Frage im einzelnen weiter untersuche, möchte ich etwas auf die Literatur über die Stiftskirche in Wimpfen eingehen, soweit sie die Bauplastik berührt. In meiner 1903 erschienenen Veröffentlichung: Die Stiftskirche St. Peter zu Wimpfen im Tal, Baugeschichte und Bauaufnahme, Grundsätze ihrer Wiederherstellung (Leipzig, Karl W. Hiersemann) lag es mir in erster Linie ob, eine erschöpfende Bauaufnahme zu bieten, um späterer Forschung den Weg zu bahnen. Die genannte Portalgruppe ist daher auch nur abgebildet im Zusammenhang mit dem übrigen plastischen Figureschmuck ohne eine Untersuchung der Verwandtschaft zu anderen Bauten der Epoche, zu der ich angesichts meiner damaligen dienstlichen Gebundenheit weder Zeit noch Mittel hätte aufwenden können. Inzwischen sind dann zwei speziell der Bauplastik von Wimpfen gewidmete Arbeiten erschienen: Die Dissertation von Feigel „Die Stiftskirche zu Wimpfen und ihr Skulpturenschmuck“ (Halle-Wittenberg 1907) und Else Schweitzer, „Die Stiftskirche zu Wimpfen im Tal, ihre gotische Bauentwicklung und ihr plastischer Schmuck“ (Heitz u. Mündel, Straßburg, Heft 267).

Feigel hat sich besonders mit der Ansicht Dehios auseinandergesetzt: „Die Wimpfener Fassade ist sichtlich einer der späteren Teile des Gebäudes, wohl schon von einem anderen Meister als dem, der den Chor baute, also nicht vor den achtziger Jahren, in welchen Erwin in Straßburg war“ (Dehio, die kirchliche Baukunst des Abendlandes, Bd. II, S. 296, Z. 10 v. o.). Feigel stellt dem entgegen, „daß die Stiftskirche ein Werk der Straßburger Bauhütte sei (S. 26), daß der Wimpfener Meister in einem sehr engen Verhältnisse zur Straßburger Hütte stand“ (S. 26) und „daß die ganze Ost- und Südwand schon früher (als 1280) und von einer Hand sei“ (S. 28).

Die von mir im nachstehenden näher zu behandelnden Portalkrönungen werden von Feigel nur ganz allgemein berührt, jedenfalls kein Vergleich mit dem Tympanon des Südportales in Straßburg gezogen, worauf es mir jetzt in erster Linie ankommt.

Bezüglich des tubablasenden Engels glaubt Feigel (S. 44) auf das Vorbild des Risses B der Straßburger Fassade hinweisen zu müssen, wo er die Stelle der Kreuzblume des zweiten dreiteiligen Fensters am mittleren Fassadenpfeiler in Höhe der Galerie einnimmt. Dieser Hinweis ist übrigens eine Bestätigung auch meiner Vermutung, daß die Bildhauer des Portales von Wimpfen in einem engeren Verhältnis zu denen von Straßburg stehen.

Else Schweitzer hat im Gegensatz zu Feigel sich eingehender mit der Portalplastik beschäftigt, geht aber auch an den drei krönenden Figuren des Portales stillschweigend vorüber. Ich vermute, weil sie erneuert sind, und dann, kunsthistorischer Ansicht gemäß, sie nicht mehr als authentisch und der Beachtung wertgehalten werden. Es ist das eine Gepflogenheit, die mit einer gewissen Überheblichkeit die Mühe und Arbeit des Restaurators, hier des Professors Knaisch in Stuttgart, ignoriert und damit den Künstler solcher Nachbildungen recht wenig freundlich gegenübersteht. Ich halte es deshalb für meine Pflicht, als Wiederhersteller des Bau-

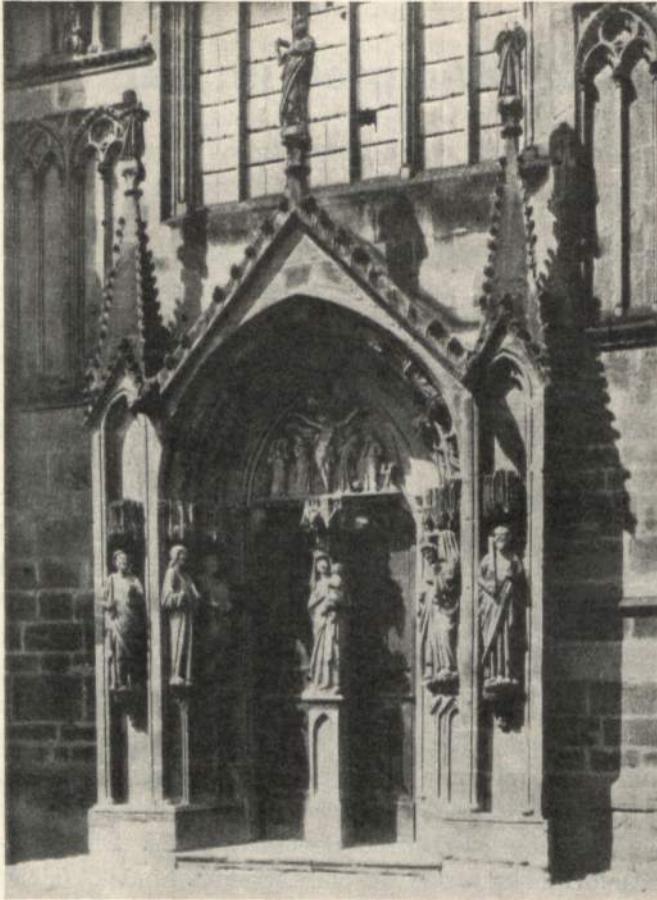


Abb. 1. Wimpfen i. Tal. Stiftskirche, Südportal vor der Wiederherstellung (1897)

werkes der Arbeit Professor Knaischs kurz zu gedenken und in den Abbildungen 1 bis 5 die Kopien mit den Originalresten, die im Baumuseum der Kirche von mir seinerzeit aufgestellt wurden, näher zu vergleichen.

Als ich 1899 meine Tätigkeit in Wimpfen im Tal mit dem Aufmessen der romanischen Westseite begann, bot das Südportal einen überaus trostlosen Anblick. Die Kirche war seit 1897 für den Gottesdienst geschlossen worden, die Überwachung war mangelhaft, und so übte sich die liebe Dorfjugend, nach den teilweise schon aufgegangenen Sandsteinfiguren mit den harten Neckarkieseln, womit der Platz bestreut war, zu werfen, mit dem Erfolg, daß die Vorderseite des Kopfes Christi herabfiel und beim Einrücken stark verstümmelt im Rücken der Verdachung gefunden wurde. Der rechte Arm Christi fehlte schon damals. Kaum besser waren im Verhältnis zur Figur des Heilandes die beiden Engel weggekommen. Abgesehen von allerlei Schrammen war doch wenigstens bei einem Kopf und Gesicht unverletzt

geblieben. Man sieht diesem an, daß es keine Kinderköpfe, sondern, mit sprechendem Ausdruck namentlich des Kreuzträgers, erwachsene und offenbar charakteristische Modelle waren, die dem Bildhauer hier als Vorbild dienten. (Abb. 2, 3, 4.)

Der Restaurator Professor Knaisch ging nun so vor, daß er zunächst die Figuren an beschädigten Stellen schellackierte und dann in Plastelin die ausgebrochenen Stellen am Original ergänzte. Er konnte damit, wie er ganz richtig empfand, die meist mit dem Daumen aufgetragene Originalmodellierung am sichersten nachempfinden und so dafür sorgen, daß die Ergänzung möglichst getreu ausfiel. Bei der Figur Christi war das natürlich viel schwieriger, namentlich die Ergänzung des fehlenden rechten Armes mußte sich der sonst etwas steifen Modellierung des linken Armes anpassen, ist aber durchaus dem Künstler gelungen, wenn sie auch keine Kopie sein kann, wo das Original eben fehlte. Bei dem Kopfe waren die Schwierigkeiten ungleich größer. Denn hier konnte aus dem stark beschädigten Reste nur die auf der rechten Schulter erhaltene Haarlocke als Anhaltspunkt dienen, die erhaltene Hinterseite des Schädels und geringe Ansatzspuren des Bartes, alles übrige war bis zur Unkenntlichkeit verstümmelt. In dieser Not verglichen wir für die Barttracht gut erhaltene, namentlich Reimser Figuren, woraus sich der in einzelne Strähne frisierte Bart und die ausrasierte Oberlippe ergab. Für den Gesichtsausdruck selbst schien uns eine milde, durch die rechte Schwurhand zu Gott Vater deutende und ernste Miene als das Angemessenste.

Man vergleiche damit nochmals die Abgüsse in Gips (Abb. 5), die von Teilformen in mühseligster Arbeit abgenommen wurden und die der Künstler Interessenten damals für eine geringe Summe zum Kauf vermittelte.



Abb. 2
Engel mit Kreuz und Nägeln



Abb. 4. Christus.



Abb. 3
Engel mit Lanze und Dornenkrone

Auch Kautzsch hat in seinem Führer durch Wimpfen die bekrönenden Portalfiguren nicht weiter gewürdigt, und auch Adler, auf dessen Arbeiten noch später zurückzukommen ist, ist nicht auf sie eingegangen.

Dehio hat im Handbuch der Deutschen Kunstdenkmäler (Band IV, Südwestdeutschland, Anhang: Elsaß-Lothringen und die Deutsche Schweiz, II. Auflage, 1926, S. 474) sich über das südliche Portal der Westseite des Straßburger Münsters wie folgt geäußert: „Das (südliche) Seitenportal ist im Tympanon zerstört. Es enthielt nach älterer Beschreibung in der untersten Reihe die Auferstehung der Toten, in der zweiten den Höllenrachen und die Verdammten, darunter ‚allerhand Standespersonen‘, in der dritten den Weltenrichter auf dem Regenbogen. Erhalten: Die Gewändstatuen der klugen und törichten Jungfrauen, an der Spitze jener der Prophet, dieser der Verführer. — Das Nord- und das Südportal sind gleichzeitig, aber von zwei verschiedenen Meistern, selbstverständlich unter starker Beteiligung von Gehilfen, ausgeführt. In dem halben Jahrhundert, das sie vom Ecclesiameister trennt (vgl. den Engelpfeiler und die südliche Querhausseite. Ze), hat das statuarische Problem bedeutende Fortschritte gemacht; aus der Säulenstatue ist die Nischenstatue geworden und auch die Nische ist für die Entwicklung des Motivs schon zu eng; aus Abgüssen im Frauenhaus sind Linien zu gewahren, deren Zudeckung durch die Architektur man bedauern wird. Die Darstellung der klugen und törichten Jungfrauen als Portalstatuen ist der französischen Kunst fremd.“ Soweit Dehio.

In der älteren Literatur über das Straßburger Münster gibt Jean Friedrich Hermann in seiner ausführlichen Beschreibung des Straßburger Münsters (Straßburg 1817, Seite 381 unten, Kapitel IV) folgendes an: „Aux deux portails latéraux, on demonta vingt-quatre statues sur piédestaux; trente-deux statues placés, soit entre des colonnes de petit module, soit sur piédestaux; six statues entre colonnes ou frontispices; toutes les figures en bosse placées dans les cannelures des cintres (der Bogen) des deux portails; les deux bas-reliefs au-dessous les deux portails.“

Dr. Wedekind, der bekannte Mainzer Klubbist, der 1793 in Straßburg weilte, schreibt, daß im November dieses Jahres auf dem einen Westportal auf einem Brett die Inschrift stand: „Liebe fürs Vaterland“, auf der anderen „Freiheit der Welt“. Secker (Die Skulpturen des Straßburger Münsters, Studien zur Deutschen Kunstgeschichte, Heft 150, Seite 25), dem wir diese Notiz entnehmen, führt auf Seite 58 weiter an, daß nach Schnaase (Geschichte der bildenden Künste

im Mittelalter, Band IV, Seite 295) am südlichen Seitenportal das (zerstört gewesene, aber treu hergestellte) Relief des Bogenfeldes die „Auferstehung und das Gericht“ wiedergab. Auf Seite 60 seiner zitierten Arbeit hat Secker dann noch angegeben, in rotem Überdruck, welche Reliefs alt und welche erneuert sind. Hier sind als neu bezeichnet: Christus als Weltrichter, Köpfe und Extremitäten der Gruppe der Seligen und der Verdammten sowie die Auferstehung der Toten, so daß sein Gesamturteil dahin ging: „Die beiden seitlichen Westportale enthalten weder in den Tympana noch in den Archivolten etwas Altes.“ Alle Erneuerungen seien sehr hart und ungotisch.

Nach dem gleichen Autor arbeitete der bekannte Bildhauer Vallastre 1828 die Figur des Königs Salomo und hielt sich im wesentlichen an Reims, da man damals die Bildwerke der Kathedrale von Chartres noch nicht so kannte. Die Arbeiten zur Wiederherstellung des Straßburger Münsters standen unter der Leitung des bekannten Architekten Böswilwald und der Bildhauer Vallastre selbst, ein an sich sehr tüchtiger Mann, war ein Schüler der klassizistischen Richtung eines Thorwaldsen, in seinen Arbeiten sehr sorgfältig, ohne seinen Zeitcharakter zu verleugnen (vgl. die Gruppe der auferstandenen Toten, Abb. 6, rechts unten).

Hasak gibt in seinem bekannten Werke: Das Münster unserer lieben Frauen zu Straßburg im Elsaß (Hackebeil, Berlin 1927), von dem südlichen Seitenportal der Westseite leider keine Abbildung. Er sagt nur, „daß der Riß C (jetzt im Germanischen Museum in Nürnberg) gezeichnet sei, während der Ausführung der Tore, also gegen 1285“. Und Seite 99 sagt der gleiche Verfasser, „daß die drei Tore der Westseite mit ihrem zierlichen Spitzenschleier bis zum ersten Umgange darüber von einer Hand, also laut Inschrift von der Erwins seien; 1291 sei dieser Bauteil bis zur Höhe der Reiterbilder gelangt.“

Auch die Bildwerke selbst, so z. B. die freistehenden Figuren des genannten südlichen Portales, die schönen Frauengestalten, nimmt Hasak für Erwin v. Steinbach in Anspruch (S. 110). Sie wurden im Jahre 2 der Republik glücklicherweise durch Abnehmen von den Sockeln durch den damaligen Professor Hermann gerettet. Über die Tympanonbildwerke äußert sich Hasak nicht. Vom Bogenfelde des Mittelportales sagt er lediglich (S. 106): „daß die Altväter und Propheten innerhalb des Tores nicht grade zum Besten gehören, was Erwin geschaffen hat. Die Erneuerung, der oberste Ersatz ist unerträglich!“ Leider versagt dieses so groß angelegte Werk hinsichtlich der Abbildungen in diesem Punkte völlig.

Mehr gibt Woltmann in seiner Geschichte der Deutschen Kunst im Elsaß (Leipzig, Seemann 1876, S. 157 ff.) an. Er skizziert vortrefflich den Inhalt der Bilderreihe des südlichen Portales und weist darauf hin, daß diesen Bildwerken „die nur wenige Jahre früheren am südlichen Querhausportal der Stiftskirche in Wimpfen und der Vorhalle des Münsters in Freiburg fast überlegen sind“ (S. 160, nach Schnaase, l. c., V. Band, 2. Aufl., S. 594).

Hasak gibt (im vierten Hefte des zweiten Teiles des Handbuches der Architektur, Gebhard, Leipzig, 1927, S. 314 ff.) eine anschauliche Schilderung der schönsten Gestalt am Südportal, der zweiten von außen, die schon Viollet-le-Duc begeistert hatte. Dieser schreibt in seinem bekannten Dictionnaire raisonné de l'architecture française, du XI^e. au XIV^e. siècle (Band VIII, S. 169): „plusieurs des statues des vierges sages et folles de la porte droite de la façade occidentale (de la cathédrale de Strassbourg) datant de la fin du XIII^e. siècle, sont des chefs d'oeuvre. On en pourra juger par l'exemple que nous donnons ici (Abb. 25 — die obengenannte zweite von rechts). Ces statues grande nature, taillées dans du grès rouge (roter Sandstein), sont d'une exécution excellente, et la plupart ont une très-belle tournure. Ces artistes rhénans comme leurs confrères de l'Ile-de-France de la Champagne, de la Bourgogne, de la Picardie, s'inspiraient d'ailleurs des types qu'ils avaient sous les yeux; Ce ne sont pas plus là les physionomies que nous retrouvons à Paris, à Reims ou à Amiens, mais bien le type alsacien“.

Soweit die Anführung wichtiger literarischer Zitate über den figuralen Schmuck speziell des südlichen Portales.

Indessen wollten mich diese Angaben nie recht befriedigen. Seit dreißig Jahren steht die in Abbildung 5 dargestellte Gruppe in meinem Arbeitszimmer im Abguß mir vor Augen. Als

ich die eingangs erwähnte Postkarte gelegentlich eines Vortrages im Außeninstitut der Technischen Hochschule Breslau über das Straßburger Münster in starker Vergrößerung sah, war ich nicht mehr im Zweifel, daß das Tympanon der Südpforte doch im Wesentlichen noch alt ist. Eine Anfrage bei dem Münsterbauamte ergab nach einer Untersuchung durch den Münsterbildhauer Klein die nachstehende Antwort des Münsterbaumeisters Pierre vom 21. Februar 1931: „Die obere Gruppe, Christus als Weltenrichter darstellend, ist noch in der Hauptsache alt, neu sind daran der Kopf des Weltenrichters sowie die Arme und Hände. Bei den beiden Cherubim sind ebenfalls die Köpfe neu, dagegen die Attribute, Kreuz und Lanze nur teilweise. Die beiden Posaunenengel sind ganz neu.“

Nachdem so kein Zweifel mehr über die Echtheit der geschilderten Gruppe besteht, sei es gestattet, Vergleiche zwischen dieser und den krönenden Wimpfener Standfiguren zu ziehen. Das Wimpfener Südportal macht in der Ver-



Abb. 5. Abgüsse der wiederhergestellten Figuren

dachung einen zusammengequetschten Eindruck. Gewisse Unterbrechungen der Blenden seitlich des großen Fensters, die ebenfalls recht unliebsam von dem tief herunter geführten Fenster durchschnitten sind, haben mich schon oft vor die Frage gestellt, ob nicht auch der Entwurf der südlichen Querschiffseite während des Baues verändert wurde. Jedenfalls macht die Verdachung des Portalvorbaues in ihrer flachen Neigung einen stark gedrückten Eindruck und ist sehr unschön in den großen Knospen des Rückens in die maßstäblich viel kleineren Kantenblumen der seitlichen Pyramiden übergeführt.

Das Portal selbst war bis zur Wiederherstellung im Jahre 1899—1903 fast vollkommen unberührt; lediglich kleine Ausbesserungen in Steinmörtel waren an einzelnen Figuren zu sehen. Im übrigen auf die schon eingangs erwähnte Beschädigung der krönenden Figuren verweisend, bringe ich sie in Abb. 6 und 7 nochmals in der Vordersicht in größerem Maßstabe.

An Hand dieses Bildmaterials läßt sich nun folgendes feststellen: Im Straßburger Beispiel zeigt Christus mit dem Ausdrucke schmerzlicher, etwas müder (durch die tief liegenden Augen angedeuteter) Resignation auf die Innenflächen seiner durchbohrten Hände. Da Kopf, Arme und Hände neu sind, so ist die ursprüngliche Fassung des Gesichtsausdruckes nicht feststellbar. Man sieht nun deutlich in der von der Dombauhütte Straßburg mir zur Verfügung gestellten Vergrößerung (Abb. 8) die Ansatzlinie der neuen Teile gegen die alten. Der ältere Teil der Brust ist sofort erkennbar durch die entsprechend dem Aussehen einer Leiche stark hervortretenden Rippen. Die Breite des Lungenstiches geht ihnen parallel. Das gleiche ist verblüffend ähnlich auch bei der Wimpfener Figur zu sehen.

Nun die Kleidung: in beiden Fällen ein umgewickelttes großes grobes Leichentuch entsprechend der Verhüllung des vom Kreuze abgenommenen entseelten Körpers bei der Beisetzung im Grabe. In ihr ruht der Körper bis zur Auferstehung des Herrn, und der Künstler hat

nach der realistischen Darstellungsweise des Mittelalters die Auferstehung sich in demselben Gewande gedacht wie die Beisetzung. In schweren Falten fällt die Hülle herab, nicht im Sinne von Linnen, sondern als schwerer Wollstoff nach Art der Woldecken, wie sie heute noch die Araber oder Nordafrikaner tragen.

Ganz im Gegensatz dazu ist das Gewand der Engel als Hemd aus feinstem Linnen gedacht. Sie leben ja nicht auf der Erde, ihr Gewand ist demgemäß überirdisch, im Sinne einer allerfeinsten Ausführung gedacht. Allerliebste ist mit einem feinen Bändchen der Halsausschnitt besäumt und folgerichtig das leichte Gewand auf der linken Schulter zusammengehalten, und auch der Faltenwurf schmiegt sich dem feineren Stoffe entsprechend in weicheren Linien dem Körper an.

Die Attribute: Nägel und Kreuz bzw. Dornenkrone und Lanze sind in beiden Fällen sinngemäß die gleichen. Die Lanzenspitze ist in Straßburg erneuert, und es fehlt ihr der Essigschwamm, den Wimpfen so charakteristisch zeigt. In Wimpfen sind die Gewänder, da die Figuren freistehend für eine schmale Basis komponiert sind, stramm fallend, im Gegensatz zu Straßburg, wo man die Engel in leicht schreitender Bewegung auf der breiteren Basis wiedergeben konnte.

Die Engel — als himmlische Wesen — sind in beiden Darstellungen bartlos, zwei Wimpfener Köpfe, der Christi und der des Kreuzträgers echt, ihre Haltung ist auch dem Sinne der Sache mehr angepaßt als in Straßburg.

Hier verharrt der (vom Beschauer aus linke) Cherubim dem Herrn gegenüber in demutvoller Haltung — er erinnert an italienische Vorbilder —; der Wimpfener deutet in stark beredter Geste, nach dem Publikum zugewendet, auf das Kreuz. Ebenso schaut der rechte Cherubim in Wimpfen nicht nach Christus hin, sondern mit vorgeneigtem Haupte, leicht geöffnetem Munde, als wolle er sprechen, auf die vor dem Portal versammelte Menge. Da der Wimpfener Christuskopf, abgesehen von dem abgesprengten Hinterhaupte und den Gesichtsverstümmelungen, immer noch mit Sicherheit ergänzbar war, so darf man ihn dem Original gleichstellen. Seine Bartracht entspricht der in der Champagne und der Ile-de-France, also in Reims und Paris üblichen. Auch die Locken, der Kinnbart mit den aufgerollten Löckchen sind ganz typisch französisch. Ich verweise dazu auf die Abb. 21 bei Viollet-le-Duc im Artikel Sculpture (S. 160), ein Beispiel aus Amiens, 30 Meter über dem Erdboden stehend, „les cheveux traités par grandes masses



Abb. 6
Vorderansicht des rechten Engels

bien détachées; les joues aplaties sous les pommettes (die Wangen glatt unter dem Backenbein-Augenknochen). Das gleiche finden wir an dem Wimpfener Christuskopf.

Die beiden Posaunenbläser in Straßburg sind erneuert. Glücklicherweise besitzen wir in Wimpfen wenigstens noch den einen (vergl. Zeller, Tafel XX, 116), der ebenfalls in seiner Gewandung dem bereits bei den Engeln Gesagten entspricht, darüberhinaus aber durch die Haltung, mit dem vorgebeugten Kopfe und der mächtigen (im unteren



Abb. 7
Christus, Vorderansicht

Teile abgebrochenen) Posaune, nach unten blasend, uns den Standort verrät, für den er komponiert worden war: den in der untersten Galerie, wahrscheinlich für den linken (westlichen) Strebebepfeilerbaldachin. Der Posaunenbläser ist jetzt im Innern der Kirche aufgestellt.

Man vergegenwärtige sich nochmals die großartige Szene, die hier in der eindringlichsten Weise, in Stein verewigt, dem Besucher gegenübersteht: Mächtig ertönt die Posaune der Bläser des Jüngsten Gerichtes, die Schläfer im Schoße der Erde erwachen, Christus begrüßt sie in majestätischer Haltung; erhebt die Rechte warnend, die die Anrede, nicht den Schwur bedeutet (vgl. zu dieser Auffassung Schubring, Hilfsbuch zur Kunstgeschichte, Curtius, Berlin 1913, S. 1).

Übersieht man alle diese Einzelheiten in ihrer sinnreichen Folge, so darf man der Wimpfener Gruppe in ihrer realistischen, doch dabei im Detail auf das Notwendigste beschränkten Durchführung durchaus das Zeugnis hohen künstlerischen Empfindens wie sehr sicherer werktechnischer Ausführung zu erkennen: es ist eine frische und lebendige Arbeit.

In Straßburg war die gleiche Komposition an sich schon durch den Zusammenschluß der spitzbogigen Portalleibung sehr viel schwieriger zu lösen. Eingeengt auf ein schmales Feld mußte Christus gedrückt in der Höhe, auf dem Throne sitzend, komponiert werden, auf Wolken thronend (nicht auf einem Regenbogen, wie Dehio a. a. O., S. 474, Z. 13 v. o. schreibt), als Weltenrichter gedacht. Aber die Einzelheiten, z. B. die sichtbaren Brustrippen, die Füße mit den beinahe fingerlangen Zehen, das schwere Leichentuch sind mit Wimpfen so übereinstimmend, daß man beide Kompositionen wohl demselben Meister oder mindestens der gleichen Bildhauerwerkstatt zuschreiben darf.

Mit dem gewonnenen Resultate aus der Vergleichung der beiden Gruppen werden die schon oft geäußerten Vermutungen nach einer gewissen Verwandtschaft der Meister der Wimpfener Querhaussüdseite und der Straßburger Westseite außerordentlich bestärkt, und es ist notwendig, die Urheberschaft der ersteren noch etwas näher zu untersuchen. Dies wird in seltener Weise erleichtert durch die urkundliche Nachricht des Burkard von Hall (Mon. Germ. Hist. Script. XXX, 1) wo es heißt: „Richardus de Villa Dithensheim (Deidesheim in der Pfalz) trans Rhenum, Spirensis dioecesis decanus accitotique peritissimo in architectoria arte latomo qui tunc noviter de villa Parisiensi e partibus venerat Francia, opere Francigeno basilicam ex sectis lapidibus construi jubet. Item vero artifex mirabilis architecture basilicam, yconis sanctorum intus et exterius ornatisse distinctam, fenestras et columpnas ad instar anaglifi (in erhabenem Schnitzwerk, en bas-relief) operis multo sudore et sumptuosis fecerat expensis sicut usque in praesens humano visui apparet.“

Man kann es dem Chronisten nachfühlen, wenn er auf Richard von Deidesheim das schöne Wort anwendet: Domine, dilexi decorem domus tue et locum habitationis tue!



Abb. 8. Straßburg, Tympanon, südliches Portal, Westseite

Aus dieser — in solcher Ausführlichkeit in mittelalterlichen Quellen seltenen — Nachricht, die etwa um 1295 niedergeschrieben worden ist, geht ganz klar hervor, daß ein in der Baukunst sehr erfahrener Iatomus (aus dem Griechischen Latomie, Steinbruch übertragen, also ein Steinmetzmeister, kein Magister) also ein Fachmann, der eben aus der Stadt Paris gekommen war, in Schnittstein nach französischer Weise (d. h. in der dort üblichen Technik des sehr leicht zu bearbeitenden Kalksteines) eine Basilika zu bauen den Auftrag erhielt; daß der Künstler, der mit dem Zusatz artifex ausdrücklich also auch Bildhauer war, das Werk in wunderbarer Baukunst mit den Bildwerken der Heiligen in plastischer Arbeit innen und außen schmückte, und Fenster wie Säulen (Pfeiler) mit vieler Mühewaltung emsig und mit großen Kosten herstellte. Also: Kein studierter Mathematiker, wie die Architekten jener Zeit mit dem Titel Magister, den sie auf den Universitäten, z. B. in Frankreich schon im 12. Jahrhundert, in der Artistenfakultät — später philosophischen Fakultät — erwerben konnten, sondern ein Artifex, also ein in einer Werkhütte ausgebildeter Meister hat dieses Werk geschaffen. Wir wissen weiter, daß der Neubau von Wimpfen am 19. April 1269 mit der feierlichen Grundsteinlegung begonnen wurde, daß aber — nach einer Änderung in der Bauplanung, auf die ich noch zurückkomme —, der Iatomus anscheinend erst nach Fertigstellung der Ostseite in die Bauführung eintrat und ihm in erster Linie der Aufbau der Südseite zufiel.

Gerade in dieser Schöpfung offenbart sich am deutlichsten der Einfluß seiner Pariser Lehrzeit, denn er hat dort noch Notre-Dame, im Umbau des südlichen Querhauses durch Jean de Chelles, seit 1257 begonnen, gesehen. Im Entwurf ist die Wimpfener Südseite bis zu einem gewissen Grade eine verkleinerte Wiederholung der Südseite von Notre-Dame. Man beachte die reiche Blendarchitektur im Erdgeschoß, darüber die durchbrochene Galerie, darüber das mächtige Rad, die steilen Giebel der Portale, die Wimpergen ähnlich sind. In Wimpfen kehrt das alles wieder, nur etwas anders angeordnet. Das Portal ist sehr gedrückt, gleich links und rechts seitlich darüber die Blenden, über ihnen eine Säulchengalerie für freistehende Figuren, beide zerschnitten durch das kolossale sechsteilige Langfenster, beiderseits über den Galerien die steilen Wimperge mit einem reichen Apparat von Wasserspeiern und Laternen, die in Notre-Dame an den Seiten des Portales und hier mit mehr Begründung angeordnet sind (Abb. 1).

So stellt die Wimpfener Südseite eine Komposition dar, gemischt aus Motiven französischer Kathedralarchitektur mit Notwendigkeiten deutscher Gotik, namentlich hinsichtlich der Fensteranlage. Wir dürfen wohl annehmen, daß Richard von Deidesheim hier als Bauherr eingegriffen hat und in der Komposition die Rose, die man über einer durchlaufenden Statuengalerie erwartet, aus Beleuchtungsrücksichten durch das Langfenster durchschneiden ließ, und zwar, weil von der Nordseite des Querhauses infolge des hohen Kreuzgangdaches keine ausreichende Beleuchtung geschaffen werden konnte. So greift dieses an sich sehr schön gegliederte Langhausfenster hart in den Horizontalismus der Schauseite ein.

An diesem Fenster zeigen sich nun in der Fugenanordnung des Maßwerkes bestimmte Eigentümlichkeiten, auf die schon Schäfer in der ersten Nummer der Zeitschrift „Denkmalpflege“ (Jahrgang I, S. 2—6) in dem Aufsatz: Zusammenhang zwischen Jung-St. Peter, dem Straßburger Münster und Wimpfen, aufmerksam gemacht hat. Hier sei zum Verständnis des nicht mit gotischer Steinmetzarbeit Vertrauten folgendes erläutert:

Bei Maßwerken zusammengesetzter Art bildet der Steinschnitt, d. h. die richtige Anordnung der Fugen eine sehr wesentliche Rolle. (Abbildungen S. 515 links und rechts unten.)

Die Fugen müssen möglichst senkrecht zur jeweiligen Schnittstelle unter Vermeidung spitzer Winkel angeordnet werden. Der Mathematiker sagt: sie bilden Senkrechte zur Tangente des betreffenden Bogenstückes. Bei gleichmäßig großen Rosen ist das ohne weiteres möglich, weil die Bogenstücke gleich sind; bei ungleich großen, wie am Südfenster in Wimpfen, stößt man auf fast unüberwindliche Schwierigkeiten. Der geniale Konstrukteur dieses Fensters hat die Schwierigkeit überwunden, indem er die Unterteilung der Pässe aus der Senkrechten oder Horizontalen so verschob, daß an den Schnittstellen immer rechtwinklige Fugen möglich sind.

Es genügte dazu eine leichte Drehung der senkrechten Achse nach auswärts. Ich möchte darauf aufmerksam machen, daß auch die Sechs-Pässe in den Eckrosetten der großen Rose in Notre - Dame die gleiche Neigung der senkrechten Achse nach außen zeigen wie bei den Achtpässen in Wimpfen. Diese Durchführung, so einfach sie erscheint, hat Schäfer zuerst in ihrer Bedeutung für die Verwandtschaft der drei genannten Bauten erkannt und daraus den Schluß gezogen, daß die gleiche Hand oder mindestens die gleiche Werkregel bei diesen Bauten im Spiele war.

Nun ist das Merkwürdige, daß in Jung-St. Peter der beauftragte Steinmetz die Fugen so unsinnig wie möglich angesetzt hat, nämlich schief, obwohl in der Zeichnung, die seiner Arbeit zugrunde lag, schon auf diesen Umstand durch Verschiebung der Achse Rücksicht genommen war. Schäfer zog daraus den Schluß, daß der Hersteller der Zeichnung für Jung-St. Peter damals noch nicht in Straßburg war, sondern sie von einem dritten Orte aus übermittelte. Als solchen nimmt er Wimpfen in Anspruch, weil beide Bauten derselben Kongregation, den Augustiner-Chorherrn angehörten und Wimpfen schon im Bau war, als Jung-St. Peter erneuert wurde. Schäfer nimmt für den Umbau des Schiffes von Jung-St. Peter 1275 an (l. c. Seite 3, als sogenannter siebenter Bauabschnitt dieser Kirche).

Natürlich sind diese Schlüsse Schäfers, der mit Dehio auf dem denkbar schlechtesten Fuße wegen seiner Außenbemalung von Jung-St. Peter stand, von diesem verworfen worden unter Hinweis darauf, daß der Umbau von Jung - St. Peter nach dem von Specklin für 1290 überlieferten Baubeginn sich bis ins 14. Jahrhundert erstreckt habe. Woltmann geht gar nicht auf die Baudaten näher ein, neuere Literatur über Jung-St. Peter existiert nicht.

Während wir hinsichtlich der Baudaten von Wimpfen ziemlich gut unterrichtet sind: Grundsteinlegung 19. April 1269, 1274 Weihe von Chor und Querhaus, wie aus Stiftung von Altarpräbenden hervorgeht, Unterbrechung des Baues am östlichsten Schiffjoch mit dem Tode Richards von Deidesheim am 25. April 1278, herrscht hinsichtlich der Straßburger Daten eine ziemliche Verschiedenheit der Meinungen.

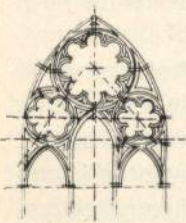
Um sie einigermaßen übersichtlich zu schildern, sei das Nachstehende darüber gesagt: Woltmann, der erste, der in seinem 1876 bei Seemann, Leipzig, erschienenen Buch: „Geschichte der Deutschen Kunst im Elsaß“ sich ausführlicher auch über die Straßburger Baugeschichte verbreitet, hat, wie er in seiner Vorrede sagt, das Straßburger Münsterarchiv noch nicht gebrauchen können. Aber er hat das Verdienst, die bis dahin über das Münster entstandene Literatur zusammenzustellen, und ich verweise den Leser auf das dort S. 107 f. und S. 108 in den Fußnoten Gesagte. Auch gibt er die Polemik wieder, welche damals zwischen v. Geymüller und Adler und ihm selbst sich auf Grund von Adlers Aufsatz in der Deutschen Bauzeitung 1870 entsponnen hat.

Das Wesentlichste jedoch sind die folgenden Baudaten:

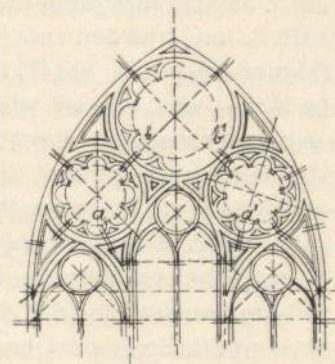
Nach Woltmann ist das Mittelschiff noch in frühgotischen Formen errichtet, der obere Teil des Langhauses samt den Triforien aber jünger, der Gewölbeschluß fand am 7. September 1275 statt (Mon. Germ. S., S. XVII, p. 90 und ebenso Königshofer Chronik). Der damalige Bischof Konrad von Lichtenberg hat dann nach Fertig-



Abb. 9. Straßburg Fialensockel



Dreiteilig. Fenster Jung-St. Peter links: falscher Steinschnitt rechts: richtiger Steinschnitt



links: seitlicher Paß erster Ordnung senkrecht. Fugenschnitt b. a schiefwinklig rechts: seitlich. Paß erster Ordnung, schwach nach außen geneigt. Fugenschnitt a' gut

St. Peter, Wimpfen im Tal Südliches Querhaus

stellung des Langhauses am 25. Mai 1277 feierlich den Grundstein zur Westseite gelegt. Eine noch in französischer Zeit im 18. Jahrhundert an der Westseite über dem Hauptportal befindliche Inschrift sagte: „Anno Domini MCCLXXVII in die beati Urbani hoc gloriosum opus inchoavit magister Erwinus de Steinbach“. Woltmann verweist später (S. 126) auf die Verwandtschaft des Erwinschen Entwurfs der Westseite mit der Querhausfassade des Jean de Chelles an Notre-Dame in Paris sowie an die von Johannes Anglicus 1262 begonnene Kirche St. Urbain in Troyes. Auch auf eine gewisse Vermutung der Elsässer Spach und Gérard über einen Anteil Erwins am Bau der Kirche in Niederhaslach, die gegen 1274 begonnen und von dem gleichen Bischof als sein erstes architektonisches Unternehmen besonders begünstigt wurde, weist er hin.

Der Frontbau in Straßburg wurde nach Woltmanns Ansicht bis 1291 bis mindestens über den Anfang der Rose gebracht, denn damals seien über den ersten Absätzen der Strebepfeiler mit bischöflicher Bewilligung vom Rate der Stadt die Reiterstatuen der Könige, die sich um die Stadt Straßburg verdient gemacht hatten, aufgestellt worden: nämlich Chlodwig als Gründer des Bistums, Dagobert als Gründer der Stadt und der eben verstorbene Kaiser Rudolf, in dessen zweitem Regierungsjahre der Westbau begonnen worden war.

Im Jahre 1298, am 15. August, brach durch Unvorsichtigkeit der Dienerschaft des Königs Albrecht bei seinem Besuche im Bischofspalaste in dessen Ställen Feuer aus, das das ganze Stadtviertel westlich vom Münster in Asche legte und auch die Dächer und die Innenausstattung des Münsters so beschädigte, daß die Gewölbe der ersten vier Joche von Westen her erneuert werden mußten und der Westbau bis auf weiteres liegen blieb. Nach des Straßburger Stadtbaumeisters Daniel Specklins (er befestigte von 1577—89 die Stadt nach dem Bastionärsystem) Aufzeichnungen, den „Collectaneen“, die im Jahre 1870 beim Brande des Archives zugrunde gingen, hat damals Erwin die Oberfenster mit dem Umgang sowie die Gewölbe erneuern müssen, wobei er die Höhenmaße wesentlich steigerte und den neuen Oberbau fast vollkommen in Fenster auflöste.

Woltmann führt dann Seite 134 noch den überzeugenden Beweis für die Arbeit Erwins am ehemaligen Chor des Rates, dessen Trümmer teilweise das Frauenhaus noch bewahrt. Erwins Todestag ist durch seine erhaltene Grabschrift gesichert: „Anno Domini MCCCXVIII. XVI. Kalendas Februarii (17. Januar) obiit magister Erwinus Gubernator fabrice ecclesie Argentinensis“, so daß er etwa 42 Jahre, also etwa seit 1276 in Straßburg weilte.

Dieses Datum ist um zwei Jahre zu hoch gegenüber der Annahme Schäfers, daß er um 1275 von Wimpfen aus Pläne für Jung-St. Peter geschickt habe und 1278 dorthin zur Übernahme von Jung-St. Peter übergesiedelt sei. Adler, der sehr enthusiastisch in seinen Vorlesungen, die ich selbst noch als Student hörte, und auch in seinen Schriften war, hat zuerst in einem Festvortrage am 2. Januar 1875 (abgedruckt in der Nationalzeitung, im Auszuge in der Deutschen Bauzeitung 1875, 2. Jan.) und dann noch ausführlicher in seiner Sammlung „Zur Kunstgeschichte“, Berlin 1906 (Mittler & Sohn, S. 103 ff.) Ostbau und Südseite der Stiftskirche in Wimpfen in die Jahre 1264—68 verlegt — was, wie wir wissen, falsch ist —, sie als Frühwerk Erwins von Steinbach erklärt und seinen Werdegang über Haslach im Elsaß nach Straßburg angenommen, wo er von der Grundsteinlegung (2. Februar 1276 — auch dieses Datum stimmt nicht, wie wir aus Woltmann wissen —) bis 1298 bis zur Höhe der Rose den Westbau gefördert habe. Adler setzt den Antritt der Tätigkeit somit mit 1274 um noch zwei Jahre früher an als Woltmann.

Adler hat bei dem Neudrucke seines Aufsatzes 1906 übersehen, daß in der Deutschen Bauzeitung inzwischen 1877 der bekannte Bauforscher Dr. Rudolf Adamy in Darmstadt die schon oben zitierte Stelle der Chronik des Burkard von Hall „ad instar anaglici operis“ in „anaglifi operis“ zu lesen vorschlug und sinngemäß „nach Art eines gemeißelten Werkes“ erklärt; während Adler aus „anglici“ „englische Bauart“ herauslas, offenbar in Anlehnung an den Meister von St. Urban in Troyes. Denn von diesem Bau des Jean Langlois (in Urkunden Johannes Anglicus geschrieben) nahm er an, daß er, seit 1260 in Gang, mit Erwin irgendwie zusammenhinge. Aus den Angaben Hildebrands in „Berühmte Kunststätten“, Bd. 52, Regensburg, (Leipzig, Seemann 1910), wissen

wir jetzt, daß ein Meister Ludwig damals von dem Bischof Leo vom Concil in Lyon 1274 nach Regensburg verpflichtet wurde, der damals wohl auch die Bauhütte des genannten Jean Langlois kennenlernte, und daß daher Adlers Annahme von einer Arbeit Erwins in Regensburg ebenso wenig zutrifft wie am Münster in Freiburg. Wir müssen deshalb Adler im Wesentlichen in seinen Angaben jetzt ausschalten, nur in seiner Annahme einer Frühtätigkeit Erwins im Wimpfen hat er — und als erster — richtig vermutet.

Dehio, der große Kenner auch der elsässischen Kunstdenkmäler, hat in seinem Handbuche der Deutschen Kunstdenkmäler Band IV, Südwestdeutschland, Anhang: Elsaß und die Schweiz (2. Auflage, Wasmuth Berlin 1926), S. 161/62 folgende Daten gegeben: Straßburger Münsterneubau nach 1176 begonnen, von Ost nach West: das alte (romanische) Langhaus stand bis 1250, Chor und Querhaus vollendet um 1250 (noch romanisch. Ze); darauf unverzüglich Beginn der Langhausfront (wie wir seit der Unterfangung des inneren Pfeilers des nördlichen Münster turmes wissen, auf den alten romanischen Fundamenten), Westseite stand bis nach 1275. Zwei Meister: Rudolf, Vater und Sohn sind bis zum Gewölbeschluß 7. September 1275 am Langhaus tätig; Westbaubeginn 1276 (Woltmann genauer: 25. Mai 1277). Meister Erwin hat die Leitung wahrscheinlich erst später übernommen. Die Stelle der Urkunde von 1284, in der er als Münsterbaumeister genannt wird, ist Rasur. Ganz sicher ist nur sein Todesjahr 1318. In der Beschreibung des Münster sagt Dehio dann S. 468/69: „daß der Aufbau des Langhauses die Zeit von 1250—1275 in Anspruch nimmt, als Arbeit eines deutschen Meisters im Sinne der Proportionen des gleichseitigen Dreieckes zu deuten ist, das Triforium aber von Frankreich entlehnt sei. (Umbau der Abteikirche St. Denis)“. Gegenüber Woltmanns Ansicht der Ausführung dieses Bauteils samt den Oberfenstern erst nach dem verhängnisvollen Brande von 1298 ein wesentlicher Unterschied. Das außerordentlich elegante, fast bis zur Grenze des Durchführbaren gelangte System des Triforiums und der Oberfenster in Straßburg ist dem der Kirche der Abtei von St. Denis nahestehend. Viollet-le-Duc hat es (l. c., Bd. IX, S. 292) in Abb. 13 u. 14 skizziert und gibt als Erbauungszeit an: wiederhergestellt unter der Regierung Ludwigs IX. (1226—1270). Der Zeitraum dürfte die letzten Jahre des Herrschers umfassen, begonnen wurde der Umbau 1231; nachgeahmt die Verbindung von Fenster und Triforium nach Viollet (S. 294) unter den Rosen des Querhauses von Notre-Dame 1260, in Sées 1270 usw., wobei ich auf den Widerspruch in den Jahreszahlen von Notre-Dame und anderen Kathedralen bei den einzelnen Publikationen aufmerksam mache. Wenn also Dehio recht hat, so kann Erwin zu diesem eleganten Straßburger System des Mittelschiffes gar keine Beziehung haben, da er frühestens erst 1278 nach Straßburg kommt. Im allgemeinen macht mir das Langhaus in seiner schwereren Detaillierung einen älteren Eindruck als die elegante hochstrebende Westseitenarchitektur. Auch Springer (Handbuch der Kunstgeschichte, Bearbeitung von Neuwirth, 1904, S. 293) läßt den Umfang der Restaurierung des Langhauses durch Erwin nach 1298 offen.

Über die Westseite sagt Dehio S. 470 nur, daß sie ab 1276 in Arbeit war, und daß für Erwin von vornherein nur der erste Abschnitt in Frage komme. „Aber auch dieser ist weder in der Erfindung noch in der Ausführung im ganzen Umfang sein Werk.“ Grundlage des Westbaues seien drei Baurisse: A, B, C, veröffentlicht von H. Kunze 1911 und in den Münsterblättern von J. Knauth. Nach Dehio wurden die romanischen Abschlußwände des Langhauses erst niedergelegt, als die Fassade im Erdgeschoß fertig war. Man begann 1276 mit dem Nordturm, 1280 mit dem Südturm. An diesem ist bereits ein zweiter Meister Erwin tätig. Der erste ist der Erfinder des Risses B. Riß A enthält die Rose, das Vorbild dazu ist die Querhausfassade von Notre-Dame in Paris.

Wenn also Dehio in diesen Datierungen, deren Quelle er nicht weiter belegt, recht hat, so begreife ich nicht, warum er gegen einen Anteil Erwins an Jung St. Peter sich wendet, denn spätestens 1278, nach dem Tode seines Gönners dürfte Erwin Wimpfen verlassen haben und so hatte er ja in Straßburg fast zwei Jahre Zeit für die Vorarbeiten an seinem 1280 begonnenen Südturm. Da aber hier doch im Prinzip wenigstens die ersten Entwürfe vorliegen mußten, so halte ich eine gleichzeitige Tätigkeit an Jung-St. Peter durchaus für annehmbar.

Man erkennt, daß auch die Datierungen Dehios, soweit sie nicht urkundlich belegt sind, nicht gegen Schäfers Ansicht sprechen.

Dehios Annahme eines Beginnes des Südturmes mit ca 1280 vorausgesetzt, würde nicht gegen die Annahme einer gleichen Hand für die Portalarchitektur des Südportales in Straßburg und des Querhausportales in Wimpfen sprechen. Dehios Bemerkung von einer teilweisen Betätigung Erwins am Westbau in Straßburg, läßt sich übrigens auch in Wimpfen gut verfolgen. Nach meiner Aufnahme, Tafel VIII zeigt die Querhausansicht deutlich, wie das Kaffgesims der südlichen Chorkapelle nur bis zur (vom Beschauer rechts) gesehenen Hälfte der südlichen Querhausseite durchläuft und hier am östlichen Portalgewände endet; wie weiter oben auch das Fußgesims der Arkatur in gar keinem Zusammenhange mit der Ostseite des Baues steht, sondern ebenfalls an der Ostflucht des östlichen Strebepfeilers der Südostecke endigt.

Es findet also sowohl in Wimpfen wie in Straßburg ein Eingriff in eine schon im Gange befindliche Bauausführung statt, und zwar sind es künstlerische, „nicht technische Gründe, die dem zugrunde liegen“. Der tiefe Einschnitt in das System der Querhausfassade in Wimpfen hatte denselben Zweck wie die kolossale Rose in Straßburg mit ihrem Durchmesser von 11 Meter: Licht in das Innere des Baues zu bringen. Der gleiche Gedanke macht wahrscheinlich, daß später Erwin bei Erneuerung der Oberwand im Schiffe des ausgebrannten Münsters sie ganz in Fenster aufgelöst. In beiden Fällen besitzen wir glücklicherweise teils Fragmente, teils Originale herrlicher Glasgemälde, die dem Inneren beider Bauten eine magische dämmerhafte Stimmung verleihen und bei ihren tiefen Farben zum Ausgleich natürlich große Lichtflächen verlangen.

Hasak hat in seinem schon zitierten Werke, (S. 98) die Angaben Dehios etwas genauer zu präzisieren versucht. Nach ihm ist der Westbau — wie es vor ihm schon Woltmann annahm — bis 1291 bis zur Höhe der Reiterbilder gediehen. Dehio gibt dann bei der Besprechung der Bauplastik weitere erwähnungswerte Einzelheiten (l. c. S. 473): Er sagt: daß bei dem Brande im Jahr 1298 „doch der größte Teil der Statuen damals schon in der Werkstatt fertig, die beiden Seitenportale ganz, am Mittelportal das Tympanon“. Werktechnisch müssen ja auch die Tympana der Seitenportale schon vorbereitet gewesen sein, da es nicht angängig ist, ein in Bossen versetztes Werkstück auszuarbeiten, bevor nicht die tiefer liegenden Teile vollendet sind. Ich nehme daher an, daß die Bildhauerarbeit der Tympana beider Portale sofort in Angriff genommen wurde nach den schon vorher hergestellten Modellen, sobald die Portalbogen selbst fertig versetzt waren. Die fast 2 Meter tiefen Nischen gestatten eine solche Arbeit in aller Sicherheit. Demnach wäre mit dieser Versetzarbeit der Westbau etwa auf $6\frac{1}{2}$ Meter Höhe bei den Seitenportalen gewesen, d. i. auf halber Höhe bis Unterkante Rose. Bei einem Baubeginn 1277 mit der Grundsteinlegung wäre etwa mit 1285 bis zu dem genannten Abschnitt zu rechnen. Hasak nimmt dieses Jahr an für die Umarbeitung des Risses C. Rechnet man für die Modellierung und Steinausführung der eingangs erwähnten Wimpfener Portalkrönungen spätestens die Benutzung des Querhauses (vorher wären sie ja Unfällen von Arbeiten über ihnen ausgesetzt gewesen) und 1285 als das Bearbeitungsjahr der Straßburger Tympana, so liegt nur eine Spanne von 10 Jahren zwischen beiden bildhauerischen Arbeiten. Wimpfen bildete danach die jugendliche, Straßburg die ausgereifte Epoche des künstlerischen Schaffens des Bildhauers und damit würde sich Schnaases Urteil, das er im V. Bande seiner Geschichte der bildenden Künste, S. 594, ausspricht, von neuem bestätigen.

Es fehlte bisher in unserer Beweisführung eine kleine Lücke: die eigentümliche Stellung der Pässe im Maßwerk war bisher nur an St. Peter nachzuweisen. Inzwischen hat auf meine Anregung der Architekt der monuments historiques im Elsaß, Herr C. Czarnowsky, ebenfalls ein Schüler Karl Schäfers, sich die größte Mühe gegeben, an der Westseite des Münsters nach ähnlichen Anhaltspunkten zu forschen. Es hat sich nun im Mai 1933 ein ausgewechselter Stein im Hofe des Frauenhauses gefunden, dessen Maße 0,355 zu 0,33 sich genau mit dem Fialensockel des Mittelportales 0,355 zu 0,33 decken (Abb. 9). Dieser Ersatzstein befindet sich an der

(vom Beschauer aus) linken Laibung der großen Mittelportalnische unter den hier stehenden Fialen. Die Ausführung dieser Auswechslung ist denkbar schlecht. Man hat ganz unmotiviert Eckzwickel eingearbeitet und auch vergessen, das deckende kleine Gesims des alten Vorbildes, das ich hier in Abb. 8 bringe, wiederherzustellen. Man erklärt das in Straßburg mit dem Umstande, daß diese Auswechslungen früher nicht von der Werkhütte, sondern im Akkord an einen Unternehmer seinerzeit vergeben wurden, so daß der Einfluß eines sachverständigen Kenners vollkommen ausfiel. Aber das ausgewechselte Stück hat baugeschichtlich einen besonderen Wert. Es zeigt auch die schiefe Achse der seitlichen dreiteiligen Pässe der Blende, obwohl hier von Rücksicht auf einen Steinschnitt wie bei einem Maßwerkfenster gar nicht die Rede sein kann. Stellen wir dieses Stück dem Wimpfener Südfenster gegenüber, so bleibt gar kein Zweifel mehr, daß die gleiche Bauhütte bei beiden Werken gewaltet hat und daß ihr Leiter in beiden Fällen wohl Erwin war. Und schließlich sei nochmals an das schon oben erwähnte gleiche Vorkommen an Notre-Dame erinnert. So dürfte sich die von Schäfer verfochtene, vor ihm schon von Adler ausgesprochene Annahme um einen neuen Beweis sich vermehren und die Laufbahn unseres Erwin von Steinbach sich noch klarer verfolgen lassen.

Stellen wir die gewonnenen Daten kurz zusammen: 19. April 1269 Grundsteinlegung zum Neubau der Peterskirche zu Wimpfen im Tal durch die Augustinerchorherren daselbst unter Richard von Deidesheim. 1274 Chor und Querhaus, letzteres unter Leitung eines latomus aus Francien vollendet. Um 1275 Übersendung von Zeichnungen zu Maßwerkfenstern durch diesen an die Augustiner-Chorherrn von Jung-St. Peter in Straßburg (Schäfer). 25. Mai 1277 Grundsteinlegung der Westseite des Straßburger Münsters. 25. April 1278 stirbt Richard von Deidesheim, der Wimpfener Bau bleibt liegen. Etwa 1278 frühestens Übersiedlung Erwins nach Richard von Deidesheims Tod. Um 1280 spätestens Berufung Erwins ans Dombauamt (da wir schon am unteren Teil des Mittelportales Ähnlichkeiten der Maßwerkzeichnung nachweisen konnten; dies stimmt auch mit Dehios Annahme der Bauarbeiten am Südturm). Wechsel der Bauleitung und um 1285 Umarbeitung des Risses B (Hasak). Bis 1291 Fortführung der Westseite bis zur Höhe der Reiterstandbilder (Woltmann). 1290 (nach Dehio) Chor Neubau von St. Peter in Straßburg, (nach Schäfer ist dieser Chor um 1250 von einem einheimischen in Gotik unbewanderten Meister, das Schiff aber nach 1275 neuerrichtet worden. Hierzu die von Schäfer erwähnten Fenstermaßwerkzeichnungen. Der Bau ist sonst aus Backstein mit Verputz).

1298 Brand des Münsters, von da an der völlige Umbau der Oberteile der vier westlichen Joche des Schiffes von den Triforien bis zu den zu erneuernden Gewölben (Woltmann).

Vor 1318 Ausführung der Ratsloge im Innern des Münsters.

17. Januar 1318 Tod Erwins.

Damit wären die wichtigsten Daten im Lebenslaufe Erwins wesentlich geklärt und durch Wimpfen ein Band mit dem Straßburger Münster und dem Elsaß geschlungen, das mächtiger als alle Verträge ewiges Zeugnis für die Verbundenheit des Elsaß und seiner Hauptstadt Straßburg mit dem deutschen Südwesten darstellt. Wir wollen deshalb auch, wie es Woltmann schon so sinnig sagt, bei Betrachtung von Erwins Leben nach einem Spruche von Scheffel auf Wolfram von Eschenbach nur wiederholen:

„Gewoben hab ich um die welschen Mären

Der Heimatsprache ehern Klanggewand!“

wenn wir uns Erwins Werdeganges erinnern, des eifrigen latomus aus der Bauschule in Francien, aus der Bauhütte zu Paris.

Geschrieben an Weihnachten 1933.

Ermittlung der Ergiebigkeit von grundwasserführenden Schichten an Hand von Bodenproben sowie für das Breslauer Grundwasserfassungsgelände durch Auswerten des Thiemschen Versuchsbrunnens

Von Ferdinand Zunker in Breslau

1. Ermittlung der Ergiebigkeit an Hand von Bodenproben

Die durch grundwasserführende Bodenschichten vom Querschnitt F fließende Wassermenge ist nach dem Filtergesetz von Darcy

$$Q = v F \quad (1)$$

$$v = k J, \quad (2)$$

worin v die scheinbare, über den ganzen Filterquerschnitt verteilt gedachte Grundwassergeschwindigkeit, J das Gefälle, d. i. die Fallhöhe des Wassers in Zentimeter je Zentimeter der Filterlänge und k der Darcysche Durchlässigkeitsbeiwert ist. k ist nicht nur von der Bodenbeschaffenheit, sondern auch von dem spezifischen Gewicht und der Zähigkeit des durchfließenden Wassers abhängig und hat die Dimension der Geschwindigkeit.

Will man den Durchlässigkeitsbeiwert unabhängig von der Strömungsmasse machen und ihm zur Vermeidung von Verwechslungen eine besondere Dimension beilegen, so hat man zu setzen

$$v = \frac{k_{00} J_0}{\eta} \text{ cm/sk}, \quad (3)$$

worin J_0 das Druckgefälle, d. i. der Druckabfall in der Strömungsmasse je Zentimeter der Filterlänge, und η die Zähigkeit der Strömungsmasse ist, beide Größen im gleichen Maßsystem gemessen. Diese Formel gilt sowohl für Flüssigkeiten als auch für Gase als Strömungsmasse.

Drückt man anstatt im gleichen Maßsystem J_0 im Technischen Maßsystem als Druckhöhenunterschied in Zentimeter Wassersäule von 4° C auf 1 cm Filterlänge (bzw. in Gramm je cm² Filterquerschnitt auf 1 cm Filterlänge) und η im CGS-System aus, so ist zu schreiben

$$v = \frac{k_{00} g J_0 \text{ Techn}}{\eta \text{ CGS}} \text{ cm/sk}, \quad (4)$$

worin $g = 981$ die Erdbeschleunigung ist. k_{00} hat die Dimension cm⁻².

Indem man vereinfacht und $g \cdot k_{00} = k_0$ setzt, wird

$$v = \frac{k_0 J_0 \text{ Techn}}{\eta \text{ CGS}}. \quad (5)$$

k_0 hat hier die Dimension cm⁻¹ sk⁻² und wird kurz als die Durchlässigkeit des Bodens bezeichnet.

Befindet sich die Filtermasse in Einzelkornstruktur wie bei Kiesen und Sanden, so besteht nach früheren Ermittlungen¹⁾ folgende Beziehung der Durchlässigkeit zur Bodenbeschaffenheit:

$$k_0 = \mu_0 g \left(\frac{p_0}{(1-p) U} \right)^2 \text{ cm}^{-1} \text{ sk}^{-2}, \quad (6)$$

¹⁾ F. Zunker, Die Durchlässigkeit des Bodens, Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, A 25, S. 1 (1932); Zur Durchlässigkeit des Bodens, Der Kulturtechniker 36, S. 64 (1933); daselbst S. 307 (1933).

worin p das Porenvolumen, p_o das nach Abzug des hygroskopisch gebundenen Wassers verbleibende spannungsfreie Porenvolumen²⁾, U die spezifische Oberfläche des Bodens, μ_o ein Formbeiwert und g die Erdbeschleunigung ist. Die spezifische Oberfläche U ist gleich der Umkehrung des wirksamen Korndurchmessers, das ist der Korndurchmesser, der für die gleiche Gewichtsmenge dieselbe Oberflächensumme der Bodenteilchen ergibt wie in der Bodenprobe. Nach dieser Begriffsbestimmung³⁾ hat U im CGS-System die Dimension cm^{-1} .

Für Kiese und Sande ist $p_o = p$, da deren Hygroskopizität annähernd gleich Null ist; ferner kann für natürliche Böden auf Grund einer großen Anzahl von Versuchen gesetzt werden

$$\mu_o g = \mu = rd. 1. \quad (7)$$

Gleichung 6 geht dann über in

$$k_o = \left(\frac{p}{(1-p) U} \right)^2 cm^{-1} sk^{-2}. \quad (8)$$

Die spezifische Oberfläche kann aus der Siebanalyse des Bodens ermittelt werden. Trägt man die Logarithmen der Korngrößen eines natürlichen Bodens als Abszissen und die Korngewichte in Prozenten als Ordinaten auf, so ergeben sich mehr oder weniger gradlinige Kornanteillinien. Die spezifische Oberfläche wird für gradlinige Kornanteillinien und Korngrößenabstufungen, deren größte und kleinste Korndurchmesser d_1 und d_2 nur etwa bis zum Dreifachen voneinander abweichen⁴⁾,

$$U = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{2}{d_1 + d_2} + \frac{1}{d_2} \right) cm^{-1}. \quad (9)$$

Nachfolgende Tafel zeigt die hieraus berechnete spezifische Oberfläche für bestimmte Korngruppen:

Korndurchmesser mm	U cm^{-1}
5 — 2	3.27
2 — 1	7.21
1 — 0.5	14.43
0.5 — 0.2	32.74
0.2 — 0.1	72.1
0.1 — 0.05	144.3
usw.	

Sind in der Bodenprobe g_1 Gew.-Prozent einer Korngruppe mit der spezifischen Oberfläche U_1 , g_2 Gew.-Prozent einer solchen mit der spezifischen Oberfläche U_2 , ... g_i Gew.-Prozent einer solchen mit der spezifischen Oberfläche U_i usw. festgestellt worden, so ist

$$U = \frac{\sum g_i U_i}{100} \quad (10)$$

²⁾ Das spannungsfreie Porenvolumen ist $p_o = p - \frac{2 w_h}{100} (1-p)s$, worin w_h die Hygroskopizität und s das spezifische Gewicht des Bodens ist. Der Faktor $2 w_h$ ist ein empirisch gefundener Wert.

³⁾ In meinen früheren Arbeiten erscheint die spezifische Oberfläche U als Verhältniszahl ohne Dimension. Es ist jedoch zweckmäßig, ihr ähnlich dem spezifischen Gewicht eine Dimension zu geben.

⁴⁾ Für größere Abweichungen der Korndurchmesser gilt bei gradliniger Kornanteillinie die Formel

$$U = \frac{0,434 \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}{\lg d_1 - \lg d_2} cm^{-1}.$$

Für bindigere mineralische Bodenarten in Einzelkornstruktur kann die spezifische Oberfläche überschläglich berechnet werden sowohl aus der Hygroskopizität w_h , d. i. die Wasseraufnahme von 100 g trockenem Boden über 10prozentiger Schwefelsäure, nach der Formel

$$U_a = 1600 w_h (1 + 0,0016 w_h^3) \text{ cm}^{-1}, \quad (11)$$

als auch aus den Gewichtsprozenten g der Korngröße $< 0,002 \text{ mm}$ nach der Formel

$$U_b = 720 g + 40 g^2 \text{ cm}^{-1} \text{ (bis } g = 25\% \text{ gültig)}. \quad (12)$$

Man bildet zweckmäßig den Mittelwert

$$U = \frac{U_a + U_b}{2}$$

Nach der spezifischen Oberfläche kann man die mineralischen Bodenarten wie folgt einteilen:

Bodenart in Einzelkornstruktur	U cm^{-1}	k_o für $p_o = \text{rd. } 30\%$ $\text{cm}^{-1} \text{ sk}^{-2}$
Kiese	< 10	$> 2 \cdot 10^{-3}$
Kiessande und Sande . . .	$10 - 200$	$2 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-6}$
Schief. und lehm. Sande .	$200 - 3000$	$5 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-8}$
Sandige Lehme und Lehme	$3000 - 40000$	$2 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-10}$
Schwere Lehme und Tone	> 40000	$< 1 \cdot 10^{-10}$
Beobachteter schwerster Ton	320000	

Nur Kiese und Sande haben hiernach eine nennenswerte Durchlässigkeit, bindigere Bodenarten nur dann, wenn sie nicht in Einzelkornstruktur vorliegen, sondern in Krümelstruktur, wobei zur etwaigen Berechnung der wirksamen (sekundären) spezifischen Oberfläche die Krümel selbst als Bodenteilchen anzusehen sind.

Mit Gleichung 8 kann man aus Bodenproben, die bei einer Brunnenbohrung dem Untergrund entnommen sind, die Durchlässigkeit der grundwasserführenden Schichten bestimmen. Im nachstehenden ist ferner ein Verfahren zur Ermittlung der Wasserlieferung eines Brunnens angegeben.

Abb. 1 zeigt den senkrechten Schnitt durch einen vollkommenen Brunnen mit freiem Spiegel. Im Beharrungszustand wird die geschöpfte und die Wassermenge, die durch die Mantelfläche F eines jeden konzentrisch um den Brunnen gelegt gedachten Zylinders fließt,

$$Q = v F = \frac{k_o}{\eta} F J_o \text{ cm}^3/\text{sk} \quad (13)$$

Die im Abstände x vom Brunnenmittelpunkt allseitig dem Brunnen zufließende Wassermenge wird dann nach den Bezeichnungen in der Abbildung

$$Q = \frac{k_o}{\eta} \cdot 2 \pi x y \cdot \gamma \frac{dy}{dx}$$

worin γ das spezifische Gewicht des Wassers ist. Nach Auflösung dieser Differentialgleichung ergibt sich

$$Q = \frac{k_o \pi \gamma (H^2 - h^2)}{\eta \ln \frac{R}{r}} \quad (14)$$

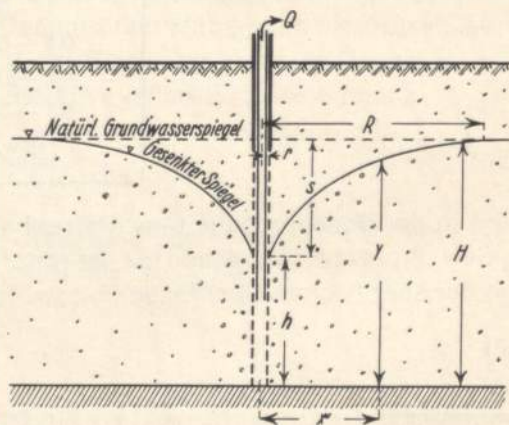


Abb. 1. Schnitt durch einen vollkommenen Brunnen mit freiem Grundwasserspiegel

Wird das Mittel aus der Mächtigkeit des Grundwassers am Brunnen vor und nach der Spiegel-senkung mit m und die Spiegelabsenkung am Brunnen mit s bezeichnet, so ist

$$(H^2 - h^2) = (H + h) \cdot (H - h) = 2 m s$$

und somit

$$Q = \frac{k_0 \pi \gamma 2 m s}{\eta \ln \frac{R}{r}} \text{ cm}^3/\text{sk} \quad (15)$$

Abb. 2 zeigt den senkrechten Schnitt durch einen vollkommenen Brunnen mit gespanntem Spiegel. Es wird hierfür ebenfalls nach Gleichung 13

$$Q = \frac{k_0}{\eta} \cdot 2 \pi x m \cdot \gamma \frac{d y}{d x} \quad (16)$$

und nach Auflösung dieser Differentialgleichung

$$Q = \frac{k_0 \pi \gamma 2 m s}{\eta \ln \frac{R}{r}} \text{ cm}^3/\text{sk} \quad (17)$$

In beiden Fällen erhält man also unter der Voraussetzung, daß unter m die mittlere Mächtigkeit des Grundwassers am Brunnen vor und nach der Spiegelabsenkung verstanden wird (die im Falle der Abb. 2 konstant bleibt), dieselbe Endformel. Für eine mittlere Grundwassertemperatur von 10° mit $\eta = 0.013$ und $\gamma = \text{rd. } 1$ geht Gleichung 15 bzw. 17 über in

$$Q = \frac{483 k_0 m s}{\ln \frac{R}{r}} \text{ cm}^3/\text{sk} \quad (18)$$

Gleichung 8 in Gleichung 18 eingesetzt, ergibt

$$Q = \frac{483 p^2 m s}{(1 - p)^2 U^2 \ln \frac{R}{r}} \quad (19)$$

Der Faktor $\ln \frac{R}{r}$ ist aus folgender Tafel zu entnehmen:

$\frac{r}{m}$	$\ln \frac{R}{r}$ bei einem Halbmesser R von			
	25 m	50 m	100 m	250 m
0,2	4,8	5,5	6,2	7,1
0,1	5,5	6,2	6,9	7,8

Die Reichweite R der Absenkung nimmt mit der Größe der Absenkung und der Durchlässigkeit des Untergrundes zu. Bei kleineren Schöpfungsmengen genügt es, für $\ln \frac{R}{r} = 6$ und bei größeren $\ln \frac{R}{r} = 7$ zu setzen.

Für ein Porenvolumen von 30 bis 35 % wird dann die Brunnenergiebigkeit bei kleineren Schöpfungsmengen

$$Q = 15 \text{ bis } 23 \frac{m s}{U^2} \text{ cm}^3/\text{sk} \quad (20)$$

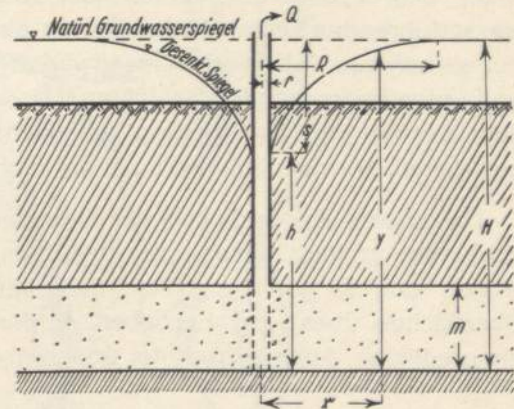


Abb. 2. Schnitt durch einen vollkommenen Brunnen mit gespanntem Grundwasserspiegel

und bei größeren Schöpfungsmengen

$$Q = 12 \text{ bis } 20 \frac{m \ s}{U^2} \text{ cm}^3/\text{sk} \quad , \quad (21)$$

wobei der kleinere Faktor für das kleinere und der größere Faktor für das größere Porenvolumen der wasserführenden Bodenschicht gilt.

Die vorstehenden Ableitungen gelten zunächst unter der Voraussetzung, daß die wasserführende Bodenschicht eine unbegrenzte horizontale Ausdehnung hat und die sie oben und unten begrenzenden Schichten kein Wasser abgeben. In Wirklichkeit werden die erbohrten wasserführenden Schichten häufig nur eine geringe horizontale Erstreckung haben, manchmal nur als schmale Adern oder Linsen vorhanden sein. Andererseits werden aber auch die sie oben und unten begrenzenden Schichten Wasser abgeben. Diese beiden Einflüsse werden sich mehr oder weniger in ihrer Wirkung ausgleichen. Bei Nachprüfungen in der Praxis haben sich die gegebenen Formeln jedenfalls als gut brauchbar erwiesen⁵⁾.

Die lineare Abhängigkeit der Geschwindigkeit vom Gefälle ist auf Grund gewisser Beobachtungen an Versuchsbrunnen bestritten worden. Eingehende Laboratoriumsversuche haben jedoch eine so gut wie vollkommene lineare Abhängigkeit zwischen v und J für spezifische Oberflächen über 5 cm^{-1} ergeben. In der Praxis treten zwar manchmal Einflüsse auf, welche die gradlinige Abhängigkeit der Geschwindigkeit vom Gefälle scheinbar verändern in

$$v = \frac{k_o}{\eta} J_o^n, \text{ worin } n < 1 \text{ ist.} \quad (22)$$

Für diese Abweichung von der durch Gleichung 3 ausgedrückten gesetzmäßigen Beziehung kommen folgende Ursachen in Frage:

1. Während der Periode der Absenkung des Grundwasserspiegels nimmt innerhalb des sich bildenden Absenkungstrichters die Wassermenge, die dem Brunnen zuströmt, nach dem Brunnen hin um einen aus der fortschreitenden Absenkung ableitbaren Betrag zu. Die Formeln 2 bis 5 gelten aber nur für eine in jedem Abstand vom Brunnen gleichbleibende Zuflußmenge.
2. Infolge der Absenkung und der mit dem abnehmenden hydrostatischen Druck verbundenen verminderten Absorptionsfähigkeit der tieferen Grundwasserschichten für Gase scheiden sich nach dem Brunnen hin zunehmend Gasbläschen aus und verringern die Durchlässigkeit des Bodens. Die Formeln 2 bis 5 gelten aber nur für eine gleichbleibende Durchlässigkeit.
3. Durch die beim Pumpbetriebe entstehenden Grundwasserströmungen kommt tieferes, mit doppeltkohlensauren Salzen beladenes Grundwasser an die Oberfläche des Absenkungstrichters, gibt dort Kohlensäure ab und scheidet als Folge davon nach dem Brunnen hin zunehmend insbesondere Eisen- und Mangansalze aus, wodurch wie unter Fall 2 die Durchlässigkeit nach dem Brunnen hin verringert wird.

⁵⁾ In „Der Kulturtechniker“ 28, S.249 (1925) hatte ich die Formel $Q = \frac{10 \ M S}{U^2}$ cbm/Std angegeben, worin M die mittlere Mächtigkeit des Grundwassers am Brunnen vor und nach der Absenkung in Meter, S die Absenkung in Meter und U die spezifische Oberfläche in mm^{-1} bedeutete. Umgerechnet in die Maßbezeichnungen der Gl. 20 und 21 würde dem die Formel $Q = \frac{28 \ m \ s}{U^2}$ cm^3/sk entsprechen.

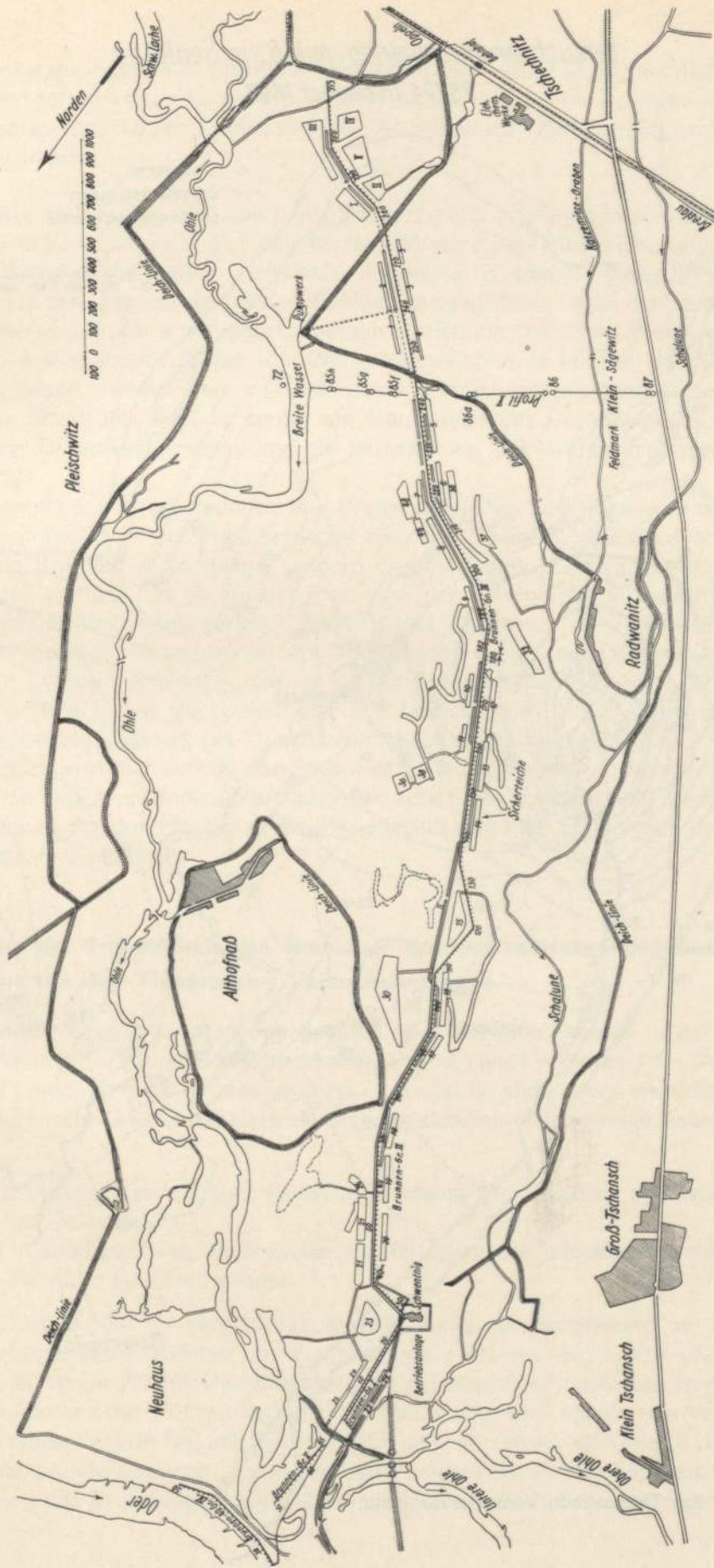


Abb. 3. Lageplan des Breslauer Grundwasserfassungsgeländes

Versuchsbrunnenbetrieb mit 6,5 m Senkung
23./24. December 1897

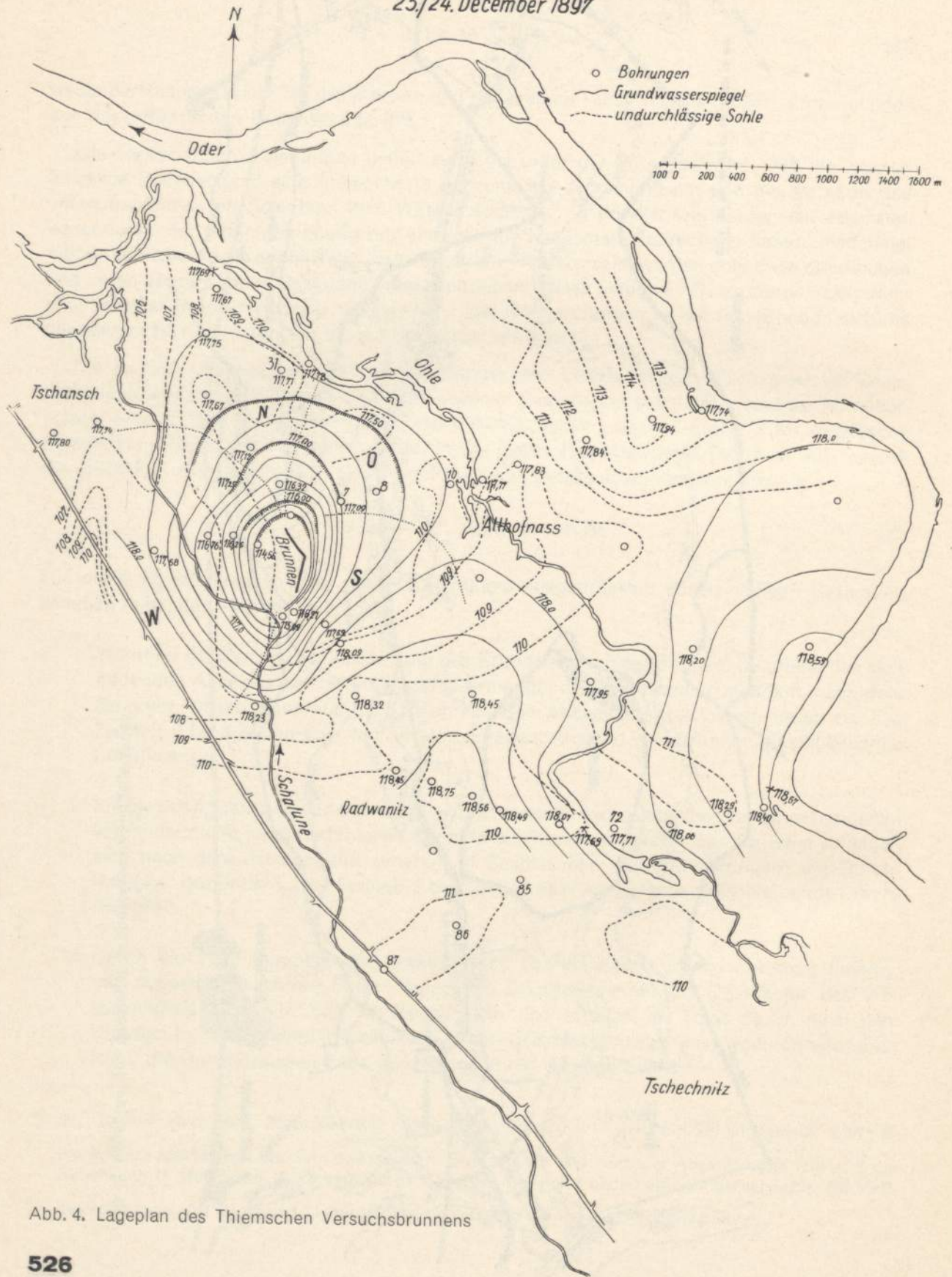


Abb. 4. Lageplan des Thiemschen Versuchsbrunnens

4. Bei Schwankungen des Grundwasserspiegels während des Brunnenbetriebes, die am Brunnen am stärksten sein werden, werden von dem steigenden Grundwasser Luftbläschen eingeschlossen, die wie unter Fall 2 die Durchlässigkeit des Bodens nach dem Brunnen hin verringern.

In all diesen Fällen sind also die den Formeln 2 bis 5 zugrunde liegenden Annahmen der von Querschnitt zu Querschnitt gleichbleibenden Wasserdurchflußmenge und gleichbleibenden Bodendurchlässigkeit nicht mehr zutreffend. In Formel 22 werden diese unzutreffenden Annahmen durch den Exponenten n des Gefälles ausgeglichen. n ist hier also ein Notbehelf und nicht der Ausdruck einer gesetzmäßigen Beziehung zwischen Wassergeschwindigkeit und Gefälle. n wird um so stärker vom Werte 1 abweichen, je reicher das Grundwasser an absorbierten Gasen, insbesondere an Kohlensäure und Schwefelwasserstoff sowie an doppelt-kohlensauren Salzen ist, je größer ferner die Mächtigkeit des Grundwassers, die Absenkung, die geschöpfte Grundwassermenge und die Schwankung des Grundwasserspiegels im Pumpbetriebe sind.

Da die Menge der ausgeschiedenen und eingeschlossenen Gasbläschen und der festen Ablagerungen mit der Dauer des Pumpbetriebes zunimmt, ist der Exponent n nicht nur zwischen den einzelnen Brunnen verschieden, sondern er nimmt auch bei ein und demselben Brunnen im allgemeinen mit der Zeit ab. Es ist dies eine der wesentlichsten Ursachen, auf welcher das Sinken der Schöpfmenge beruht. Bei kurzer Dauer des Pumpversuchs und für Messungen nach Erreichung einer konstanten Lage des Grundwasserspiegels gilt jedoch Formel 3 bzw. 5, d. h. es ist der Exponent n in Gleichung 22 gleich 1. Das ergibt sich auch aus den Beobachtungen am Thiemschen Versuchsbrunnen im Breslauer Grundwasserfassungsgelände, der im nächsten Abschnitt behandelt wird.

Grundsätzlich wird man sich bei den Entwurfsarbeiten größerer Grundwasserfassungsanlagen nicht allein mit einfachen Bodenuntersuchungen begnügen, sondern außerdem noch an einem Versuchsbrunnen die Durchlässigkeit des Untergrundes und die Ergiebigkeit des Grundwasserstromes festzustellen suchen.

2. Ermittlung der Ergiebigkeit des Breslauer Grundwasserfassungsgeländes durch Auswerten des Thiemschen Versuchsbrunnens

Das Breslauer Grundwasserfassungsgelände liegt oberhalb Breslau in der Ohleniederung zwischen Ohle und Schalune und erstreckt sich auf eine Länge von rund 7 km (Abb. 3). Der Entwurf mit der Einrichtung der Brunnengruppen I, II und III stammt von dem Baurat A. Thiem. Im großen Durchschnitt weist das Gelände folgende ziemlich gleichmäßige Bodenbeschaffenheit auf:

- 0—0,6 m humushaltiger lehmiger Feinsand, flächenweise Auelehm bis etwa 1,5 m Tiefe,
- 0,6 (1,5)—5 m Feinsand,
- 5—10 (13) m sandiger Kies, stellenweise von feinsandigen Schichten durchsetzt, darunter diluvialer Geschiebemergel.

Vom 31. Oktober 1897 bis zum 25. Januar 1898 wurde zur Feststellung der Ergiebigkeit der grundwasserführenden Schichten ein Pumpversuch zwischen Tschansch und Althofnaß mit 25 Rohrbrunnen von je 150 mm Durchmesser bei 6 m Länge des Filterkorbes vorgenommen. Der gegenseitige Abstand der Brunnen betrug 21 m. Abb. 4 zeigt den Lageplan der Versuchsbrunnenanlage. Das Wasser wurde Tag und Nacht mit nur ganz kurzen stundenweisen Unterbrechungen aus dem Untergrunde gepumpt. Es wurde dabei sowohl die Pumpmenge als auch die Größe der Absenkung des Grundwasserspiegels in jedem einzelnen Rohrbrunnen und in zahlreichen

Beobachtungsbrunnen täglich gemessen. Dem Pumpversuch war ein Hochwasser vorausgegangen. Der natürliche Grundwasserspiegel, der normal 1,0 bis 1,5 m unter Gelände lag, war dadurch gegenüber dem normalen Stand etwas erhöht worden, wie folgende Tafel lehrt:

Tag der Beobachtung	Höhe des Grundwasserspiegels in den Röhren			
	7 m NN	8 m NN	10 m NN	31 m NN
25./26. Mai 1894	117.88	117.88	117.81	117.70
16. Oktober 1897	117.94	118.04	117.87	118.02
21. bis 23. April 1898	118.12	—	118.06	118.00

Vom 31. Oktober 1897 bis zum 24. Dezember 1897 wurde die Senkung des Grundwasserspiegels in den 25 Rohrbrunnen konstant auf 6,3 m unter dem natürlichen Grundwasserstand gehalten. Die dabei am 23. und 24. Dezember 1897 gemessene Höhenlage des Grundwasserspiegels in den Beobachtungsrohren der Umgebung der Brunnenreihe ist in Abb. 4 durch die voll ausgezogenen Höhenlinien des Grundwasserspiegels dargestellt.

Der Versuch schloß am 24. Dezember 1897 mit einer Schöpffmenge von 83,1 Liter je Sekunde oder 7180 cbm je Tag ab. Am 1. Pumptage, dem 31. Oktober 1897, war die Pumpmenge **175,2 l/sk**, am 9. 12. 97 **92,6 l/sk**, am 15. 12. 97 **89,0 l/sk**, am 22. 12. 97 **84,0 l/sk** gewesen. Der Beharrungszustand, der sich in einer gleichbleibenden Schöpffmenge ausdrücken mußte, war also noch nicht ganz erreicht worden. Thiem verminderte anschließend die Absenkung in den Brunnen auf 4,3 m. Dieser Versuch wurde am 27. 12. 97 begonnen und am 7. 1. 98 beendet. Die dabei zuletzt geförderte Wassermenge war **46,6 l/sk**. Darauf sperrte Thiem die Hälfte der Brunnen ab und pumpte das Grundwasser vom 8. 1. bis 25. 1. 98 bei wieder 6,3 m Spiegelsenkung nur aus 12 Brunnen. Da die Verkürzung der Fassungsanlage um nahezu die Hälfte eine Verminderung der Ergiebigkeit auf **55,6 l/sk**, also um **27,5 l/sk** bewirkt hatte, folgerte er daraus, daß für den Tagesbedarf von 60 000 cbm oder **700 l/sk** und bei etwa 21 m Abstand der Brunnen voneinander

$$\frac{12 \cdot 27,5 + (700 - 55,6) 13}{27,5} = 316 \text{ Brunnen}$$

erforderlich und ausreichend sein würden, für die eine Tallänge von $316 \cdot 21 = \text{rd. } 7 \text{ km}$ Länge genügen würde.

Thiem glaubte aus diesem Versuchsbrunnenbetrieb schließen zu dürfen, daß das Gelände von Pirscham bis Tschechnitz zwischen der Ohle und der Schalune dauernd 60 000 cbm Grundwasser je Tag unzweifelhaft würde liefern können. Auf Grund seines Gutachtens wurden gebaut die

- Brunnengruppe I mit 26 Brunnen,
- Brunnengruppe II mit 155 Brunnen,
- Brunnengruppe III mit 132 Brunnen.

Jede Brunnengruppe hat eine eigene Heberleitung, an die die einzelnen Brunnen absperrbar angeschlossen sind. Die Heberleitungen der Brunnengruppen I und III münden in den Sammelbrunnen I und die der Brunnengruppe II in den Sammelbrunnen II, die sich beide im Pumpwerk Schwentnig befinden.

Es stellte sich bald heraus, daß der Untergrund die von Thiem berechnete Ergiebigkeit bei weitem nicht besaß.

Thiem hat die Beobachtungen am Versuchsbrunnen unrichtig ausgewertet, Zunächst war es schon ein Fehler gewesen, anstatt mit der kleineren Absenkung und der Hälfte der Brunnen,

mit der größten Absenkung und allen Brunnen gleichzeitig zu beginnen, weil dabei die Konstanz des Wasserspiegels, wenn überhaupt, so erst nach langer Pumpzeit erreicht werden konnte, weil ferner bei dem anschließenden Steigen des Spiegels größere Luftbläschenmengen vom Grundwasser eingeschlossen wurden, und weil der sich bildende sekundäre G -Horizont die zufließende Wassermenge herabsetzen mußte. Die Ergiebigkeit bei geringer Absenkung bzw. bei nur der Hälfte der Brunnen mußte deshalb zu klein ausfallen. Außerdem hat er nicht bedacht, daß die von Norden und von Süden zuströmenden Grundwassermengen immer nur einmal in die Rechnung eingeführt werden durften, ob man einen oder alle 313 Brunnen in Betrieb nahm. Die Thiemsche Berechnungsweise entbehrt deshalb der wissenschaftlich einwandfreien Grundlage. Nachstehend sollen die Beobachtungen am Thiemschen Versuchsbrunnen nach einem neuen Verfahren ausgewertet werden.

In Abb. 4 sind die Grundwasserstände im Bereich des Absenkungstrichters des Versuchsbrunnens bei 6,3 m Absenkung am letzten Tage der ersten Versuchsperiode durch ausgezogene Höhenlinien dargestellt, während die Höhenlage des undurchlässigen diluvialen Untergrundes durch gestrichelte Höhenlinien angegeben ist. Der der Versuchsbrunnenreihe zufließende Grundwasserstrom ist durch punktierte Linien in einen von der Schalune kommenden Westabschnitt, einen Nordabschnitt, einen von der Ohle kommenden Ostabschnitt und einen Südabschnitt zerlegt worden. Das Grundwasser fließt rechtwinklig zu den Höhenlinien des Grundwasserspiegels den Versuchsbrunnen zu. Bei Konstanz der Grundwasserspiegellage, die in dem betrachteten Zeitpunkt als annähernd erreicht angesehen werden kann, ist im Querschnitt einer jeden Höhenlinie des Grundwasserspiegels die Zuflußmenge gleich der Abflußmenge und diese schließlich gleich der Schöpfmenge. Wir setzen wieder die Wassermenge, die durch den längs einer Höhenlinie senkrecht geführten Bodenschnitt fließt,

$$Q = \frac{k_o}{\eta} J_o F \text{ cm}^3/\text{sk} \quad (23)$$

worin das durchschnittliche Druckgefälle J_o (spezif. Gewicht des Wassers gleich 1 gesetzt) gleich dem Höhenunterschied h dividiert durch den mittleren Abstand a der benachbarten beiden Höhenlinien ist, d. h.

$$J_o = \frac{h}{a} \quad (24)$$

a ist gleich der von den benachbarten beiden Höhenlinien und den punktierten Abschnittslinien eingeschlossenen Fläche f dividiert durch die mittlere Länge l der beiden Höhenlinien, d. h.

$$a = \frac{f}{l} \quad (25)$$

Ferner ist die Bodenschnittfläche $F = l \cdot t$, (26)

worin t der mittlere Höhenunterschied zwischen dem Grundwasserspiegel in dieser Schnittfläche und dem Untergrunde ist. Die Gl. 24, 25 und 26 in Gl. 23 eingesetzt, ergibt

$$Q = \frac{k_o h l^2 t}{\eta f} \text{ cm}^3/\text{sk} \quad (27)$$

l und f können in dem Maßstabe ausgedrückt werden, mit dem sie auf der Karte gemessen werden, z. B. in cm und cm², da sich ihre Dimensionen gegenseitig aufheben.

Führt man die Berechnung für die in Abb. 4 schraffierten Höhenlinien des Grundwasserspiegels + 117,50 m NN, + 117,00 m NN, + 116,00 m NN und + 115,50 m NN durch, so ergibt sich folgende Tafel:

Tafel 1

Zwischen den Höhenlinien + <i>m</i> NN	wird der Faktor	für die Abschnitte			
		West (W)	Nord (N)	Ost (O)	Süd (S)
117.50—117.00 mit einem mittl. Grund- wasserstand von 117.25	<i>f</i> in <i>cm</i> ²	5.73	3.59	5.17	3.05
	<i>l</i> in <i>cm</i>	6.80	2.43	3.38	5.55
	Höhe des undurchlässig. Untergrundes <i>m</i> NN	107.75	109.25	110.00	109.50
	<i>t</i> in <i>cm</i>	950	800	725	775
117.00—116.00 mit einem mittl. Grund- wasserstand von 116,50	<i>f</i> in <i>cm</i> ²	4.80	1.20	1.66	2.43
	<i>l</i> in <i>cm</i>	5.08	0.95	1.63	4.10
	Höhe des undurchlässig. Untergrundes <i>m</i> NN	108.50	109.00	110.00	110.00
	<i>t</i> in <i>cm</i>	800	750	650	650
116.00—115.50 mit einem mittl. Grund- wasserstand von 115.75	<i>f</i> in <i>cm</i> ²	1.26	0.06	0.30	0.54
	<i>l</i> in <i>cm</i>	3.58	0.25	0.80	3.05
	Höhe des undurchlässig. Untergrundes <i>m</i> NN	108.50	109.00	109.50	110.00
	<i>t</i> in <i>cm</i>	725	675	625	575

$$\text{Setzt man noch } \frac{h l^2 t}{f} = A, \quad (28)$$

$$\text{so wird } Q = \frac{k_o}{\eta} A \quad (29)$$

Werte für den Faktor $\frac{A}{100}$

Tafel 2

Zwischen den Höhenlinien + <i>m</i> NN	West (W)	Nord (N)	Ost (O)	Süd (S)	Von West bis Süd insgesamt
117.50—117.00	3833	658	801	3913	9205
117.00—116.00	4301	564	1040	4497	10402
116.00—115.50	3687	352	667	4953	9659
im Mittel	3940	525	836	4454	9755

Die Werte in der letzten senkrechten Spalte der Tafel 2, die bei einem durchweg gleichmäßigen Boden, bei voller Konstanz der Grundwasserspiegellage und der Schöpfmenge, bei fehlerfreien Beobachtungen und bei der dieser Berechnung zugrunde gelegten linearen Abhängigkeit der Grundwassergeschwindigkeit vom Gefälle einander gleich sein müßten, weisen so geringe Unterschiede auf, daß das Gesetz der linearen Abhängigkeit der Grundwassergeschwindigkeit vom Gefälle (also $n=1$ in Gl. 22) hiermit bestätigt wird. Die keine Regel befolgenden geringen Schwankungen des A-Wertes dürften sowohl auf Beobachtungsfehler als auch auf eine geringe Ungleichmäßigkeit des Untergrundes zurückzuführen sein.

Da die Schöpfmenge mit $R = 83,1 \text{ l/sk}$ bekannt ist, wird (für spez. Gewicht des Wassers $\gamma = 1$) der Darcysche Durchlässigkeitsbeiwert

$$k = \frac{k_o}{\eta} = \frac{Q}{A} = \frac{83\,100}{975\,500} = 0,0852 \text{ cm/sk} \quad (30)$$

$$\text{oder } 73,6 \text{ m/Tag,} \quad (30a)$$

und bei Annahme einer Grundwassertemperatur von 10° ($\eta = 0,013$) wird die Durchlässigkeit des Untergrundes

$$k_o = 0,00111 \text{ cm}^{-1} \text{ sk}^{-2} \quad (31)$$

Gl. 30a bedeutet, daß sich das Grundwasser bei dem Gefälle $J = 1$ mit der Geschwindigkeit von 73,6 m am Tage bewegen würde.

Die dem Versuchsbrunnen zuströmenden Grundwassermengen sind

für den Abschnitt Westen

$$Q_W = \frac{k_o}{\eta} \cdot 394\,000 = 33\,600 \text{ cm}^3/\text{sk} \text{ oder } 2903 \text{ m}^3/\text{Tag,}$$

für den Abschnitt Norden

$$Q_N = \frac{k_o}{\eta} \cdot 52\,500 = 44\,700 \text{ cm}^3/\text{sk} \text{ oder } 386 \text{ m}^3/\text{Tag,}$$

für den Abschnitt Osten

$$Q_O = \frac{k_o}{\eta} \cdot 83\,600 = 71\,200 \text{ cm}^3/\text{sk} \text{ oder } 615 \text{ m}^3/\text{Tag,}$$

für den Abschnitt Süden

$$Q_S = \frac{k_o}{\eta} \cdot 445\,400 = 379\,000 \text{ cm}^3/\text{sk} \text{ oder } 3275 \text{ m}^3/\text{Tag.}$$

Der Abschnitt Westen nimmt am diluvialen Höhenrande eine Breite von 2 km und der Abschnitt Osten an der Ohle eine Breite von 1,3 km ein. Somit wird der Grundwasserzufluß für den laufenden Meter

$$\text{im Westen} \quad Q_W = 1,425 \text{ m}^3/\text{Tag m,}$$

$$\text{und im Osten} \quad Q_O = 0,473 \text{ m}^3/\text{Tag m.}$$

Somit beträgt für die rund 6,8 km lange Strecke von Pirscham bis Tschechnitz die Ergiebigkeit des vom diluvialen Höhenrande und der Schalune kommenden Grundwasserstromes

$$Q_W = 1,452 \cdot 6800 = 9\,870 \text{ m}^3/\text{Tag,}$$

jene des östlichen Grundwasserstromes

$$Q_O = 0,473 \cdot 6800 = 3\,216 \text{ m}^3/\text{Tag,}$$

jene des nördlichen Grundwasserstromes

$$Q_N = 386 \text{ m}^3/\text{Tag,}$$

jene des südlichen Grundwasserstromes

$$Q_S = 3\,275 \text{ m}^3/\text{Tag,}$$

$$\text{zusammen } 16\,747 \text{ m}^3/\text{Tag.}$$

Diese Ergiebigkeit des Grundwasserstromes gilt für die wasserreichen Wintermonate; außerdem war dem Pumpversuch ein Hochwasser vorausgegangen. Für dürre Sommermonate wird man mit einer geringeren Ergiebigkeit zu rechnen haben.

Die zahlreichen Bohrungen im Grundwasserfassungsgelände haben eine ziemlich gleichmäßige Beschaffenheit des Untergrundes erkennen lassen. Um trotzdem nachzuprüfen, ob die

im Bereich des Versuchsbrunnens gefundene Durchlässigkeit des Untergrundes auch für andere Geländeabschnitte Geltung hat, wurden die im Bereich des Profils V der Abb. 3 auf 2000 m Länge der Brunnenreihe vom 1. Januar 1931 bis 31. Januar 1933 geschöpften natürlichen Grundwassermengen mit den Grundwasserzuflüssen verglichen, die links der Brunnenreihe aus den Wasserständen in den Beobachtungsrohren 86 und 86a und rechts der Brunnenreihe aus jenen in den Rohren 85g und 85h abgeleitet werden konnten. Die geschöpften natürlichen Grundwassermengen wurden als Differenz aus der Gesamtförderung am Pumpwerk Schwentnig und der Sickerwasserförderung am Pumpwerk Klein Sägewitz an der Ohle für die betreffende Brunnenreihe von 2000 m Länge berechnet. Die Grundwasserzuflüsse wurden nach Gl. 23 aus dem zwischen den genannten Beobachtungsrohren beobachteten Gefälle, der zugehörigen mittleren Höhe des Grundwasserspiegels über der undurchlässigen Sohle für 2000 m Strombreite und unter Zugrundelegung der am Versuchsbrunnen gefundenen Durchlässigkeit von $k_0 = 0,00111 \text{ cm}^{-1} \text{ sk}^{-2}$

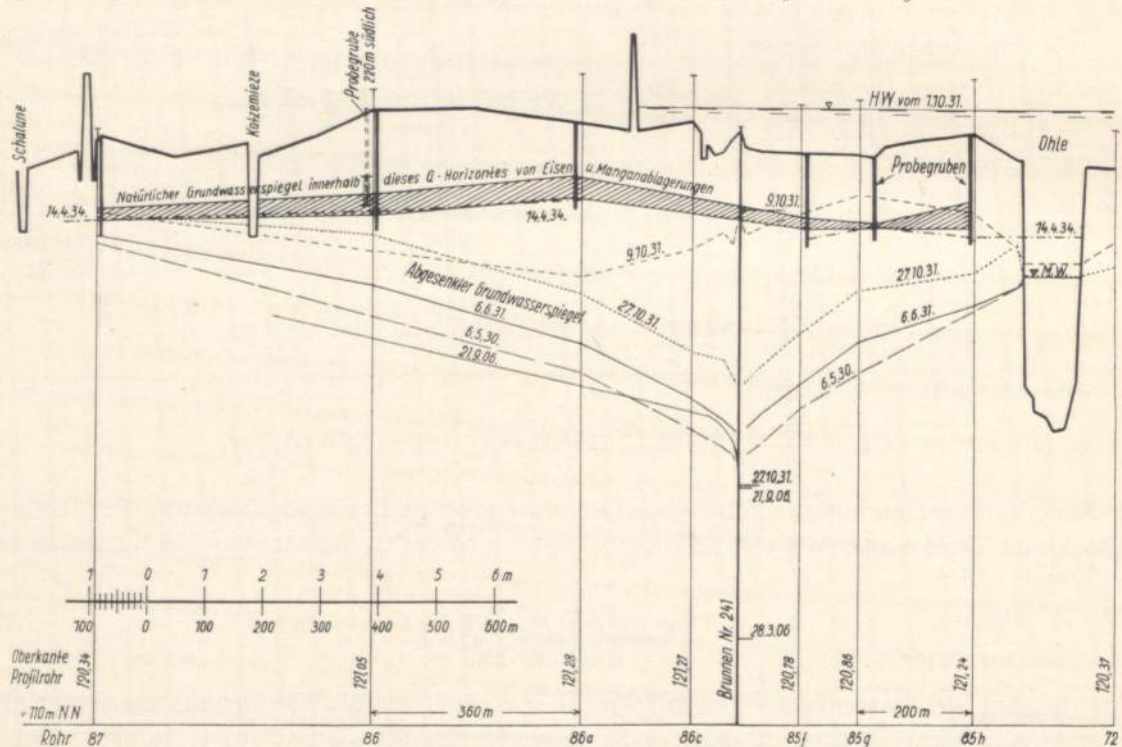


Abb. 5. Senkrechter Bodenschnitt längs des Profils V des Lageplanes

(Gl. 31) ermittelt. Abb. 5 zeigt den Bodenschnitt durch das Profil V mit einigen kennzeichnenden Grundwasserständen. Die undurchlässige Sohle liegt hier auf Ordinate + 110 m NN.

Bei der zeichnerischen Auftragung der geförderten und der berechneten Grundwassermengen als Ordinaten und der Zeit als Abszisse ergab sich, daß die Schwankungen des Grundwasserzuflusses zwischen den genannten Beobachtungsrohren den Schwankungen der Schöpfmenge um rund einen Monat nachhinkten. Eine im Oktober 1931 eintretende Hochwasserüberflutung wurde aus der Berechnung ausgeschaltet. In der nachfolgenden Tafel ist die beobachtete Entnahme dem berechneten Zufluß gegenübergestellt.

Beobachtete Entnahme		Berechneter Zufluß	
Zeit	m^3 / Tag	Zeit	m^3 / Tag
1. 1. 31 — 31. 8. 31	8304	1. 2. 31 — 30. 9. 31	7360
1. 11. 31 — 31. 1. 33	3622	1. 12. 31 — 28. 2. 33	3836

Es muß hierbei noch beachtet werden, daß das Grundwasser am 30. 9. 31 um rund 0,35 m tiefer stand als am 1. 2. 31. Das ergibt bei rund 300 ha Fläche beiderseitig der Brunnenreihe und einem nach dem Absaugeverfahren ermittelten nutzbaren Porenvolumen des Untergrundes von rund 24 % eine zusätzliche Grundwassermenge von 1037 m³/Tag. Der gesamte Zufluß zu der Brunnenreihe war somit 7360 + 1037 = 8397 m³/Tag, was gut mit der beobachteten Entnahme übereinstimmt. Mithin haben sich auch hier die beiden Grundlagen dieser Berechnung, die Übertragung der am Versuchsbrunnen ermittelten Durchlässigkeit auf Profil V und die lineare Abhängigkeit der Grundwassergeschwindigkeit vom Gefälle, als richtig erwiesen.

Es wurde ferner die Sickergeschwindigkeit des Wassers in den längs der Brunnenreihen angelegten Sickerteichen aus dem Absinken des Teichwasserspiegels bei abgesperrtem Zufluß, nachdem die in Schalen festgestellte Verdunstungshöhe hinzugerechnet worden war, mit folgenden Beträgen bestimmt:

Teich Nr.	1	4	11	18	20
Jahr der Anlage	1914	1914	1918	1922	1923
Wasserspiegelbreite in m	11.4	10.0	20.0	25.0	20.0
Wasserspiegellänge in m	140	256	135	160	190
Wasserspiegelhöhe bei Beginn der Versickerung in m NN	119.50	119.45	—	—	—
Wassertiefe bis Teichsohle in m	—	—	2.60	2.70	2.70
Zustand der Teichsohle	schwach verschlamm	stark verschlamm	schwach verschlamm	sehr stark verschlamm	sehr stark verschlamm
Versickerung in mm/Std	7.04	1.52	10.21	3.20	1.98

Die Teiche 1 und 4 sind die ältesten, die Teiche 18 und 20 die jüngsten von den untersuchten Teichen. Aus diesen Sickerversuchen kann man selbstverständlich keine Schlüsse auf die Durchlässigkeit der wasserführenden Schichten des Untergrundes ziehen, weil für die Versickerung der Zustand der Teichsohle maßgebend ist. Die durchschnittliche Versickerung in den fünf Teichen ist 4,8 mm/Std = 115 mm/Tag. Hingegen ist die Grundwassergeschwindigkeit bei dem Gefälle $J = 1$ (nach Gl. 30a) 73,6 m/Tag. Für das gleiche Gefälle (in der Teichsohle ist das Gefälle größer als 1) ist also die Wassergeschwindigkeit in den durchlässigen Schichten des Untergrundes mehr als 1000 mal größer als in der Teichsohle.

Die aus den Beobachtungen am Versuchsbrunnen ermittelte Ergiebigkeit des Grundwasserstromes, die im Jahresdurchschnitt mit weniger als 16 000 cbm/Tag etwa nur ein Viertel der von Thiem angenommenen Ergiebigkeit beträgt, ist im Laufe der Jahre durch die Erfahrung bestätigt worden. Im ersten Jahre der Inbetriebnahme der drei Brunnengruppen I, II und III wurden vom 1. 4. 1905 bis 31. 3. 1906 bei sehr tiefer Absenkung des Grundwassers nur durchschnittlich 42 230 m³/Tag anstatt der erwarteten 60 000 m³/Tag gefördert. Diese Förderung wurde außerdem nur durch ein weitgehendes Ausschöpfen des Grundwassers ermöglicht. In Abb. 5 ist der Grundwasserspiegel des Profils V vom 21. 9. 1906 eingezeichnet. Am 28. 3. 1906 lag er, wie die am Brunnen Nr. 241 eingetragene Ordinate erkennen läßt, noch ganz wesentlich tiefer. Das Hochwasser vom 28. 3. 1906 hatte ihn wieder erhöht. Die Grundwasserkatastrophen vom 28. März 1906 und 21. September 1906, bei denen im Gefolge von Hochwässern, die das Grundwasserfassungsgelände überschwemmten, große Eisen- und Manganmengen in die Brunnen und das Wasserleitungsnetz eingeschwemmt wurden, hatten an sich wenig mit der Tiefe der Absenkung zu tun und wären, wenn zwar in abgeschwächtem Maße, auch bei geringerer

Grundwasserspiegelsenkung eingetreten. Denn sie beruhen auf einer Auslaugung des vom Grundwasser freigelegten *G*-Horizontes durch humus- und schwefelsaure Sickerwässer (Schwefel-eisenzersetzung). Den in sieben Probegruben des Profils V aufgedeckten und in Abb. 5 eingezeichneten *G*-Horizont muß man sich durch Ausscheidungen von Eisen- und Mangansalzen aus dem Grundwasser in den Bodenporen in Höhe der geschlossenen Kapillarwasserzone des natürlichen Grundwasserspiegels entstanden denken. Er ist waagrecht geschichtet, besteht in seinen oberen Schichten aus hellroten Eisen- und unten meistens aus tiefblauschwarzen Mangan-oxiden und unterscheidet sich dadurch von dem in Höhe des offenen Kapillarwassers aus dem Sickerwasser in den Bodenporen zur Ablagerung kommenden, schmutzig gelbrot oder dunkelbraun gefärbten, senkrechtstreifigen oder zackig ausgebildeten *B*-Horizont, der aus Eisen-, Mangan-, Ton- und Humuskolloiden mit adsorbierten Salzen besteht.

Infolge der Eisen- und Manganeinbrüche ruhte vom Oktober 1906 bis Anfang August 1914 der Betrieb der Brunnengruppe III und eines Teiles der benachbarten Brunnengruppe II. In der Zwischenzeit wurde ein Verfahren der Manganausfällung aus dem Trinkwasser entwickelt und die Enteisungsanlagen wurden erweitert. Im November 1908 wurde eine neue Brunnengruppe IV an der Oder in Betrieb genommen, außerdem begann man das Grundwasser durch Berieselung künstlich anzureichern. Vom Jahre 1914 ab wurden Sickerteiche in großem Ausmaß angelegt. Zeitweilige Hochwasserüberschwemmungen sorgten ebenfalls für ein Wiederauffüllen des Grundwassers. Im Jahre 1933 wurde ein Zubringer von der Oder nach der Ohle und im Jahre 1934 außer einer größeren Anzahl neuer Sickerteiche ein Walzenwehr bei Althofnaß gebaut, um durch reichliches Versickernlassen von Oberflächenwasser eine dem steigenden Bedarf angepaßte Grundwasserförderung sicherzustellen und auch die Grundwasserstände im landwirtschaftlichen Interesse zu erhöhen, steigt doch in den heißen Sommermonaten der Wasserverbrauch Breslaus an Höchstverbrauchstagen auf 92 000 m³. Durch diese Maßnahmen ist im Laufe mehrerer Jahrzehnte der Schaden wieder gutgemacht worden, der aus einer verfehlten Ergiebigkeitseinschätzung des Grundwasserstromes entstanden war.

Die Lage des *G*-Horizontes in Abb. 5 zeigt, daß der natürliche Grundwasserspiegel nach den beiden Vorflutern, der Ohle und der Schalune, geneigt war. Er wurde innerhalb dieses Gebietes also nur von natürlichen Niederschlägen gespeist. Bei einer mittleren jährlichen Niederschlagshöhe von rund 600 mm und einer Verdunstungshöhe von rund 450 mm ergibt sich — da ein oberirdischer Abfluß in dem durchlässigen Gelände nur in geringem Ausmaß erfolgen wird — eine jährliche Versickerung von fast 150 mm, die je Hektar rund 4,5 cbm/Tag Grundwasser liefert. Bei einer Größe des Grundwasserfassungsgeländes zwischen Ohle und Schalune von rund 1400 ha ist somit die natürliche Ergiebigkeit des Grundwasserstromes nur rund 300 cbm/Tag. Die aus dem Versuchs-

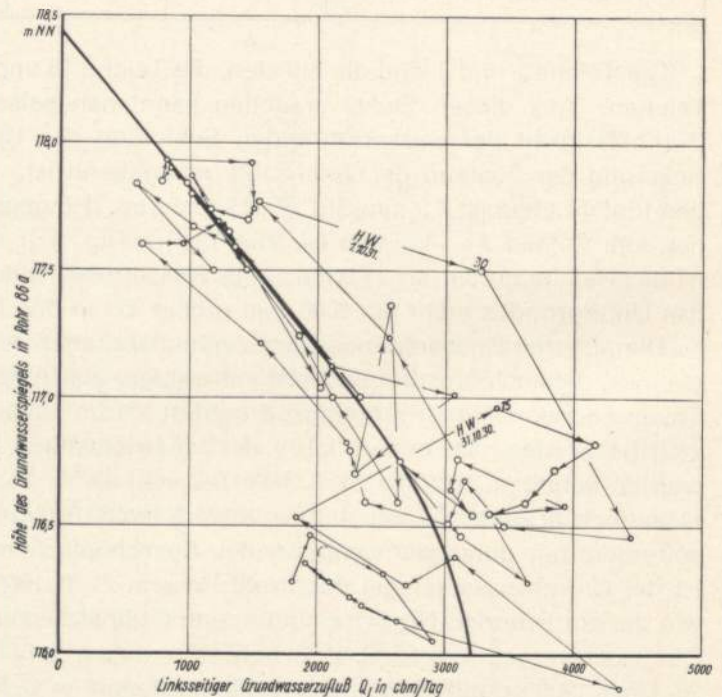


Abb. 6. Beziehung zwischen Grundwasserstand im Profil V und linksseitigem, natürlichem Grundwasserzufluß zur Brunnenreihe in 2000 m Strombreite

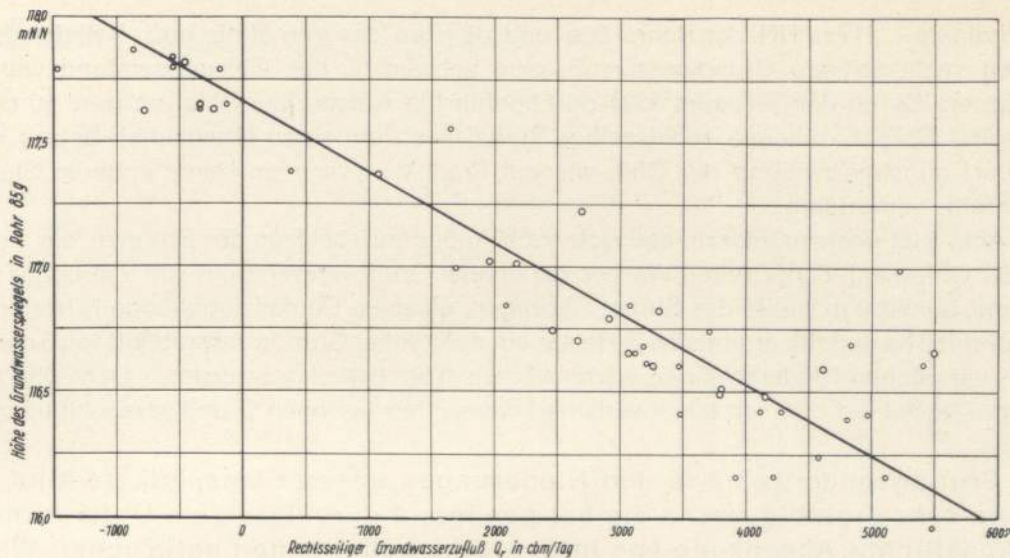


Abb. 7. Beziehung zwischen Grundwasserstand im Profil V und rechtsseitigem, natürlichem Grundwasserzufluß zur Brunnenreihe in 2000 m Strombreite, Ohle nicht aufgestaut

brunnenbetriebe errechnete Ergiebigkeit von rund 16 000 cbm/Tag beruhte hiernach zum größten Teil auf den Sickerwassermengen, welche bei der künstlichen Absenkung des Grundwassers die Wasserläufe an den Untergrund abgaben.

Wie wirksam breite, in der Nähe der Brunnengruppen liegende Wasserläufe sein können, lassen die Abb. 6, 7 und 8 erkennen, von denen Abb. 6 die im Profil V in 2000 m Strombreite von der Schalune kommenden linksseitigen Grundwasserzuflüsse bei verschiedener Höhe des Grundwasserspiegels in Rohr 86a,

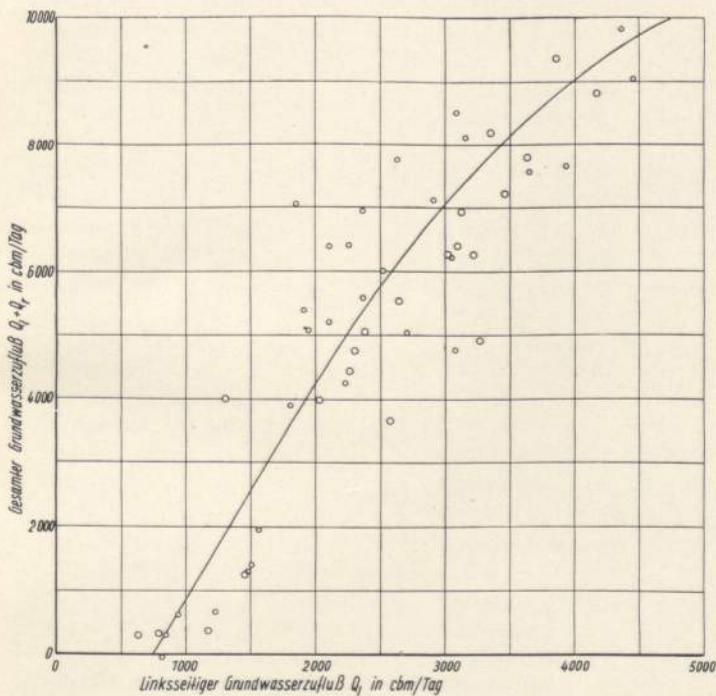


Abb. 8. Beziehung zwischen gesamtem und linksseitigem, natürlichem Grundwasserzufluß im Profil V bei 2000 m Strombreite, Ohle nicht aufgestaut

Abb. 7 die von dem Breiten Wasser der Ohle kommenden rechtsseitigen Grundwasserzuflüsse in Abhängigkeit von den Wasserständen im Beobachtungsrohr 85g und Abb. 8 im gleichen Profil das Verhältnis des linksseitigen zu dem gesamten, also beiderseitigen Grundwasserzufluß wiedergeben. Die Einzelwerte der Zuflußmengen sind wieder nach Gl. 23 aus den Grundwasserständen berechnet worden, die am 21.9.1906 und vom 27. 11. 1929 bis 11. 12. 1933 in den linksseitigen Rohren 86 und 86a, vom 27. 11. 1929 bis 22. 2. 1933 in den rechtsseitigen Rohren 85 g und 85 h beobachtet worden sind. Während bei hohen Grundwasserständen der linksseitige Grundwasserstrom wegen der nach Norden weisenden Richtung des natürlichen Grundwassergefalles weit mehr Grundwasser bringt als der rechte, kehrt sich von etwa der Grundwasser-

spiegelordinate + 117 m NN der Rohre 86a und 85 g an das Verhältnis um. Bei den berücksichtigten rechtsseitigen Grundwasserzuflüssen schwankte der Ohlewasserstand wenig um Mittelwasser. Durch den im Jahre 1934 durchgeführten Aufstau der Ohle um rund 80 cm wird der aus der Ohle kommende rechtsseitige Zufluß noch um einen erheblichen Betrag erhöht. Eine derart günstige Wirkung der Ohle wie am Profil V ist zwar an keiner anderen Stelle der Brunnenreihe vorhanden.

Aus Abb. 8 ist noch zu folgern, daß sich nach Außerbetriebsetzen der Brunnen ein bei MW-Stand der Ohle nach dem Breiten Wasser gerichteter Grundwasserstrom von 750 cbm/Tag Abflußmenge, auf 2000 m Breite des Stromes bezogen, einstellt. Da das zugehörige Niederschlagsgebiet rund 150 ha umfaßt, ergibt sich je Hektar ein natürlicher Grundwasserabfluß von 5 cbm/Tag. Aus den natürlichen Niederschlägen waren 4,5 cbm/Tag berechnet worden. Der höhere Wert von 5 cbm/Tag ist auf den von talaufwärts herkommenden geringen Grundwasserzufluß zurückzuführen.

Die Grundwasserströme in den Niederungen unserer Wasserläufe sind somit nur dann sehr ergiebig, wenn sie bei genügend durchlässigem Untergrund und tiefer künstlicher Absenkung von in der Nähe befindlichen natürlichen Wasserläufen oder künstlich angelegten Sickerteichen gespeist werden. Sickerteiche und Wasserläufe als Versickerungsanlagen tragen zwar den Keim des Vergehens in sich, weil die Schwebestoffe des versickernden Wassers allmählich die Sohle der Teiche und Wasserläufe undurchlässig machen, und zwar um so schneller, je häufiger die Teiche geräumt werden. Man wird deshalb voraussichtlich allmählich dazu übergehen müssen, künstliches Grundwasser durch großzügige Einrichtung von Beregnungs- und Berieselungsanlagen zu erzeugen, die der Landwirtschaft gleichzeitig einen Ersatz für das entzogene Grundwasser bieten und so der Trinkwasserversorgung und den Belangen der Landwirtschaft aufs beste dienen.



Namen- und Sachregister

Enthält die Namen der erwähnten Angehörigen der Hochschule und der Verfasser der Aufsätze sowie sachliche Hinweise auf die Institute der Hochschule und den Inhalt der Aufsätze

- Abegg 9
Altstadtsanierung 95
Arbeitsleistung 382. 387
Arbeitsrecht 35
Arbeitswissenschaft 382. 387
Arbeitszeitermittlung 206
Astronomie 211. 231
Autobahnen 273
- Baer 26. 29
Basalt im Straßenbau 236
Bastfasern 13
Bauernwirtschaft 108
Baukonstruktionen 21
Baum 39
Bechtel 14. 15
Beck 31
Bederke 42. 307. 308
Befähigungsstrukturen 382
Befestigungen 72
Beger 16. 17. 23. 55—60
Bergbau 39
Bergschäden 368
Bergwerksmaschinen 38. 495
Berkner 17. 23. 24
Berrer 17. 19. 22. 61—71
Berufseignung 382
Berufserziehung 389
Berufsgestaltung 389
Betriebsführung 387
Beulke 33
Beutell 43
Bibliothek 44
Bimler 17. 25. 72—94
Biochemie 12. 129
Blecken 17. 19. 95—104
Blei 172
Bode 17. 18. 19
Bohner 33
Borne, von dem 42
Bornemann 10. 36. 37
Bräuer 14. 15
Breslau 72
Bruck 15
Brückenbau 22
v. Bubnoff 42
Buder 17. 23
Buege 33. 34
- Carathéodory 4. 105—107
Chemie, angewandte physikalische 296
Chemie, Anorganische 7
Chemie, Organische 10
- Chemie, Physikalische 9
Chemie, Technische 8
Cloos 42. 307
- Dampfdruck 172. 392
Dehn 4
Diepschlag 25. 36
Diesellokomotiven 495
Dietrich 13. 14. 191
Dissoziationsdruck 392
Dobers 17. 25
- Ebert 8
Ehrenberg 13. 108—128
Ehrlich 12. 129—141
Eisenbahnmaschinenwesen 32. 320
Eisenbahnwesen 20
Eisenbetonbau 22. 61
Eisenindustrie 189. 193
Elektronen 457
Elektrotechnik 33
Erhardt 34
Ernst 31
Erwin von Steinbach 507
Eucken 10. 12. 178
Euler 33. 142—148
- Fabrikbetrieb 30
Fahrenbach 29
Faltin 29
Feyer 5. 16. 25. 149—171
Finanzierungslehre 243
Fingas 296—306
Fischer 172—178
Flugzeugbau 4
Frech 39. 42
v. Friedländer-Fuld 11
Friedrich 36. 37
Friese 7
- Gebirgsschläge 341
Gehör, Menschliches 470
Geisler 13. 14. 17. 179—188. 189
v. Geldern-Crispendorf 14. 189 bis 205
Gelierungsvermögen 129
Geodäsie 25
Geologie 41
Geometrie 5
Geopolitik 179
Gesamtwirtschaft (psychologische Bedingtheit) 372
Glasindustrie 197
- Gläsel 17. 20
Gleichstrommaschinen 142. 267
Gleichstrommaschinen, Oberwellenfreie 142
Gottwein 21. 30. 206—210
Gross 6. 39. 40
Große-Leege 33
Grubenrettungswesen 42
Grundwasser 520
Gründer 40
Günther 36. 37
- Happel 5. 211—230. 231—235
Hartleb 16. 18. 236—242
Hartmann 8
Hassenbach 29. 30
Heinel 31
Hellwig 14. 15. 243—266
Hemmeter 33
Hessenberg 5
Hilpert 33. 267—272
Hintze 39. 43. 199
Hippler 30
Hofmann 12
Hollmann 11
Holzindustrie 202
Hüttenkunde 35
Hydraulik 479
- Jänecke 16. 20. 273—279
Industriebau 19. 21
Industrien, Schlesische 189
Jonas 10
Jürgens 29
- Kalkindustrie 197
Kallmünzer 29
Keramik 11
Kohlenforschungsinstitut 11
Kohlenhydratsäuren 129
Kohlenindustrie 196
Kokerei 8. 43
Kraftrohrleitungen und Sonder-
teile 280
Kraftwagenverkehr 273
Kramer 35
Krause 11
Krauß 32. 280—295
Kröger 9. 296—306
Krzymowski 17. 23. 24
Kundenwerbung 378
Kunstwissenschaft 25
Kutter 307—319
Kühle 37

Lachmann 42
Landmaschinen 34
Landwirtschaft 108
Lange 33
Lichtelektrischer Effekt 457
Loeschmann 17
Loewenstein 29
Loibl 307—319
Lotter 32. 320—328
Lubke 19
Lüdde 33
Lüty 8

Mann 5
Marcho-Silesia 4
Markscheidkunde 41
Marktanalyse 376
Marx 40. 41. 341
Maschine und Mensch 382
Maschinenindustrie 204
Maschinenlaboratorium 26
Materialienkunde 30. 37
Mathematik 4
Matting 36
Matzke 15. 45. 329—340
Mechanik 5
Menschenführung 389
Metallbearbeitung 355
Metallographie 37
Meyer 13. 42
Milch 43
Mineralogie 43
Mintrop 39. 41. 341—345
Molsdorf 44. 45
Mondstörungen 211
Möllering 17. 20
Murmman 7
Musik 15. 329
Müller 40. 41
Müller-Breslau 21

Nabelpunktskurven 105
Nauß 9
Netter 38
Neumann 8. 29. 346—354
Nickelgewinnung 461
Niederschlagsgebiete 55
Niederschuh 29
Nielsen 4
Niemczyk 39. 42
Noether 4
Oberhoffer 36
Obstsäuren 129

Papierindustrie 203
Pektin 129
Pescheck 45
Petrascheck 42

Pfeilstellung eines Tragflügels
436
Pflanzenstoffe, Neue 129
Phosphoreszenz 457
Photoeffekt 457
Photogrammetrie 5. 149
Physik 6
Pieler 39
Porzellanindustrie 198
Pressearchive 45
Puppe 38

Ratzersdorfer 21
Refa 206
Reichel 30. 31. 355—367
Rein 17. 21. 22
Rellensmann 39. 341. 368—371
Riedler 26
Rieger 15
Ringschalen 453
Rode 42
Rohrverbindungen 280
Rose 35. 372—391
Ruff 8. 178. 392—400

Sachs 43
Sauerwald 36. 37
Schammel 33. 34. 268. 270. 271.
401—431
Schenck 8. 10. 432—435
Schenk 32
Schiller 29
Schilling 13. 30
Schmeidler 4. 436—446. 447—452
Schmidt 15. 34
Schmolke 43
Schuster 7
Schwefelsäure-Katalyse 346
Schwingenflug 447
Semmler 10
Sieben 39
Siedlungswesen 19. 95
Siemens-Martin-Ofen 191
Siliciumcarbid 392
Simmersbach 36. 43
Simon 10
Soergel 42
Spackeler 39. 40. 41. 341
Spangenberg 19. 43
Städtebau 18. 19
Stahlbau 21
Steinberg 16
Steinitz 4
Steinkohlenbergbau 368
Steinkohlenkoks 190
Steuding 5. 453—456
Stock 7. 8
Straßenbau 18. 236
Straubel 29
Straus 10

Streichholzindustrie 203
Studentenheim 48
Studentenschaft 45
Studentenwerk 48
Suhrmann 10. 178. 457—460
Superphosphatindustrie 195

Tafel, V. 37. 461—469
Tafel, W. 38. 39
Talsperrenwirtschaft 500
Technologie, Chemische 8. 296
Temperaturen, hohe 172. 392
Textilindustrie 199
Thallium 172
Thiemischer Versuchsbrunnen 520
Thomas 17. 20
Tiefbau 18
Tragflügeltheorie 436
Trauer 21

Utinger 17
Vanadin 346
Variometermessungen 307
Vermessung 5. 149
Volkswirtschaft 14
Voß 10
Völkel 39

Waetzmann 6. 7. 470—478
Wagenbach 32. 479—494
Wagener 38. 48. 495—499
Walzwerkskunde 38
Wandler, Hydraulische 479
Wasserbau 17. 23
Wasserfuhr 19
Wasserkraftmaschinen 32
Wasserwirtschaft 23. 55
Wechmann 17. 23. 500—506
Wechselstromtechnik 401
Wehrbauten 72
Weißleder 39
v. Wenckstern 46
Werkstoffe 355
Werkzeuge 355
Werkzeugmaschinen 30
Wimpfen, Stiftskirche St. Peter
507
Wirtschaftsgeographie 13. 179. 189
Wirtschaftsraum, Mitteleuro-
päischer 179.
Wohnungsbau 95
Woltersdorf 42

Zeichnen 25
Zeller 17. 23. 507—519
Zementindustrie 197
Zinkindustrie 194
Zoche 21. 33
Zunker 17. 23. 24. 520—536

 BIBLIOTEKA GŁÓWNA
B-437 m
Archiwum