TECHNISCHE MITTEILUNGEN
HAUS DER TECHNIK

HEFT 17/18 ESSEN, 1. SEPTEMBER 1940 33. JAHRGANG

Inhalt: Prof. Dr. H. Staudinger: Über die Bedeutung der makromolekularen Chemie für die Technik, S. 147 / Prof. Dr. A. Thum: Neuzeitliche Gesichtspunkte beim Konstruieren, S. 152 / Prof. Dr. K. Rummel: Einheitliche Kostenrechnung, S. 161 / Dipl.-Ing. W. Mörs: Mechanisch-lichttechnische Verdunklungsmaßnahmen, S. 165 / Neuere Schachtschleusen im Bergbau, S. 167 / Buchbesprechungen, S. 168.

Über die Bedeutung der makromolekularen Chemie für die Technik*)

Von Prof. Dr. H. Staudinger, Freiburg i. B.

1. Die technische Bedeutung der makromolekularen Chemie

Die große Zahl der organischen Verbindungen ist dadurch ermöglicht, daß die wenigen Atome, Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, die vier Hauptelemente der organischen Chemie, sich in verschiedener Zahl und verschiedener Weise gesetzmäßig zu Molekülen unterschiedlichen Baues und unterschiedlicher Größe zusammenlagern können. Von der Bauart und der Größe der Moleküle hängen die physikalischen und chemischen Eigenschaften der betreffenden organischen Substanz ab. Überblickt man die organischen Verbindungen in Natur und Technik, so kann man sie nach der Größe der Moleküle in zwei Gruppen einteilen. Zu der einen Gruppe gehören die niedermolekularen Stoffe, mit denen sich die wissenschaftliche organische Chemie bisher vor allem beschäftigt hat. Es sind dies Verbindungen mit einem Molekulargewicht unter zehntausend, bei denen sich also höchstens tausend Atome am Aufbau der Moleküle beteiligen. Diese Stoffe sind in der Regel in reiner und einheitlicher Form zu gewinnen; alle Moleküle niedermolekularer Verbindungen besitzen also nicht nur gleichen Bau, sondern auch gleiche Größe. Die Lösungen dieser Stoffe sind niederviskos; sie dialysieren als normale Lösungen.

Eine zweite Gruppe von organischen Stoffen umfaßt die makromolekularen Verbindungen, die ein Molekulargewicht von über zehntausend besitzen, und zwar beträgt das Molekulargewicht der wichtigsten Vertreter, der Zellulose und des Kautschuks, einige hunderttausend; es gibt Produkte, wie z. B. das Glykogen, deren Molekulargewicht mehr als eine Million beträgt. Am Aufbau dieser „Makromoleküle" beteiligen sich also tausend bis hunderttausend Atome; eine obere Grenze ist nicht bekannt. Die makromolekularen Stoffe geben keine normalen, sondern nur kolloide Lösungen, da die Moleküle die Größe von Kolloidteilchen haben. Man bezeichnet diese Gruppe als Molekülkolloide. Wie die anderen Kolloide, so dialysieren auch ihre Lösungen infolge der Größe ihrer Teilchen nicht. Wegen der Größe der Makromoleküle hat ihre Gestalt einen viel größeren Einfluß auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Stoffes als bei niedermolekularen Verbindungen. So läßt sich zwischen linearmakromolekularen Stoffen, zu denen die Zellulose gehört, und sphäromakromolekularen Stoffen, deren Repräsentant das Glykogen ist, unterscheiden. Die linearmakromolekularen Stoffe lösen sich unter Quellung; ihre Lösungen zeigen eine auffallend hohe Viskosität; gerade diese Eigenschaften, die auch der Leim zeigt, haben Graham dazu veranlaßt, diese Gruppe von Stoffen als „leimähnlich", als „Kolloide" zu bezeichnen.

Wesentliche Unterschiede zwischen makromolekularen und niedermokelukaren Verbindungen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

	Niedermolekulare Stoffe	Makromolekulare Stoffe
Typische Vertreter	Zucker, Fette Treibstoffe Farbstoffe Arzneimittel	Zellulose Kautschuk Proteine Kunstharze
Molekulargewicht	unter 10 000 einheitlich	über 10 000 Durchschnittswerte
Zahl der Atome im Molekül	unter 1000	über 1000
Lösungen	niederviskos dialysieren	kolloidal z. T. hochviskos dialysieren nicht
Einfluß d. Molekülgestalt auf d. physik. Eigenschaften	gering	groß

Vergleich von makromolekularen und niedermolekularen Verbindungen

Die makromolekularen Stoffe haben in Technik und Wirtschaft eine viel größere Bedeutung als die niedermolekularen. Ein großer Teil unserer Gebrauchsgegenstände besteht aus makromolekularen Produkten. Ihre Bedeutung geht aus dem Anteil der Einfuhr hervor, der auf makromolekulare Produkte entfällt. Die Tabelle 2 zeigt, daß etwa ein Drittel des Wertes der Einfuhr aus solchen Stoffen besteht.

In der vorstehenden Tabelle sind die Nahrungs- und Genußmittel, die ja zum Teil auch zu den makromolekularen Produkten gehören, nicht mit eingerechnet, weil die Herstellung dieser Verbindungen vorläufig der Pflanze resp. dem Tier überlassen bleiben muß. Es ist jedoch zu hoffen, daß diejenigen makromolekularen

*) Auszug aus einem Vortrag im Haus der Technik, Essen, am 17. Mai 1940. 254. Mittlg. über makromolekulare Verbindungen; 253. Mittlg. E. Husemann u. H. Ruska. Naturwiss. 33, 534 (1940).

Stoffe, die nur wegen ihrer physikalischen Eigenschaften technische Verwendung finden, aus einheimischen Rohprodukten hergestellt werden können, so daß wir von der Einfuhr unabhängig werden. Es besteht sogar die Möglichkeit, daß sich durch Synthese bessere Produkte gewinnen lassen, als sie uns die Natur liefert. Die großen Erfolge auf dem Gebiet der Faserstoffe, der Kunst-

Tabelle 2

Art der Rohstoffe und Produkte	Wert in Milliarden RM. 1937	Wert in Milliarden RM. 1913
1. Anorg. Rohstoffe und Produkte	1,10	2,20
2. Nahrungs- und Genußmittel	2,05	4,10
3. Niedermolekulare Rohstoffe u. Produkte, technische Öle usw. . . .	0,65	0,70
4. Makromolekulare Stoffe, Fasern, Kautschuk, Öle usw.	1,70	4,00
Gesamtwert:	5,50	11,00

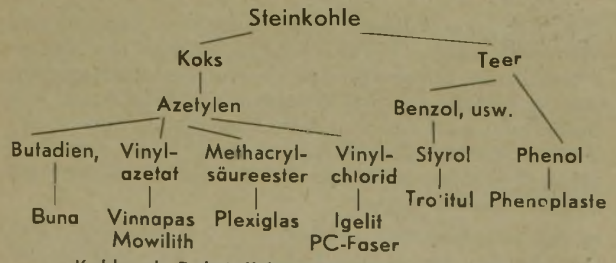
Einfuhr nach Deutschland in Milliarden Reichsmark 1937 und 1913

stoffe und des Kautschuks in dieser Richtung sind ja bekannt. So hat z. B. der synthetische Kautschuk, der Buna, in mancher Hinsicht günstigere physikalische Eigenschaften als der Naturkautschuk; die synthetische Nylonfaser übertrifft die natürlichen Fasern in der Festigkeit.

2. Über die Gewinnung von makromolekularen Stoffen in der Technik

Für die Herstellung von makromolekularen Produkten aus einheimischen Rohstoffen stehen vor allem zwei Ausgangsmaterialien zur Verfügung, die Steinkohle und das Holz. Aus Steinkohle läßt sich über das Kalziumkarbid Azetylen gewinnen, das in der mannigfaltigsten Weise in makromolekulare Stoffe umgewandelt werden kann. Weiter sind eine Reihe niedermolekularer Bestandteile des Steinkohlenteers wie Benzol und Phenol Ausgangsmaterialien für die Gewinnung von makromolekularen Produkten. Für die Überführung dieser niedermolekularen Verbindungen in makromolekulare Stoffe gibt es prinzipiell zwei verschiedene Wege. Einmal können dieselben durch Polykondensationsprozesse in makromolekulare Produkte übergeführt werden; auf diese Weise werden die wichtigsten Kunststoffe, die Phenoplaste und Aminoplaste, gewonnen. Weiter lassen sich ungesättigte Verbindungen, wie Vinylchlorid, Vinylazetat und Butadien, die aus Umformung von Azetylen zu erhalten sind, durch Polymerisationsprozesse[1]) in makromolekulare Produkte, wie Polyvinylchlorid, Polyvinylazetate und Buna, überführen.

Tabelle 3



Kohle als Rohstoff für makromolekulare Stoffe

[1]) Über den Polymerisationsprozeß als Kettenreaktion vgl. H. Staudinger u. W. Frost, Ber. deutsch. chem. Ges. **69**, 2351 (1935); G. V. Schulz u. E. Husemann, Z. angew. Chem. **50**, 767 (1937); G. V. Schulz, Ergebn. d. exakt. Wissensch. **17**, 367 (1938).

In dem anderen Ausgangsmaterial, dem Holz, liegt das makromolekulare Produkt als Zellulose bereits fertig vor; sie wird durch Umformung in Kunstfasern, Kunststoffe, Filme und Lacke verwandelt. Dabei hat von den verschiedenen Bestandteilen des Holzes nur der eine, die Zellulose, große Bedeutung, die in dem Buchenholz nur zu etwa 38%, im Fichtenholz zu etwa 45% enthalten ist. Die beiden anderen Holzbestandteile, das Lignin und die Holzpolyosen[2]), haben ein relativ niederes Molekulargewicht, und es ist deshalb nicht zu erwarten, daß sie zur Herstellung von Fasern und Filmen Bedeutung gewinnen können. Bei der Aufschließung des Holzes wird man also darauf bedacht sein müssen, den einen Bestandteil, die Zellulose, in guter Ausbeute und wenig abgebauter Form zu erhalten, während die beiden anderen Holzbestandteile evtl. als Brennstoff auszunutzen sind, wie es z. B. beim Holzaufschluß nach dem Sulfatverfahren geschieht.

Tabelle 4

Buchenholz

38% Cellulose	25% Holzpolyosen (Xylane)	23% Lignin
Polym.-Grad: 1200	Polym.-Grad: 150	Mol.-Gew. des unlösl. Lignins: unbekannt
Mol.-Gew.: 200 000	Mol.-Gew.: 20 000	Mol.-Gew. der lösl. Anteile: 10 000
Länge der Fadenmoleküle: 6000 Å	Länge der Fadenmoleküle: 750 Å	stark verzweigte kurze Moleküle
daraus:	in kleinem Ausmaß verwendet zu:	in kleinem Ausmaß verwendet zu:
Kunstfasern Filme Kunststoffe Lacke Klebstoffe Sprengstoff	Klebstoffen ungeeignet für Fasern und Filme	Gerbstoffen Seifen Bindemitteln ungeeignet für Fasern und Filme

Holz als Rohstoff für makromolekulare Stoffe

3. Über die Konstitutionsaufklärung makromolekularer Stoffe durch polymeranaloge Umsetzungen

Wenn die technisch wichtigen Eigenschaften makromolekularer Stoffe verbessert werden sollen, so ist es notwendig, Bau und Größe ihrer Makromoleküle zu kennen, um die Zusammenhänge zwischen der Konstitution und den physikalischen Eigenschaften erforschen zu können; erst dann lassen sich auf wissenschaftlichen Grundlagen aufgebaute weitere Fortschritte erwarten. Man kann bisher nur die Konstitution solcher makromolekularen Stoffe nach den Methoden der organischen Chemie aufklären, die löslich sind. Die Konstitutionsaufklärung bedeutet also eine Ermittlung des Aufbaues der Kolloidteilchen, also der Größe, der Gestalt und der Konstitution ihrer Makromoleküle. Bei der großen Gruppe der völlig unlöslichen makromolekularen Stoffe, wie den Phenoplasten und den Aminoplasten, lassen sich keine Aussagen über die Größe ihrer Makromoleküle machen. Es müssen neue Methoden ausgearbeitet werden, um in die Zusammenhänge zwischen der Festigkeit dieser „einaggregatigen" Stoffe[3]) und dem inneren Aufbau derselben einzudringen.

Die Grundlage für die Konstitutionsaufklärung der löslichen makromolekularen Stoffe besteht in dem Nachweis, daß ihre Kolloidteilchen einzelne Makromoleküle sind, also nicht etwa Mizellen, d. h. Aggregate aus mehreren größeren oder kleineren Molekülen, wie man früher vielfach angenommen hat[4]). Dieser Nachweis wird nach den gleichen Methoden geführt, nach denen der Aufbau der niedermolekularen Verbindungen bewiesen wurde.

[2]) E. Husemann, J. prakt. Chem. **155**, 13 (1940).
[3]) Vgl. H. Staudinger, „Organische Kolloidchemie", Verlag Vieweg 1940, S. 24.
[4]) Vgl. die Mizellartheorien von Karrer, Bergmann, Heß, Meyer und Mark.

Aus der Beständigkeit des Atomgerüstes einer organischen Verbindung bei chemischen Umsetzungen, also des „Radikals" im Sinne Liebigs, zog man bei niedermolekularen Verbindungen den Schluß, daß in dem kleinsten Teilchen, dem Molekül, die Atome durch Hauptvalenzen gebunden sind. Die gleiche Beweisführung wendet man auch bei makromolekularen Verbindungen an. Besonders einfaches Versuchsmaterial bieten dabei die hochpolymeren Verbindungen, da man hier nur die Feststellung zu treffen hat, ob sämtliche Grundmoleküle, die das Kolloidteilchen aufbauen, in demselben durch Hauptvalenzen gebunden sind. Dies ist tatsächlich der Fall, da bei geeigneten chemischen Umsetzungen der Polymerisationsgrad von Ausgangsprodukt und Reaktionsprodukt der gleiche ist, wie man durch osmotische Bestimmungen des Molekulargewichts leicht feststellen kann. So lassen sich z. B. die Polysaccharide, wie Stärke, Glykogen und Zellulose, in „polymeranaloge" Triazetate verwandeln, und aus den Triazetaten lassen sich durch vorsichtiges Verseifen die ursprünglichen Polysaccharide wieder zurückgewinnen[5]). Solche polymeranalogen Umsetzungen erbringen den Beweis für den makromolekularen Bau dieser Stoffe; denn bei einem mizellaren Bau müßten die Mizellarkräfte zwischen den kleineren Molekülen der Kohlehydrate und ihrer Azetate verschieden sein, so daß die Mizellen der Polysaccharide und der Azetate verschiedene Größe haben müßten.

Tabelle 5

Produkte	DP der Polysaccharide	DP der daraus erhaltenen Triazetate	DP der durch Verseifen d. Azetate erhaltenen Polysaccharide
Stärke	185	190	185
	380	390	—
	560	540	570
	940	960	870
Glykogen	410	400	410
	1750	1700	1750
	5000	5300	5300
Zellulose	190	170	180
	255	250	—
	500	505	480
	770	800	775
	970	960	950
	1210	1190	1170
	1600	1650	1650

Polymeranaloge Umsetzungen an Polysacchariden

Auch bei Kunststoffen, wie den Polyakrylestern, Polyvinylazetaten usw., läßt sich durch solche polymeranalogen Umsetzungen der Nachweis für ihren makromolekularen Bau führen[6]).

Tabelle 6

Durchschnittspolymerisationsgrade der		
Polyvinylazetate	Polyvinylalkohole	Reazetylierten Polyvinylazetate
—	2450	2600
—	2200	2250
1770	1750	2100
1450	1450	1650
870	910	—
650	700	650

Überführung von polymerhomologen Polyvinylazetaten in polymeranaloge Polyvinylalkohole und Umwandlung dieser in die Ausgangsprodukte

Durch derartige Versuche ist die Streitfrage nach der Konstitution dieser Stoffe, die die organische Chemie über 10 Jahre lang beschäftigt hat, zugunsten des makromolekularen Aufbaues der Kolloidteilchen entschieden. Da das methodische Vorgehen bei der Konstitutionsaufklärung dieser Produkte sehr einfach ist, so kann die Frage aufgeworfen werden, warum sich die Chemie so lange mit der Diskussion beschäftigt hat, ob die Kolloidteilchen z. B. des Kautschuks und der Zellulose einen mizellaren oder makromolekularen Bau besitzen. Dies beruht darauf, daß die experimentelle Durchführung solcher polymeranalogen Umsetzungen zum Unterschied zu analogen Reaktionen bei niedermolekularen Stoffen außerordentlich erschwert ist; denn schon geringe Mengen reaktionsfähiger niedermolekularer Stoffe sind ausreichend, um das „Radikal" der Makromoleküle soweit zu verändern, daß sich eine polymeranaloge Umsetzung nicht mehr durchführen läßt.

4. Bestimmung des Molekulargewichts von makromolekularen Produkten

Nachdem der Nachweis geführt ist, daß die Kolloidteilchen in den Lösungen dieser hochmolekularen Produkte die Makromoleküle selbst sind, erhält man durch die Bestimmung ihres Teilchengewichts das Molekulargewicht der betreffenden Verbindungen. Solche Bestimmungen können nach den verschiedensten physikalischen Methoden durchgeführt werden. Die Ultrazentrifuge von The Svedberg[7]), die ein sehr geeignetes Instrument darstellt, kommt für die meisten Laboratorien nicht in Betracht, weil ihre Anschaffung und ihr Betrieb außerordentlich kostspielig sind. Dagegen lassen sich im Laboratorium mit relativ einfachen Hilfsmitteln Molekulargewichtsbestimmungen nach der osmotischen Methode durchführen[8]) und liefern dabei trotz einiger Schwierigkeiten brauchbare Ergebnisse. Aber auch diese Methode ist in der Technik zu raschen Bestimmungen des Molekulargewichtes nicht brauchbar, da eine Bestimmung häufig viele Tage bis Wochen erfordert. Nun gehören die technisch wichtigsten makromolekularen Stoffe zu den Linearkolloiden. Bei den wichtigsten Vertretern dieser Gruppe, der Zellulose und ihren Derivaten, bestehen einfache Beziehungen zwischen der spezifischen Viskosität niederviskoser Lösungen und dem Molekulargewicht, die sich in einem Viskositätsgesetz für Fadenmoleküle zusammenfassen lassen[9]). Im Gebiet der Sollösungen besteht nämlich zwischen der spezifischen Viskosität, $\eta_{sp} = \eta_r - 1$ und dem Polymerisationsgrad (P) folgende einfache Beziehung: $\eta_{sp}/c = K_m \cdot P$. Dabei ist c die Konzentration in g/l. Nach Kenntnis der K_m-Konstante lassen sich gerade bei der Zellulose und ihren Derivaten durch einfache Viskositätsmessungen ihre Polymerisationsgrade ermitteln. Bei den synthetischen makromolekularen Stoffen, den Polyvinylchloriden[10]), den Polyvinylazetaten und den Polyakrylestern[11]) sind die Beziehungen zwischen der spezifischen Viskosität und dem Polymerisationsgrad nicht so einfach wie bei den Zellulosen[12]). Trotzdem kann man auch hier auf Grund von Viskositätsmessungen den Polymerisationsgrad für sehr viele wichtige Produkte an Hand einer „Eichkurve", die die Beziehung zwischen Viskosität und Polymerisationsgrad wiedergibt, ermitteln.

[5]) Vgl. H. Staudinger und E. Husemann, Liebigs Ann. Chem. **527**, 195 (1937); H. Staudinger und G. Daumiller, Liebigs Ann. Chem. **529**, 219 (1937); H. Staudinger und E. Husemann, Liebigs Ann. Chem. **530**, 1 (1937); H. Staudinger, „Organische Kolloidchemie", Verlag Vieweg 1940, S. 113.

[6]) H. Staudinger u. H. Warth, J. prakt. Chem. **155**, 261, (1940).

[7]) Vgl. The Svedberg u. K. O. Pedersen, „Die Ultrazentrifuge", Verlag Steinkopff 1940.

[8]) Vgl. die Apparatur von G. V. Schulz, Z. physik. Chem. (A) **176**, 317 (1936).

[9]) Vgl. H. Staudinger, „Die hochmolekularen organischen Verbindungen, Kautschuk und Zellulose", Verlag Springer 1932.

[10]) Vgl. H. Staudinger u. J. Schneiders, Liebigs Ann. Chem. **541**, 151 (1939).

[11]) H. Staudinger u. H. Warth, J. prakt. Chem. **155**, 261 (1940).

[12]) H. Staudinger u. G. V. Schulz, Ber. dtsch. chem. Ges. **68**, 2320 (1935).

Wenn im vorstehenden vom Molekulargewicht resp. Polymerisationsgrad von hochpolymeren Stoffen gesprochen wurde, so muß man sich stets dabei klar sein, daß es sich um Durchschnittswerte handelt[13]), denn jeder technische hochpolymere Stoff ist nicht einheitlich, besteht also nicht aus Molekülen gleicher Größe, sondern er ist ein Gemisch von Polymerhomologen. Ein solches läßt sich durch Fraktionieren zerlegen, ohne daß es möglich ist, einheitliche Stoffe daraus herzustellen, da die physikalischen Eigenschaften, z. B. die Löslichkeit, einzelner Vertreter sich zu wenig unterscheiden. Zur genaueren Charakterisierung jedes makromolekularen Stoffes gehört also nicht nur die Bestimmung des Durchschnittspolymerisationsgrades, sondern auch die Ermittlung der Verteilungsfunktion, und zwar ist einmal festzustellen, in welcher Anzahl kleinere und größere Moleküle in dem polymolekularen Gemisch enthalten sind (Häufigkeitsverteilungsfunktion), und weiter, wie die mengenmäßige Zusammensetzung des Stoffes sich gestaltet (Massenverteilungsfunktion)[14]).

5. Einfluß der Gestalt auf die physikalischen Eigenschaften

Die technisch wichtigen physikalischen Eigenschaften der makromolekularen Stoffe, wie vor allem ihr Faser- und Filmbildungsvermögen, ihre Elastizität, sind nicht so sehr durch die Größe, sondern insbesondere durch die Gestalt ihrer Makromoleküle bedingt. Von den beiden Gruppen der makromolekularen Stoffe, den sphäromakromolekularen und den linearmakromolekularen[15]), zeigen die ersteren kein besonderes Verhalten, nur die letzteren besitzen die eben genannten wertvollen Eigenschaften. Der Einfluß der Gestalt auf die Eigenschaften zeigt sich besonders deutlich durch einen Vergleich von Glykogen und Zellulose, die beide sehr hochmolekulare Polysaccharide sind. Dabei würde man das Glykogen[16]) nach seinen physikalischen Eigenschaften zum Unterschied von der Zellulose für einen niedermolekularen Stoff halten.

Die großen Unterschiede in den physikalischen Eigenschaften dieser beiden Gruppen gehen aus der Tabelle 7, unten links, hervor.

Tabelle 7

	Sphärokolloide	Linearkolloide
Kohlehydrate	Glykogen und Derivate	Zellulose und Derivate
Eiweißstoffe	Ovalbumin, Hämoglobin, Myogen	Kollagen, Myosin, Ovoglobulin, Fibrinogen
Aussehen im festen Zustand	pulverig	faserig, zäh
Quellungsvermögen	quellen nicht	quellen stark
Viskosität einer 1prozentigen Lösung	niederviskose Sollösungen	hochviskose Gellösungen
Art der Lösungen	Newtonsche Lösungen	nicht Newtonsche Lösungen, linearmakromolekulare oder polyionische Viskositätserscheinungen
Strömungsdoppelbrechung	keine	wächst mit zunehmender Länge der Fadenmoleküle
Osmotischer Druck	gehorcht in verdünnten Lösungen dem van-'t-Hoffschen Gesetz	Abweichungen vom van-'t-Hoffschen Gesetz
Diffusion	gehorcht dem Fickschen Gesetz	Abweichungen vom Fickschen Gesetz

Natürlich sind Übergänge zwischen beiden Gruppen vorhanden. Hierher gehört die Stärke, die langgestreckte verzweigte Makromoleküle besitzt, die im Bezug auf ihr physikalisches Verhalten eine Zwischenstellung zwischen dem Glykogen und der Zellulose einnimmt.

Die physikalischen Eigenschaften der linearmakromolekularen Stoffe hängen sehr stark von der Länge der Moleküle ab, und deshalb muß diese Gruppe von Molekülkolloiden, die Linearkolloide, in folgende drei Untergruppen eingeteilt werden: die Hemi-, Meso- und Eukolloide.

In den Tabellen 8 und 9 ist am Beispiel der Zellulose und des Polystyrols gezeigt, wie sich die physikalischen Eigenschaften mit zunehmender Kettenlänge ändern. Die hohe Festigkeit, das besondere Quellungsvermögen und die hohe Viskosität der Lösungen findet man also nur bei der Gruppe der Eukolloide, und hierher gehören die wichtigen Naturprodukte, wie Zellulose und Kautschuk.

In der Technik lassen sich die eukolloiden Stoffe wegen der hohen Viskosität ihrer Lösungen schwer verarbeiten. Dort werden deshalb mehr oder weniger abgebaute mesokolloide Produkte, deren Lösungen geringere Viskosität als die der eukolloiden Vertreter besitzen, verarbeitet. So haben z. B. sämtliche zellulosehaltigen Kunstfasern nur einen Polymerisationsgrad von 250 bis 500, während die Zellulose der Baumwolle, des Flachses und der Ramie einen solchen von etwa 3000 besitzt.[17]) Da die Festigkeit der Zellulosefasern sich nicht proportional dem Polymerisationsgrad ändert, sondern von einem gewissen Punkt, ungefähr vom Polymerisationsgrad 600 ab nur relativ wenig zunimmt, die Viskosität der Lösungen dagegen mit steigendem Polymerisationsgrad sehr stark ansteigt, so ist es für die Technik wichtig, Zellulosen gerade von dem Polymerisationsgrad in Arbeit zu nehmen, bei denen noch günstige Festigkeitseigenschaften vorhanden sind, die Verarbeitung der Produkte jedoch keine zu großen Schwierigkeiten macht. Dieses Gebiet läßt sich als das „eutechnische" bezeichnen.[18])

6. Bestimmung der Gestalt der Makromoleküle.

Bei der großen Bedeutung, die die Gestalt der Makromoleküle für die physikalischen Eigenschaften besitzt, seien im folgenden die Methoden geschildert, die eine Bestimmung derselben ermöglichen. Bei festen kristallisierten makromolekularen Stoffen, wie z. B. bei Zellulose, läßt sich der Aufbau aus langen Fadenmolekülen durch röntgenographische Untersuchungen ermitteln.[19]) Eine große Reihe von Beobachtungen sprechen dafür, daß in Lösung die Gestalt der Makromoleküle nicht sehr wesentlich von der im festen Zustand abweicht, so daß also auch in Lösung die Moleküle der Zellulose und ihrer Derivate in langgestreckter Form[20]) vorliegen und nicht etwa stark geknäuelt sind, wie von anderen Forschern in Erwägung gezogen wurde.[21]) Auf die Gestalt der Makromoleküle kann man weiter durch Bestimmung der Sedimentationsgeschwindigkeit in der Ultrazentrifuge Schlüsse ziehen.[22]) Ferner läßt sie sich durch Untersuchung der Strömungsdoppel-

Kugel- und fadenförmige Polysaccharide und Eiweißstoffe

[13]) H. Staudinger, Ber. dtsch. chem. Ges. **59**, 3069 (1926).
[14]) G. V. Schulz, Z. physik. Chem. (B), **32**, 27 (1936).
[15]) H. Staudinger, Ber. dtsch. chem. Ges. **68**, 1682 (1935); vgl. H. Staudinger, „Organische Kolloidchemie", Verlag Vieweg 1940, S. 43.
[16]) H. Staudinger u. E. Husemann, Liebigs Ann. Chem. **530**, 1 (1937).
[17]) Vgl. H. Staudinger u. K. Feuerstein, Liebigs Ann. Chem. **526**, 72 (1936); H. Staudinger, Papierfabrikant **36**, 373, 381, 473, 481 (1938).
[18]) Vgl. „Fortschritte der Chemie, Physik und Technik der makromolekularen Stoffe", Röhrs, Staudinger u. Vieweg, Verlag Lehmann 1939, S. 16.
[19]) Sponsler, O. L., u. W. H. Dore: Colloid Symposium Monograph 1926, 174; vgl. die Übersetzung dieser Arbeit: Zellulosechemie **11**, 186 (1930).
[20]) Vgl. H. Staudinger, „Organische Kolloidchemie", Verlag Vieweg 1940, S. 157.
[21]) Vgl. z. B. W. Kuhn, Z. angew. Chem. **49**, 858 (1936); **51**, 642 (1938).
[22]) The Svedberg u. K. O. Pedersen, „Die Ultrazentrifuge", Verlag Steinkopff 1940
[23]) R. Signer u. Mitarbeiter, Z. physik. Chem. (B) **50**, 257 (1930); Helv. Chem. Acta **14**, 1375 (1931); Z. physik. Chem. (A) **165**, 161 (1933).

Tabelle 8

	DP	Kettengliederzahlen	Aussehen	Festigkeit und Filmbildungsvermögen	Löslichkeit u. Quellbarkeit in Schweizers Reagens	Viskosität 1%iger Lösungen in Schweizers Reagens	Abweichungen vom Hagen-Poiseuilleschen-Gesetz
Oligosaccharide, Zellulosedextrine γ-Zellulose	1—10	5—50	pulvrig	verreibbar, kein Faser- und Filmbildungsvermögen	leicht löslich ohne Quellung	niederviskose Sollösungen	keine
Hemikolloide Zellulosen β-Zellulosen	10—100	50—500	pulvrig	wenig fest, noch verreibbar; Faser- und Filmbildungsvermög. sehr gering	löslich ohne Quellung	etwas viskose Sollösungen	keine
Mesokolloide Zellulosen α-Zellulosen (Kunstseiden, Cellophan	100—500	500—2500	pulvrig bis faserig	fest, Faser- u. Filmbildungsvermögen vorhanden	unter Quellungserscheinungen langsam löslich	viskose Gellösungen	geringe
Eukolloide Zellulosen α-Zellulosen (Faserzellulosen)	500—3000	2500—15 000	langfaserig	sehr fest und zäh, Faser- und Filmbildungsvermögen sehr groß	unter Quellungserscheinungen sehr langsam löslich	sehr hochviskose Gellösungen	starke

Zusammenhang zwischen pysikalischen Eigenschaften und Durchschnittspolymerisationsgraden der Zellulose

Tabelle 9

	DP	Kettengliederzahl	Aussehen nach dem Umfällen	Aussehen im kompakten Zustand	Löslichkeit und Quellbarkeit in Benzol	Viskosität 1%iger Lösungen	Abweichungen vom Hagen-Poiseuilleschen Gesetz	technische Verwendung
niedermolekulare Produkte	2—10	4—20	z. T. flüssig oder fest	kristallisiert, spröde, glasig, brüchig	sehr leicht löslich ohne Quellung	niederviskose Sollösungen	keine	—
Hemikolloide	10—100	20—200	pulvrig	weniger brüchig, fester	leicht löslich ohne Quellung	niederviskose Sollösungen	keine	für Lacke
Mesokolloide	100—500	200—1000	etwas faserig,	zäh, glasig	löslich ohne Quellung	viskose Gellösungen	geringe	für thermoplastische Zwecke, Spritzguß,
Eukolloide	> 500	> 1000	langfaserig	sehr zähe Gläser, in der Wärme elastisch	langsam löslich unter starker Quellung	hochviskose Gellösungen	starke	Folien, Bänder und Fäden

Zusammenhang zwischen physikalischen Eigenschaften und Durchschnittspolymerisationsgrad bei Polystyrolen

brechung ermitteln.[23]) Genauere Aussagen über die Gestalt ergeben sich durch Vergleich von Viskositätsmessungen mit dem auf osmotischem Wege bestimmten Molekulargewicht.

Für sphäromakromolekulare Stoffe, wie das Glykogen, ist die spezifische Viskosität gleichkonzentrierter Lösungen unabhängig von dem Molekulargewicht. Es gilt also folgende Beziehung: $\eta_{sp}/c = K$; wobei K für „ideale" nicht solvatisierte kugelförmige Teilchen nach Einstein den Wert 0,0025 besitzt. Es wurde nachgewiesen, daß gleichkonzentrierte Lösungen polymerhomologer Glykogene gleiche Viskosität zeigen, unabhängig von der Größe der Moleküle, also unabhängig von der Zahl der Teilchen, die in der Lösung vorhanden sind.[24])

Für Fadenmoleküle, wie z. B. Zellulose und ihre Derivate,[25]) Mannane,[26]) gilt dagegen das schon angeführte Viskositätsgesetz, nach dem $\eta_{sp}/c = K_m \cdot P$ ist. Bei dieser Gruppe von makromolekularen Stoffen haben gleichkonzentrierte Lösungen verschiedenen Molekulargewichtes nicht die gleiche Viskosität, sondern dieselbe steigt prozentual dem Molekulargewicht, also prozentual dem Polymerisationsgrad, an. Bestimmt man nun bei verschiedenen linearmakromolekularen Stoffen die K_m-Konstante, so läßt sich aus ihrer Größe die Gestalt der Fadenmoleküle ermitteln. Da die K_m-Konstante der Stärke und ihrer Derivate ungefähr 6- bis 8mal kleiner ist, als die der entsprechenden Vertreter der Zellulosereihe, läßt sich auf eine starke Verzweigung der Stärkemoleküle schließen, eine Folgerung, die mit den chemischen Erfahrungen in guter Übereinstimmung steht.[27]) Recht komplizierte Verhältnisse liegen bei den synthetischen hochmolekularen Produkten vor; auch dort ist die K_m-Konstante sehr viel kleiner als man nach Viskositätsmessungen an relativ niedermolekularen Produkten mit Fadenmolekülen bekannten Baues erwarten sollte. Sämtliche hochpolymeren Produkte, wie die Polystyrole, die Polyvinylazetate, die Polyakrylester, besitzen deshalb einen weit komplizierteren Bau als man anfangs erwartet hatte; diese Beobachtungen deuten darauf hin, daß die Moleküle nicht langgestreckt und unverzweigt sind, sondern daß

[23]) H. Staudinger u. E. Husemann, Liebigs Ann. Chem. **530**, 1 (1937).
[24]) H. Staudinger, Papierfabrikant **36**, 373, 381, 473, 481 (1938).
[25]) E. Husemann, J. prakt. Chem. **155**, 13 (1940); **155**, 241 (1940).
[26]) Dissertation H. Staudinger, Freiburg i. Br. 1940.
[27]) H. Staudinger u. E. Husemann, Liebigs Ann. Chem. **527**, 195 (1937).

sie infolge von Nebenreaktionen Verzweigungen aufweisen.[28])

In besonders hohem Maße ist dieses beim Chlorkautschuk der Fall; dieser gibt trotz hohen Molekulargewichtes relativ niederviskose Lösungen, die seine Verwendung zu Lacken ermöglichen.[29]) Möglicherweise beruhen gerade die wertvollen Eigenschaften des Chlorkautschuks auf der starken Verzweigung seiner Moleküle. In diesem Gebiet der Kunststoffe wird man noch zahlreiche weitere Erfahrungen über den Bau der Moleküle sammeln müssen, um die genauen Zusammenhänge zwischen der Form der Moleküle und den physikalischen Eigenschaften zu erfassen, erst dann wird man in der Lage sein, einen Polymerisationsprozeß so zu leiten, daß man je nach dem Verwendungszweck mehr oder weniger stark verzweigte Moleküle erhält. Gerade in der Kautschukindustrie werden solche Untersuchungen von besonderer Bedeutung sein, weil Zähigkeit und Elastizität wohl sehr mit dem Bau der Makromoleküle variieren können.

Wenn so durch die vorstehend geschilderten Untersuchungen Bau, Größe und Gestalt der Makromoleküle bekannt sind, so ist damit die Konstitution des makromolekularen Stoffes noch nicht definitiv aufgeklärt. Vielmehr besteht dann noch die weitere Aufgabe, jede Einzelheit im Aufbau der Makromoleküle zu erforschen. So hat z. B. die Zellulose nicht die einfache Struktur, die man ihr früher zugeschrieben hat, sondern durch Oxydation werden Glucosereste in der langen Kette mehr oder weniger verändert; es treten Fehlerstellen im Zellulosemolekül ein,[30]) die die Beständigkeit der Fadenmoleküle und somit die Haltbarkeit der Fasern auf das stärkste beeinflussen. Bei dem komplizierten Bau der Makromoleküle ist diese genaue Konstitutionserforschung außerordentlich erschwert; diese neue Forschungsrichtung stellt somit Wissenschaft wie Technik vor neue große Aufgaben, deren Endziel es ist, die makromolekularen Stoffe, die wir in der Technik anwenden, zu verbessern, so daß Fasern und Kunststoffe ihren Verwendungszwecken günstiger angepaßt sind als die bisherigen Materialien. Wie auf dem Gebiet der Farbstoffe besteht auch hier die Hoffnung, daß es der chemischen Technik gelingt, nicht nur die Naturstoffe nachzuahmen, sondern neue Stoffe herzustellen, die wertvollere Eigenschaften besitzen also die Naturstoffe selbst.

[28]) H. Staudinger Kunststoffe, 30, 157 (1940).
[29]) Dissertation Hj. Staudinger, Freiburg i. Br. 1940.
[30]) H. Staudinger u. A. W. Sohn, J. prakt. Chem. 155, 177 (1940); H. Staudinger u. A. W. Sohn, Melliand Textilber. 21, 205 (1940); H. Staudinger u. A. W. Sohn, Zellulosechemie 2, 25 (1940).

Neuzeitliche Gesichtspunkte beim Konstruieren*)

Von Prof. Dr. A. Thum, Darmstadt

Wenn man heute zu den Fragen der konstruktiven Gestaltung Stellung nimmt, so geschieht es zu einem Zeitpunkt, wo sich allgemein in den Anschauungen über die Gesetzmäßigkeiten und Richtlinien, die bei der Schaffung einer zweckentsprechenden Konstruktion zu befolgen sind, eine umfassende Wandlung zu vollziehen beginnt. Eine solche Wandlung in den Anschauungen äußert sich in einer Abkehr von den überlieferten Grundlagen und Grundbegriffen einer Festigkeitslehre, die nach dem heutigen Stand der Erkenntnisse als überholt zu gelten hat. Diese Entwicklung mußte von selbst in dem Augenblick einsetzen, wo angesichts der gesteigerten Leistungen in unseren Kraft- und Arbeitsmaschinen dem Konstrukteur die Grenzen der Anwendbarkeit der alten Lehre durch Fehlschläge nur zu deutlich vor Augen geführt wurden, der ständige technische Fortschritt jedoch gebieterisch die Überschreitung dieser Grenzen forderte. Diese Tatsache kann jedoch in keiner Weise das große Verdienst Bachs schmälern, der dem Konstrukteur seiner Zeit in seiner Festigkeitslehre eine erste Berechnungsgrundlage schuf und ihm so den Weg wies zu brauchbaren Konstruktionen. Der Konstrukteur der heutigen Zeit kann zwar zum Teil auf den Grundlagen der Bachschen Lehre aufbauen, er muß aber ihre Mängel erkennen und sich die Ergebnisse der neueren Forschung zunutze machen. Natürlich darf er nicht erwarten, als Ersatz für die als unzulänglich erkannte alte Konstruktionslehre eine bis ins Letzte ausgefeilte Konstruktionsanleitung zu erhalten, die alle Schwierigkeiten ganz ohne sein Zutun mit einem Schlage meistert.

Zwar hat die neue Lehre, die im Begriff ist, die bisherigen Erkenntnisse über das Verhalten unserer Werkstoffe auf eine völlig neue Grundlage zu stellen, schon in sehr vielen Fällen ihre Überlegenheit und ihre Vorzüge bewiesen. Sie läßt sich aber nicht in so starre Formen kleiden, daß man mit ihrer Hilfe jedes auftauchende Problem nach einem bestimmten Schema lösen könnte. Das soll auch niemals das Endziel der heute noch in der Entwicklung begriffenen neuen Konstruktionslehre sein. Sie soll vielmehr, stets Schritt haltend mit den neuesten Ergebnissen der Werkstoffforschung, dem Konstrukteur als Rüstzeug für sein Schaffen Richtlinien geben, deren sinnvolle und durchdachte Anwendung ihn befähigen zu einer werkstoffgerechten Gestaltung. Deshalb ist es eine der wichtigsten Aufgaben des Werkstofforschers, dem Konstrukteur den Übergang zu den neuen Anschauungen zu vermitteln und ihm, ausgehend von deren Grundlagen, neuzeitliche Gesichtspunkte beim Konstruieren aufzuzeigen.

Die Grundlage für das Gelingen einer Konstruktion ist stets die richtige Bemessung. Diese These ist nicht neu, es hat sich nur im Laufe der Zeit sehr die Ansicht geändert darüber, was man unter richtiger Bemessung zu verstehen hat. Früher glaubte man, alle Anforderungen an ein Konstruktionsteil erfüllt zu haben, wenn man es nur genügend stark dimensioniere. Wenn dann trotzdem ein Bruch auftrat, was mangels brauchbarer Berechnungsmethoden in manchen Fällen natürlich nicht ausbleiben konnte, so ersetzte man das Teil einfach durch ein noch stärkeres, ohne sich über die wahren Bruchursachen, die oft ganz andere Maßnahmen erfordert hätten, im klaren zu sein. Diese Einstellung führte zu einer übertrieben schweren Bauweise, die sich auf die Dauer unmöglich halten konnte, da sie die im Sinne einer Leistungssteigerung auf schnellaufende Maschinen hinzielende Entwicklung stark hemmte und sich zudem mit den Forderungen des Fahrzeugbaues und vor allem des Flugzeugbaues nicht in Einklang bringen ließ. Hier mußte also in erster Linie ein Wandel eintreten.

Die Wurzel des Übels lag in der früheren Berech-

*) Auszug aus einem Vortrag im Haus der Technik, Essen, am 22. Mai 1940. Die Abb. wurden vom Verfasser zur Verfügung gestellt.

nungsmethode, die sich ausschließlich auf die Werte des am glatten Stab durchgeführten Zerreißversuches stützte. Im glatten Stab darf man annehmen, daß die durch die äußeren Kräfte hervorgerufenen Spannungen sich gleichmäßig über den Querschnitt verteilen. Diese Annahme wurde bei der Berechnung irgendeines Teiles beibehalten, auch wenn seine Gestalt mehr oder weniger von der idealisierenden Form des glatten, prismatischen Zerreißstabes abwich, was ja wohl in der überwiegenden Mehrzahl aller Fälle zutraf. Bei irgendeiner Abweichung von der glatten Werkstückberandung verliert jedoch die Annahme der gleichmäßigen Spannungsverteilung ihre Gültigkeit, und jede darauf fußende Berechnung muß zu Fehlergebnissen führen. Um nun die Berechnung den wirklichen Verhältnissen anzupassen, muß man die tatsächliche Spannungsverteilung über den Querschnitt, vor allem die Größe der höchsten auftretenden Spannungen, kennen. Die Kenntnis des Mittelwertes aller auftretenden Spannungen, den man nach den elementaren Ansätzen der Festigkeitslehre als sogenannte Nennspannung berechnet, genügt natürlich nicht, solange man nicht weiß, wie hoch an einzelnen Stellen die Spannung über diesen Mittelwert hinausragt.

Das Problem der Spannungsverteilung in einem Werkstück mit nicht geradliniger Berandung, also z. B. in einem gekerbten Stab, ist jedoch durchaus nicht einfach, da es gewissermaßen ein unendlich statisch unbestimmtes Problem darstellt. Und wie man jedes statisch unbestimmte System durch Betrachtung der Verformungen einer Lösung entgegenzuführen sucht, so kommt man auch in diesem Falle, also bei der Suche nach der Spannungsverteilung in einem gekerbten Stab, dem Ziele wesentlich näher, wenn man sich zunächst von dem abgeleiteten Begriff der Spannungen frei macht und dem ursprünglichen Begriff, nämlich den Verformungen, seine Aufmerksamkeit schenkt. Denn Verformungen sind wahrnehmbar und auch meßbar, während die abstrakte Natur der Spannungen eine direkte Beobachtung ausschließt. Doch kann man unter der Voraussetzung, daß die Spannungen den Verformungen proportional sind, aus der Kenntnis des Verformungsmechanismus unmittelbar Rückschlüsse auf die Beanspruchungen ziehen. Zudem ermöglicht die Betrachtung der Verformungen ein anschauliches Bild und ein gutes Sicheinfühlen in den Beanspruchungsmechanismus.

Über Kerbwirkung und ihre Begleiterscheinungen ist schon viel geschrieben worden. Trotzdem seien die grundlegenden Verhältnisse hier nochmals in aller Ausführlichkeit geschildert, da ein anschauliches Beispiel ohne Formeln und Berechnungen dem Konstrukteur am leichtesten einen Einblick in den an sich recht komplizierten Mechanismus bei der Beanspruchung eines gekerbten Stabes ermöglicht. In Abb. 1 ist ein Modell eines solchen Stabes dargestellt, das aus einem äußerst verformungsfähigen Werkstoff, nämlich Weichgummi, angefertigt wurde, eben um die Unterschiede in den Verformungen an verschiedenen Stellen möglichst deutlich in Erscheinung treten zu lassen. Diese Verformungen sind aus der Verzerrung des vorher aufgezeichneten Quadratnetzes zu erkennen. An Hand dieses Gummimodells kann man nun ohne weiteres aus der Beobachtung der Verformungen ableiten, daß die Spannungsverteilung über den Querschnitt nicht gleichmäßig verläuft, insbesondere, daß im Kerbgrund eine beträchtliche Spannungsspitze auftreten muß. Zunächst betrachtet man zwei Querschnitte des Stabes, die von der Kerbstelle genügend weit entfernt liegen, so daß die durch die Kerbe hervorgerufene Störung praktisch nicht mehr zur Auswirkung kommt. Die obere und untere Berandung des Stabes entsprechen etwa dieser Voraussetzung, sie sind also bei der aufgebrachten Zugbeanspruchung eben geblieben. Denkt man sich nun den Stab in lauter einzelne Längsstreifen aufgeteilt, was durch die Längslinien des gezeichneten Quadratnetzes schon angedeutet ist, so haben sich also die einzelnen Längsstreifen zwischen den betrachteten äußeren Querschnitten alle um das gleiche Maß verlängert. Diese gleiche Verlängerung wird jedoch von den einzelnen Längsstreifen an ganz verschiedenen Stellen aufgebracht. So hat sich zum Beispiel der mittelste Streifen gleichmäßig über seine ganze Länge gedehnt. Den äußeren Streifen steht jedoch als Dehnlänge nur das kurze Stück im Kerbgrund zur Verfügung, da sie in ihrem weiteren Verlauf durch den unbeanspruchten, in den toten Ecken liegenden Werkstoff an einer Dehnung verhindert werden. Diese Streifen müssen also fast den gesamten Dehnungsbetrag auf die kurze Dehnlänge im Kerbgrund konzentrieren, woraus sich das Auftreten einer Spannungsspitze an dieser Stelle ohne weiteres erklärt. Natürlich interessiert das Auftreten einer Spannungsspitze nicht nur rein qualitativ, sondern der Konstrukteur muß zahlenmäßig wissen, wie weit die Spannungsspitze die Nennspannung überragt. Die Rechengröße, die man dazu benötigt, ist die sogenannte Formzahl α_k, die das Verhältnis von Spannungsspitze zu Nennspannung angibt. Sie ist unter der Voraussetzung, daß die aufgebrachte Beanspruchung rein elastisch ertragen wird, vollkommen unabhängig vom Werkstoff und wird, wie ihr Name schon andeutet, ausschließlich durch die Form der Kerbe bestimmt.

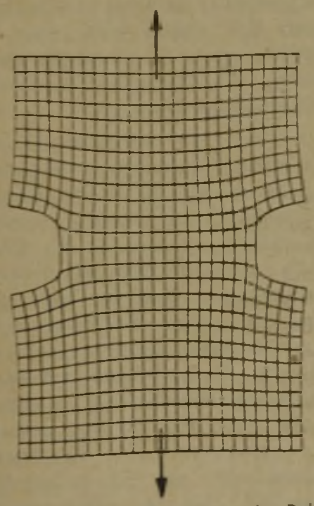


Abb. 1: Veranschaulichung der Dehnungen bei einem gezogenen Flachstab mit Außenkerbe

Daraus geht hervor, daß die Spannungsverteilung und damit auch die höchste ertragbare Belastung sehr stark von der äußeren Form des Werkstückes abhängt. Diese ungemein wichtige Erkenntnis stellt sich in krassen Gegensatz zu der früheren Berechnungsmethode, die ein irgendwie geformtes Konstruktionsteil stets als einen Zerreißstab auffaßte und dafür die im Zerreißversuch ermittelte Werkstoffestigkeit zugrunde legte. Die heutige Berechnung muß sich demgegenüber auf zwei Grundpfeiler stützen, nämlich auf den Werkstoff und auf die Gestalt. Die reinen Festigkeitswerte des Werkstoffes werden nämlich durch die Formgebung so stark beeinflußt, daß sich als Richtschnur der neuen Konstruktionslehre ein Begriff gebildet hat, der beide Einflüsse umfaßt, der Begriff der Gestaltfestigkeit. Früher wählte man vielleicht bei einem Bruch für das betreffende Maschinenteil einen besseren Werkstoff, wodurch oft der unnatürliche Zustand eintrat, daß irgendein untergeordnetes Teil aus einem hochwertigen Werkstoff hergestellt wurde. Man geht jedoch in der Mehrzahl der Fälle den richtigen Weg, wenn man in dem Versagen einer Konstruktion nicht ein Werkstoff-, sondern ein Konstruktionsproblem sieht und durch günstige Formgebung, also durch Herabsetzung der Spannungsspitzen, die Mängel zu beseitigen sucht.

Es erhebt sich nun die Frage, wie man die für das Gelingen oder Versagen einer Konstruktion so bedeutungsvollen Spannungsspitzen ermitteln kann. Hierfür gibt es eine ganze Reihe von Verfahren, die zum

Teil durch Auswertung von physikalischen Analogien einen Rückschluß auf die Größe der Spannungsspitze erlauben, z. B. die polarisationsoptischen Verfahren, das feldelektrische Modell, das Seifenhaut-Gleichnis und vor allem das hydrodynamische Gleichnis, das durch Vergleich des Kraftflusses mit einer strömenden Flüssigkeit ein äußerst anschauliches Gedankenmodell darstellt. All diese Verfahren haben jedoch nur eine beschränkte Anwendbarkeit, so daß, besonders bei komplizierten räumlichen Spannungszuständen, heute ein anderes Verfahren in den Vordergrund tritt, nämlich die unmittelbare Messung der elastischen Verformungen am fertigen Werkstück.

Ein Dehnungsmeßgerät für solche Zwecke, wie es in Abb. 2 dargestellt ist, muß natürlich sehr empfindlich sein und schon auf ganz geringe Längenänderungen

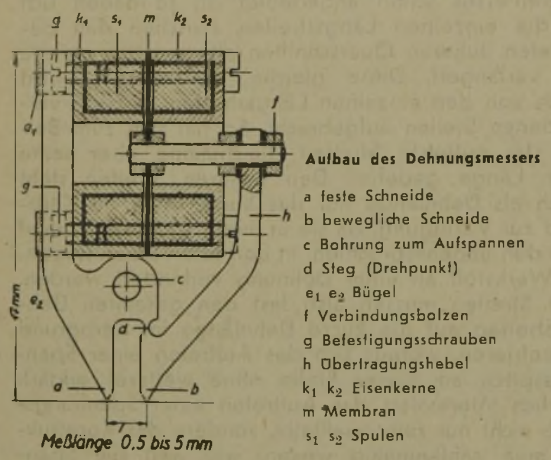


Abb. 2: Induktiver Dehnungsmesser

ansprechen. Denn die Meßlänge des dargestellten Feindehnungsmessers, der in der MPA Darmstadt entwickelt wurde, beträgt nur 1 mm, in Sonderausführungen sogar nur 0,5 mm, um auch örtlich stark veränderliche Spannungsfelder ausmessen zu können. Eine Meßlänge von 1 mm verlängert sich jedoch bei Stahl unter einer Spannung von 1 kg/mm² nur um $^{1}/_{20\,000}$ mm, so daß, um noch Spannungsunterschiede in der Größenordnung von 0,2 kg/mm² messen zu können, die Verlängerung der Meßstrecke im Verhältnis von 1 : 100 000 vergrößert werden muß. Dies ist bei dem hier gezeigten Gerät durch elektrodynamische Vergrößerung erreicht, wobei durch geringes Verschieben der Membran m mittels der Meßschneide b die Selbstinduktion der beiden Spulen S_1 und S_2 geändert und in einer Brückenschaltung gemessen wird. Das Gerät selbst hat etwa die Größe eines Zehnpfennigstückes, läßt sich also auch an schwer zugänglichen Stellen, in Hohlkehlen und im Grund von Kerben ohne Schwierigkeiten ansetzen.

Diese Feindehnungsmessungen führen auch in solchen Fällen zu ausgezeichneten Ergebnissen, wo die anderen Verfahren versagen, so vor allem bei der Untersuchung von räumlichen Spannungszuständen. Allerdings können dabei stets nur die Spannungen in der Oberfläche ermittelt werden, doch ist dies kein wesentlicher Nachteil, da stets in der Oberfläche auch die größten Spannungen auftreten. Als ein Beispiel für die vielseitige Anwendbarkeit sei die Spannungsverteilung in der Hohlkehle eines Rohrflansches betrachtet. Von jeher ist die Flanschberechnung ein schwieriges Problem gewesen. Da einfache Näherungsverfahren direkt versagten und auch verfeinerte, auf der Elastizitätstheorie aufgebaute Berechnungsmethoden nicht voll befriedigen konnten, blieb es der Feindehnungsmessung vorbehalten, die Spannungsverhältnisse an diesem wichtigen Konstruktionselement zu klären. So sind in Abb. 3 die Meßergebnisse für Rohrflansche bei verschiedener Rohrwandstärke eingezeichnet. Die Spannungen an jeder Stelle des Hohlkehlenüberganges sind zwecks anschaulicher Darstellung in radialer Richtung aufgetragen, wobei die ausgezogene Kurve der Meridianspannung, die gestrichelte Kurve der Umfangsspannung entspricht. Man sieht, daß in den beiden Fällen sowohl die Lage, als auch die Größe des Spannungsmaximums verschieden ist, und zwar beobachtet man bei der dünnen Wandstärke eine Spannungsspitze von 15,9 kg/mm² unter

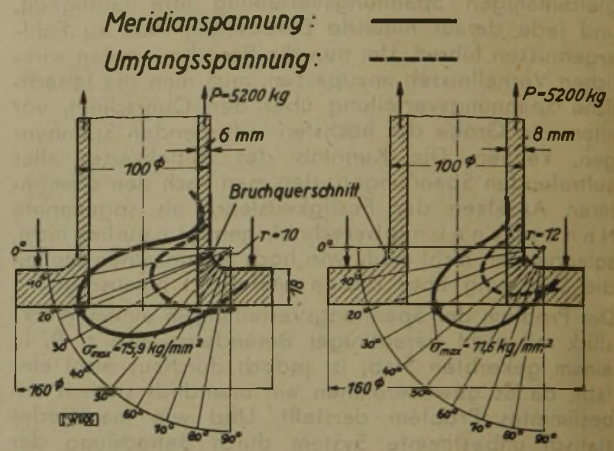


Abb. 3: Spannungsverteilung im Rohrflansch bei verschiedener Wandstärke

einem Winkel von 22°, während sie bei der dickeren Wandstärke unter 30° liegt und nur auf einen Wert von 11,6 kg/mm² kommt.

Durch solche Feindehnungsmessungen gelingt es also, die Spannungsverteilung und die höchsten Spannungsspitzen in einem beliebig geformten Werkstück versuchsmäßig zu ermitteln. Es liegt nun der Gedanke nahe, dem Konstrukteur als Ergebnis solcher Feindehnungsmessungen wenigstens für einfache, häufig wiederkehrende Kerbformen α_k-Werte in Tabellenform oder in Kurventafeln an die Hand zu geben, aus denen er jeweils für den gerade vorkommenden Fall die Höhe der Spannungsspitze ablesen kann. Das ist in gewissen Grenzen auch durchaus möglich, doch muß man sich dabei hüten vor einer schematischen, gedankenlosen Anwendung der Formzahl. Denn es gibt Fälle, wo die gleiche Kerbform zu verschiedenen Formzahlen führt.

So wird man vielleicht zunächst vermuten, daß z. B. für einen Flachstab und einen Rundstab bei gleicher Kerbform die α_k-Werte übereinstimmen müßten. Das ist jedoch nicht der Fall, sondern die Formzahl für den Rundstab ist kleiner als für den Flachstab, was in Abb. 4 anschaulich erläutert werden kann. Es läßt sich nachweisen, daß für den gezogenen Flachstab und den gezogenen Rundstab mit großer Annäherung die gleiche Spannungsverteilungskurve gilt, die etwa den in Abb. 4 gezeichneten Verlauf habe. Wenn trotzdem eine Verschiedenheit in den Formzahlen besteht, so muß diese also in der Ermittlung der Nennspannung zu suchen sein, da die Formzahl ja bekanntlich das Verhältnis von Spannungsspitze zu Nennspannung darstellt. Die Nennspannung für den Flachstab bestimmt man leicht als die mittlere Ordinate der gezeichneten Kurve, die sich z. B. mathematisch durch die Integration der schraffierten Fläche ermitteln läßt und durch die in Abb. 4 gestrichelte waagerechte Linie angedeutet ist. Die Bestimmung der Nennspannung für den Rundstab beruht natürlich ebenfalls auf einer

Mittelwertbildung, nur daß der Mittelwert nicht wie im vorigen Fall über eine Fläche zu bilden ist, sondern über einen Körper, und zwar über den Rotationskörper, der durch Umdrehung der Spannungsverteilungskurve um die Stabachse entsteht. Hierbei fallen die Gebiete erhöhter Spannung viel stärker ins Gewicht, da sie am Umfang des Umdrehungskörpers auf dem größten Kreisring liegen, während die Gebiete geringer Spannung in der Mitte einen viel kleineren Raum einnehmen. So kommt es, daß bei an sich gleicher Spannungsverteilungskurve für den Rundstab eine höhere Nennspannung gefunden wird, die in Abb. 4 durch die ausgezogene waagerechte Linie wiedergegeben ist. Aus diesem Grund muß offensichtlich die Formzahl α_k für den Rundstab kleiner sein als für den Flachstab. Auf Grund dieser Erkenntnisse ist näherungsweise eine Umrechnung der Formzahl des gezogenen Flachstabes auf den gezogenen Rundstab möglich, die durch die Formel

$$\frac{\alpha_{k\,\mathrm{Flach}} - 1}{\alpha_{k\,\mathrm{Rund}} - 1} = \frac{4}{3}$$

gekennzeichnet ist.

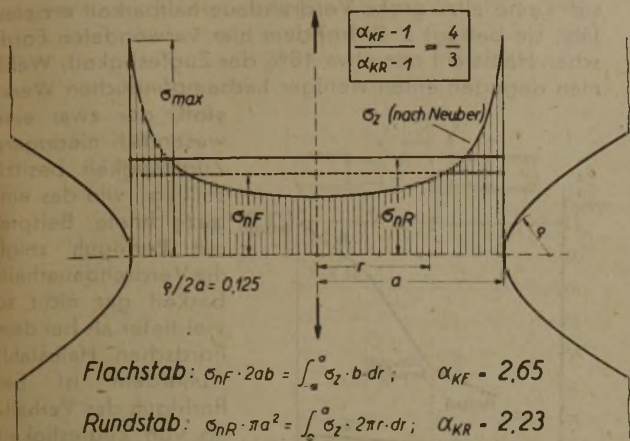


Abb. 4: Vergleich der Spannungsverteilung und der α_k-Werte für den gekerbten Flachstab und Rundstab bei Zug

Jedoch nicht nur beim Übergang vom Flachstab auf den Rundstab haben wir eine Veränderung der Formzahl zu erwarten, auch verschiedene Beanspruchungsarten, also Zug, Biegung oder Verdrehung, liefern für die gleiche Kerbform verschiedene α_k-Werte. Auch für diesen Fall läßt sich anschaulich nachweisen, daß bei gleichhoher Spannungsspitze man für Biegung eine höhere Nennspannung ermittelt als für Zug, demzufolge muß die Formzahl für Biegung kleiner sein als für Zug.

Aus den gezeigten Beispielen wird ohne weiteres ersichtlich, daß die genaue Kenntnis des Spannungszustandes in einem Konstruktionsteil zu den unerläßlichen Voraussetzungen für eine werkstoffgerechte Gestaltung gehört. Der Konstrukteur muß sich also ein Bild machen können davon, wie er durch geeignete Formgebung die Ausbildung eines bestimmten Spannungszustandes beeinflussen kann. Darüber hinaus muß er jedoch wissen, wie sich der von ihm gewählte Werkstoff unter den anzunehmenden Beanspruchungen verhält. Das Verhalten des Werkstoffes ist nämlich grundsätzlich verschieden bei z ü g i g e r und w e c h s e l n d e r Beanspruchung. Bei zügiger Beanspruchung, d. h. bei stetig bis zum Bruch ansteigender Beanspruchung zeigt der Werkstoff seine höchste Festigkeit, wie man sie beispielsweise im Zerreißversuch ermittelt. Bei wechselnder Beanspruchung dagegen, bei welcher die Spannung in sehr häufiger Wiederholung zwischen einem oberen und unteren Grenzwert ihre Größe ändert, tritt ein Bruch schon bei viel geringerer Höchstspannung ein. Grob schematisch sind die Unterschiede in der Bruchentstehung bei zügiger und wechselnder Festigkeit in Abb. 5 dargestellt. Bei zügiger Beanspruchung besitzt der Werkstoff eine bestimmte Festigkeit, die bei Steigerung der Belastung von der ansteigenden Spannung schließlich erreicht wird, so daß ein Bruch entsteht, den man mit Gewaltbruch bezeichnet. Zu Beginn einer wechselnden Beanspruchung hat der Werkstoff zunächst die gleiche Festigkeit, doch wird diese im Laufe der Zeit durch die zerrüttende Wirkung der wechselnden Gleitungen im Gefüge immer mehr erniedrigt. Sie sinkt dabei schließlich auf einen Wert ab, der dem Spannungsausschlag der aufgebrachten wechselnden Beanspruchung entspricht, so daß auch hier ein Bruch entsteht, der mit Dauerbruch bezeichnet wird und sich in seinen äußeren Merkmalen wesentlich vom Gewaltbruch unterscheidet.

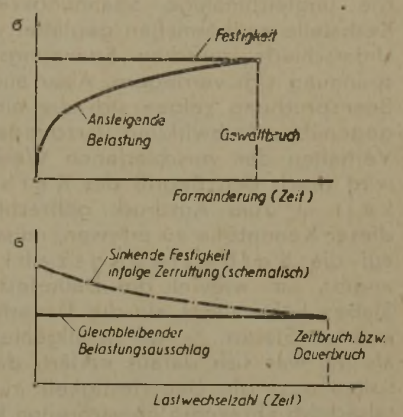


Abb. 5: Schematischer Vergleich der Bruchentstehung bei zügiger und bei wechselnder Beanspruchung
(Oben: Zügige Beanspruchung; unten: Wechselnde Beanspruchung.)

Schon rein äußerlich lassen sich die grundlegenden Unterschiede zwischen zügiger und wechselnder Beanspruchung erkennen, da nämlich in den beiden Fällen der Bruch am gleichen Werkstück an ganz verschiedenen Stellen liegen kann. Bei zügiger Beanspruchung liegt am zähen Werkstoff der Bruch allgemein an der Stelle des schwächsten Querschnitts, während bei wechselnder Beanspruchung der Dauerbruch von einer Stelle höchster Spannung seinen Ausgang nimmt, die durchaus nicht immer mit dem schwächsten Querschnitt zusammenfallen muß. In Abb. 6 ist z. B. eine Stahlgußprobe gezeigt, die einmal im Zerreißversuch, das andere Mal durch Zugursprungsbeanspruchung zu Bruch gebracht wurde. Bei zügiger Beanspruchung brach die Probe in der Mitte, wo mit 570 mm² die Stelle des schwächsten Querschnitts lag. Die ertragene Bruchspannung lag bei 84 kg/mm². Das gleiche Formelement wurde dann bei wechselnder Beanspruchung untersucht. Hierbei ging der Bruch quer durch den Laschenkopf, obwohl hier der Querschnitt mit 1400 mm² viel größer ist. Die an dieser Stelle auf-

Zügige Beanspruchung

Bruchspannung 84 kg/mm²
Bruchquerschnitt 570 mm²

Wechselnde Beanspruchung

Bruchnennspannung 10,7 kg/mm²
Bruchquerschnitt 1400 mm²
Lastspielzahl $1{,}4 \cdot 10^6$

Abb. 6: Bruchlage bei zügiger und wechselnder Beanspruchung an einer Stahlgußprobe

tretende Spannungsspitze, die den Bruch eingeleitet hatte, drückte außerdem die Bruchnennspannung auf 10,7 kg/mm² herab.

Dieses Beispiel lehrt, daß eine ungleichmäßige Spannungsverteilung, wie sie im Laschenkopf zweifelsohne vorliegt, sich bei wechselnder Beanspruchung weit gefährlicher auswirkt. Denn bei zügiger Beanspruchung kann, wenigstens solange es sich um einen verformungsfähigen Werkstoff handelt, durch örtliches Fließen die ungleichmäßige Spannungsverteilung an einer Kerbstelle einigermaßen geglättet werden, so daß die Unterschiede zwischen Spannungsspitze und Nennspannung sich verringern. Aber auch bei wechselnder Beanspruchung zeigen sich die einzelnen Werkstoffe gegenüber Kerbwirkung verschieden empfindlich. Das Verhalten der verschiedenen Werkstoffe bei Kerben wird durch den Begriff der Kerbempfindlichkeit η_k zum Ausdruck gebracht. Um das Wesen dieser Kenngröße zu erfassen, müssen wir gleichzeitig auf die Kerbwirkungszahl β_k eingehen, die angibt, um wieviel die Dauerfestigkeit des glatten Stabes höher liegt als die Dauerhaltbarkeit des gekerbten Stabes. β_k ist im allgemeinen etwas kleiner als α_k, was sich daraus erklärt, daß die Spannungsspitze σ_{max} die Dauerfestigkeit σ_{Wz} des Werkstoffes tatsächlich ein wenig überschreiten kann, ohne daß der gekerbte Stab deswegen zu Bruch geht. Dies wird durch die mehr oder weniger große Kerbempfindlichkeit des Werkstoffes ermöglicht, die durch die Kenngröße $\eta_k = \frac{\beta_k - 1}{\alpha_k - 1}$ erfaßt wird.

Wie wirken sich diese Erkenntnisse nun auf die Festigkeitsberechnung bei wechselnder Beanspruchung aus? Vorausgesetzt wird dabei die Kenntnis der Dauerfestigkeit des Werkstoffes, um aus dieser mit Hilfe der oben definierten Rechengrößen die Dauerhaltbarkeit einer Konstruktion zu bestimmen. Eine genaue Berechnung ist nur dann möglich, wenn man die Kerbwirkungszahl β_k kennt. Dafür liegen allerdings bis jetzt für die verschiedenen Werkstoffe Unterlagen nur für manche, häufig wiederkehrende Kerbformen vor, so daß man bei Abweichungen davon nur durch Dauerversuche Aufschluß über die Größe von β_k bekommt. Erst wenn eine Bestimmung von β_k auf diesem Wege nicht in Frage kommt, weil sie vielleicht zu kostspielig oder zu zeitraubend ist, muß man unter Ausnutzung der Beziehung $\beta_k = 1 + (\alpha_k - 1) \cdot \eta_k$ versuchen, mit Hilfe von Formzahl und Kerbempfindlichkeit zum Ziel zu kommen. Die Bestimmung der Formzahl α_k kann durch Feindehnungsmessungen wohl gelingen, doch ist man bei der Angabe der Kerbempfindlichkeit η_k immer mehr oder weniger auf Schätzungen angewiesen, da eben η_k keine reine Werkstoffkennzahl ist, sondern noch vom Spannungszustand und der Spannungsverteilung abhängt. Doch sind die gestaltungsmäßig bedingten Schwankungen von η_k bei ein und demselben Werkstoff nicht so groß, daß man sie nicht durch Vergleich mit einer ähnlichen Kerbform, deren Kennwerte bekannt sind, abschätzen könnte.

Man kann sich das Verhalten der Werkstoffe und die Bedeutung ihrer verschiedenen Kerbempfindlichkeit deutlich an dem Beispiel der Kurbelwelle vor Augen führen. Gerade die Kurbelwelle stellt durch ihre scharfen Kraftumlenkungen vom Kurbelzapfen zur Wange ein Maschinenteil mit hoher Kerbwirkung dar. Abb. 7 zeigt eine Zusammenstellung von Ergebnissen an Probekörpern, die mit einer Kröpfung in der konstruktiven Ausbildung einer Kurbelwelle versehen sind und auf Verdrehung beansprucht wurden. Die Versuche wurden mit verschiedenartigen Werkstoffen durchgeführt, und in dem Schaubild ist jeweils die Bruchfestigkeit des Werkstoffes und die Dauerhaltbarkeit des eingezeichneten Formelementes gegenübergestellt. Auch hier zeigt es sich, daß trotz der Verwendung eines Werkstoffes mit hoher Zugfestigkeit wegen der gleichzeitigen hohen Kerbempfindlichkeit sich keine allzu große Verdrehdauerhaltbarkeit erzielen läßt, sie beträgt z. B. bei dem hier verwendeten Fordschen Halbstahl nur etwa 18% der Zugfestigkeit. Wählt man dagegen einen weniger kerbempfindlichen Werkstoff, der zwar eine wesentlich niedrigere Zugfestigkeit besitzt, so liegt, wie das eingezeichnete Beispiel mit Perlitguß zeigt, die Verdrehdauerhaltbarkeit gar nicht so viel tiefer als bei dem Fordschen Halbstahl. Außerdem ist bei Perlitguß das Verhältnis von Zugfestigkeit zu Dauerhaltbarkeit viel günstiger. Die Verdrehdauerhaltbarkeit beträgt hier etwa 38% der Zugfestigkeit. Durch dieses erheblich günstigere Verhältnis ist die Verwendung des Gußeisens für Kurbelwellen möglich geworden, ein Gedanke, der noch vor nicht allzulanger Zeit geradezu lächerlich gewirkt hätte.

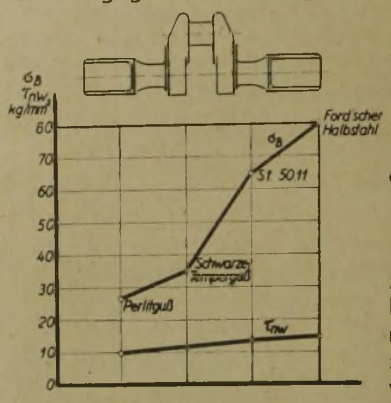


Abb. 7: Abhängigkeit der Dauerhaltbarkeit bei den jeweils gleichen Formelementen vom Material

Im allgemeinen wird von Dauerfestigkeit und wechselnder Beanspruchung gesprochen unter der stillschweigenden Voraussetzung, daß diese wechselnde Beanspruchung den bekannten sinusförmigen Verlauf hat. Diese Annahme hat auch bei vielen Maschinenteilen durchaus ihre Berechtigung, insbesondere werden in den Dauerprüfmaschinen die Proben einer solchen sinusförmig wechselnden Beanspruchung unterworfen. In der Praxis kommt es nun häufig vor, daß der zeitliche Verlauf der wechselnden Beanspruchung durchaus nicht so regelmäßig ist, daß vielmehr Beanspruchungen geringer Höhe mit stark ausgeprägten Spannungsspitzen abwechseln.

In Abb. 8 ist oben der allgemeinste Fall einer wechselnden Beanspruchung dargestellt, und zwar pendelt hier die Spannung mit ständig veränderlicher, willkürlicher Amplitude um einen Mittelwert. Dieser Beanspruchungsverlauf gilt z. B. für die Feder eines Kraftwagens, die durch das Eigengewicht des Wagens belastet ist, und die zusätzlich beim Befahren einer schlechten Straße Beanspruchungsstöße verschiedener Höhe erhält. Es widerspricht nun den Forderungen des

Abb. 8: Summenhäufigkeitskurve der Beanspruchung (schematisch)

Leichtbaues, wenn man ein solches Teil so stark dimensionieren würde, daß auch die höchsten Überlastungsspitzen noch absolut dauerbruchsicher ertragen werden. Es würde bei einer solchen Bemessung übertrieben stark und schwer werden. Man muß dabei vielmehr berücksichtigen, daß die hohen Überlastungsspitzen ja viel seltener auftreten als die Schwingungen normaler Amplitude, für die das Werkstück bemessen ist. Sollte also unter der Einwirkung dieser Spitzen doch schließlich ein Bruch eintreten, so kann das Teil schon über Jahre hinaus seinen Zweck erfüllt haben. Man nennt diese Bemessung, die bewußt damit rechnet, daß nach einer gewissen Zeit ein Bruch auftreten wird, Berechnung auf Zeitfestigkeit. Sie ist überall da anzuwenden, wo man aus Gründen der Gewichtsersparnis ein Teil so leicht und damit so schwach halten muß, daß es die aufgebrachte Beanspruchung nur eine gewisse Zeit lang ohne Bruch ertragen kann. Diese Beanspruchung kann, je nach der Lebensdauer, die man von vornherein von dem Teil verlangt, erheblich über der Dauerfestigkeit des Werkstoffs liegen. Ein solches Maschinenteil muß dann kurz vor Ablauf seiner beschränkten Lebensdauer ausgebaut und durch ein neues ersetzt werden.

Bei einem so willkürlichen Beanspruchungsverlauf, wie er in Abb. 8 oben gezeigt ist, ist es natürlich von Wichtigkeit, zu wissen, wie groß der Anteil der Überlastungen gegenüber den geringeren Wechselbeanspruchungen ist. Hierzu ist es zweckmäßig, die wechselnden Beanspruchungen für eine bestimmte Anzahl von Lastspielen der Größe nach zu ordnen, so daß man eine bessere Übersicht über die Anteile hoher und niedriger Spannungen an der Gesamtzahl der Beanspruchungen erhält. Eine solche Ordnung ist in dem Kurvenverlauf unten in Abb. 8 vorgenommen. Die Einhüllende an diesen Kurvenverlauf ergibt die sogenannte Summenhäufigkeitskurve der Beanspruchung, die somit den zeitlichen Beanspruchungsverlauf eindeutig kennzeichnet. Diese Kurve hat ihren Namen daher, daß sie für jede Spannung die Häufigkeit angibt, mit der die Summe aller Beanspruchungen oberhalb dieser Spannung zu erwarten ist. Man kann aus ihr z. B. ablesen, wie oft bei einer angenommenen Gesamtzahl von Beanspruchungswechseln ein bestimmter Spannungswert überschritten wird. Die Summenhäufigkeitskurve der Beanspruchung bildet deshalb eine wichtige Unterlage für die Bemessung auf Zeitfestigkeit.

In all den Fällen, wo wechselnde Beanspruchungen veränderlicher Höhe oder gelegentliche Überlastungen vorkommen, ist die Frage von Bedeutung, wie weit der Werkstoff überhaupt in der Lage ist, solche Überbeanspruchungen zu ertragen, ohne sich dadurch in seinen Eigenschaften zu verändern. In der Tat hat man festgestellt, daß Überbeanspruchungen, wenn sie eine bestimmte Anzahl überschreiten, eine Minderung der Dauerfestigkeit zur Folge haben. Über dieses Verhalten der Werkstoffe gibt die sogenannte Schadenslinie Auskunft, die in Abb. 9 zusammen mit der zugehörigen Wöhlerkurve eingezeichnet ist. Die Schadenslinie gibt an, wie viele und wie hohe Überlastungen ein Werkstoff aushalten kann ohne eine Schädigung, d. h. ohne eine Minderung seiner Dauerfestigkeit. Bleibt man für eine bestimmte Höhe der Überlastungen mit deren Anzahl unterhalb des durch die Schadenslinie angegebenen Wertes, so wird die Dauerfestigkeit des Werkstoffs nicht beeinträchtigt. Wird jedoch die Schadenslinie überschritten und die Probe bis in den in Abb. 9 schraffierten Bereich beansprucht, so wird zwar nicht direkt ein Bruch eintreten, aber die Dauerfestigkeit wird erniedrigt. Die Schadenslinie ist also zur Beurteilung eines Werkstoffs, insbesondere bei der Möglichkeit von Überbeanspruchungen, eine wichtige Ergänzung zur Wöhlerkurve. Wie in Abb. 9 zu sehen ist, liegt sie im Bereich niederer Lastspielzahlen mehr oder weniger über der Dauerfestigkeit und mündet dann in die Wöhlerkurve ein.

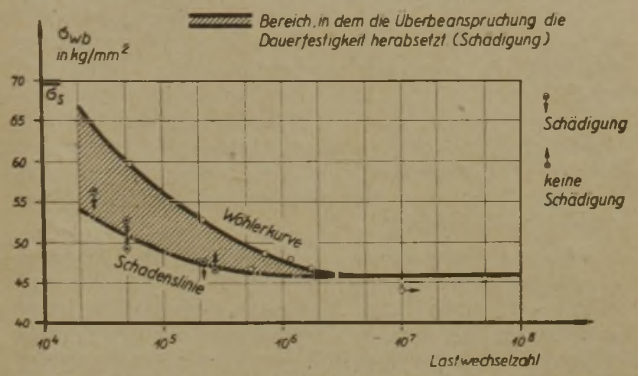


Abb. 9: Wöhlerkurve und Schadenslinie (Nach Versuchen von W. Russell und W. A. Welcker an vergütetem Cr-Mo-Stahl [S. A. E. Nr. 41 30], Proc. Amer. Soc. Test. Mat. 36 [1936], T. 2.)

Die Auswertung dieser Erkenntnisse ist dann möglich, wenn für ein Konstruktionsteil der zeitliche Verlauf der zu erwartenden Betriebsbeanspruchung bekannt ist, am besten, wenn er in der Form der Summenhäufigkeitskurve der Beanspruchung vorliegt. Besonders wird diese Auswertung von Summenhäufigkeitskurve und Schadenslinie für gekerbte Teile praktische Bedeutung erlangen, da die Schadenslinie bei gekerbten Teilen näher an die Wöhlerlinie heranrückt und damit in höherem Maße Überlastungen ermöglicht. Diese Verhältnisse sind in Abb. 10 schematisch dargestellt, und zwar links für einen glatten, rechts für einen gekerbten Stab. Man sieht zunächst den bekannten Unterschied in den Wöhlerkurven oder Zeitfestigkeitslinien, daß nämlich die Kurve für den gekerbten Stab einen höheren Anfangswert und einen tieferen Horizontalverlauf

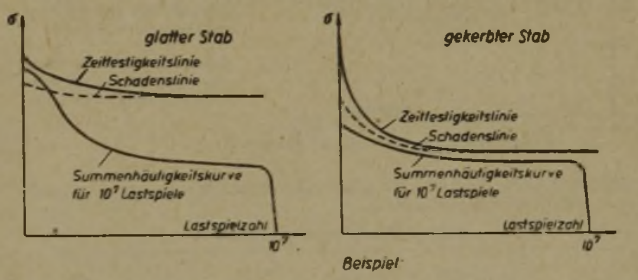


Abb. 10: Beispiele für Anwendung der Summenhäufigkeitskurve (schematisch)

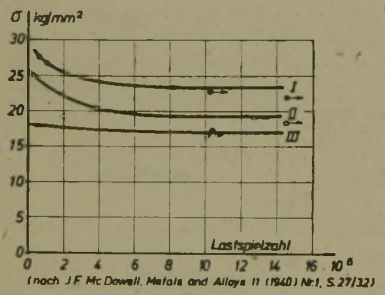
Linkes Beispiel: Geringe Wechsellast mit hohen Überlastungen. Summenhäufigkeitskurve darf Schadenslinie überschreiten, da Dauerfestigkeit nicht ausgenutzt und daher Schädigung zulässig

Rechtes Beispiel: Hohe Wechsellast mit geringen Überlastungen. Summenhäufigkeitskurve muß unter Schadenslinie bleiben, da Dauerfestigkeit voll ausgenutzt und daher Schädigung unzulässig

aufweist, im ganzen also steiler verläuft, als die des glatten Stabes. Kennzeichnend ist auch die Lage der Schadenslinie, die sich beim glatten Stab nicht viel über den Wert der Dauerfestigkeit erhebt, während sie beim gekerbten Stab im Bereich niederer Lastspielzahlen die Dauerhaltbarkeit verhältnismäßig hoch übersteigt. Im linken Teil des Bildes ist nun für den glatten Stab als Beispiel eine Summenhäufigkeitskurve eingezeichnet, die einer verhältnismäßig geringen Wechselbeanspruchung mit vereinzelten hohen Überlastungen entspricht. In diesem Fall wird man zweckmäßig so konstruieren, daß die zu erwartenden Belastungsspitzen die Schadenslinie überschreiten. Denn da die Grundbelastung ziemlich weit unter der Dauerfestigkeit liegt, ist eine Minderung der Dauerfestigkeit durchaus zulässig. Anders liegt der Fall bei dem für den gekerbten Stab gewählten Beispiel. Hier gibt die eingezeichnete

Summenhäufigkeitskurve einen Beanspruchungsverlauf mit nur geringen Überlastungen wieder. Da die Schadenslinie hier sowieso ziemlich hoch liegt, wird man also zweckmäßig ganz unterhalb der Schadenslinie bleiben, um die Dauerhaltbarkeit des Werkstücks voll ausnutzen zu können. Wenn auch dieser Weg zu einem Höchstmaß an Werkstoffausnutzung heute noch selten beschritten wird, weil über den Verlauf der Schadenslinie wegen der dazu erforderlichen sehr langwierigen Untersuchungen noch wenige Unterlagen vorhanden sind, so wird doch zweifellos die Schadenslinie die zukünftige Grundlage der Bemessung zeitfester Konstruktionen bilden.

Aus diesen Forschungsergebnissen kann man ersehen, wie eingehend man einen Werkstoff auf seine Eigenschaften hin untersuchen und sein Verhalten in jeder Hinsicht kennen muß, um bei einer Konstruktion das Äußerste aus dem Werkstoff herauszuholen. Trotzdem gibt es heute immer noch Konstrukteure, die sich ausschließlich mit der Kenntnis der zügigen Festigkeitseigenschaften begnügen und vielleicht nur ab und zu einen Dauerfestigkeitswert für die Berechnung heranziehen. Diese Einstellung ist jedoch absolut verfehlt und muß der Erkenntnis weichen, daß man bei der Berechnung wechselnd beanspruchter Teile unter allen Umständen die Dauerfestigkeit des benutzten Werkstoffes aus Versuchen kennen muß. Es kann nämlich durchaus vorkommen, daß zwei Werkstoffe, die gleiche chemische Zusammensetzung und gleichen zügigen Festigkeitswerte besitzen, trotzdem verschiedene Dauerfestigkeiten ergeben. Hierfür sei in Abb. 11 ein charakteristisches Beispiel gebracht.



Schmelze I: Vollständig desoxydiert u. beruhigt.

Schmelze II: Teilweise desoxydiert, ganz dünne randentkohlte Schicht.

Schmelze III: Kaum desoxydiert, deutlich ausgeprägte Randentkohlung.

Abb. 11: Einfluß der Schmelzbedingungen auf die Biegewechselfestigkeit eines unlegierten Stahls mit 0,2% C.

Zügige Festigkeitseigenschaften

	Zugfestigk.	Fließgrenze	Dehnung	Einschnürg.	Brinellh.
Schmelze I	44,7 kg/mm²	27,0 kg/mm²	41,4 %	56,6 %	131 kg/mm²
Schmelze II	45,6 kg/mm²	27,1 kg/mm²	40,7 %	56,6 %	134 kg/mm²
Schmelze III	45,4 kg/mm²	27,2 kg/mm²	43,2 %	56,0 %	128 kg/mm²

Es zeigt die kürzlich veröffentlichten Versuchsergebnisse eines amerikanischen Forschers über den Einfluß der Schmelzbedingungen auf die Dauerfestigkeit eines normalen Kohlenstoffstahles. Der Unterschied zwischen den drei untersuchten Schmelzen besteht in der verschieden starken Desoxydation. Die im Bild mit I bezeichnete Schmelze ist vollständig desoxydiert und beruhigt und weist demzufolge ein gleichmäßiges Gefüge auf. Schmelze II ist nur teilweise desoxydiert und beim Vergießen in die Kokille nicht ganz beruhigt, so daß eine dünne, randentkohlte Schicht im Gußblock entsteht. Bei der Schmelze III schließlich hat sich wegen starken Mangels an Desoxydationsmitteln im Gußblock eine ziemlich deutlich ausgeprägte randentkohlte Schicht gebildet. Betrachtet man zunächst die zügigen Festigkeitseigenschaften der drei Schmelzen die unter Abb. 11 angegeben sind, so sieht man, daß die Zugfestigkeit, Fließgrenze, Dehnung, Einschnürung und Brinellhärte mit großer Annäherung übereinstimmen. Auch die chemischen Analysen ergaben fast gleiche Werte. Trotzdem sind die Dauerfestigkeitswerte ziemlich verschieden, wie aus den eingezeichneten Wöhlerkurven hervorgeht. Die beruhigte Schmelze hat mit etwa 23 kg/mm² den höchsten Wert für die Biegewechselfestigkeit, während er für die Schmelze III mit 17 kg/mm² um 26% tiefer liegt. Diese amerikanischen Versuchsergebnisse stehen vollkommen im Einklang mit Untersuchungen, die schon vor einiger Zeit in der MPA Darmstadt durchgeführt wurden. Zur Untersuchung lagen damals Stähle aus zwei Lieferungen vor, die die gleiche chemische Zusammensetzung zeigten, auch die gleichen zügigen Festigkeitswerte ergaben und sich lediglich darin unterschieden, daß sie zwei verschiedenen Schmelzen entstammten. Mit diesen Stählen wurden Dauerversuche an glatten, abgesetzten und quergebohrten Stäben durchgeführt, die nun Unterschiede in den Dauerfestigkeitswerten lieferten, die nur durch die veränderten Schmelzbedingungen erklärt werden können. Die Wöhlerkurven der einen Schmelze lagen für alle drei Stabformen tiefer als die der andern, und zwar war die Abweichung für den glatten Stab am stärksten. Dies ist auch ohne weiteres verständlich, da sich kleine Fehlstellen im Werkstoff beim glatten Stab immer am ungünstigsten auswirken, während ihre schädliche Wirkung beim gekerbten Stab durch die äußere Kerbwirkung überschattet wird, es sei denn, daß sich zufällig gerade im Kerbgrund eine solche Fehlstelle befindet. So wurde bei diesen beiden Stählen, ebenso wie im vorigen Beispiel, durch verschiedene Schmelzbedingungen ein Güteunterschied verursacht, der weder aus der chemischen Analyse, noch aus den zügigen Festigkeitswerten zu erkennen war, sondern erst durch den Dauerversuch aufgedeckt werden konnte.

Zieht man aus diesen Erfahrungen die Lehre und erkennt die Notwendigkeit von Dauerversuchen als Grundlage für Berechnung und Bemessung eines Werkstücks, so muß man immer noch bei der Anwendung von Dauerfestigkeitswerten Vorsicht walten lassen. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß die an kleinen Proben erhaltenen Dauerfestigkeitswerte bei gleichem Werkstoff an größeren Maschinenteilen nicht erreicht werden. Dies kann zum Teil seinen Grund haben in verschieden starker Verschmiedung oder verschiedener Durchhärtung beim Vergüten, doch hat auch unter Ausschaltung dieser Einflüsse die absolute Größe des Probestabes schon eine Rückwirkung auf die erhaltenen Ergebnisse. Dieser rein geometrische Größeneinfluß wird durch die in Abb. 12 wiedergegebenen Wöhlerkurven belegt. Es sind die Ergebnisse von Dauerversuchen an Stäben mit 8 mm und mit 40 mm Durchmesser aufgetragen, und zwar wurden diese Stäbe aus dem gleichen Ausgangsquerschnitt herausgearbeitet, um den möglichen Einfluß verschiedenen Verwalzungsgrades und verschiedener Vergütung auszuschließen. Es ist also der reine Einfluß der Probengröße, der den oben in Abb. 12 sichtbaren Unterschied in den Wöhlerkurven glatter Stäbe hervorruft, und zwar ist die Biegewechselfestigkeit des 40 mm starken Probestabes etwa um 10 Prozent niedriger als die des 8 mm starken Stabes. Eine Erklärung für dieses Verhalten ist aus der verschiedenen Spannungsverteilung über den Querschnitt versucht worden. Bei der dünnen Probe ist nämlich der Spannungsabfall von den hochbeanspruchten Randgebieten zur unbelasteten neutralen Faser wesentlich steiler, als bei der dicken Probe, wie aus der Gegenüberstellung rechts oben in Abb. 12 deutlich zu erkennen ist. Bei der dünnen Probe liegen also dicht neben den hochbeanspruchten Randfasern Gebiete, die viel geringer beansprucht sind und

demzufolge eine gewisse Stützwirkung auf die Randgebiete ausüben. Bei der dicken Probe fällt diese Stützwirkung fort, da wegen des flacheren Spannungsabfalles die Werkstoffteilchen dicht neben den Rand-

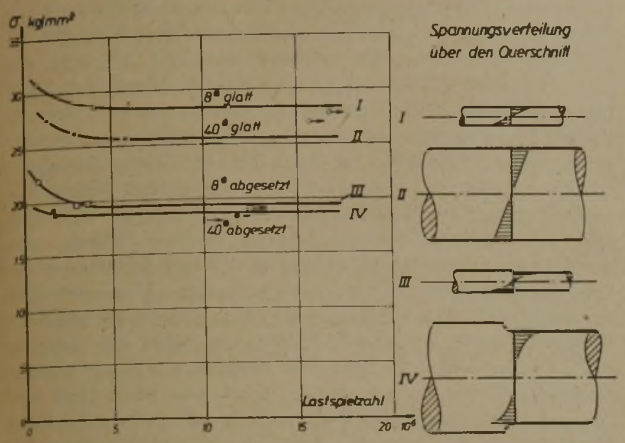


Abb. 12: Einfluß der Probengröße auf die Biegewechselfestigkeit glatter und abgesetzter Stäbe

fasern fast genau so hoch beansprucht sind. So ist die geringere Biegewechselfestigkeit der dickeren Probe zu erklären.

Interessant ist, daß dieser Größeneinfluß sich bei gekerbten Teilen kaum noch bemerkbar macht, wie aus den in Abb. 12 unten gezeigten Wöhlerkurven III und IV hervorgeht, die an abgesetzten Stäben gewonnen wurden. Hierbei ist die Spannungsverteilung derart, daß wegen der entstehenden Spannungsspitze auf jeden Fall in der Randzone ein steiler Spannungsabfall stattfindet, so daß kaum ein Unterschied in der Stützwirkung bei der dünnen und bei der dicken Probe beobachtet werden kann. Deshalb liegen die Biegewechselfestigkeitswerte bei der abgesetzten Probe für 8 mm Durchmesser und für 40 mm Durchmesser nahezu in gleicher Höhe.

Aus diesen Beispielen wird ersichtlich, wie wichtig einerseits für den Konstrukteur die genaue Kenntnis des Spannungszustandes in einem Werkstück ist, daß er aber auf der andern Seite auch genauestens mit dem Verhalten eines Werkstoffes gegenüber irgendeiner Beanspruchung vertraut sein muß, um den richtigen Werkstoff an der richtigen Stelle einsetzen zu können. Gleichzeitig kann man aber aus den angeführten Beispielen erkennen, wie die Kerbwirkung unsere Werkstoffe, und zwar gerade die besten, gefährdet. Man muß sich daher mit der Frage befassen, ob es nicht möglich ist, die hohen Festigkeitseigenschaften unserer Stähle auch bei wechselnd beanspruchten Teilen besser zur Geltung zu bringen, muß sich also überlegen, ob und wie überhaupt Kerbwirkungen zu vermeiden sind und welche Mittel es gibt, die Dauerhaltbarkeit gekerbter Konstruktionen zu erhöhen. Es ist klar, daß diese Bestrebungen zunächst durch die Wahl einer günstigsten Formgebung im Sinne einer Vermeidung von scharfen Umlenkungen des Kraftflusses erfolgen müssen. Hierbei ist es uns manchmal durch zusätzliche Kerben, sogenannte Entlastungskerben, möglich, auf den Kraftfluß unmittelbar einzuwirken, das heißt, seine plötzliche Umlenkung an einer Kerbstelle zu mildern.

Ein Anwendungsbeispiel dafür ist in Abb. 13 dargestellt. An der abgesetzten Welle, bei der die Schulter des Wellenabsatzes als Anlagefläche, beispielsweise für eine Radnabe, dienen muß, ist es durch Entlastungskerben möglich, den Kraftfluß gleichmäßiger zu gestalten, als er bei einem scharfen Absatz verlaufen würde. Da man aus Platzmangel keine Ausrundung in der üblichen Weise anbringen kann, verlegt man diese Ausrundung durch Hinterdrehen in die Schulter des Absatzes. Diese Hinterdrehung mildert die Spannungsspitze, da sie den Kraftfluß allmählich in den dickeren Teil überleitet. Ihre Wirkung wird jedoch noch erhöht durch eine Entlastungskerbe am Umfang des dickeren Teils, die für eine noch bessere Glättung der Kraftlinien sorgt.

In vielen anderen Fällen stellt der Entlastungsübergang ein Mittel dar, um an Wellenabsätzen, plötzlichen Querschnittsänderungen, wie dem Bund oder der Schulter, die Kerbwirkung überhaupt völlig zu vermeiden. Der Entlastungsübergang wurde experimentell in Anlehnung an die Randkurve eines aus einer Bodenöffnung frei ausfließenden Strahles ermittelt. Hier ist ein Vergleich aus dem Gedankengut der Mechanik zugrunde gelegt, da die Differentialgleichungen für die Oberflächenspannung in dem ausfließenden Strahl mit den Spannungsgleichungen übereinstimmen. Längs des mit stetig veränderlicher Krümmung konstruierten Übergangs herrscht an jeder Stelle die gleiche Spannung wie im dünnen Wellenteil. Die Querschnittsänderung hat also keine Erhöhung der Spannung zur Folge, die Formzahl für diesen Übergang wäre $\alpha_k = 1$. Allerdings gilt diese Über-

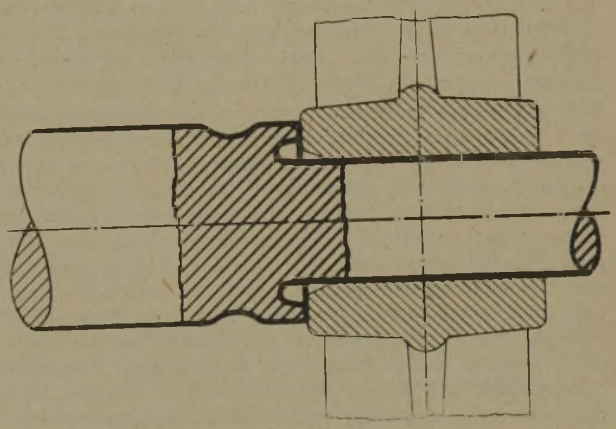


Abb. 13: Entlastungskerbe an abgesetzter Welle (n. Oschatz)

einstimmung streng nur für Verdrehbeanspruchung, doch läßt sich durch geeignete Korrekturen die Anwendbarkeit auch auf Biege- und Zugbeanspruchung ausdehnen.

Dieser Entlastungsübergang mit stetiger Krümmungsänderung wird zwar der Theorie sehr gut gerecht, doch bietet seine praktische Verwirklichung naturgemäß einige Schwierigkeiten. In Abb. 14 ist daher eine andere Form des Übergangs dargestellt,

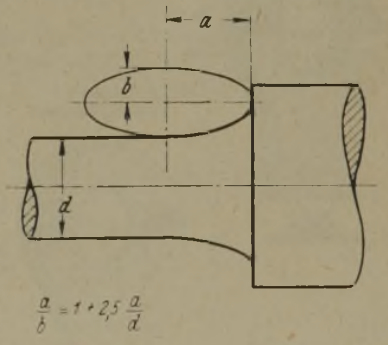


Abb. 14: Ellipsenübergang (n. Lürenbaum-Deutler)

der der theoretisch günstigsten Form ziemlich nahe kommt, dabei aber in seiner praktischen Ausführung einfacher ist. Es handelt sich um den Ellipsenübergang nach Deutler, der in dem wesentlichen Vorteil mit dem erwähnten Entlastungsübergang übereinstimmt. Er nutzt nämlich ebenfalls die Tatsache aus, daß unmittelbar am Übergang ein großer Ausrundungsradius weniger gefährlich ist als ein kleiner. Deshalb ist die Ellipse, die in diesem Fall als Übergangskurve gewählt ist, so

gelegt, daß ihr größter Krümmungsradius den Übergang zum schwachen Querschnitt des Absatzes bildet, während der kleinste Krümmungsradius im anderen Scheitel der Ellipse in ein Gebiet stärkeren Querschnitts fällt und sich daher nicht so gefährlich auswirken kann.

Sind die Möglichkeiten einer Verbesserung durch konstruktive Formgebung erschöpft, so hat man immer noch in dem Aufbringen von günstigen Eigenspannungen ein vorzügliches Mittel, um die Dauerhaltbarkeit einer gefährdeten Kerbstelle zu erhöhen. Eigenspannungen können dadurch entstehen, daß in einem Werkstück verschieden große bleibende Dehnungen erzeugt werden. Die stärker ausgedehnten Teile werden nach Verschwinden der äußeren Kräfte mit elastischen Druckeigenspannungen, die weniger stark oder nur elastisch gedehnten Teile mit Zugeigenspannungen behaftet sein. Zug- und Druckeigenspannungen halten sich an dem verformten Körper immer das Gleichgewicht. Wird ein solches mit Eigenspannungen versehenes Maschinenteil belastet, so überlagern sich Eigenspannungen und Lastspannungen. Sind sie entgegengesetzt gerichtet, so kommt die Lastspannung nicht in ihrer vollen Höhe zur Wirkung, sie ist vielmehr um den Betrag der Eigenspannung vermindert. Diese Tatsache macht man sich an Kerbstellen zunutze, um durch Aufbringen von günstigen Druckeigenspannungen die dem Werkstoff gefährlichen Zugspannungen an dieser Stelle herabzusetzen.

Eine praktische Anwendung dieser Überlegungen zeigt Abb. 15 an einer Lasche, einem Maschinenelement, das dazu bestimmt ist, in einer gelenkigen Verbindung starke Zugkräfte zu übertragen. Die Spannungsverteilung, die in einem Schnitt senkrecht zur Zugrichtung herrscht, ist natürlich stark beeinflußt durch die Umlenkung des Kraftflusses, der an dem Loch vorbei und dann in den Bolzen geleitet wird. Schematisch ergibt sich etwa ein Spannungsverlauf, wie er in dem linken Teil des Bildes eingezeichnet ist. Unmittelbar am Lochrand herrscht dabei eine stark ausgeprägte Zugspannungsspitze. Um deren Gefährlichkeit zu mildern, muß man also versuchen, am Lochrand Druckeigenspannungen aufzubringen, was sich durch Kaltaufwalzen der Bohrung auch erreichen läßt. Der Eigenspannungszustand, der dadurch entsteht, ist im rechten Teil des

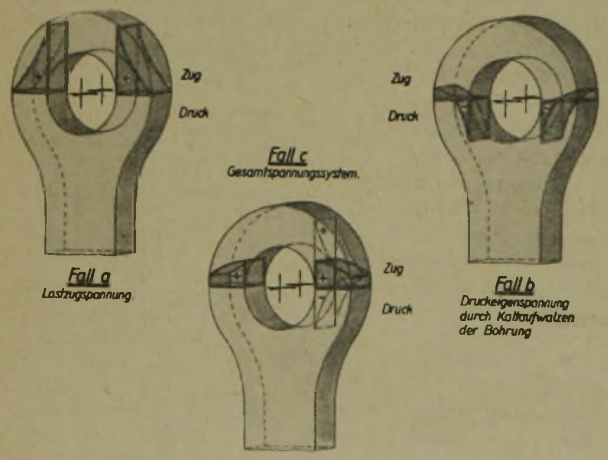


Abb. 15: Vorstellungsgemäßes Zusammenwirken von Lastzugspannung und Druckeigenspannung zum Gesamtspannungssystem in einer Laschenprobe

Bildes wiedergegeben. Das Zusammenwirken von Lastspannung und Eigenspannung hat zur Folge, daß die gefährliche Spannungsspitze am Lochrand weitgehend erniedrigt wird und, wie das mittlere Bild zeigt, die Spannungen sich gleichmäßiger über den Querschnitt verteilen.

Die Erzeugung von günstigen Druckeigenspannungen durch Kaltverformung empfiehlt sich besonders bei weicheren Stählen und ist hier schon vielfach mit Erfolg angewandt worden, so an Hohlkehlen, Querbohrungen, Nabensitzen usw. Daneben gibt es auch noch andere Verfahren, um erhebliche Festigkeitssteigerungen ohne Gewichtsvermehrung zu erzielen, so z. B. die örtliche Anwendung der Abschreck- und Nitrierhärtung. Durch beide Verfahren werden infolge Strukturveränderungen in der Außenzone Druckeigenspannungen erzeugt. Um auch dies mit Versuchsergebnissen zu belegen, sind in Abb. 16 einige Werte zusammengestellt, die die überaus günstige Wirkung der Azetylenoberflächenhärtung zeigen. Durch die Azetylenhärtung ist es bei geeigneten Stählen möglich, die Festigkeit in überbeanspruchten Gebieten und an Kerbstellen so weit zu steigern, daß in diesen Gebieten die Bruchgefahr völlig beseitigt ist. Die in Abb. 16 gezeigten Probestäbe wurden vor der Wechselbeanspruchung brennstrahlgehärtet. Der erste Stab war über die Prüflänge gehärtet und wurde auf wechselnde Verdrehung beansprucht. Der Dauerbruch erfolgte dabei außerhalb der Prüfstrecke in den ungehärteten Einspannköpfen bei einer Belastung, die um 84% höher

Nr.	Stabform	Beanspruchung	Dauerhaltbarkeit in kg/mm² ungehärtet	Dauerhaltbarkeit in kg/mm² gehärtet*	Steigerung
1		Wechselnde Verdrehung	18.8	> 34.7	> 84 %
2		Umlaufende Biegung	27.8	> 50.1	> 80 %
3			20.4	> 50.0	> 146 %
4			16.7	> 32.6	> 95 %
5			17.0	23.5	38 %

*Die Stäbe 1-4 brachen im ungehärteten Teil, die Dauerhaltbarkeit der brennstrahlgehärteten Gebiete liegt also höher als die gemessenen Werte. (Werkst.: St.C 35.61)

Abb. 16: Steigerung der Dauerhaltbarkeit von glatten und gekerbten Konstruktionen durch örtliche Azetylen-Härtung

lag, als die Dauerfestigkeit des ungehärteten Stabes. Die Steigerung der Dauerfestigkeit, die durch das Brennstrahlhärten erzielt wurde, ist also bestimmt größer als 84%. Auch die Stäbe 2 bis 5, die bei umlaufender Biegung untersucht wurden und die die günstige Wirkung des Brennstrahlhärtens bei verschiedenen Kerbformen aufdecken sollten, hatten beträchtliche Steigerungen der Dauerhaltbarkeit aufzuweisen. Beim glatten Stab, im Bild Nr. 2, lag diese Steigerung in derselben Größenordnung wie bei Verdrehbeanspruchung. Besonders deutlich wird die Verbesserung bei Nr. 3, dem Stab mit umlaufender Halbkreiskerbe. Auch hier bildete sich der Bruch im ungehärteten Teil aus, ein Beweis, daß die gefährliche Wirkung der Kerbe vollkommen beseitigt ist. Die Belastung, die der Kerbquerschnitt noch sicher ausgehalten hat, lag dabei um nicht weniger als 146% höher als die Dauerhaltbarkeit des ungehärteten Stabes. Bei den anderen Kerbformen war ebenfalls ein günstiger Einfluß des Brennstrahlhärtens unverkennbar, wenn auch bei dem Stab mit Querbohrung das Ergebnis nicht ganz so überzeugend ausgefallen ist wie bei den übrigen Kerbformen.

Es ließe sich noch eine Reihe von weiteren Beispielen anführen, um die Gesichtspunkte, die der Konstrukteur zur Erzielung höchstwertiger Konstruktionen zu beachten hat, zu veranschaulichen. Als wichtigste Grundlage dafür ist die genaue Kenntnis des Beanspruchungsmechanismus anzusehen. Zwar muß der

Konstrukteur meist auf eine genaue Berechnung verzichten, da sie in vielen Fällen gar nicht möglich, zumindest aber sehr verwickelt und langwierig ist. Er muß vielmehr aus der Beobachtung der Verformungen, gegebenenfalls durch Feindehnungsmessungen, einen Überblick über die Spannungsverteilung gewinnen. Er muß aus der Vorstellung der Verformung den Beanspruchungsmechanismus gewissermaßen ins Gefühl bekommen. Gleichzeitig ist jedoch eine sehr genaue Kenntnis der Werkstoffeigenschaften gegenüber allen möglichen zusätzlichen Einflüssen erforderlich. Es geht heutzutage nicht mehr an, für die Berechnungen eines Teils sich ausschließlich auf die zügigen Festigkeitswerte zu stützen, da fast jedes Maschinenteil unmittelbar oder mittelbar einer wechselnden Beanspruchung unterworfen ist. Auf diesen beiden Grundlagen, nämlich den Einflüssen der Gestalt und des Werkstoffs, baut sich die neue Konstruktionslehre der Gestaltfestigkeit auf. Sie befähigt den Konstrukteur zu einer höchstmöglichen Ausnutzung des Werkstoffs und zu einer werkstoffgerechten Gestaltung, wie sie zur Erfüllung der heute immer weiter gesteigerten Aufgaben unerläßlich sind. Gerade bei der Berechnung auf Zeitfestigkeit, die bei höchstbeanspruchten Teilen im Fahrzeug- und Flugzeugbau gefordert wird, hängt die gleichzeitig verlangte Betriebssicherheit von der durchdachten Anwendung der Lehre von der Gestaltfestigkeit ab. Da diese Lehre in der kurzen Zeit, seit man ihre Notwendigkeit erkannte, noch nicht vollständig ausgebaut sein kann, liegt dem Konstrukteur die Verpflichtung ob, in ständiger Fühlung mit der modernen Werkstofforschung zu bleiben und sich den ständig erweiternden Kreis der neuen Erkenntnisse zu eigen zu machen. Bei richtiger Anwendung und zweckmäßigem Ausbau der neuen Lehre wird es möglich sein, daß Konstruktionen erstehen, die an Einfachheit, Zweckmäßigkeit, Leichtigkeit und Betriebssicherheit die heutigen Konstruktionen weit übertreffen.

Einheitliche Kostenrechnung*)

Von Prof. Dr.-Ing. Kurt Rummel, Düsseldorf

Über die heute von den amtlichen Stellen so eifrig betriebene Vereinheitlichung des Rechnungswesens ist unendlich viel geschrieben und gesprochen worden, ebenso über das engere Gebiet der Kostenrechnung. Man kann dieses Thema sehr verschieden anpacken. Die folgenden Betrachtungen sind stark durch die Brille des Ingenieurs gesehen. Es handelt sich dabei um ein wenig Kostenmathematik, doch sei gleich, um den Kaufmann nicht abzuschrecken, gesagt, daß keinerlei Vorbildung hierfür gefordert wird, von höherer Mathematik oder schwierigen Gleichungen ist keine Rede, sondern nur von einem Denken in Abhängigkeiten, in Einflüssen oder, wie der Ingenieur das nennt, in „Funktionen". Auch dem Kaufmann kann es nichts schaden, zum allermindesten diese funktionale Denkweise kennenzulernen, die dem Ingenieur nun einmal naheliegt, muß er doch mit dem Ingenieur ständig Hand in Hand arbeiten. Das wichtigste Gesetz des Kostenwesens beruht nur auf einer Anwendung der simplen Regeldetrie, die besagt, wenn 1 Maschinenstunde 3,— RM. kostet, so kosten 7,5 Stunden 24,50 RM.; wenn 1 Stück 2,— RM. kostet so kosten 10 Stück 20,— RM.; wenn 1 kg 5 Rpf. kostet, so kosten 100 kg 5,— RM.; wenn 1 Arbeiterstunde mit allen Unkosten 2,50 RM. kostet, dann kosten 40 Arbeiterstunden 100,— RM. Das ist nicht schwierig. Aber die Schwierigkeit liegt nun darin, ob man Arbeiterstunden oder Maschinenstunden oder Tonnen oder Stück oder irgendeine andere Größe einsetzt. Welche Größe man einsetzt, d. h. welchen Maßstab man für die Kosten benutzt, darauf kommt es an, und die Frage ist grundsätzlich: „Mit welchem Maßstab messen wir die Kosten?" Will man das mathematisch ausdrücken, so sagt man: „Welcher Größe sind die Kosten proportional?" Und wenn man das in eine Gleichung bringen will, so schreibt man:

Kosten = Kosten einer Maßeinheit × Anzahl der verbrauchten Maßeinheiten, und in Formelzeichen:

$$K = k \cdot M$$

In diesem symbolischen Ausdruck ist das wichtigste Kostengesetz enthalten. Die Kosten können sich dabei sowohl auf einen Kostenträger, z. B. einen Auftrag, beziehen als auch auf einen Zeitabschnitt.

Sehr viele Proportionalitäten sind möglich.

Die Wahl der Maßeinheit betrifft aber nur den einen Faktor (M) des Produktes k . M, der zweite Faktor ist die Größe k. Das sind die Kosten einer Maßeinheit (man könnte auch sagen: der „Wert" oder der „Preis" einer Maßeinheit).

M ist die Größe, die für alle Schlüsselungen von Kosten benutzt wird (oder auch in den Statistiken die „statistische Einheit"). k ist die Bewertung dieser Maß-

*) Nach einem Vortrag im Haus der Technik, Essen, am 24. Mai 1940.

Tafel 1

Grundgleichung		Einflüsse als Proportionalitäten			Bezogene statistische Kennwerte	
Kosten als Produkt von:	Verbrauchte Einheiten × Bewertung der Verbrauchseinheit	Proportional zu Zeiten	Kalenderzeit Betriebsschichtenzeit Fertigungszeit Rüstzeit Störungszeit Pausenzeit usw.	Bezogen auf Mensch, Maschine oder Werkstoff	Beziehungen zwischen Zeiten (Zeitgrade)	Beziehungen zwischen Zeiten, Mengen und Werten
		Proportional zu Mengen	Stückzahlen Gewichte Längen, Flächen, Räume kWh Tonnenkilometer usw.		Beziehungen zwischen Mengen	
		Proportional zu Werten (Geldeinheiten)	Kosten Preise		Beziehungen zwischen Werten	

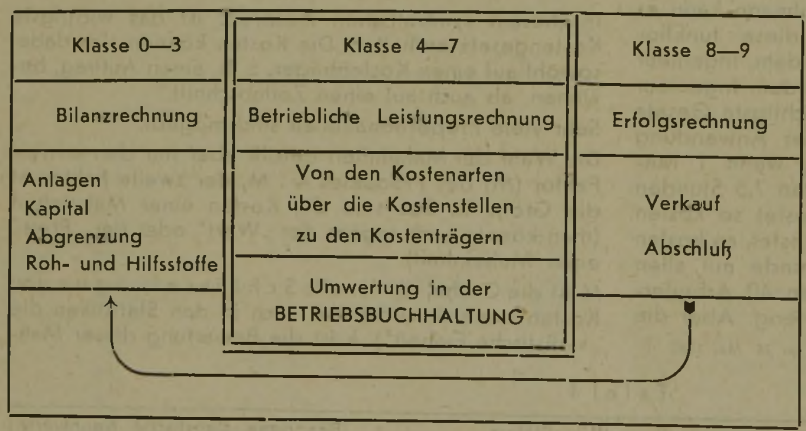
Die Einflußgrößen und ihre Beziehungen

einheit. In solchem Schlüsseln und Bewerten liegt so ziemlich die ganze Schwierigkeit der Kalkulation, und so wird der Stoßseufzer des Kostenrechners begreiflich: „Wenn das Schlüsseln und Bewerten nicht wär, dann hätt' man es auch mit den Kosten nicht schwer." In der Tafel 1 ist eine Übersicht über die Maßgrößen gegeben, in die auch die Kennzahlen aufgenommen sind, die sich durch Beziehungen zwischen einzelnen Maßgrößen ergeben.

Wie gesagt, kommt es sehr darauf an, daß man im einzelnen Fall je nach den Betriebsgegebenheiten und für jede Kostenart den richtigen Maßstab erwischt. Alle Kostensysteme, die es gibt, und alle, die man sich in Zukunft ausdenken kann, sind in das genannte Proportionalitätsgesetz eingeschlossen. Damit ist aber nicht nur ein wesentliches Vergleichsmerkmal gegeben, sondern auch die einheitliche Grundlage aller Kostenrechnungen herausgestellt.

Aus diesen Gesichtspunkten heraus ist es möglich, ein allgemeines Kalkulationsschema zu entwickeln, bei dem wiederum einheitliche Grundsätze für seine Aufstellung auftreten. Es erscheint aber zweckmäßig, bevor hierzu übergegangen wird, die allgemeine Stellung der Kostenrechnung in der vereinheitlichten Buchführung zu kennzeichnen, da sich auch hieraus Gesichtspunkte für dieses Kalkulationsschema ergeben. Gewisse Grundsätze für die Buchführung und in den Hauptzügen für die Einordnung der Konten in den Kontenrahmen sind für alle Zweige der Wirtschaft durch einen Erlaß des Reichswirtschaftsministers und des Reichskommissars für die Preisbildung gegeben worden. In stark vereinfachter Form ist ein solches Schema in Tafel 2 umrissen. Die Kostenrechnung bildet den mittleren Teil dieses zehnklassigen Kontenrahmens. Sie umfaßt die Klassen 4—7 und ist mit dem Ausdruck

Tafel 2



Das Kostenwesen im Kontenrahmen

„betriebliche Leistungsrechnung" bezeichnet, weil sie in der Geschäftsbuchhaltung diejenigen Konten umfaßt, die für das Kostengebäude maßgebend sind. Mit einiger Freiheit kann man sagen, daß links davon (Klasse 0—3) alle Konten untergebracht sind, die als Unterlage für die Feststellung des Anlage- und Umlaufvermögens und die Abgrenzung dieser Konten gegenüber der Leistungsrechnung dienen, also alles, was in die Bilanz als Vermögensrechnung eingeht. Rechts von den Konten der Leistungsrechnung stehen diejenigen Konten, die aus Erlös und Ertrag die Erfolgsrechnung bestimmen, und unten in diesem Feld schließt der Pfeil den Kreis des betrieblichen Rechnungswesens zur Bilanzrechnung hin.

Für die Kostenrechnung ist somit der mittlere Teil maßgebend, und hier stehen die Konten: Kostenarten, Kostenstellen und Kostenträger. Die Aufgabe der Kostenrechnung ist nun in einem Satz zusammengefaßt: die Kosten

von den Kostenarten
über die Kostenstellen
auf die Kostenträger

zu bringen.

Diese Umwertung spielt sich bei größeren Betrieben in einer betriebsnäheren Verwaltungsabteilung ab, der sogenannten „Betriebsbuchhaltung". Die Umwertung kann im Grenzfall in allereinfachster Art rein statistisch, also in Form einer rechnungsmäßigen Verteilung, geschehen; im anderen alleräußersten Grenzfall in der genauen buchmäßigen Behandlung der doppelten Buchführung. Zwischen diesen beiden Grenzfällen sind die verschiedensten Abstufungen und Verbindungen möglich. Zu welcher Form man sich innerhalb der einheitlichen Behandlungsweise entschließt, ist für das Wesen der Dinge ziemlich gleichgültig und hängt von der Betriebsart und Betriebsgröße ab. Bedingung ist nur, daß, selbst bei rein statistischer Behandlungsweise, eine Abstimmung zwischen den Zahlen der Betriebsbuchhaltung und der Finanzbuchhaltung erfolgt. Wird dies übersehen, so kann man fast eine Wette darauf eingehen, daß die Kostenrechnung falsch ist.

Für die Umwertung kann man trotz der überaus großen Verschiedenartigkeit der Kalkulationsformen einheitliche Gesichtspunkte zusammenstellen, die für alle Kalkulationsarten gelten. Das Schema der Tafel 3 kann dabei sowohl für einen ganzen Betrieb als auch eine umfangreiche Kostenstelle gelten wie für einen einzelnen Auftrag oder die Monatsabrechnung einer Sorte. Mit anderen Worten: sie kann gelten sowohl für die Kostenstellenkosten als auch für die Kostenträgerkosten. Nach der Tafel 3 ergeben sich zunächst die großen Hauptgruppen der Stoffkosten, der Stoffbehandlungskosten und der Vertriebskosten. Die Stoffbehandlungskosten sind in dem Schema nach Kostenstellen oder Unterkostenstellen unterteilt und diese wieder nach Einzelkosten und Gemeinkosten. Den Ausdruck „Einzelkosten" und „Gemeinkosten" finden wir auch in der obersten Hauptgruppe der „Stoffkosten" wieder. Die einheitliche Regelung, wie sie heute getroffen ist, schreibt für diese Begriffe der Einzel- und Gemeinkosten vor, daß alles, was der Kostenstelle oder dem Kostenträger unmittelbar zugemessen werden kann, unter den Begriff der „Einzelkosten" fällt und alles, was nicht unmittelbar zugemessen werden kann und daher auf die Kostenstelle oder den Kostenträger geschlüsselt werden muß, soll mit dem Begriff „Gemeinkosten" gekennzeichnet werden. Maßgebend ist also der erfassungstechnische Gesichtspunkt. Was unmittelbar aufgeschrieben, zugezählt, zugewogen oder mit anderen Meßwerkzeugen erfaßt wird, das sind die Einzelkosten, alles andere Gemeinkosten. Damit ist mit einer großen Begriffsverwirrung aufgeräumt worden. Dieses Kostenschema ist die Stammutter aller Kalkulationsformen, deren Ableitungen sich nur noch durch andere Wortbezeichnungen unterscheiden — vgl. die Spalte „Bemerkungen" in Tafel 3 —, weiter aber auch noch ganz besonders durch die Art der Schlüsselung der Gemeinkosten, d. h. durch die Wahl des Schlüssels. Damit sind wir wieder bei den anfäng-

lichen Ausführungen über die Wahl der Maßgrößen, also beim Proportionalitätsgesetz gelandet.

Nimmt man z. B. die Fertigungslöhne als Schlüssel, so erhält man die Zuschlagsrechnung mit dem Gemeinkostenschlüssel der Löhne, ausgedrückt in Hundertteilen der Löhne z. B. 175% Gemeinkosten. Der früher unklare und unscharf definierte Ausdruck „Unkosten" ist damit zum Vorteil der Einheitlichkeit fallen gelassen. Nimmt man als Schlüssel die erzeugten Tonnen oder einheitlichen Stücke oder Sorten, so erhält man die Divisionskalkulation. Nimmt man Maschinenstunden, so ergibt sich die Platzkostenrechnung. So kann man je nach der Art des Schlüssels beliebig viele Kalkulationsformen bilden.

Tafel 3

	Bemerkungen:
1 Stoffkosten	
11 Stoffeinzelkosten	Fällt bei Rohstoffgewinnung meist fort
111 Stoff 1	
112 Stoff 2	
12 Stoffgemeinkosten	Wird bei Stoffbearbeitung meist „Fertigungsmaterial" (Fertigungswerkstoff) genannt
Summe	
(10) abzüglich Reststoffgutschrift	Wird bei Stoffverarbeitung und -veredelung vielfach „Einsatz" genannt
Stoffkosten	
2 Stoffbehandlungskosten	
21 Kostenstelle 1	Bei Rohstoffbetrieben = „Gewinnungskosten"
211 Einzelkostenarten	
2111	Bei Bearbeitungsbetrieben = „Fertigungskosten"
2112	
212 Gemeinkostenarten	Bei Verarbeitungsbetrieben = "Verarbeitungskosten"
2121 Schlüssel 1	
21211	
21212	
2122 Schlüssel 2	
22 Kostenstelle 2	Ebenso unterteilt wie Kostenstelle 1.
Summe	
(20) abzügl. Gutschriften	
Stoffbehandlungskosten	
3 Vertriebskosten	
31 Vertriebsgemeinkosten	Sonderkosten sind immer Kostenträgereinzelkosten
32 Vertriebssonderkosten	
321 für Auftrag 5434	
Vertriebskosten	
Gesamtkosten	

Grundform des Kalkulationsschemas

Es bedeutet in dieser Gedankenfolge einen sehr großen Fortschritt, wenn man sich klarmacht, daß in irgendeinem Betrieb nun nicht etwa sämtliche Kostenarten nach dem gleichen Schlüssel umgelegt zu werden brauchen, vielmehr kann man oder sogar m u ß man bei jeder einzelnen Kostenart erst fragen, welcher Größe die Kosten am besten proportional sind und danach den Schlüssel wählen. Man kann so dem Novizen der Kostenrechnung nicht oft genug einprägen: Frage dich zuerst, bevor du an eine Kalkulation herangehst: „Wem sind die Kosten proportional?" und dann erst wähle deine Maß- oder Schlüsselgröße!

Freilich, man wird aus Gründen der Einfachheit mit möglichst wenig Schlüsseln in einem Betrieb auszukommen suchen und dabei den weniger wichtigen Kostenarten oft einen gelinden Zwang antun müssen. Ohne Zwang geht es überhaupt nicht ab, erst recht nicht, wenn man nur einen einzigen Schlüssel wählt.

Die Vorstellung von einer Proportionalität der Kosten zu irgendwelchen Maßgrößen ist nur ein Behelfsmittel, es handelt sich nur um eine meist recht grobe Annäherung, bei der man die verwickelten Beziehungen der Kosten unter eine möglichst einfache Gesetzmäßigkeit zwingt, und mit dieser Annäherung muß man sich behelfen, weil man eben nichts Besseres hat. Die Wirklichkeit ist viel bunter und vielgestaltiger, als daß man sie mit einer einfachen Proportionalität ausdrükken kann. Aber mit quadratischen Gleichungen oder irgendwie gewundenen Kurven oder mit ganz verwickelten Funktionen kann man im praktischen Kostenwesen nicht rechnen. Das würde viel zu umständlich sein. So handelt es sich um einen Notbehelf. Es verlohnt sich, bei diesen Zusammenhängen einmal zu betrachten, welche Möglichkeiten des mathematischen Ansatzes überhaupt bestehen. So möge im folgenden ein ganz kurzer Abriß der Lehre von den „Funktionen" gegeben werden.

Es handelt sich um die Grundfrage: Wie kann ein Zusammenhang zwischen zwei ganz beliebigen Größen überhaupt aussehen, und zwar fortschreitend von der allereinfachsten Form bis zur höchstverwickelten. Wenn ein Mathematiker, Physiker oder Techniker für den Zusammenhang zwischen zwei Größen eine Annahme machen will, so wird er eine möglichst einfache Funktion anzusetzen versuchen und sehen, wie er damit zu Rande kommt. Geht es auf so einfachem Wege nicht, so wird er zu immer schwierigeren Ansätzen schreiten. Die allereinfachste Möglichkeit bei der Untersuchung des Einflusses x auf eine Größe y, also beispielsweise der Höhe des Umsatzes auf das Wagnis einer Unternehmung bei gegebenen Anlagen und bei gegebenem Kapital der Unternehmung ist die, daß ein solcher Einfluß überhaupt nicht vorhanden ist. y ist von x unabhängig, y ändert sich nicht, wenn x sich ändert. Diese Annahme macht man z. B., wenn man das erwähnte Wagnis nur von der Höhe des Unternehmungskapitals, nicht aber vom Umsatz bei gegebenem Kapital abhängig ansetzt und wenn man den „Gewinnzuschlag" für das allgemeine Unternehmungswagnis nur von der Höhe des betriebsnotwendigen Kapitals ansetzt. Die Gleichung lautet dann

$$y = \text{const} \quad \text{(Abb. 1)}$$

Dabei ist allerdings die reservatio mentalis gemacht,

daß y eine Konstante in bezug auf x ist, und damit ist nicht gesagt, daß y nicht noch von anderen Einflußgrößen abhängig ist. Letzteres wird leicht vergessen. Gemäß Abb. 1 kann man sich unter y z. B. auch die fixen Kosten eines Monats und unter x die Stückzahl eines Monats oder den zu dieser Stückzahl proportionalen Beschäftigungsgrad denken. Es kann sich aber auch bei y um den Verdienst eines Arbeiters und bei x um die in der Schicht hergestellte Leistung in Stück oder Tonnen oder Meter handeln oder es können noch ganz andere Größen in Beziehung gesetzt sein.

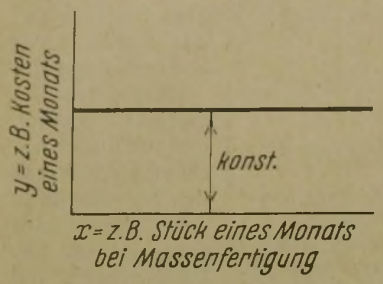


Abb. 1: y = konst.

Die nächsteinfache Funktion ist

$$y = a \cdot x \text{ (Abb. 2)}$$

Das ist, in anderer Form geschrieben, die früher erwähnte Gleichung

$$K = k \cdot M$$

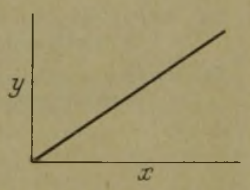


Abb. 2: y = a . x

Wir haben also die Gleichung der proportionalen Kosten vor uns. Aber es ist auch die Gleichung der Abhängigkeit des Stundenverdienstes y bei einer Leistung x in Stück je h bei Vollakkord, oder y kann auch die Erzeugung einer Dampfturbine in kWh sein in Abhängigkeit von der Betriebsstundenzahl x, wobei es sich dann um eine mit gleicher Grundlast durchlaufende Maschine, z. B. etwa in der chemischen Industrie handelt; usw. usw.

Die nächstfolgende Erweiterung ist eine Verbindung zwischen den beiden Gleichungen 1 und 2

$$y = a + b \cdot x \quad \text{(Abb. 3)}$$

Die Darstellung dieser Gleichung kann, wenn a negativ wird, auch die Form der Abb. 4 annehmen.

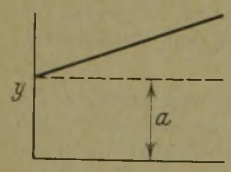


Abb. 3: y = a + b x

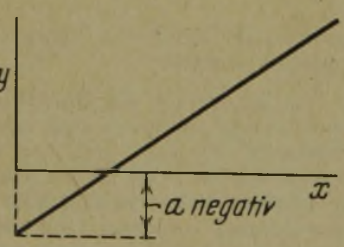


Abb. 4: y = (—) a + b x

Es ist hier nicht das Wesentliche, daß es sich bei diesen Gleichungen etwa um eine Aufwärmung der Lehre von den fixen, proportionalen, progressiven, degressiven usw. Kosten handelt, sondern die Absicht dieser Darstellung ist, die Stufen einer Funktionsdarstellung ganz allgemein zu entwickeln. In dem Lohnsystem haben wir es z. B. in Abb. 3 mit dem sog. Prämienlohn zu tun. Ähnlich ist oft die Abhängigkeit der Leistung eines Ofens von der Belastung gegeben und bei umfangreicheren Losgrößen die Abhängigkeit des Zeitaufwandes von der Auftragsstückelung, und dergleichen mehr.

Eine Funktion kann auch springen, wie dies in Abb. 5 veranschaulicht ist. Hier versagt die Darstellung des Kurvenverlaufs durch eine algebraische, den ganzen Verlauf deckende Gleichung. Man kann dann nicht mehr rechnen, sondern muß die grafische Wiedergabe zu Hilfe nehmen. Leider ist die Abhängigkeit zwischen den Kosten eines Rechnungsabschnittes und dem Beschäftigungsgrad sehr häufig, ja in der Regel in Wirklichkeit eine „springende" Funktion.

Die geschilderten Funktionen sind geradlinig und heißen daher „lineare" Funktionen. Lineare Funktionen in Reinkultur kommen freilich in der Praxis verhältnismäßig selten vor; im Kostenwesen sind sie immer nur eine Annäherung an die wirklichen Verhältnisse. Sie sind, wie es weiter oben etwa ausgedrückt war, eine Zwangsjacke, die man den ungebärdigen Kosten anzieht, um überhaupt mit ihnen fertig werden zu können. Zur Vernunft kriegen kann man sie damit nicht, aber man kann sie auch nicht frei umherlaufen lassen, wenn sie in das Gefüge eines geordneten Rechnungswesens hineinpassen sollen. Man kann sie damit zu geordneter Tätigkeit in der Gemeinschaft des Rechnungswesens bringen.

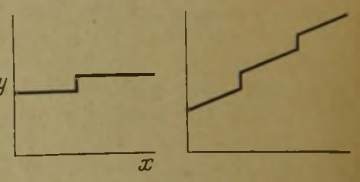


Abb. 5: springende Funktionen

Wenn man solche grafischen Darstellungen ansieht, so kann man sich des Ausrufes nicht enthalten: „Wie manches ist nur im Bilde schön!" In der rauhen Wirklichkeit sehen freilich die Funktionsverläufe anders aus. Selbst wenn man von Sprüngen absieht, verlaufen die Kosten eines Rechnungsabschnittes in Abhängigkeit vom Beschäftigungsgrad meist nach Abb. 6. Für ein gewisses Stück dieser Kurve A—B kann man gemäß den eingezeichneten Pfeilen die Kosten künstlich in einen proportionalen und einen fixen Anteil zerlegen. Allerdings kann das Stück A—B mitunter sehr klein sein, ja sogar die Krümmung der Kurve nur durch ihr Differential dargestellt werden, womit man dann glücklich in die höhere Mathematik hineinkommt. Derartige Erörterungen haben aber nur für die Kostentheorie Sinn, die Praxis muß sich damit begnügen, daß die angedeutete Zerlegung in zwei Teile für die Strecke möglich ist, auf der man eine gerade Linie als Annäherung für den wirklichen Verlauf anzunehmen berechtigt ist und mit dem sehr allgemeinen Satz, daß jede beliebig gekrümmte Funktion sich für ein kleines Stück in einen proportionalen und festen Anteil trennen läßt. Zweck dieser letzten Ausführungen war, zu zeigen, daß der Vereinheitlichung der Rechenverfahren und damit auch der Kostensysteme im betrieblichen Rechnungswesen praktisch doch verhältnismäßig enge Grenzen gesetzt sind; mit einem Schematismus kommt man hier nicht durch, und ohne Überlegung geht es nun einmal nicht. Bevor man rechnet, muß man immer denken: das gilt auch für das Rechnungswesen. Auf den richtigen Ansatz kommt es an, hier wie bei jeder Rechnung überhaupt, ja, wie bei allem, was ein Mensch in Frieden oder Krieg unternehmen kann. Immer aber ist es wichtig, die einfachen Grundgedanken herauszustellen und ihre Einheitlichkeit zu betonen. Es ist sehr leicht, einfache Zusammenhänge in höchst kunstvoller Verwickeltheit zu beschreiben, es ist aber recht schwer, sehr verwickelte Dinge einfach darzustellen. Wenn der Leser aus den vorstehenden Ausführungen den Eindruck gewonnen haben sollte, daß hier nur Gemeinplätze vorgebracht wurden, Selbstverständlichkeiten, mit denen zu beschäftigen es sich überhaupt nicht lohnt, so müßte der Verfasser dies als das höchste Lob betrachten, das ihm zuteil werden könnte. Es lohnt sich durchaus, über diese Dinge nachzudenken: maxima de nihilo nascitur historia!

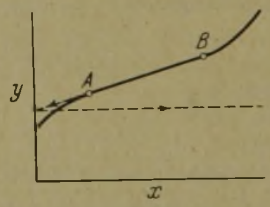


Abb. 6: Meist üblicher Verlauf der Kosten in Abhängigkeit vom Beschäftigungsgrad

Mechanisch-lichttechnische Verdunklungsmaßnahmen*)

Von Oberingenieur Dipl.-Ing. Wilh. Mörs, Berlin-Tegel

Wir veröffentlichten in Nr. 9/10 vom 1. Mai 1940 einen Beitrag von Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Arndt (Berlin) zum Thema der „Lichttechnik im Dienste des Luftschutzes". Hierzu haben wir die nachstehend abgedruckte ergänzende Stellungnahme eines Betriebsmannes erhalten, die wir unseren Lesern nicht vorenthalten möchten.

Die Schriftleitung.

Mit der luftschutzmäßigen Verdunklung der Betriebe hat man sich bereits vor dem Kriege hinreichend beschäftigt. Man hat die verschiedenartigsten Versuchsanlagen gebaut und daran die Brauchbarkeit der vorgeschlagenen Methoden ausprobiert. Ein endgültiges Ergebnis konnte nicht erreicht werden, da die hierfür angesetzten Versuchszeiten zu klein und vor allem Erfahrungen über die tatsächlichen Auswirkungen eines Luftkrieges noch nicht vorhanden waren.

Die durch den Krieg geschaffene Lage zwang uns nunmehr, die Verdunklung auf lange Sicht praktisch durchzuführen, wobei sich herausstellte, daß viele unserer früheren Vorschläge durchaus nicht den erhofften Erfolg hatten.

Man hat die Wahl zwischen lichttechnischer und mechanischer Verdunklung. Heute ist man fast durchweg zu der Erkenntnis gekommen, daß für kleinere Arbeitsräume die mechanische Verdunklung die beste Lösung darstellt. Die hierfür vorgeschlagenen Einrichtungen sind mannigfaltiger Art, haben aber alle den Zweck, jeden Lichtaustritt von innen nach außen zu vermeiden, wobei sie am Tage so hergerichtet werden, daß bei natürlichem Licht wie üblich gearbeitet werden kann.

Es gibt aber eine beträchtliche Anzahl von Betrieben, in denen diese mechanischen Verdunklungsmaßnahmen praktisch kaum durchgeführt werden können oder so große Kosten verursachen, daß sie wirtschaftlich nicht tragbar sind.

In diesen Fällen hat man Oberlichter und Fenster mit stark lichtschwächender oder gar lichtundurchlässiger Farbe gestrichen. Auch nur bestimmte Lichtfarben durchlassende Anstriche in Verbindung mit komplementär gefärbten Glühlampen finden vielseitige Anwendung. Durch beide Verfahren wurde auch eine gute Verdunklung erreicht — aber die Praxis zeigte, daß tagsüber nahezu dieselbe künstliche Beleuchtung wie des Nachts erforderlich war. Dazu kam, daß die Lebensdauer der Glühlampen durch den farbigen Anstrich wesentlich herabgesetzt wurde. Jetzt aber, wo Brennstoffe und Material mit allen Mitteln eingespart werden müssen, kann diese Verdunklungsmethode nicht allgemein anerkannt werden. Eine zum Teil befriedigende Lösung wurde dadurch geschaffen, daß ein bestimmter Prozentsatz der Glasflächen nicht gestrichen, dafür aber mechanisch verdunkelt wurde, um so am Tage eine entsprechende Menge Tageslicht zur Verfügung zu haben. Der vielfach gewählte Satz von 10 % reichte nicht aus, um auf die künstliche Beleuchtung verzichten zu können; er vermeidet nur die allzu einfarbige Beleuchtung der Arbeitsstätten.

Bei all diesen Maßnahmen wurde ein wichtiger Umstand noch wenig berücksichtigt. Bekanntlich wird bei Explosionen ein großer Teil der Fenster in Mitleidenschaft gezogen. Das aber macht die hier erwähnten Verdunklungsmaßnahmen wirkungslos, wenn keine lichttechnische Möglichkeit besteht, und zwar bis zur Einsetzung neuer Scheiben und deren Anstrich bzw. bis zur Instandsetzung der mechanischen Vorhänge usw. Letztere sind bei vorhandenem Ersatzmaterial relativ rasch wiederhergestellt, während die Instandsetzung größerer Fensterflächen nicht nur längere Zeit erfordert, sondern bei umfangreichen Schäden meistens an der nicht sofort greifbaren Ersatzmenge scheitern dürfte.

Der Betrieb aber muß, sofern keine weiteren Beschädigungen ernster Art eingetreten sind, nach erfolgtem Angriff weiterarbeiten. Das kann nur geschehen, wenn für diesen Fall lichttechnische Verdunklungsmaßnahmen vorgesehen sind. Eine Herabsetzung der Spannung allein genügt dabei nicht, da hierdurch die Lichtverteilung nicht geändert wird, mithin also Licht ins Freie austreten kann. Es muß zusätzlich eine Abschirmung oder Abblendung der Lichtquellen vorgenommen werden.

Diese Überlegungen führen zwangsläufig zu der Folgerung, daß eine mechanische Verdunklung allein nicht als ausreichend bezeichnet werden kann, sondern daß diese erst in Verbindung mit einer lichttechnischen Verdunklungsmöglichkeit allen Anforderungen gerecht wird. Das gilt insbesondere für die Decken- und Allgemeinbeleuchtung. Für die Abschirmung wurde eine Reihe von Blenden vorgeschlagen. Bei allen wird der Lichtstrom so gelenkt, daß weder mittelbar noch unmittelbar Licht aus den Fensteröffnungen ins Freie dringen kann. Der grundsätzliche Nachteil dieser Blenden liegt aber darin, daß einesteils die für die Ausleuchtung der Werkstätten erforderlichen Glühlampen durch wesentlich schwächere Lampen ersetzt werden müssen, um die Bodenbeleuchtung nicht zu stark werden zu lassen, und daß andererseits während der Dämmerung oder an trüben Tagen, an denen an sich eine Verdunklung nicht erforderlich ist, eine normale und ausreichende Beleuchtung nicht mehr direkt zur Verfügung steht, da das Abnehmen der Blenden und Auswechseln der Glühbirnen nur mit erheblichem Arbeits- und Zeitaufwand möglich ist.

Man könnte entgegnen, daß dieser Nachteil durch Verlegung gesonderter Stromkreise behoben werden kann. Das ist bei Um- oder Neubauten allenfalls tragbar und möglich, in vorhandenen Betriebsanlagen aber meistens nicht durchführbar oder zumindest sehr kostspielig.

Hier hat der Verfasser eine Ausführungsform gefunden, die bereits vor dem Kriege entwickelt und erprobt wurde und die sich während des vergangenen Winters bei mehr als 100 Versuchsstellen bestens bewährt hat.

In Abb. 1 ist diese Blende dargestellt. Sie besteht aus zwei aufklappbaren Teilen. Im aufgeklappten Zustand läßt sie den Lichtkegel wie bei einer normalen Lampe unbehindert austreten. Im zugeklappten Zustand wirkt sie als Richtblende ähnlich wie die bekannten Vorsatzblenden.

Das Auf- und Zuklappen kann von Hand oder mit einer Stange vorgenommen werden, wenn die Leuchten nicht zu hoch hängen oder beispielsweise vom Laufkran aus erreicht werden können. Hängen die Leuchten an unzugänglichen Stellen, so können sie mit Hilfe eines Seilzuges einzeln oder auch zentral von

*) Die Abb. wurden vom Verfasser zur Verfügung gestellt.

einer Stelle aus geöffnet oder geschlossen werden. Auf diese Art ist es möglich, z. B. eine Werkstätte von 120 Meter Länge in weniger als 3 Minuten so zu verdunkeln, daß auch bei nicht abgeblendeten Fenstern kein unzulässiger Lichtaustritt stattfindet.

So konnte z. B. in den Kraftzentralen, Maschinenhäusern und Versandhallen, in denen keine stärkeren Arbeitsplatzleuchten erforderlich waren, auf jeglichen Fensteranstrich bzw. Verdunklungsvorhang verzichtet werden.

In einem Teil der Fabrikationswerkstätten waren die Klappblenden zusammen mit mechanischer Verdunklung der Fenster verwendet, so daß es möglich ist, jederzeit von der einen Verdunklungsart auf die andere überzugehen.

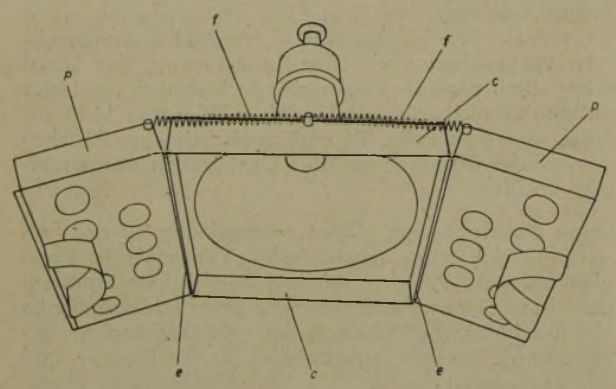


Abb. 1: Röhrchen-Klappblende

Daneben sind auch Lampen vorhanden, deren Lichtstrom durch Spannungssenkung gemindert wird und bei denen wegen der Entfernung von den Fenstern eine Abschirmung nur durch schwarze Überwurfblenden erforderlich ist, so daß bei normaler Beleuchtung der Lichtkegel nur unwesentlich beeinträchtigt wird.

Für die Wahl der Art der lichttechnischen Verdunklung sind die jeweiligen Betriebsverhältnisse maßgebend. Bei Spannungssenkung muß mindestens auf

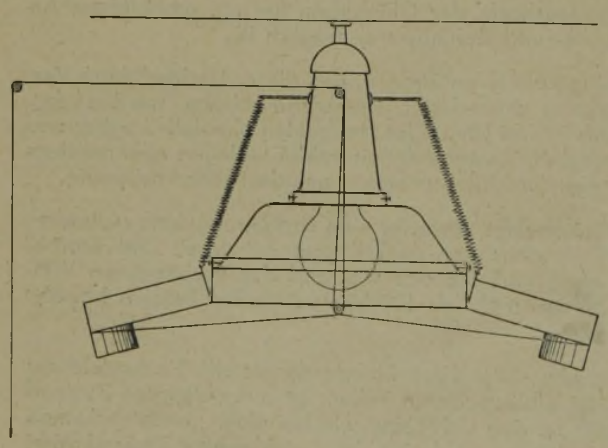


Abb. 2: Seilführung der Blende

30 bis 40 % der Betriebsspannung heruntergegangen werden. Außerdem muß für diese Lampen ein getrenntes Netz vorhanden sein, damit die Werkplatzleuchten mit normaler Spannung betrieben werden können. Bei Verwendung der Klappblenden sind keine Änderungen an den vorhandenen Installationsanlagen notwendig.

Im folgenden gebe ich eine genauere Beschreibung der Klappblende (Abb. 1). Sie besteht aus dem Oberteil c, an welchem mittels der Scharniere e die beiden Klappen p befestigt sind, die durch die Federn h in den beiden Endstellungen (also geschlossen und geöffnet) festgehalten werden. Das Oberteil wird ähnlich wie eine Lampenglocke mit einigen Schrauben fest mit der vorhandenen Leuchte, beispielsweise einem Breit- oder Tiefstrahler verbunden. Für die Betätigung von Hand befindet sich an jeder Klapphälfte eine Öse. Wählt man die Bedienung durch Seilzug, so muß zunächst die vorhandene Lampe starr an ihrem Aufhängungspunkt befestigt werden, um die Zugkräfte aufzunehmen. Die Federanordnung und die Seilführung sind aus Abb. 2 zu erkennen.

Die Abblendung selbst geschieht durch die vorgeschalteten Röhrchen, deren Querschnitt so gewählt ist, daß unter der am höchsten hängenden Lampe noch eine genügende Bodenhelligkeit gewährleistet ist. In der Mitte befinden sich keine Röhrchen, um den Austritt direkten Lichtes zu vermeiden. In Abbild. 3 ist die Lichtverteilungskurve eines Tiefstrahlers wiedergegeben, der mit einer 500-Watt-Lampe und mit einer Röhrchenklappblende ausgerüstet ist. Die Leuchte hängt in einer Werkstatt mit fast schwarzem Fußboden, so daß trotz der relativ hohen Leuchtstärke von 4 Lux direkt unter der Lampe keine Reflexlichter zu befürchten sind.

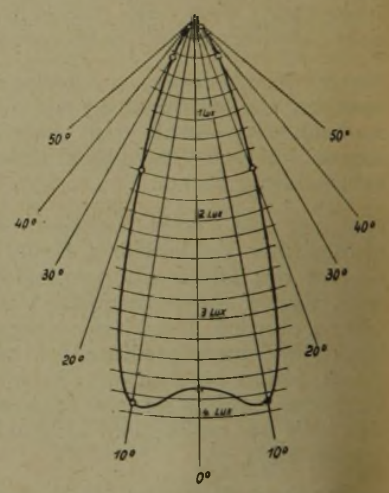


Abb. 3: Lichtverteilungskurven. Lichthöhe: 8 m. 500-Watt-Lampe

Die Anordnung der Röhrchenblenden gibt weiterhin die Möglichkeit, die Lichtverteilung den vorliegenden Verhältnissen anzupassen. Durch eine Verengung der Röhrchenquerschnitte, die durch eingesetzte Pfropfen oder durch eine Blechblende vorgenommen wird, kann die Lichtverteilungskurve insgesamt oder auch nur einseitig beeinflußt werden (Abb. 4).

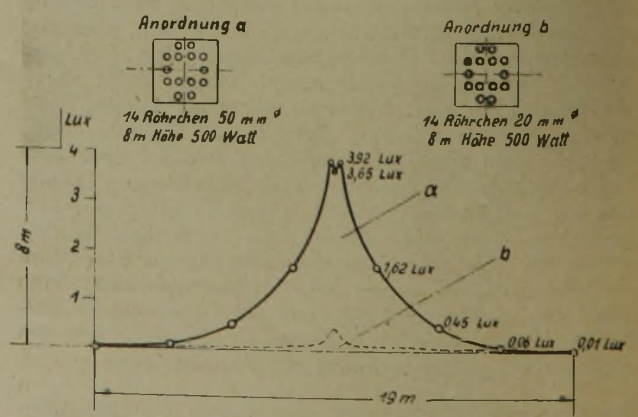


Abb. 4: Beleuchtungsstärke bei verschiedener Ausführung der Röhrchen

Es ist demnach möglich, mit einer verhältnismäßig kleinen Typenanzahl auszukommen. Der Preis liegt zwar

höher als der für die einfachen Vorsatzblenden. Nach den vorliegenden Erfahrungen wird dies aber allein schon durch die Vereinfachung der Bedienung ausgeglichen.

Zusammenfassend wird betont, daß unsere Verdunklungsmaßnahmen, insbesondere die der lebens- und kriegswichtigen Betriebe, so ausgestattet werden müssen, daß sie nicht nur gegen Fliegersicht schützen, sondern auch nach einem durchgeführten Angriff weitest gehend die Aufräumungsarbeiten und die Weiterführung der Produktion ermöglichen. Die hier beschriebene und praktisch erprobte Klappblendenleuchte gestattet die ideale Kombination einer mechanischen und lichttechnischen Verdunklung. Aber auch in Fällen, wo die lichttechnische Verdunklung allein ausreichend ist, bringt die Klappblendenleuchte eine fühlbare Verbesserung gegenüber den bisher in Anwendung gebrachten Abschirmblenden.

Neuere Schachtschleusen im Bergbau*)

Das Bestreben, möglichst große Förderleistungen in den Schächten zu erzielen, führte dazu, neben den einziehenden Schächten auch die Wetterschächte zur Förderung heranzuziehen. Bisher erfolgte der wetterdichte Abschluß der ausziehenden Schächte an der Hängebank meist durch Schachtdeckel, die bei jeder Einfahrt des Förderkorbes in die Hängebank angehoben werden mußten; oder aber diese Schächte waren durch wetterdichte Gebäude abgeschlossen, bei denen dann Schleusen den Verkehr von und zum Schacht vermittelten. Die ungünstige Beanspruchung der Förderseile durch Schleusen mit Schachtdeckeln, die besonderen Maßnahmen zum wetterdichten Ab-

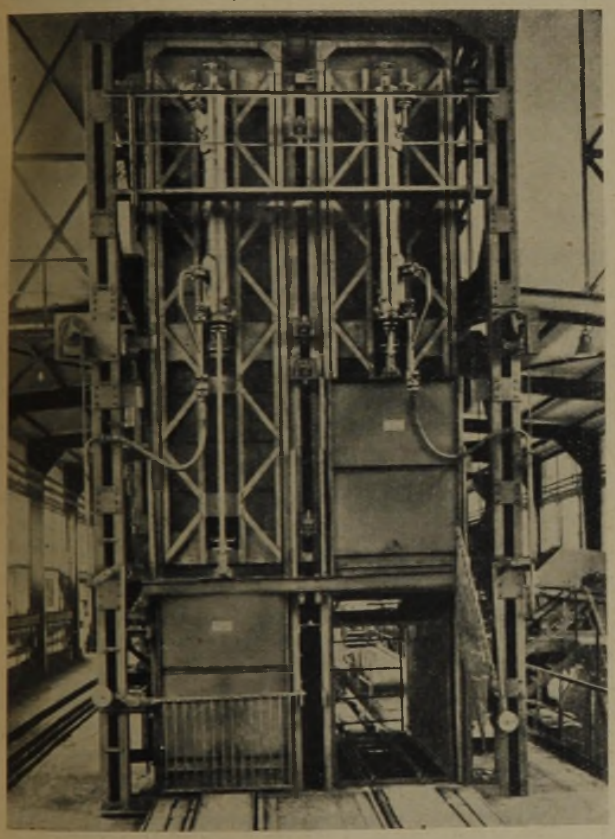


Abb. 1: Schachtschleuse für eine Übertageanlage

schluß des Schachtgebäudes und der umständliche Betrieb durch die hierbei notwendigen Schleusen haben es mit sich gebracht, daß der Betrieb mit selbstgesteuerten Schachtverschlüssen heute als technisch und betrieblich vorteilhafte Lösung angesehen wird. Die Schleusen sind hierbei mit mechanisch betätigten Schiebetüren ausgerüstet, die durch die einfahrenden bzw. ausfahrenden Förderkörbe automatisch gesteuert werden.

Auch unter Tage wirken sich die selbstgesteuerten Schachtschleusen, die an Stelle der Fahrschleusen in den Strecken zum Abschluß des Schachtes für die

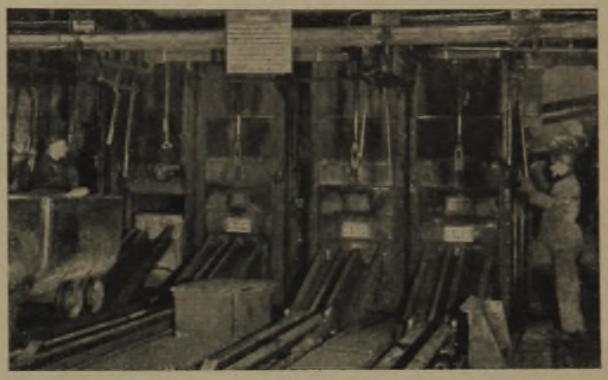


Abb. 2: Schachtschleuse für eine Untertageanlage

Wetterführung angeordnet werden, vorteilhaft aus, weil das Durchschleusen von einzelnen Wagen oder

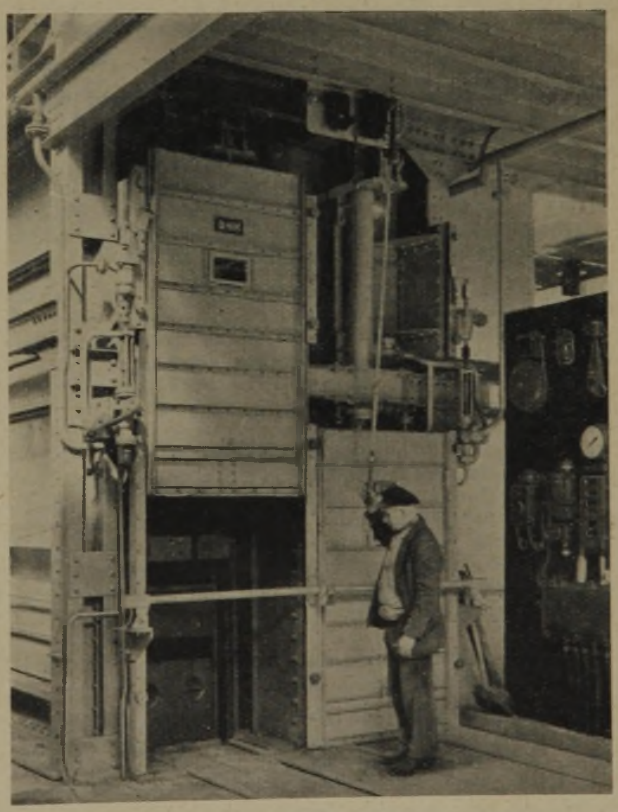


Abb. 3: Schachtschleuse während des Betriebes auf einer Übertageanlage

auch ganzen Zügen in den Strecken durch den Einbau dieser Schleusen vermieden wird.

*) Werkabb. Gutehoffnungshütte, Oberhausen-Sterkrade

Eine Reihe selbstgesteuerter Schleusen ist von der Gutehoffnungshütte erbaut worden. Abb. 1 zeigt eine Uebertageschleusenanlage, bei der der Abzug der Förderung auf Rasenhängebank erfolgt, da infolge des hohen Grundwasserspiegels ein möglichst hoher Anschluß des Wetteranschlußkanals unter Rasenhängebank angestrebt werden mußte. Diese Schleusenanlage besitzt außer den selbstgesteuerten Schiebetüren für die Beschickung der Förderkörbe hohe Drehtüren zum Einbringen der Förderkörbe und langer sperriger Teile. Die Drehtür ist in kurzer Zeit durch einen Kettentrieb zu öffnen und zu schließen.

Eine andere für den Untertagebetrieb gelieferte Schleuse zeigt Abb. 2. Sie ist für Doppelförderung eingerichtet und besitzt unterhalb der Füllortsohle noch eine besondere auf dem Bild nicht sichtbare Bühne für die Seilfahrt. Diese Bühne gestattet das gleichzeitige Besteigen von zwei Böden des Förderkorbs. Abb. 3 gibt eine Schleuse während des Betriebes wieder. Der Förderkorb fährt gerade hinunter, während sich die Türen einige Sekunden später schließen.

Diese modernen Schleusenanlagen eignen sich in gleicher Weise für Gestell- und Gefäßförderungen. Sie werden nicht nur bei Neuanlagen gebaut, sondern können bei jeder bestehenden Anlage eingerichtet werden. Der Einbau bei bestehenden Anlagen kann oft ohne Unterbrechung der Förderung erfolgen.

Durch verschiedenartige Anordnungen kann erreicht werden, daß die besonderen Betriebsbedingungen, wie sie bei den verschiedenen Schachtanlagen gegeben sind, Berücksichtigung finden. Die bisherigen Ausführungen sind bei Schleusen für Gestellförderungen mit Produkten- und Personenförderung und ferner für Gefäßförderungen nach den besonderen Bedingungen, die für die Schachtförderung gestellt wurden, gebaut worden.

Buchbesprechungen

Elektrisches Kochen und Heizen. Von Prof. Dipl.-Ing. Max Anthes. 3. neubearb. Auflage. 1940, XVI, mit 43 Abb., 138 S. (Bibl. d. ges. Technik 291). Dr. Max Jänecke, Verlagsbuchhandlung, Leipzig.

Dem gewaltig gestiegenen Stromabsatz der Elektrizitätswerke in Deutschland entsprechend sind auch im Laufe der Jahre immer neue Anwendungsgebiete der Elektrotechnik, insbesondere auf dem Lande, erschlossen worden. Das Buch gibt eine Übersicht über die heute im Gebrauch befindlichen Geräte, ihre Anwendung und ihre Wirkung. Es vermittelt sowohl für den Betrieb als auch für den Haushalt in kurzgefaßter Darstellung Aufschluß über die wichtigsten Gebiete und gibt sowohl für den Fachmann als auch für den Laien eine gute Übersicht über den heutigen Stand der Koch- und Heizgeräte. Den Gesichtspunkten der Rohstoffbewirtschaftung des Vierjahresplanes ist weitgehend Rechnung getragen.

Die Feuerungstechnik der häuslichen Einzelfeuerstätten. Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. W. Marcard, VDI, Hannover, unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. Busse, VDI, Essen, Dipl.-Ing. Huppert, VDI, Hannover, Dipl.-Ing. Rose, VDI, Breslau, Dir. Dipl.-Ing. Schiller, VDI, Berlin. 243 S., mit 81 Abb. und zahlreichen Tabellen und Zahlentafeln. 1939, Carl Marhold, Verlagsbuchhandlung, Halle/S. Preis: geh. 4,— RM., in Halbleinen 4,80 RM.

Das in Form von Vorträgen geschriebene und deshalb flüssig zu lesende Büchlein gibt Heizungsingenieuren und -technikern, Konstrukteuren usw. eine wertvolle Handhabe. Den Ausführungen liegen praktische Versuche, Ergebnisse und wissenschaftliche, feuerungstechnische Rechnungsgrundlagen zugrunde. Eingehend sind behandelt die Fragen des häuslichen Brennstoffes und ihrer Verbrennung sowohl für Stein- als auch für Braunkohle. In einzelnen Aufsätzen sind u. a. die Bau-, Güte- und Prüfbestimmungen, Untersuchungen von häuslichen Einzelfeuerstätten nach den Prüfbestimmungen, Kachelofen und Feuerungstechnik unter besonderer Berücksichtigung des Kleinkachelofens und andere Fragen mehr behandelt. Das Buch gibt somit eine wichtige Übersicht über alle den Fachmann wie auch den Kohlenhändler interessierenden Fragen. H—s.

Wie wende ich die Satzzeichen richtig an? Von A. Jasper. Verlag Wilh. Stollfuß in Bonn. Preis 0,75 RM.

Das Wichtigste über den Beistrich (Komma), Punkt, Gedankenstrich und die übrigen Satzzeichen ist in übersichtlicher, leichtverständlicher Form dargelegt. Die Regeln über die Satzzeichen sind scharf umrissen und darüber hinaus enthält die sehr lehrreiche Schrift noch eine Reihe „Fragen und Antworten" aus der täglichen Praxis. Dieses sehr zu empfehlende Bändchen wird den um seine sprachliche Bildung besorgten Leser anregen, dem richtigen Gebrauch der Satzzeichen erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken.

Schreibe richtig deutsch! Zum Selbstunterricht. Verlag Wilh. Stollfuß in Bonn. Preis 1,25 RM.

Der Verlag bringt in seiner bekannten Sammlung „Hilf dir selbst" dieses sehr brauchbare Büchlein völlig neubearbeitet in neuer Auflage heraus. Das Bändchen will ein Hilfsbüchlein sein, die richtige Schreibweise leicht und sicher zu erkennen, und der Lernende soll die Kenntnisse in der Rechtschreibung erlangen, die ihm zum Gebrauch und Fortkommen im Leben unentbehrlich sind. Der Wert der richtigen Schreibweise springt sofort in die Augen, wenn man nur an die Aufstellung von Briefen, Rechnungen, Stellengesuchen usw. denkt. Auch über die richtige Zeichensetzung ist in diesem für jedermann praktischen Hilfsbüchlein alles Wichtige zu finden.

Die Reichsversorgung der Kriegsbeschädigten und Kriegshinterbliebenen. Von Robert Schulze. Verlag Wilh. Stollfuß in Bonn. Preis 1,25 RM.

Das Bändchen kommt einem allgemeinen Bedürfnis nach und greift die bedeutsamen und entscheidenden Bestimmungen heraus, die in der für jedermann leicht faßlichen Frage-und-Antwort-Form erläutert werden. Wer Anspruch auf Versorgung hat; was die Versorgung umfaßt; wann Heilbehandlung, Krankengeld bzw. Hausgeld gewährt werden; wer Rente erhält; wann eine Pflegezulage, Frontzulage, ein Übergangsgeld, Beamtenschein oder Sterbegeld gewährt werden; wer Hinterbliebenenrente (Witwenrente, Waisenrente, Elterngeld) erhält; diese und viele andere Fragen finden in diesem Büchlein ihre Beantwortung. Die Schrift wird dazu beitragen, die Kenntnis und das Verständnis der wesentlichsten Bestimmungen der Reichsversorgung allen denjenigen nahezubringen, die sich über dieses Gebiet zu orientieren wünschen.

„Grundlagen und Anwendungen der industriellen Elektrowärme." I. Teilausgabe, bearbeitet von der Wirtschaftsgruppe Elektrizitätsversorgung und zahlreichen Elektrowärmefachleuten. Herausgegeben von der Wirtschaftsgruppe Elektrizitätsversorgung (WEV) und dem Reichsverband der Elektrizitätsversorgung (REV). Verlag Franz Weber, Berlin, 1939. Ringbuch DIN A 5, 94 Blatt mit 180 Abbildungen und 37 Zahlentafeln.

Aus der Gemeinschaftsarbeit der Wirtschaftsgruppe Elektrizitätsversorgung (WEV) mit dem Reichsverband der Elektrizitätsversorgung (REV) ist in Form eines handlichen Ringbuches die vorliegende Arbeit entstanden als Zusammenfassung früherer einschlägiger Veröffentlichungen, die nach verschiedenen Seiten wesentliche Erweiterungen erfahren haben.

Das Buch ist nach dem Losen-Blätter-Prinzip aufgebaut, wodurch es befähigt ist, mit der Zeit weitere Ergänzungen aufzunehmen, die sich entsprechend der sich im Fluß befindlichen Entwicklung auf dem Gesamtgebiet der Elektrowärme sicherlich in schon absehbarer Zukunft ergeben werden.

Die einzelnen Beiträge, jeweils ein begrenztes Teilgebiet behandelnd, sind als Merkblätter gekennzeichnet. Sie gliedern sich in vier grundsätzlich verschiedene Teile. Im 1. Teil, der Allgemeines umfaßt, werden über die Elektrowärme geschichtliche und statistische Angaben gemacht, ferner sowohl die Baustoffe des Gebietes als auch die Arbeitsmittel und das Arbeitsgut selbst nach ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften beschrieben. Ein Lieferantenverzeichnis für Öfen und Geräte beschließt die Einführung und leitet zum 2. Teil über, der neben analogen Angaben über die metallischen und keramischen Ofenbauwerkstoffe die dem Konstrukteur erwünschten Einzelheiten über Bau, Schaltung und Betrieb der Öfen vermittelt.

Als 3. Teil ist eine geordnete Aufstellung der Wärmebehandlungsvorgänge hervorgehoben, während im letzten, 4. Teil, die speziellen Anwendungen der Elektrowärme in der Industrie behandelt werden.

In der Anlage des Buches sind die wichtigsten Industriezweige bereits vorgesehen, die schon vorhandenen Merkblätter dieses Teiles stellen einen wertvollen Anfang dar, dessen baldige Ergänzung zu seinem geplanten Umfang im Interesse der Benutzer dieses Handbuches lebhaft gewünscht werden muß. Adt.

„Metall" von K. A. Schenzinger, Berlin, Preis geb. 6,80 RM., 1939, Zeitgeschichten-Verlag.

Schon mit seinem Buch „Anilin" bewies Schenzinger, daß auch ein an sich trockener Stoff durch lebendige Gestaltung für weite Kreise interessant werden kann. Und was wäre eine dankenswertere Aufgabe, als die großen Leistungen der Forscher und Erfinder — sonst nur kleinsten Fachkreisen bekannt — einmal der breiteren Öeffentlichkeit aufzuzeichnen. Das Ringen des Menschen um neue Erkenntnisse, der zähe Kampf des von seiner Idee besessenen Erfinders, Aufbau und Fortschritte, aber auch Rückschläge und Irrtümer sind in meisterhafter Form und in Abschnitten voller Spannung und Dramatik in „Metall" dargestellt. In kurzen episodenhaften Abschnitten rollen die Laboratorien, Versuchsstätten, Hochschulen und Werkstätten der Welt an uns vorüber. Dieses Buch wird nicht gelesen, es wird miterlebt. Besonders für den Techniker und Ingenieur oder Chemiker ist „Metall" besonders wertvoll.

Deutsche Physiker-Tagung 1940

Die beiden großen Organisationen der deutschen Physiker, die Deutsche Physikalische Gesellschaft und die Deutsche Gesellschaft für technische Physik, halten an Stelle ihrer großen Haupttagung, die bereits seit vielen Jahren einen wichtigen Mittelpunkt der physikalischen Forschung in Deutschland darstellt, in diesem Jahre eine Kriegstagung ab, die am 1. und 2. September in Berlin stattfindet.

Der erste Tag ist der reinen Physik gewidmet. Im Mittelpunkt stehen neue Arbeiten über Aufbau und Umwandlung der Materie sowie über die damit in Verbindung stehenden Strahlungen. Daran schließen sich Vorträge über neue Erkenntnisse auf den Gebieten der Optik sowie der Elektrizitätsleitung in Metallen und Halbleitern. In der technischen Physik, der der zweite Tag gehört, wird über neue Erfahrungen und Forschungen auf dem Gebiete der Hartmetalle berichtet. Die Hartmetalle, die eine rein deutsche Erfindung darstellen, haben für die Metallbearbeitung bereits hohe Bedeutung gewonnen, da sie als Werkzeuge in dem Widerstand gegen Abnutzung selbst die besten Schnellstähle erheblich übertreffen. Hinzu kommen Berichte aus zahlreichen anderen Zweigen der technisch-physikalischen Forschung, beispielsweise über den Vorgang der elektrischen Gasaufzehrung bei minimalen Drucken, über den Ablauf des Bruchvorganges bei Glas, über eine neue Schallschluckanordnung beim Bau schallgedämpfter Räume, über die Durchlässigkeit verschiedener Stoffe für sehr kurzwellige Röntgenstrahlen und über die Brechung elektrischer Wellen an der Erdoberfläche.

Aus Industrie und Wirtschaft

Junkers exportiert nach wie vor

Kurz vor Ausbruch des Krieges bestellte die Texas Company, eine der bedeutendsten Ölgesellschaften der Welt, für ihre Betriebe in Kolumbien ein Frachtflugzeug des Baumusters Ju 52/3m. Die Junkers Flugzeug- und -Motorenwerke AG., Dessau, haben dieses Frachtflugzeug trotz der ihren Werken durch den Krieg gestellten großen Aufgaben programmgemäß fertiggestellt und zusammen mit der Käuferin Möglichkeiten gefunden, dieses Flugzeug trotz der feindlichen Blockademaßnahmen nach Kolumbien zu bringen. Das Flugzeug traf kürzlich wohlbehalten am Bestimmungsort ein und hat inzwischen seine ersten Probeflüge bei der Texas Company in tadelloser Weise erledigt.

Neue Deutsche Normen

Vom Deutschen Normenausschuß sind folgende Normen neu herausgegeben worden (Beuth-Vertrieb, Berlin SW 68):

Stahl. DIN 670 Rundstahl gezogen oder geschliffen. ISA-Toleranzfeld h 8; Ersatz für DIN 667 (siehe auch DIN 671). DIN 671 Rundstahl gezogen oder geschliffen, ISA-Toleranzfeld h 9; Ersatz für DIN 667 (siehe auch DIN 670) (Träger: Wirtschaftsgruppe Werkstoffverfeinerung und verwandte Eisenindustriezweige).

Stahlrohr. DIN 2385 Blatt 2 Nahtlose Präzisionsstahlrohre (kalt gezogen), handelsüblich; DIN 2391 Blatt 2 Nahtlose Präzisionsrohre (kalt gezogen) mit besonderer Maßgenauigkeit (Träger: Verband für nahtloses Präzisionsstahlrohr und Wirtschaftsgruppe Eisen-, Stahl- und Blechwarenindustrie, für DIN 2391 Blatt 2 auch Fachnormenausschuß der Kraftfahrindustrie).

Profilstahl. DIN Vornorm 1018 Halbrundstahl und abgeflachter Halbrundstahl, gewalzt, Abmessungen, Metergewichte und zulässige Abweichungen (Träger: Deutsche Normalprofilbuchkommission).

Prüfverfahren. DIN Vornorm DVM 1213 Prüfung von Drähten, Metallische Überzüge (Träger: Deutscher Verband für die Materialprüfungen der Technik).

Drahtgeflecht. DIN 1199 Drahtgeflecht mit viereckigen Maschen für Zäune sowie für bau-, forst- und landwirtschaftliche Zwecke (Träger: Wirtschaftsgruppe Werkstoffverfeinerung und verwandte Eisenindustriezweige, Gesamtverband der Hersteller viereckiger Drahtgeflechte e. V.).

Werkzeugmaschinen. Abnahmebedingungen für Werkzeugmaschinen: DIN Vornorm 8620 Waagerecht-Bohrwerke und -Fräswerke bis 150 mm Spindeldurchmesser mit ortsfestem Ständer und beweglichem Tisch, DIN Vornorm 8621 Waagerecht-Bohrwerke und -Fräswerke bis 280 mm Spindeldurchmesser mit querbeweglichem Ständer, DIN Vornorm 8626 Senkrecht-Bohrmaschinen (Träger: Fachnormenausschuß für Werkzeugmaschinen).

Senker. DIN 370 Kopfsenker für Zylinderschrauben nach DIN 65 und für Zylinderschrauben mit Innensechskant nach DIN 912, Whitworth-Gewinde; DIN 372 Halssenker für Schrauben mit Whitworth-Gewinde nach DIN 11; DIN 373 Kopfsenker für Zylinderschrauben nach DIN 83 und 84 und für Zylinderschrauben mit Innensechskant nach DIN 912, Metrisches Gewinde; DIN 375 Halssenker für Schrauben mit Metrischem Gewinde nach DIN 13 und 14 (Träger: Arbeitsausschuß für Werkzeuge, Fachgruppe Maschinen- und Präzisionswerkzeuge).

Gewindebohrer. DIN 376 Maschinengewindebohrer (Drahtgewindebohrer) für Metrisches Gewinde nach DIN 13 und 14 (Träger: Arbeitsausschuß für Werkzeuge, Fachgruppe Maschinen- und Präzisionswerkzeuge).

ISA-Passungen. DIN 7181 Beschriftung und Kennzeichnung der ISA-Arbeitslehren, Richtlinien (Träger: Arbeitsausschuß für Werkzeuge, Fachgruppe Maschinen- und Präzisionswerkzeuge).

Lehren. Deutsches Einheitsblatt DIN E 91508 Beschriftung und Kennzeichnung der Gewindelehren für Metrisches Gewinde, Metrische Feingewinde und Whitworth-Gewinde, Ersatz für DIN 2279 (Träger: Fachgruppe Maschinen- und Präzisionswerkzeuge. Aufgestellt in Zusammenarbeit mit der Wehrmacht).

Der heutigen Ausgabe der Zeitschrift liegt ein Prospekt der Firma C. A. Callm, Halle a. d. Saale, bei, auf den wir besonders hinweisen möchten.

Neue Sonderdrucke

des Hauses der Technik

Es sind erschienen:

Nr.	Name	Titel	Stückpreis
15/39	Sämtliche Vorträge der „Hochdruckdampftagung" im Haus der Technik, Essen, im Wortlaut	„Hochdruckdampftagung"	4,20 RM.
16/39	Sämtliche Vorträge der „Clausthaler Woche — Berg- und Hüttenwesen" im Haus der Technik, Essen, im Wortlaut	„Clausthaler Woche — Berg- und Hüttenwesen", mit Kunstdruckkartonumschlag	4,30 RM.
		ohne Kunstdruckkartonumschlag	3,90 RM.
17/39	Dipl.-Ing. O. Rosahl	„Auswertung von Betriebserfahrungen für Planung und Bau neuzeitlicher Kesselanlagen"	1,30 RM.
18/39	Dr.-Ing. F. Kluge	„Wege zur Drehzahlsteigerung im Maschinenbau"	1,30 RM.
19/39	Prof. Dr.-Ing. E. Sörensen	„Neuerungen im Dampfturbinenbau"	1,— RM.
20/39	Dir. Dr. F. Müller	„Ueber die Schwelung der Steinkohle als Vorschaltstufe für die Fischer-Tropsch-Ruhrchemie-Synthese" und	
	Prof. Dr.-Ing. F. Martin	„Die Entwicklung der Kohlenwasserstoff-Synthese aus Wassergas"	1,— RM.
21/39	Obering. Dipl.-Ing. H. Wenzel	„Die neuen Errichtungsvorschriften in ihrem Einfluß auf die Ausgestaltung elektrischer Anlagen unter Tage"	—,80 RM.
22/39	Dr.-Ing. H. Bohnhoff	„Die Bedeutung der Elektrifizierung für den modernen Maschinenbetrieb im Bergbau unter Tage"	—,80 RM.
23/39	Naturwissenschaftliche Vortragsreihe	„Determinismus oder Indeterminismus"	
		„Die künstliche Umwandlung der chemischen Elemente"	
		„Wesen und Wirken der Virusarten"	
		„Physikalische Grundlagen des Nachrichtenwesens"	
		„Elektronenoptik"	
		„Geschlecht und Geschlechtsbestimmung im Pflanzen- und Tierreich	1,80 RM.
24/39	Prof. Dr. W. Klemm	„Unsere heutigen Kenntnisse über die chemische Bindung"	—,40 RM.
25/39	O. Hahn	„Künstliche Radioelemente, die bei der Einwirkung von Neutronen auf Uran entstehen: „Trans-Urane" und „Zerplatzen des Urankerns"	—,30 RM.
26/39	Prof. Dr. F. Bosnjacovic	„Güte von Wärmeanlagen und die Leistungsregeln"	—,90 RM.
27/39	Dir. Dipl.-Ing. W. Jürgensmeyer	„Lagerschäden und ihre Ursachen"	1,10 RM.
28/39	Dr.-Ing. H. Kammler	„Werkstoffeinsatz im Wohnungs- und Siedlungsbau"	1,— RM.
1/40	Dr. H. F. Zeck	„Der Osten Europas und die Neuordnung der deutschen Wirtschaft"	—,30 RM.
2/40	Prof. Dr. Robert Schwarz	„Die Chemie des Siliziums"	—,30 RM.
3/40	Dir. Dr. R. Lorenz	„Entwicklungsmöglichkeiten der Dampflokomotiven nach dem heutigen Stand der Technik"	—,50 RM.
4/40	Obering. Dipl.-Ing. G. Brehm	„Elektrische Steuer- und Regeltechnik in Hochdruckkraftwerken"	—,80 RM.
5/40	Dipl.-Ing. Grönegreß	„Werkstoff erhalten, Arbeitszeit sparen durch Oberflächenhärtung	—,90 RM.
6/40	Regierungsbaumeister Möhle	„Aufarbeitung und Verwendung von Beizablaugen"	1,10 RM.
7/40	Prof. Dr. R. Vieweg	„Fortschritte in Prüfung und Forschung auf dem Kunststoffgebiet"	—,40 RM.

VULKAN-VERLAG DR. W. CLASSEN, ESSEN, SCHLIESSFACH 230