

ZEITSCHRIFT FÜR DEN PHYSIKALISCHEN UND CHEMISCHEN UNTERRICHT

53. JAHRGANG

1940

HEFT 2

Praktische Auswirkungen der Turbulenz.

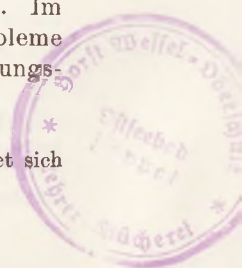
Von Bruno Eck in Köln.

1. Grundsätzliches.

Fast alle praktischen Anwendungen der Strömungslehre werden sehr wesentlich beeinflußt durch eine Erscheinung, die man Turbulenz¹ nennt. Man versteht hierunter ungeordnet erscheinende Nebenbewegungen, die der Hauptströmung überlagert sind. Die Hauptstörungen, die bei Strömungen beobachtet werden, sind nur durch die Turbulenz zu verstehen. Die meisten Verluste, die strömungstechnisch auftreten, verdanken dieser Erscheinung ihre Ursache. Dies ist immer dann der Fall, wenn die Verluste mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wachsen. Denn die zu Unrecht als Reibungsverluste bezeichneten Leistungsverminderungen entstehen durch Stoßverluste innerhalb der Strömung, deren Abhängigkeit vom Quadrate der Geschwindigkeit einleuchtend ist. Nur im Falle der laminaren Strömung ergibt sich eine turbulenzlose Bewegung, die innere Reibung wirkt hier ausschließlich und bedingt eine Abhängigkeit von der ersten Potenz der Geschwindigkeit. An durchströmten Körpern ist nur bei kleinen REYNOLDSSchen Zahlen ($R_2 < 2300$) eine turbulenzlose Strömung vorhanden. Da für diesen Bereich kaum ein praktisches Anwendungsgebiet besteht, behandelt man bei der Rohrströmung durchweg nur den turbulenten Fall. Während für dieses Problem bereits von OSBORNE REYNOLDS diese grundlegende Erkenntnis gewonnen wurde ist das viel schwierigere Problem des umströmten Körpers erst durch die PRANDTLsche Grenzschichttheorie richtig erkannt worden. L. PRANDTL wies nach, daß bei Flüssigkeiten mit sehr geringer innerer Reibung, z. B. bei Luft und Wasser, der Übergang von der Geschwindigkeit der Körperoberfläche zu der Geschwindigkeit der Umgebung in einer dünnen Schicht stattfindet, die man Grenzschicht nennt. In dieser Schicht findet ein jäher Geschwindigkeitsanstieg statt, der selbst bei kleiner Reibung zu endlichen Schubspannungen führt. Die Dinge werden nun deshalb so verwickelt, weil die Bewegung innerhalb dieser Grenzschicht sowohl laminar wie turbulent sein kann. Der etwaige Umschlag von laminarer zur turbulenten Grenzschicht hat z. B. große Wichtigkeit für die Reibung wie für die Ablösung. Die Grenzschichtdicke spielt eine ähnliche Rolle wie der Rohrdurchmesser bei der Rohrströmung.

Außerhalb der Grenzschicht besteht nun sehr genau die Bewegung, die sich bei reibungsfreier Strömung ergibt. Nach der BERNOULLISchen Gleichung muß deshalb außerhalb der Grenzschicht die Energie überall konstant sein. Nur in den Grenzschichtgebieten wird man deshalb verminderte Energie antreffen. Die Untersuchung dieser Stellen hat insbesondere für das Widerstandsproblem große Bedeutung. Im folgenden soll nach einem neuen Verfahren für einige wichtige Strömungsprobleme der Bereich vermindelter Energie, d. h. die Grenzschichten, in „Energieverteilungsbildern“ dargestellt werden.

¹ Eine anschauliche Übersicht über den derzeitigen Stand der Turbulenzforschung findet sich in: E. FUES, Turbulente Strömung von Flüssigkeiten; diese Zeitschr. 51, 39 (1938).



2. Düsenkamm¹ zur Ermittlung der Energieverteilung.

Zwanzig fein ausgezogene Metallröhrchen sind zu einem „Düsenkamm“ aneinandergefügt, so daß auf einer Breite von 38 mm zwanzig Düsen zur Verfügung stehen. Die Enden sind in verschiedenen Richtungen abgewinkelt und enthalten Schlauchtüllen. Jede Tülle wird nach Fig. 1 durch einen Gummischlauch mit dem oberen Ende der zwanzig dicht nebeneinanderstehenden, unten offenen Glasröhrchen von genau gleichem Innendurchmesser verbunden. Die Glasröhrchen tauchen in eine mit Alkohol zur Hälfte gefüllte Glasküvette. Beim Anblasen des Düsenkammes wirkt jedes Metallröhrchen als PITOT-Rohr und zeigt im Manometer einen Druck an, der dem

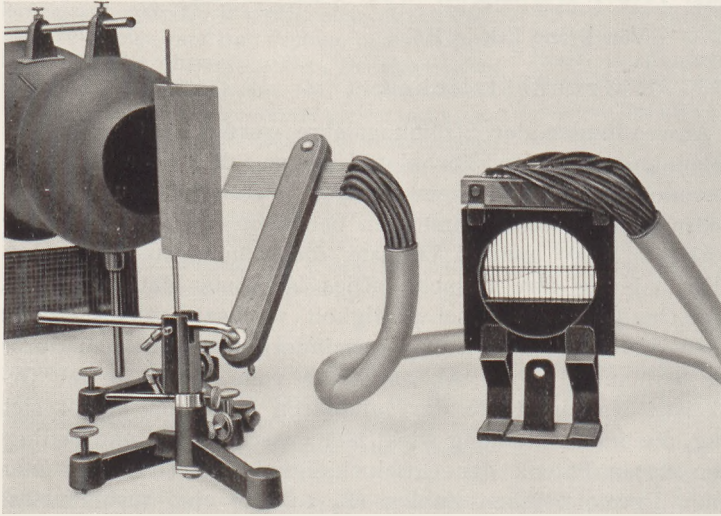


Fig. 1. Untersuchung eines Tragflügels mit dem Düsenkamm. Versuchsanordnung.

Gesamtdruck, d. h. der Energie an dieser Stelle entspricht. So erhält man im Manometer unmittelbar die Energieverteilungskurve für die Breite des Düsenkammes. Da nur in den Grenzschichten verminderte Energie vorhanden ist, kann durch Abtasten des Strömungsfeldes die Grenzschicht genau verfolgt werden. Fig. 1 zeigt die Gesamtanordnung für die Untersuchung eines Tragflügels. Die Grenzschichtdicke sowie der Energieverlauf

innerhalb der Grenzschicht sind direkt erkennbar. In der Figur erkennt man die schräge Lage des Düsenkammes gegenüber der Tragflügelhinterkante. Auf diese Weise ist es möglich, die zwanzig Meßpunkte auf einer kleinen Höhe zu erhalten. Bei der Neigung $15,3^{\circ}$ z. B. stehen für eine Dicke von nur 10 mm zwanzig Meßpunkte zur Verfügung. Da bekanntlich PITOT-Röhrchen weitgehend unabhängig sind gegenüber einer falschen Einstellung in die Strömungsrichtung, genügt fast immer eine ungefähre Einstellung in sie. In Zweifelsfällen verschafft man sich durch einen Faden sehr schnell Auskunft über die Strömungsrichtung.

Die Staudruckmessungen in der Glasküvette können leicht projiziert werden. Ebenso einfach ist die photographische Aufnahme, die bei den nachfolgenden Versuchen gewählt wurde. Bis auf zwei Vergleichversuche im großen Windkanal des Instituts wurden alle Versuche mit einem kleinen Windkanal von 150 mm Düsendurchmesser ausgeführt. Alle Versuche können somit bereits mit den Geräten ausgeführt werden, wie sie den höheren Schulen heute zur Verfügung stehen.

3. Beschleunigte und verzögerte Strömung.

Zur Untersuchung der beschleunigten und verzögerten Strömung wurde der für diese Zwecke geschaffene verstellbare Versuchskanal² verwendet, bei dem am Ende des Kanales eine aus Fig. 2 erkennbare verstellbare Zunge eingesetzt wurde. Hierdurch wurde erreicht, daß der Düsenkamm bei Verstellung der Zunge immer die

¹ Das Gerät ist vom Prüfungsausschuß für Unterrichts- und Anschauungsgeräte in der Luftfahrt genehmigt und wird von Koch G.m.b.H. in Köln-Nippes hergestellt.

² B. Eck, Einführung in die Techn. Strömungslehre, II. Berlin; Julius Springer 1936. Vgl. diese Ztschr. 50, 212 (1937).

ganze Höhe des Austrittsquerschnittes erfaßte. Der Düsenkamm wurde direkt vor die Öffnung des Kanales gestellt. So erhält man sofort die ganze Energieverteilung am Austritt und kann durch Verstellen der Zunge mit einem Griff verschiedene Neigungen einstellen. Die Versuchsergebnisse sind in Fig. 2 für Neigungen zwischen $-9^{\circ}40'$ und $15^{\circ}40'$ dargestellt. Die photographischen Kopien wurden hierbei wie bei allen anderen Figuren unmittelbar aufgeklebt. Die schwarze Linie zeigt das Alkoholniveau, d. h. die Nulllinie an.

Man erkennt, daß die Energieverteilung um so gleichmäßiger wird, je stärker die Beschleunigung ist. Beim parallelen Kanal (0°) beobachtet man die größte Grenzschichtdicke 8 mm. Mit beginnender Verzögerung wird die Grenzschicht immer dicker. Die Energie wird sozusagen aus den Randzonen nach der Mitte hin konzentriert. Bei 13° beginnt die Ablösung, die bei $15^{\circ}40'$ bereits 20 mm ausmacht. Die Ablösung erfolgte an der unteren Berandung. Die bereits vor der Ablösung erkennbare Unsymmetrie der Staudruckkurven hängt mit der einseitigen Ausbildung des Diffusors zusammen.

Dieser Versuch ist deshalb so wichtig, weil er mehr oder weniger das Verhalten einer beschleunigten und einer verzögerten Grenzschicht überhaupt zeigt. Während

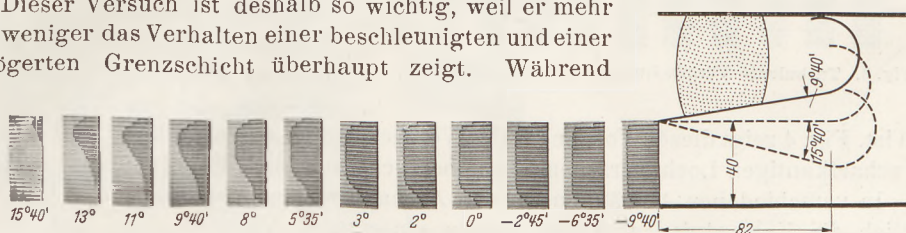


Fig. 2. Staudruckprofile am Austritt eines verengten und erweiterten Kanales für verschiedene Neigungswinkel.

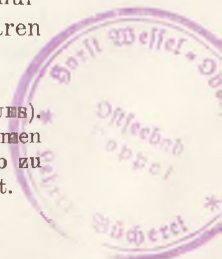
selbst große Beschleunigungen ziemlich gefahrlos sind, ist eine Verzögerung nur in mäßigen Grenzen möglich. Daß die letztere überhaupt auftreten kann, verdanken wir hauptsächlich der Turbulenz. Sie sorgt dafür, daß durch die Querbewegungen Energie in die durch die Wandreibung verzögerten Schichten nachzufolgen vermag. So können die verzögerten Schichten weiter gegen den zunehmenden Druck strömen und ein Stillstand, der zur Ablösung führt, wird vermieden. Bei zu großer Verzögerung reicht jedoch auch diese Unterstützung der Randzonen nicht mehr aus und die Strömung reißt ab.

Die Möglichkeit einer mäßigen Verzögerung der Strömung ist tatsächlich der Hauptvorteil, den uns die Turbulenz bietet, während auf der anderen Seite die große Widerstandsvermehrung gegenüber der laminaren Strömung der größte Nachteil ist.

4. Turbulente Vermischung.

Tritt aus einer Düse ein freier Strahl aus, so findet an den Strahlgrenzen eine Vermischung mit der Umgebung statt. Der Freistrahler unserer Windkanäle ist ein Beispiel hierfür. Trotz der im kleinen sehr ungeordneten Bewegung dieses Vermischungsvorganges stellen sich doch an jeder Stelle sehr feste Mittelwerte der Energie ein, eine Tatsache, die von PRANDTL auch theoretisch nachgewiesen werden konnte. Fig. 3 zeigt in 11 Aufnahmen die Entwicklung der Vermischungszone für eine 120-mm-Düse. Man erkennt, daß die Störungszone innen und außen auf einem Kegelmantel mit $6,5^{\circ}$ bzw. 3° liegt¹. Im inneren Kegel bleibt die Geschwindigkeit fest. Nur in diesem Bereiche können deshalb Versuchsmodelle eingesetzt werden. Bei den kleinen Schulwindkanälen sind die Modelle meist ziemlich groß. Ein Hinweis auf den brauchbaren Kern des Strahles dürfte deshalb nicht unangebracht sein.

¹ Der Staudruckverlauf nähert sich außen sehr langsam der Nulllinie (siehe auch Fig. 5 bei FUES). Da nun aus optischen Gründen die Nulllinie verhältnismäßig dick ist (vgl. z. B. Fig. 15), kommen diese Feinheiten bei dieser Darstellung nicht genau zum Ausdruck. Der Winkel 3° ist deshalb zu klein. Göttinger Messungen ergeben etwa 8° , während der Innenwinkel den richtigen Wert hat.



Der Gesamtwinkel, unter dem die turbulente Vermischung sich ausdehnt, beträgt $\sim 10^\circ$ und stimmt damit ungefähr mit dem beim Diffusor ermittelten Bestwinkel überein. Die Vermischung eines freien Strahles ist deshalb besonders interessant, weil hier

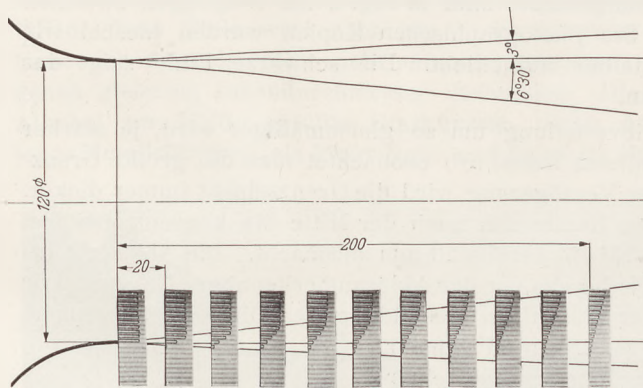


Fig. 3. Turbulente Vermischung eines Freistrahles.

die turbulente Vermischung mit aller Schärfe gezeigt werden kann. Im ganzen Strahl herrscht der gleiche statische Druck. Ein Einfluß einer Druckänderung ist so ausgeschlossen. Tatsächlich kann nur bei ansteigendem Druck eine Ablösung eintreten.

Grundsätzlich gleiche Verhältnisse liegen vor, wenn ein Strahl aus einer Blende austritt. Der Strahl zieht sich hier ziemlich stark zusammen und schafft sich so selbst die fehlende Ab- ründung, die bei der Düse vor-

handen ist. Fig. 4 zeigt diesen Vorgang. Der Versuch wurde so ausgeführt, daß eine mit einem scharfkantigen Loch versehene Scheibe dicht vor die Windkanaldüse gehalten wurde. In verschiedenen Abständen wurden Aufnahmen gemacht. Das erste Bild zeigt deutlich die Kontraktion und die bereits einsetzende Vermischung. Der weitere Verlauf ist grundsätzlich gleich dem der Fig. 3.

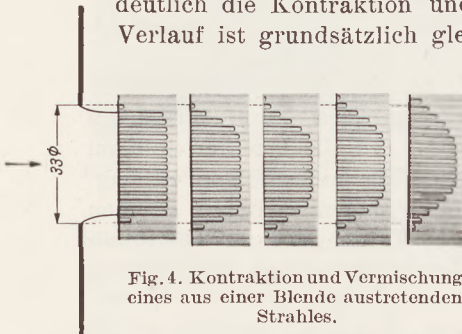


Fig. 4. Kontraktion und Vermischung eines aus einer Blende austretenden Strahles.

Bei dieser wie bei allen anderen Figuren ist eine maßstäbliche Auftragung eingehalten worden, so daß Grenzschichtdicken unmittelbar abgelesen werden können.

5. Durchströmte Körper.

Es handelt sich hier hauptsächlich um die Strömungsprobleme des Maschinenbaues, bei denen meist das durchströmende Mittel ganz von begrenzenden Wänden umschlossen wird.

Fig. 5 zeigt die Anlaufstrecke einer Rohrströmung. Ein glattes Rohr wurde mit Hilfe einer Reduktionsdüse in die Windkanaldüse eingesetzt. Das Rohr wurde dann Stück für Stück abgesägt und am Austritt das Staudruckprofil aufgenommen. Kurz

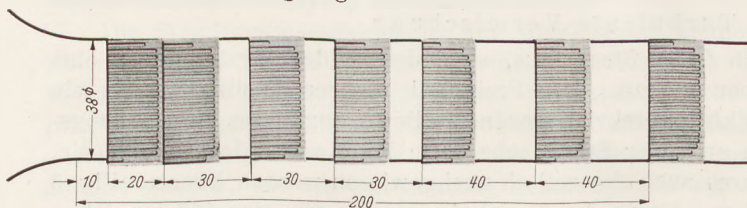


Fig. 5. Staudruckprofile in der Anlaufstrecke eines Rohres.

nach dem Einlauf (10 mm) ist bis auf eine 2 mm dicke Randschicht noch eine konstante Verteilung vorhanden; die Störung geht dann langsam nach innen. Nach einer Anlauflänge von ~ 5 Durchmessern ist die Störung bis zur vierten

Meßstelle fortgeschritten, so daß sich hier ein Vermischungswinkel ergibt, der nur $\sim 2^\circ$ beträgt. Dieser Unterschied gegenüber den vorigen Beispielen kommt dadurch zustande, daß sich zunächst eine laminare Grenzschicht bildet, die nachher turbulent wird. Nach 20 bis 25 Durchmessern ist die endgültige turbulente Staudruckverteilung vorhanden, die dann erhalten bleibt. Ist der Eintritt in das Rohr irgendwie scharfkantig, so unterbleibt die Ausbildung der laminaren Grenzschicht. Das turbulente Profil ist dann praktisch bereits nach 10 bis 15 Durchmessern vorhanden.

Fig. 6 zeigt den Vermischungsvorgang hinter einer Düse, die sich in einem Rohre befindet. Es handelt sich hier um das wichtigste Mengenmeßinstrument des Maschinenbaues. Die aus Paraffin angefertigte Düse wurde leicht verschiebbar hergestellt und mit Vaseline gedichtet. Zunächst wurde die Düse bis zum Rohrende verschoben und mit dem wieder am Rohraustritt angeordneten Düsenkamm das Profil aufgenommen. Dann wurde die Düse in bestimmten Abständen hineingeschoben und immer am Rohraustritt die Messung aufgenommen. Die so ge-

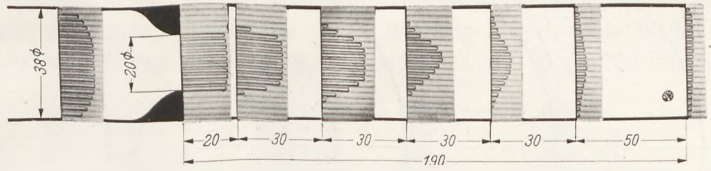


Fig. 6. Vermischung eines Düsenstrahles in einer Rohrleitung.

wonnenen Bilder wurden nun im Rohr in den betreffenden Abständen eingeklebt. So erhält man einen Überblick über die Vermischung des Düsenstrahles. Man erkennt, wie sich die Strömung bereits nach 150 mm, d. h. bei 4 Durchmessern, wieder an die Wand anlegt. Der Inhalt der über der Nulllinie liegenden Staudruckkurven zeigt die jeweils vorhandene Energie an. Man erkennt sofort, daß der Vorgang mit einem erheblichen Energieverluste verbunden ist. Der äußere Erweiterungswinkel der Vermischung ist $\sim 3,5^\circ$ und stimmt daher leidlich mit dem Beispiel der Fig. 3 überein. Vor der Düse ist noch das Staudruckprofil des Rohres ohne Düse angegeben. Das Rohr hatte eine Länge, die 25 Durchmessern entspricht. Eine Verlängerung des Rohres brachte keine Änderung mehr, so daß also das Profil der ausgebildeten Rohrströmung vorlag. In dem ersten Düsenprofil ist noch sehr gut die Vorgeschichte zu erkennen. Der Staudruck in der Mitte ist etwas größer als am Rande, da die Randzonen aus den Randzonen des Rohres stammen, wo eine kleinere Energie vorhanden ist.

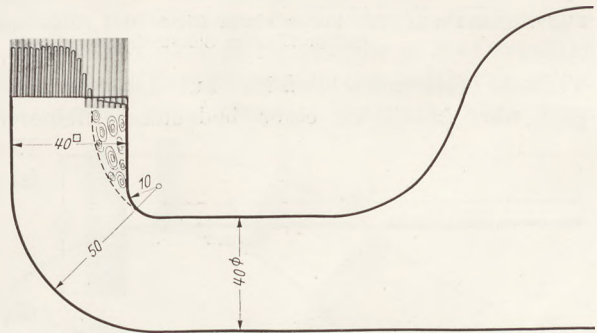


Fig. 7. Untersuchung eines Krümmers ohne Querschnittsänderung.

Bei Krümmern entsteht meist eine Ablösung hinter der inneren Rundung. Sie ist um so größer, je kleiner der Krümmungshalbmesser ist. Für einen quadratischen Krümmer der Größe 40×40 mm, der unter Zwischenschaltung einer Holzdüse auf die Windkanaldüse aufgesetzt wurde, zeigt Fig. 7 sehr scharf die Ablösungszone und in einer anschließenden Vermischungszone den Übergang zu der ungestörten Strömung. Die Entstehung und die Ausdehnung des Krümmerverlustes ist auf diese Weise sehr deutlich zu erkennen. Der Düsenkamm wurde unmittelbar auf die Mündung aufgesetzt.

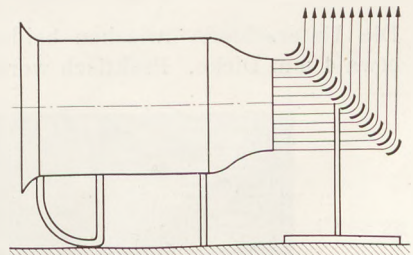


Fig. 8. Untersuchung eines Schaufelgitters. Versuchsanordnung.

Krümmerverluste spielen bei den Schaufeln der Turbomaschinen eine große Rolle. Insbesondere bei den Schaufeln der Gleichdruckdampfturbinen ist es nicht immer leicht, den Einfluß der Krümmerstörung in mäßigen Grenzen zu halten. Seitdem man seit mehreren Jahren auf Anregung von Prof. J. ACKERET in Zürich Dampfturbinenschaufeln in vergrößertem Maßstab in Luft untersucht, ist hier ein tieferer Einblick möglich gewesen, wie er bei Messungen an der laufenden Dampfturbine niemals erreicht werden konnte. Ein einfacher Versuch macht mit diesem für den Dampfturbinenbau so überaus wichtigem Problem bekannt. In den Freistrahle des kleinen

Windkanales wird nach Fig. 8 eine Schaufelreihe gestellt, wodurch die Luft stark nach oben abgelenkt wird. Auf den Austritt der Schaufeln

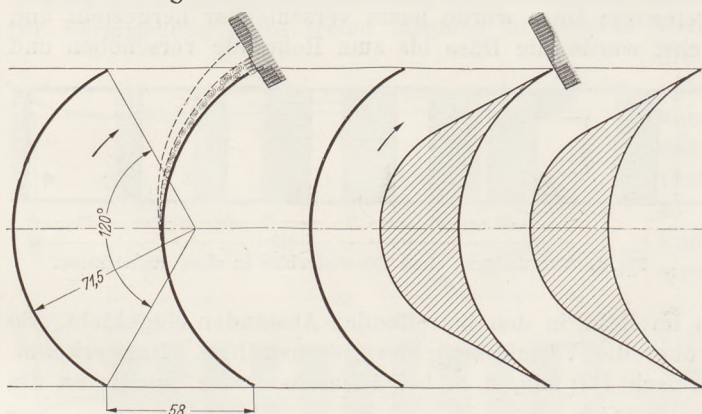


Fig. 9. Staudruckprofile hinter einem Gitter mit Kreisbogenschaufeln und profilierten Schaufeln.

gesetzt und so die Energieverteilung gemessen. Fig. 9 zeigt das Meßergebnis einmal für kreisförmig gebogene Blechschaufeln und ferner für die gleichen Schaufeln bei Profilierung. Der Vorteil der Profilierung ist leicht erkennbar. Eine Ablösung wird hier ganz vermieden, während bei den nicht profilierten Schaufeln eine deutliche Ablösungszone vorhanden ist.

Auch sieht man, daß die

Verluste fast ausschließlich auf der Schaufelrückseite entstehen. Die Vorderseite gibt nur Anlaß zu einer bedeutend kleineren Grenzschicht als auf dem Rücken.

Nur bei der nicht profilierten Schaufel ist sie eben zu erkennen.

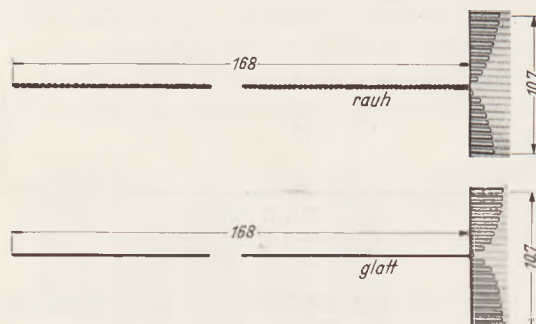


Fig. 10. Grenzschicht hinter einer glatten und einer rauhen Platte.

Die Unterschiede zwischen beiden Platten sind gut sichtbar. Die Grenzschicht hat etwa 4 mm Dicke. Praktisch werden solche Messungen nach A. BETZ (BETZsche Impuls-

6. Umströmte Körper.

In diese Gruppe gehören vor allem die Anwendungen der Flugtechnik.

Die Flächenreibung einer Platte zeigt Fig. 10. Der Düsenkamm wurde unmittelbar hinter die Platte gehalten. Eine Platte war hydraulisch glatt, während bei einer zweiten durch ausgesiebte kleine Sandkörnchen, die aufgeklebt wurden, eine künstliche Rauigkeit hergestellt wurde.

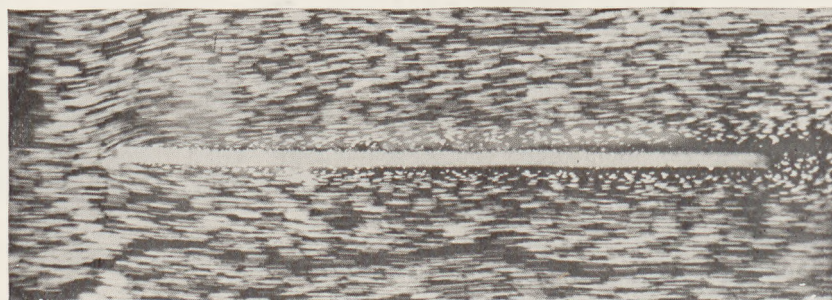


Fig. 11. Plattenströmung mit erkennbarer Grenzschicht.

methode) zur direkten Bestimmung des Flächenwiderstandes verwendet und sind insbesondere da unentbehrlich, wo eine Wägung unmöglich ist, z. B. beim fliegenden Flugzeug.

Zum Vergleich sei auf das entsprechende Strömungsbild Fig. 11 verwiesen. Auch hier ist die Grenzschichtdicke sowie die Entwicklung dieser Schicht sehr gut zu erkennen. Es ist aber nicht möglich, aus diesem Bilde die Energieverteilung zu

ermitteln und daraus zahlenmäßige Angaben über den Widerstand zu machen. Insofern geben also Strömungsbilder nur geringere Auskunft.

Der Nachlauf hinter einem Widerstandskörper ist in Fig. 12 dargestellt. Als Widerstandskörper wurde ein 5 mm starker Draht verwendet. Unmittelbar hinter dem Körper ist der starke Unterdruck (Sog) zu beobachten. Die Störung geht dann in einer Vermischungszone langsam nach den Seiten. Die Störung durch den Widerstandskörper klingt erst sehr weit hinter dem Körper allmählich ab. Nach 250 mm,

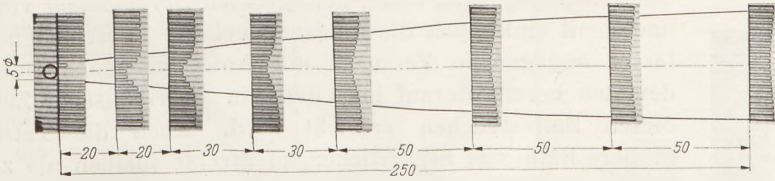


Fig. 12. Turbulente Ausbreitung hinter einem Widerstandskörper.

d. h. in einer Entfernung um 50fache Breite des Körpers, ist noch sehr deutlich eine Einbuchtung an der Staudruckkurve zu erkennen. Die Störungsbreite ist hier ungefähr 40 mm. Dieser Versuch zeigt insbesondere dem Experimentator, wie gefährlich selbst dünne Haltevorrichtungen vor einem Modell sein können. Praktisch wird diese

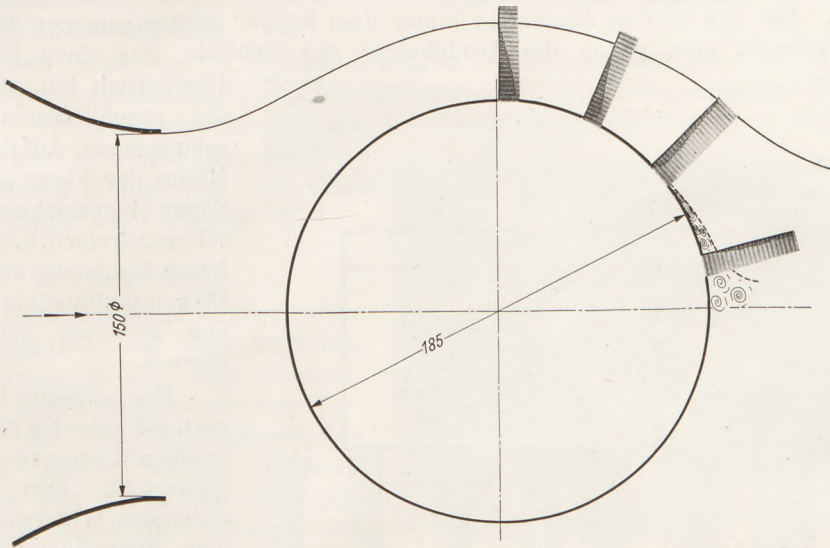


Fig. 13. Umströmung einer Kugel. Grenzschichten hinter dem größten Kugeldurchmesser.

Erscheinung benutzt, um einem laminaren Strahl einen turbulenten Gesamtcharakter zu verleihen (Turbulenzdraht) (vgl. Fig. 20).

Aus Kugelversuchen hat man seit langem wichtige Auskünfte über die Turbulenz eines Strahles erhalten. Sie spielen deshalb bei der Ausführung von Strömungsversuchen eine sehr große Rolle. Nun hat man dem Arbeiten mit kleinen Schulwindkanälen oft vorgeworfen, daß die kritischen REYNOLDSSchen Zahlen, bei denen die Kugelströmung hinter dem größten Kugelhalbmesser noch ein Stück anliegen bleibt, nicht erreicht werden und demzufolge sich viele Effekte nicht zeigen lassen.

Fig. 13 bietet nun die Grenzschichtprofile an einer 185-mm-Glaskugel, die deutlich erkennen lassen, daß hinter dem größten Durchmesser die Strömung noch anliegt, um dann bei etwa 45° abzureißen. Der R_e -Wert war hier nur 180000. Das ist um so verwunderlicher, als bei vollkommen turbulentem Strahl der Umschlag frühestens bei 200000 erreicht werden konnte, während bei laminarem Strahl der Wert 390000 überschritten werden muß, ehe obige Erscheinung eintritt. Die Untersuchung ergab,

daß bis etwa $R_e = 100\,000$ ein Anliegen der Strömung vorhanden ist. Der Grund für diese Erscheinung liegt neben der Turbulenz dieser kleinen Windkanäle in dem Einfluß des verhältnismäßig kleinen Strahldurchmessers. In Fig. 13 ist die äußere Berandung der noch eben meßbaren Strömung erkennbar (nicht zu verwechseln mit einer Stromlinie). Der größte Teil ist schon Vermischungszone. Da hier eine bedeutend geringere Luftmenge als bei einem entsprechend größeren Strahle durch die Kugel abgelenkt wird, ist die Drucksteigerung hinter dem größten Durchmesser viel geringer, und somit sinkt auch die Ablösungsgefahr. Verschiedene vom Verfasser angegebene Versuche mit freischwebenden Gummibällen¹ deuteten bereits darauf hin, daß ein überkritischer Zustand² bei diesen Ballversuchen erreicht wird. Auch die Tatsache, daß größere Bälle viel beharrlicher im Strahle bleiben als z. B. kleine Tischtennisbälle, läßt sich hierdurch erklären.

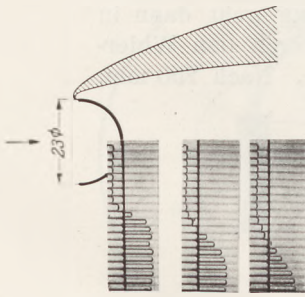


Fig. 14. Energieprofile hinter einem offenen Halbkreiszyylinder.

Bei scharfkantig begrenzten Körpern treten immer größere Ablösungszonen auf. Mit Strömungsbildern lassen sich diese Vorgänge u. a. gut verfolgen. Fast noch deutlicher und nützlicher sind die mit dem Düsenkamm aufgenommenen Energiebilder.

Fig. 14 zeigt den Körper des größten Widerstandes, einen offenen Halbkreiszyylinder. Aus den in drei Abständen hinter dem Körper aufgenommenen Staudruckkurven erkennt man genau die Ausdehnung des Gebietes, das einen konstanten

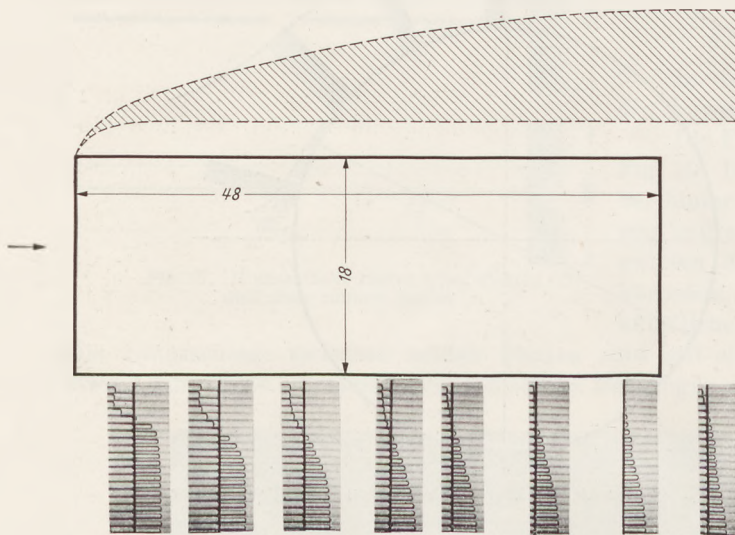


Fig. 15. Darstellung des Stirnwiderstandes.

Unterdruck hat, und dann die anschließende Vermischungszone. Auf der oberen Hälfte der Figur sind diese Zonen eingezeichnet. Die bei reibungsfreier d. h. turbulenzfreier Strömung auftretende Diskontinuitätslinie liegt genau zwischen den beiden Kurven.

Die Ablösung bei einem vorn mit scharfer Kante versehenen Körper ist in Fig. 15 dargestellt. Den so entstehenden Widerstand nennt man Stirnwiderstand. Die Strömung weicht an der scharfen Kante erheblich aus und bildet an den Seiten-

wänden eine deutlich erkennbare Zone mit Unterdruck, die kurz vor dem Körper verschwindet, hinter dem Körper wieder in kleinem Umfang auftritt. Die ungefähren Begrenzungen von Ablösungs- und Vermischungszonen sind in der oberen Hälfte der Fig. 15 angedeutet. Es fällt auf, daß die Vermischungszone hier eine erhebliche Breite hat. Eine ebene Platte (quer durch den ganzen Freistrahle gehalten) gibt ebenfalls Anlaß zu einer weiten Auslenkung der Strömung (Fig. 16 a). Der deutlich erkennbare Unterdruck ist die Ursache für den großen Plattenwiderstand. Durch eine geeignete Leitschaufel (Fig. 16 a und b) läßt sich diese Strömung sehr verbessern. Unter gleichzeitiger Beobachtung

¹ Eck, Strömungslehre II; siehe Fußnote 2 auf S. 31.

² Dieser Zustand, der eine Verringerung des Widerstandes zur Folge hat, tritt ein, wenn die Grenzschicht turbulent wird. Es ist durchaus zutreffend, wenn man von einem „Eindringen der Turbulenz in die Grenzschicht“ spricht (siehe FUES, S. 41, nach Fußnote auf S. 33).

der Staudruckkurve kann man die Leitschaufel leicht so einstellen, daß die Ablösungszone möglichst klein ist. Fig. 16c zeigt diese Lage. Der Unterdruck hinter der Platte ist ganz verschwunden. Fig. 16b zeigt eine andere Stellung, bei der dies noch nicht erreicht ist. In der Staudruckkurve erkennt man eine zweite Delle, die von der Leitschaufel herrührt und ihre verlustbringende falsche Stellung andeutet. Die Einstellung ist mit Hilfe des Düsenkammes beinahe noch einfacher und überzeugender möglich als mit Hilfe von Strömungsbildern. Insbesondere gibt die gleichzeitige Anzeige des etwaigen Unterdruckes, die bei Strömungsbildern nicht möglich ist, die direkte Gewähr für eine eintretende Widerstandsverringerung.

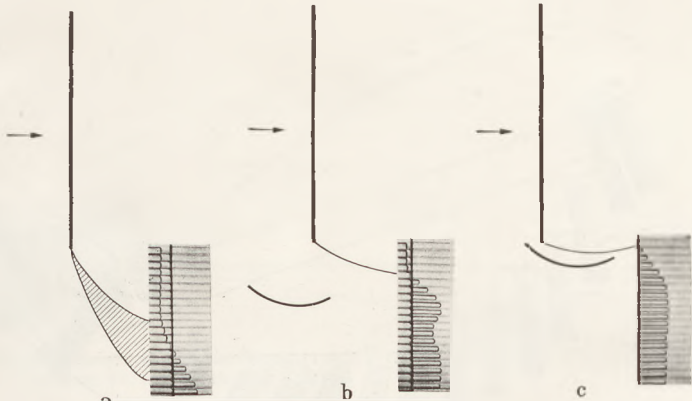


Fig. 16. Energieprofil hinter einer ebenen Platte. a) Platte ohne Leitschaufel, b) Platte mit falsch eingestellter Leitschaufel, c) Platte mit richtig eingestellter Leitschaufel.

Betrachtet man das Strömungsbild der senkrecht angeströmten Platte, Fig. 17,

so erkennt man in der Vermischungszone Wirbel, die mit der Strömung wegschwimmen und dieser Zone einen sehr unregelmäßigen Charakter verleihen. Trotzdem ergeben sich bei der Staudruckmessung konstante Mittelwerte, die eine genaue Umrandung der Vermischungszone ermöglichen, was beim Strömungsbilde nicht möglich ist.

7. Tragflügel.

Das Schicksal der Tragflügelkräfte hängt wesentlich von dem Verhalten der Grenzschicht ab. Ihre Sichtbarmachung dürfte deshalb sehr zum Verständnis der Tragflügeleigenschaften beitragen. Hierzu wurden Versuche mit einem sehr genau und sehr glatt hergestellten Modellflügel (Göttingen 625; 93 × 450 mm) durchgeführt. Bei einer Düse von 150 mm und einem Staudruck

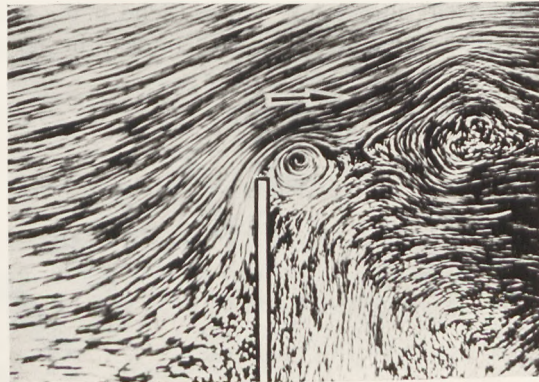


Fig. 17. Strömung gegen senkrecht angestellte Platte.

von 16,5 mmWS wurden die Grenzschichtprofile aufgenommen. Der Düsenkamm lag hierbei schräg, um eine kleinere Schicht genauer messen zu können. Fig. 18 zeigt das Ergebnis. Jedes Profil wurde senkrecht zu der jeweiligen Anströmungsrichtung aufgeklebt in maßstäblicher Größe. Die jeweilige Lage der Hinterkante, an die der Düsenkamm angelehnt wurde, ist durch einen scharfen Strich markiert. Die Aufnahmen umfassen den Winkelbereich 37° bis $-19,5^\circ$. Bei 26° beginnt die Ablösung auf der Saugseite. Die Abreißzone wächst bei 37° bis zur vollen Meßbreite des Düsenkammes. Bei negativen Anstellwinkeln reißt die Strömung auf der Unterseite bei $-19,5^\circ$ ab. Die Grenzschicht ist auf der Druckseite bei positiven Anstellwinkeln sehr klein, eine Folge der hier vorhandenen kleineren Geschwindigkeit. Auch auf der oberen Seite tritt dieses Verhalten ein, wenn ein negativer Anstellwinkel vorliegt. Die größte Grenzschichtdicke bei eben noch anliegender Strömung beträgt ~ 9 mm. Ein einwandfreies Anliegen der Strömung wurde für den Gesamtwinkelbereich $19,5^\circ + 25^\circ = 44,5^\circ$ beobachtet. Bei noch gut anliegender Strömung wurde dann in Fig. 19 der Grenz-

schichtverlauf auf der Saugseite aufgenommen. Etwa hinter der dicksten Stelle des Tragflügels sieht man, wie die Grenzschicht sehr stark anwächst, um am hinteren Ende eine Ausdehnung zu erreichen, die beinahe die Hälfte der Profilhöhe beträgt.

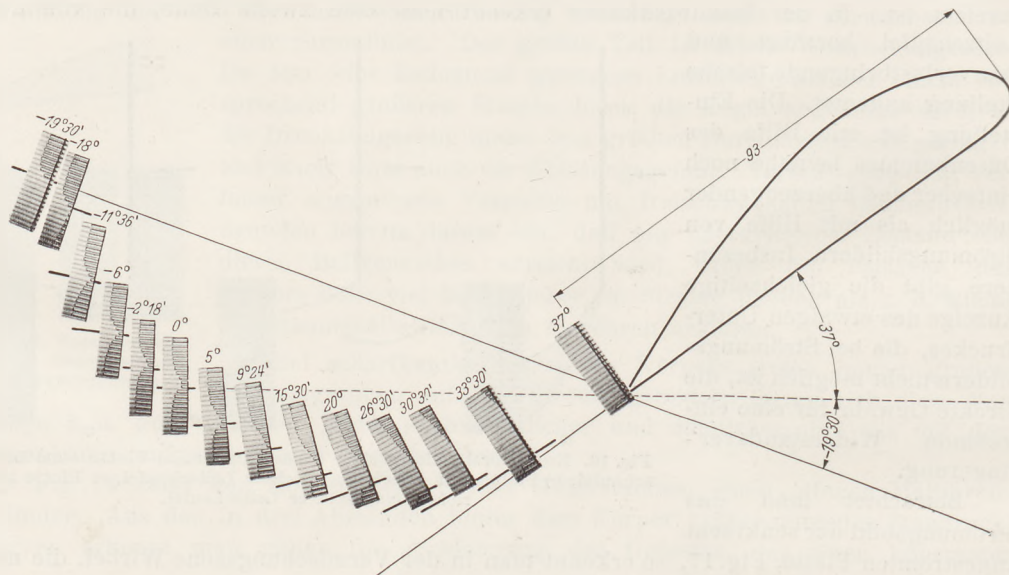


Fig. 18. Grenzschichtprofile an der Hinterkante eines Tragflügels für Anstellwinkel von 37° bis $-19,5^\circ$. (Kleiner Windkanal.)

Praktisch interessiert diese Dicke u. a., weil unter Umständen Steuervorrichtungen, die sich an dieser Stelle befinden, in ihrer Wirkung wegen des geringeren Staudruckes erheblich beeinträchtigt werden.

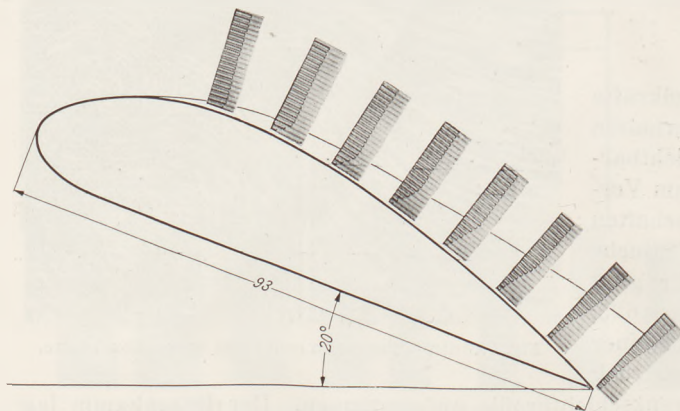


Fig. 19. Darstellung der Grenzschicht auf der Saugseite eines um 20° angestellten Tragflügels im kleinen Windkanal.

bereich 25° in Übereinstimmung mit Göttinger Messungen. Im übrigen sind die Dellenprofile im großen und kleinen Windkanal ziemlich ähnlich, so daß keine wesentliche Änderung der Widerstandskräfte hiernach zu erwarten wäre. An anderer Stelle¹ wurde bereits nachgewiesen, daß der Grund für das spätere Ablösen bei den kleinen Windkanälen in dem Einfluß des endlichen Strahles zu suchen ist. Ebenso wie bei der Kugel sind auch hier geringere Luftmassen abzulenken, demzufolge ergeben sich auch kleinere Druckänderungen und damit eine geringere Ablösungsgefahr.

Fig. 21 zeigt noch eine weitere Messung im großen Windkanal für das gleiche Profil und bei gleichem Staudruck. Hierbei war der Strahl des großen Windkanales

¹ B. ECK, Tragflügelmessungen mit Kleinstwindkanälen. Z. techn. Phys. 1937, S. 14.

fast ganz laminar, während bei Fig. 20 der Strahl durch einen Turbulenzdraht turbulent gemacht worden war. Die Strömung reißt jetzt schon bei $7,5^\circ$ bzw. $6,75^\circ$ ab, so daß nur ein gesunder Bereich von $6,75^\circ + 7,5^\circ = 14,25^\circ$ zur Verfügung steht.

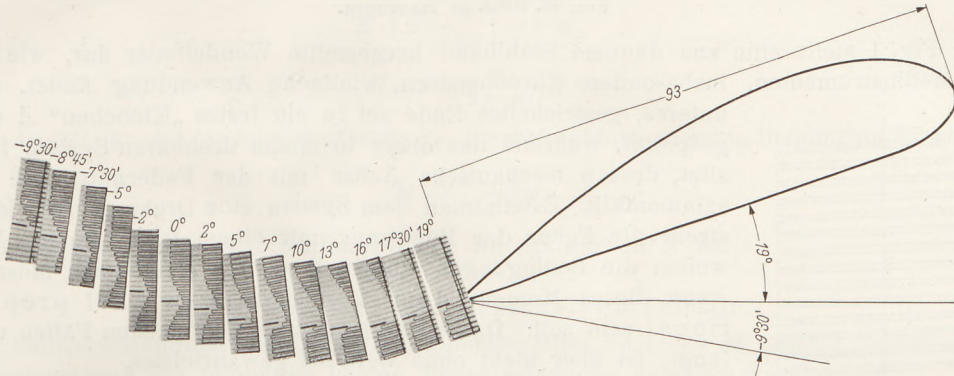


Fig. 20. Grenzschichtprofile an der Hinterkante eines Tragflügels (19° bis $-9,5^\circ$) im großen Windkanal. Göttingen 625. Turbulenter Strahl.

Durch Absaugen der Grenzschicht, läßt sich der Anstellwinkel, bei dem die Strömung abreißt, merklich vergrößern. Hierbei ergeben sich Auftriebskräfte, die 4 bis 5mal so groß sind wie beim normalen Flügel. Es ist gelungen, diesen Effekt

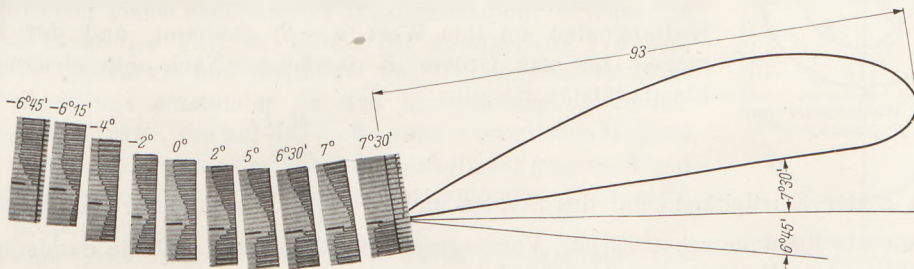


Fig. 21. Aufnahme wie bei Fig. 20, jedoch im laminaren Strahl.

auch im kleinen Windkanal sichtbar zu machen. Fig. 22 zeigt maßstäblich das verwendete Flügelprofil, sowie Größe und Lage der Absaugstelle. Die Breite des mit Endscheiben versehenen Flügels betrug 120 mm bei 82,5 mm Flügeltiefe. Fig. 22a

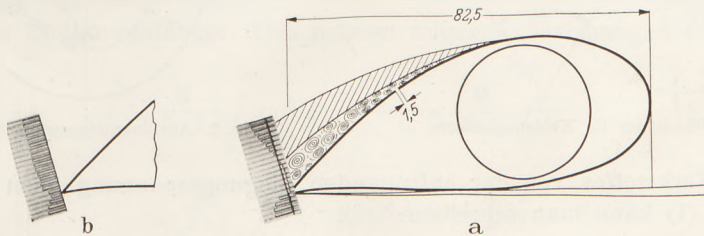


Fig. 22. Grenzschichtaufnahme an der Hinterkante eines dicken Profils. a) ohne Grenzschichtabsaugung, b) mit Grenzschichtabsaugung.

zeigt eine Aufnahme an der Hinterkante ohne Absaugen. Eine breite Ablösungszone ist deutlich erkennbar. Beim Absaugen entsteht die Fig. 22b. Die Strömung liegt wieder ganz an, wobei die Delle merklich kleiner geworden ist.

Mit Absaugen läßt sich ein Anliegen der Strömung bis zu dem Anstellwinkel 45° erreichen. Bemerkenswert war, daß nach Abstellen des Staubsaugers, der zum Absaugen benutzt wurde, die Strömung nicht direkt abriß, sondern in etwa 5 bis 7 Sek. ging das Staudruckprofil stetig in das der abgerissenen Strömung über.

Kleine Mitteilungen.

Spiralfedern mit Endkurven.

Von H. Bock in Hamburg.

Fig. 1 stellt eine aus dünnem Stahlband hergestellte Wendelfeder dar, wie sie in Meßinstrumenten, insbesondere Chronometern, vielfache Anwendung findet. Ihr unteres, gestricheltes Ende sei in ein festes „Klößchen“ *A* eingespannt, während das obere in einem drehbaren System festsetzt, dessen mechanische Achse mit der Federmittellinie zusammenfällt. Erteilt man dem System eine Drehung, so widerstrebt die Feder der Bewegung mit einem Drehmoment. Wir wollen die Bedingungen untersuchen, die erfüllt sein müssen, wenn dieses Moment dem Verdrehungswinkel proportional sein soll. Das wird nämlich in den meisten Fällen verlangt, ist aber nicht ohne weiteres gewährleistet.

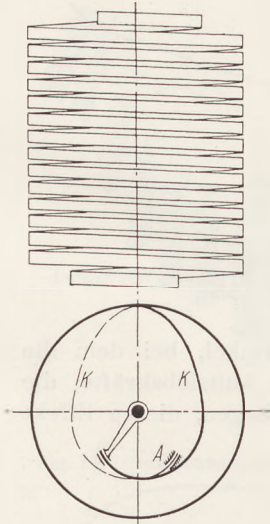


Fig. 1. Wendelfeder mit Klößchen.

A. Die grundlegenden Elastizitätsgesetze.

Fig. 2 zeigt links ein dünnes kreisbogenförmiges Stahlbändchen mit der Länge *l* und dem Halbmesser *r*. Unterwirft man es einem Biegemoment *M* (Fig. 2, rechts) so behält es seine kreisförmige Gestalt, während der Winkel zwischen den Endtangenten um den Wert $(\alpha - \beta)$ abnimmt, und der Halbmesser bis zur Größe *R* anwächst. Nach der elementaren Elastizitätstheorie gilt:

$$\alpha - \beta = \frac{M \cdot l}{E \cdot I}, \tag{1}$$

worin *E* der Elastizitätsmodul des Stahles und $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$ das äquatoriale Trägheitsmoment des Bandquerschnittes ist. Vorausgesetzt wird hierbei, daß die Bandstärke *h* gegenüber dem Halbmesser *r* hinreichend klein sei, und außerdem die Elastizitäts-

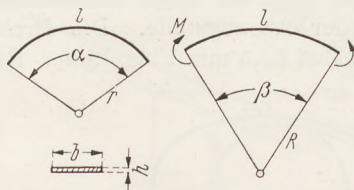


Fig. 2. Stahlbändchen in Kreisbogenform.

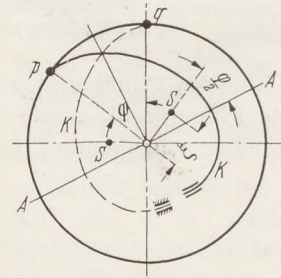


Fig. 3. Auseinandergewickelte Feder.

grenze des Werkstoffes von der auftretenden Biegungsspannung nicht überschritten wird. Für Gl. (1) kann man schreiben:

$$\frac{l}{r} - \frac{l}{R} = \frac{M \cdot l}{E \cdot I}. \tag{2}$$

Hieraus folgt:

$$R - r = \frac{M}{E \cdot I} \cdot r \cdot R \sim \frac{M}{E \cdot I} \cdot r^2, \tag{3}$$

denn die Verformung soll sich in mäßigen Grenzen halten.

Wird die Feder gemäß Fig. 3 durch Drehung des Systems um den Winkel φ auseinander gewickelt, so muß der Zylinder-Halbmesser wachsen, weil die Länge des zwischen den Anschlußstellen *p* und *q* liegenden Bandes dieselbe bleibt; betrug

die Anzahl der Windungen vor der Verformung n , so ist sie jetzt $(n - \frac{\varphi}{2\pi})$, weswegen die Beziehung besteht:

$$R \cdot \left(n - \frac{\varphi}{2\pi} \right) = r \cdot n,$$

also:

$$R - r = \frac{\varphi}{2\pi \cdot n} \cdot R. \quad (4)$$

Aus Gl. (3) und (4) folgt die Größe des hierbei aufzuwendenden Biegemomentes:

$$M = \frac{E \cdot I}{L} \cdot \varphi, \quad (5)$$

worin L die gesamte Klinglänge ohne die Endkurven K ist.

B. Ableitung der Gesetze von PHILLIPS.

Selbstverständlich ergab Gl. (5) Proportionalität zwischen M und φ ; jedoch sind stillschweigend die folgenden beiden Voraussetzungen gemacht worden:

1. Die Anschlußpunkte p und q , d. h. die Endpunkte der Kurven K , müssen bei der Verdrehung um die Strecke $(R - r)$ nach außen abgewandert sein;

2. Die Kurvenenden müssen sich um einen solchen Betrag gedreht haben, daß ihre Tangenten mit denen der Enden des zylindrischen Teiles nach wie vor zusammenfallen. — Wäre das nämlich nicht der Fall, so würde der zylindrische Federteil zur Seite gedrückt, und vermöge des Torsionswiderstandes der Federklinge entstünden an den Einspannungsstellen der Federenden Kräfte, die auf das System ein zusätzliches Moment ausüben würden; wegen der Veränderlichkeit der gegenseitigen Lage der Federenden wäre dieses Zusatzmoment aber nicht zu φ proportional.

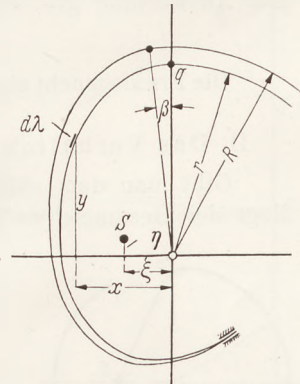


Fig. 4. Gestaltung der Endkurve.

Beide Forderungen lassen sich durch zweckmäßige Gestaltung der Endkurven K erfüllen; wie diese Kurvenform aussehen muß, soll nunmehr gezeigt werden, und zwar der Einfachheit wegen an der unteren Kurve, deren Einspannung liegen geblieben ist (vgl. Fig. 4). Offenbar muß sich das Kurvenende q um $(R - r)$ von der Achse entfernen und außerdem um den Winkel $\beta = \frac{M \cdot \lambda}{E \cdot I}$ im Zeigersinn drehen, wenn das Moment M über die Kurve kommt. λ bedeutet die Endkurvenlänge. Also müssen folgende Beziehungen erfüllt sein:

$$\frac{M}{E \cdot I} \cdot \int_0^\lambda x \cdot d\lambda = R - r = \frac{M}{E \cdot I} \cdot r^2, \quad (6)$$

$$\frac{M}{E \cdot I} \cdot \int_0^\lambda (r - y) \cdot d\lambda = r \cdot \frac{M \cdot \lambda}{E \cdot I}. \quad (7)$$

Versteht man weiter unter ξ und η die Schwerpunktskoordinaten der Endkurve, so ergibt das:

$$\xi \cdot \lambda = r^2 \quad \text{und} \quad \eta = 0. \quad (8)$$

Das sind die bekannten Gesetze von PHILLIPS, die allerdings bloß für hinreichend kleine Verdrehung Gültigkeit haben, denn sonst wäre die in den Gleichungen (6) und (7) zum Ausdruck kommende Superposition der Verrückungen nicht zulässig. Die zweite der Gleichungen (8) besagt, daß der Zentriwinkel zwischen dem Schwerpunkt S und der Anschlußstelle q ein rechter sein muß.

C. Einfache Formen der PHILLIPS-Kurve.

a) Geradlinige Endkurve (Fig. 5). Hier ist:

$$\xi = r \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad \text{und} \quad \lambda = \frac{2 \cdot r}{\cos \gamma}.$$

Das liefert:

$$\cos \gamma = 2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad \text{oder} \quad \gamma = 24^\circ 28'.$$

b) Halbkreisförmige Endkurve (Fig. 6). Aus (8) folgt:

$$\xi = \varrho \cdot \left[\frac{2}{\pi} \cdot \cos \gamma - \sin \gamma \right] \quad \text{und} \quad \lambda = \varrho \cdot \pi.$$

Also muß sein: $\pi \cdot \varrho^2 \cdot \left[\frac{2}{\pi} \cdot \cos \gamma - \sin \gamma \right] = r^2$, und außerdem wegen $\eta = 0$:

$$\varrho \cdot \left[\cos \gamma + \frac{2}{\pi} \cdot \sin \gamma \right] = r.$$

Die Auswertung gibt sehr genähert:

$$\gamma = 13^\circ \quad \text{und} \quad \varrho = 0,9 \cdot r.$$

Die Praxis macht eigentümlicherweise von diesen einfachen Formen kaum Gebrauch.

D. Das Verhalten des Gesamtschwerpunktes bei der Verformung.

Gibt man dem zylindrischen Teile der Feder eine ganze Anzahl Windungen, so liegt der Gesamtschwerpunkt der Wendelfeder einschließlich Endkurven vor der Ver-

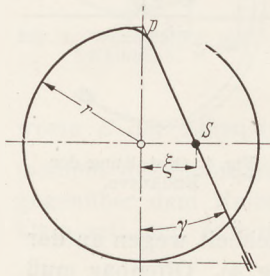


Fig. 5.
Geradlinige Endkurve.

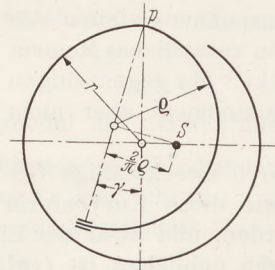


Fig. 6.
Halbkreisförmige Endkurve.

formung nach Fig. 1 auf der Drehachse, wofern die zweite der PHILLIPS-schen Bedingungen erfüllt ist. Er bleibt aber auch während und nach der Verbiegung dort liegen, wie aus Fig. 3 erkennbar ist. Einmal behält der zylindrische Federteil seine konzentrische Gestalt und Lage bei, weil die Anschlußpunkte p und q um die erforderliche Strecke nach außen wandern; weiter aber ist noch folgendes der Fall: Das kreisförmige Bogen-

stück pq des Zylinderteiles hat zwar nun eine Windung weniger als der Rest, dafür sind aber auch die beiden Schwerpunkte S der Endkurve um die Strecke $\xi \cdot \sin \frac{\varphi}{2}$ nach oben gewandert, so daß das auf die Achse AA bezogene statische Moment der Gesamtfeder sich um den Wert $2 \cdot \lambda \cdot \xi \cdot \sin \frac{\varphi}{2} - \varphi \cdot r^2 \cdot \frac{\sin \varphi/2}{\varphi/2} = 0$ geändert hat, d. h. dasselbe geblieben ist, nämlich null. Denn es ist ja $\xi \cdot \lambda = r^2$, und $r \cdot \frac{\sin \varphi/2}{\varphi/2}$ ist der Abstand des Teilschwerpunktes vom Bogenstück pq von AA .

Hierbei ist wieder wie früher hinreichend kleine Verformung vorausgesetzt, weil es sonst um die zugrunde gelegte Konstanz des Zylinderhalbmessers und der Endkurven-gestalt geschehen wäre.

Somit ist dem Arbeitsprinzip entsprechend das Gewicht der Wendelfeder ohne Einfluß auf das von ihr ausgeübte Drehmoment, und es ist gleichgültig, welche Lage die Drehachse des Systems im Raum hat. Und zwar ist das selbst dann der Fall, wenn die Windungszahl der nicht verformten Feder keine ganze Zahl ist, wenn also die Punkte p und q nicht übereinander liegen. Um das einzusehen, braucht man nur die in Fig. 3 dargestellte Gestalt als nicht deformierte Anfangsform anzusehen: immer liegt

der Gesamtschwerpunkt auf der Achse, wenn die beiden Endkurven den Gleichungen (8) Genüge leisten.

Anmerkung. Bei der flachen, spiralförmigen Feder ist die Untersuchung umständlicher, die Gesetze (8) sind aber dieselben. Die Außenkurve kommt hier über die Spiralebene zu liegen, wie man es an jeder besseren Taschenuhr sehen kann, während eine etwa vorhandene Innenkurve natürlich in der Federebene liegt. Diese letztere wird aber nur bei ganz feinen Uhren verwendet.

Über die Projektion eines Drehspiegelausschlags.

Von A. Köhler in Jena.

Um den Ausschlag α eines Drehspiegels vergrößert auf einen Schirm mit Teilung zu projizieren, bildet man durch eine Linse L eine Marke O über den Spiegel auf den Schirm ab.

Dabei kann sich der Drehspiegel im Bildraum der Linse, zwischen dieser und dem Schirm befinden (Fig. 1), oder im Objektraum, zwischen der Linse und der Marke (Fig. 2).

Den Übergang bildet ein dritter Fall; die Linse — das abbildende System — und der Drehspiegel fallen zusammen. Der Drehspiegel besteht dann aus einem Hohlspiegel oder einer einseitig verspiegelten Linse.

Das Öffnungsverhältnis oder die relative Öffnung des Strahlenkegels, der die Marke abbildet, wird meist auch durch die Ränder des Drehspiegels bestimmt. Denn es ist entweder notwendig oder zweckmäßig, dessen Masse klein zu halten, und damit ist auch die Größe beschränkt. Es sind nun zwei Punkte, auf die es bei solchen Anordnungen wesentlich ankommt: erstens auf die Helligkeit des Bildes der Marke auf dem Schirm, sie ist bestimmt durch die Beleuchtungsstärke, die das Markenbild auf dem Schirm aufweist; und zweitens auf die „Vergrößerung“ des Drehwinkels: sie ist gekennzeichnet durch das Verhältnis des Ausschlags des Markenbildes zu dem Drehwinkel.

Wir gehen immer aus von der Ruhelage des Spiegels, bei der das Bild der Marke auf die Mitte des Schirms oder der Teilung fällt. Der Abstand des Spiegelmittelpunkts von der Mitte des Schirmes sei d , und d sei sehr groß gegenüber den Abmessungen des Drehspiegels. Der Schirm sei senkrecht zu d gerichtet. Bei der zweiten Annahme fällt die Achse der Linse L mit d zusammen, und das vom Spiegel in seiner Ruhelage entworfene Spiegelbild O_1 der Marke O liegt ebenfalls auf der Achse der Linse. (Fig. 2). Im ersten Fall aber bildet der Spiegel in seiner Ruhelage die Linse L und die Marke O so ab, daß, wie Fig. 1 zeigt, das Spiegelbild der Linse L_1 und der Marke O_1 in die Verlängerung von d fallen.

Der Einfachheit halber nehmen wir die Dicke der Linse so klein an, daß wir an Stelle der beiden Hauptpunkte den Mittelpunkt der Linse annehmen können. Den Abstand dieses Linsenmittelpunktes oder seines Spiegelbildes vom Mittelpunkt des Spiegels bezeichnen wir mit c und den Abstand der Marke O oder ihres Spiegelbildes O_1 vom Mittelpunkt des Spiegels mit a . Die Drehachse des Spiegels geht durch den Mittelpunkt der Spiegelfläche.

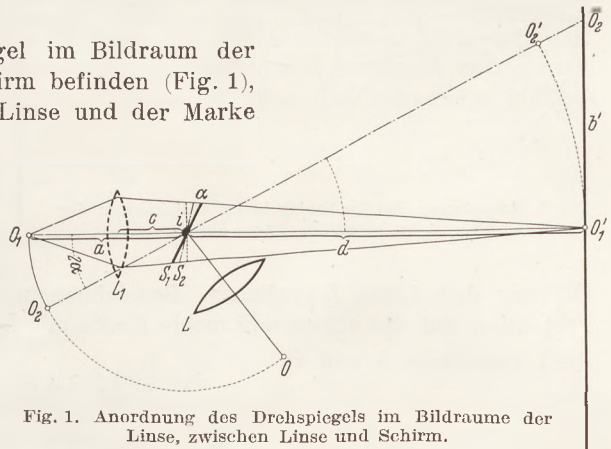


Fig. 1. Anordnung des Drehspiegels im Bildraume der Linse, zwischen Linse und Schirm.

Unsere Untersuchung können wir nun wesentlich übersichtlicher gestalten, wenn wir von der Lage der Marke O und — im ersten Fall — von der Lage der Linse L selbst absehen und statt dessen die auf der Verlängerung von d gelegenen Spiegelbilder L_1 der Linse und O_1 der Marke ins Auge fassen.

Die Helligkeit oder die dafür maßgebende Beleuchtungsstärke am Ort des Markenbildes O'_1 finden wir folgendermaßen.

Im ersten Fall (Fig. 1) projizieren wir in Gedanken vom Mittelpunkt O'_1 des Markenbildes die Spiegelfläche in ihrer Ruhelage auf eine zu d senkrechte Ebene, welche die Drehachse des Spiegels enthält. Diese Projektion sei ein Rechteck von der Höhe h und der Breite i . Unter den gemachten Voraussetzungen strahlt dann die ganze Spiegelfläche mit der Leuchtdichte der vorhandenen Lichtquelle — der

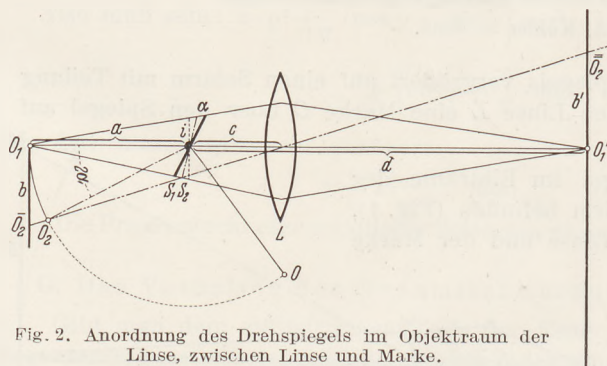


Fig. 2. Anordnung des Drehspiegels im Objektraum der Linse, zwischen Linse und Marke.

Marke O —, und die Beleuchtungsstärke ist:

$$E_1 = \frac{h \cdot i}{d^2} \cdot \mathfrak{B}, \quad (1)$$

wenn wir von den unvermeidlichen kleinen Lichtverlusten absehen.

Im zweiten Fall (Fig. 2) denken wir von dem Mittelpunkt des Spiegelbildes O_1 der Marke aus die Spiegelfläche zunächst auf dieselbe achsensenkrechte Ebene und dann weiter in die

Öffnung der Linse L projiziert. Bezeichnen wir wieder die Höhe und Breite der Projektion auf die achsensenkrechte Ebene mit h und i , so sind die Projektionen auf die Linsenfläche \bar{h} und \bar{i} :

$$\bar{h} = h \frac{a+c}{a}, \quad (2)$$

$$\bar{i} = i \frac{a+c}{a}. \quad (3)$$

Nun sind die Abmessungen der Projektionen der Spiegelfläche h und i in beiden Fällen nicht gleich; wir können sie aber ohne merklichen Fehler gleich setzen, wenn — wie das stets zutrifft — h und i nicht nur gegenüber d , sondern auch gegenüber a genügend klein sind. Von einer strengeren Ableitung können wir daher absehen. Unter diesen Annahmen ist also die Beleuchtungsstärke E_2 :

$$E_2 = \frac{\bar{h} \cdot \bar{i}}{(d-c)^2} \cdot \mathfrak{B} = \frac{h \cdot i}{(d-c)^2} \cdot \frac{(a+c)^2}{a^2} \cdot \mathfrak{B}, \quad (4)$$

und das Verhältnis beider ist, wenn a , d , h , i und \mathfrak{B} gleich sind,

$$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{(d-c) \cdot a}{(a+c) d} \right)^2 = \left(\frac{ad-ac}{ad+dc} \right)^2. \quad (5)$$

Das Markenbild ist also im zweiten Fall wesentlich heller. Das zeigen auch schon die Fig. 1 und 2: der Strahlenkegel, der den Bildpunkt O'_1 erzeugt, hat in Fig. 2 einen wesentlich größeren Öffnungswinkel σ' als in Fig. 1.

Wir bestimmen nun das Verhältnis des Ausschlags b' zu der Drehung α des Drehspiegels in beiden Fällen.

Dreht sich der Spiegel aus der Ruhelage S_1 in die Lage S_2 um den Winkel α , so dreht sich der reflektierte Strahl um den Winkel 2α und wir können im ersten Fall aus Fig. 1 unmittelbar ablesen:

$$\frac{b'}{d} = \operatorname{tg} 2\alpha. \quad (6)$$

Setzen wir

$$\Omega_1 = \frac{b'}{\operatorname{tg} 2\alpha} = d, \quad (7)$$

so haben wir in Ω_1 eine Größe, die das Verhältnis zwischen dem beobachteten großen Ausschlag b' und dem kleinen Drehwinkel α angibt, also gewissermaßen die „Vergrößerung“, die dieser Winkel erfährt.

Allerdings wird das Spiegelbild O_2 der Marke scharf nach O'_2 abgebildet, also nicht auf den Schirm; es entsteht daher bei \bar{O}_2 statt eines scharfen Bildes der Marke ein Zerstreungskreis. Bei dem großen Abstand d und den im Vergleich dazu sehr kleinen Abmessungen i und h der Spiegelfläche ist die Unschärfe nicht merklich.

Wir wenden uns nun zu dem zweiten Fall, Fig. 2. Hier wandert das Markenbild auf dem Kreisbogen mit dem Halbmesser a von O_1 nach O_2 . Die Linse L bildet nun auf dem Schirm — wenn sie vorher O_1 nach O'_1 scharf abgebildet hatte — O_2 nicht mehr scharf auf dem Schirm ab, sondern etwas dahinter. Es sei denn, daß gerade ein ganz bestimmter Betrag von Bildfeldkrümmung vorliege; davon sehen wir aber ab. Die Linse kann nur die achsensenkrechte „Einstellebene“ $O_1 \bar{O}_2$ scharf auf den Schirm abbilden. In dieser ist ein Punkt der Marke O_2 durch einen Zerstreungskreis \bar{O}_2 vertreten, der aber unter den hier vorliegenden Verhältnissen so klein ist, daß er nicht weiter stört. Diese „Einstellebene“ bildet die Linse L in einem bestimmten Abbildungsmaßstab auf den Schirm ab, und dieser ist nach den bekannten Linsenformeln:

$$\frac{b'}{b} = \frac{d-c}{a+c}; \quad (8)$$

ferner ist aber im Objektraum der Linse:

$$\frac{b}{a} = \operatorname{tg} 2\alpha, \quad (9)$$

und aus beiden Gleichungen folgt nun:

$$\Omega_2 = \frac{b'}{\operatorname{tg} 2\alpha} = \frac{a(d-c)}{(a+c)}. \quad (10)$$

Bilden wir nun wieder das Verhältnis beider, so erhalten wir

$$\frac{\Omega_1}{\Omega_2} = \frac{a(d-c)}{d(a+c)}, \quad (11)$$

d. h. die Ausschläge b'_1 und b'_2 , welche die beiden Anordnungen bei gleichem Drehwinkel α liefern, verhalten sich, wenn a und d gleich sind, umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus dem Verhältnis der Beleuchtungsstärken oder der Helligkeiten.

Wenn wir nun im ersten Falle den Abstand des Schirms von d auf d_x verändern und das Verhältnis der Beleuchtungsstärken E_1 und E_x ermitteln, so erhalten wir:

$$\frac{E_1}{E_x} = \left(\frac{d_x}{d}\right)^2; \quad (12)$$

das Verhältnis Ω_1 zu Ω_x aber wird

$$\frac{\Omega_1}{\Omega_x} = \frac{d}{d_x}. \quad (13)$$

Auch hier verhalten sich also die Ausschläge b'_1 und b'_x umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus dem Verhältnis der Helligkeiten.

Wir erreichen daher im zweiten Falle nichts, was wir nicht auch im ersten einfach durch Ändern des Abstandes d zwischen Drehspiegel und Schirm erreichen könnten: ob man so oder so verfährt, die Zunahme der Helligkeit ist — bei gleicher Spiegelgröße und gleichem Schirmabstand — immer mit einer entsprechenden Abnahme des Ausschlags verknüpft.

Soll bei gleichem Ausschlag und gleicher Spiegelgröße die Helligkeit erhöht werden, so bleibt — sofern die Spiegelöffnung die Strahlenkegel begrenzt, welche die Marke abbilden — nur ein Mittel: die Leuchtdichte \mathfrak{B} der Lichtquelle muß

erhöht werden. Auf die Gesamtintensität I der Lichtquelle kommt es nicht an, solange die ganze Spiegelöffnung wirksam bleibt.

Die Beleuchtungsstärke ist für die Ruhelage des Spiegels berechnet. Es ist klar, daß sie sich etwas ändert, wenn sich der Spiegel dreht, denn dann wird die Projektion i der Spiegelbreite je nachdem größer oder kleiner, bei den verhältnismäßig kleinen Ausschlägen ist aber dieser Einfluß nicht besonders merkbar.

Wir haben nun noch kurz den dritten Fall zu besprechen. Die Formeln folgen aus dem zweiten, wenn $c = 0$ gesetzt wird, und sie werden dann identisch mit den Formeln für den ersten Fall. Am vorteilhaftesten wird im allgemeinen die erste Anordnung — der Drehspiegel im Bildraum der Linse — sein: dann genügt es, wenn das abbildende System einen kleinen achsennahen Raum ausreichend scharf abbildet. Denn die Marke bleibt ja an dieser Stelle. Bei der zweiten Anordnung müßten die Fehler des Objektivs außerdem noch innerhalb eines gewissen Bereiches außerhalb der Achse genügend verbessert sein.

Im Anschluß hieran sei noch auf einen anderen Punkt aufmerksam gemacht, der dann besondere Beachtung verdient, wenn der Spiegel sehr leicht und klein sein muß, wie etwa bei Oszillographen. Dann wirkt die kleine Spiegelöffnung als beugende Öffnung, und es entsteht überhaupt kein scharfes Bild der Marke mehr. Die Verhältnisse liegen dann ähnlich, wie bei der Abbildung eines Objekts durch das Mikroskop, wenn die förderliche oder nutzbare Vergrößerung (nach ABBE) überschritten wird.

Für die Praxis.

Ein einfacher Versuch über Nachbilder im menschlichen Auge beim Dämmerungssehen. Von Manfred von Ardenne in Berlin-Lichterfelde. — Über die Nachbilder im menschlichen Auge bei stärkeren Lichtreizen ist eine große Anzahl Untersuchungen durchgeführt worden¹. Dagegen sind die sehr ausgeprägten Nachbilder bei schwachen Lichtreizen und bei Einstellung des Auges auf Dämmerungssehen nur selten zum Gegenstande von Beobachtungen gewählt worden. Die mit schwachem Lichtreiz erzeugten Nachbilder beim Dämmerungssehen zeigen ein völlig anderes Verhalten als die mit größerem Lichtreiz oder sogar mit Überreizung der Netzhaut hervorgerufenen bekannten Nachbilder. Während bei den letzteren die Intensität der Nachbilder außerordentlich klein ist gegenüber der Intensität des die Reizung bedingenden Bildes, und während weiterhin die Nachbilder erst über Zeiträume von vielen Sekunden langsam abklingen, besitzen die bei Einstellung des Auges auf Dämmerungssehen erhaltenen Nachbilder eine sehr viel größere relative Intensität und haben die Eigenschaft, etwa $\frac{1}{3}$ Sek. in gleichbleibender Stärke bestehen zu bleiben und dann fast augenblicklich zu verschwinden.

Ein durch die Intensität der Nachbilder eindrucksvoller Versuch läßt sich mit Hilfe der heute überall zur Verfügung stehenden Leuchtplaketten durchführen. Hierzu ist es notwendig, daß die Teilnehmer an dem Versuche mehrere Minuten in einem völlig verdunkelten Raume verweilen, bis das Auge sich vollständig auf Dämmerungssehen (Stäbchensehen) eingestellt hat. Sodann wird eine möglichst runde Leuchtplakette, z. B. unter einem schwarzen Tuch, mit Hilfe einer normalen Glühlampe angestrahlt und nunmehr die kräftig phosphoreszierende Leuchtplakette, etwa in einem Kreise, gleichmäßig im Dunkeln bewegt. Man erkennt dann hell die bewegte Fläche der Leuchtplakette und unmittelbar hinter ihr einen kräftigen Leuchtschweif, der an seinem Ende fast sofort aufhört. Der Leuchtschweif stellt das Nachbild dar. Aus der scheinbaren Länge des Schweifes und der Plakettenbewegung ergibt sich, daß das beobachtete Nachbild etwa $\frac{1}{3}$ Sek. andauert. Die über den Leuchtschweif

¹ Vgl. z. B. A. KÖNIG: Physiologische Optik; Handbuch der Experimentalphysik von WIEN-HARMS, Bd. 20, T. 1, S. 95 ff. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft 1929.

verteilte scheinbare Lichtsumme dürfte nach den Beobachtungen kaum wesentlich kleiner sein als der unmittelbar von der Leuchtplakette empfundene Lichtbetrag.

Die große Stärke des Nachbildes beim Dämmerungssehen und die auf $\frac{1}{3}$ Sek. scharf begrenzte Nachbilddauer geben eine Erklärung für die seit langem in der Fernsichttechnik bekannte Tatsache, daß Fernsichtbilder sehr geringer Flächenhelle (Bruchteile eines Lux) mit wesentlich geringerer Bildzahl je Sek. auskommen, als Fernsichtbilder normaler Flächenhelle (20 bis 100 Lux), ohne daß ein Bildflimmern störend empfunden wird.

Herstellung von Aluminium als Unterrichtsversuch. Von Julius Brandes in Neumünster. — In dieser Zeitschrift [49, 163 (1936)] wurde von R. SCHARF in Berlin ein Verfahren angegeben, wie man Aluminium im Schulzimmer elektrolytisch herstellen kann.

Bekanntlich wird im Aluminiumofen die Tonerde in einer Schmelze von Kryolith oder ähnlichen Flußmitteln aufgelöst. Um beim Schulversuch den Schmelzpunkt zu erniedrigen, nahm R. SCHARF ein Gemisch von gleichen Teilen Kryolith und Aluminiumfluorid.

An Stelle des vorgeschlagenen Eisentiegels mit 50 mm oberem Durchmesser und 47 mm Höhe wurde in unserem Schulzimmer ein Graphittiegel benutzt. Er ist 9,5 cm hoch, der untere Durchmesser beträgt 5 cm, der obere äußere Durchmesser 7,5 cm, der obere lichte Durchmesser 5,8 cm, die Wandstärke mithin 8,5 mm. Der Graphittiegel wurde in eine Wärmeschutzvorrichtung hineingestellt, und zwar befanden sich die unteren 4,5 cm seiner Höhe innerhalb, die oberen 5 cm oberhalb des Wärmeschutzes. Die Entfernung der äußeren Wand des Graphittiegels vom oberen inneren Rand des Wärmeschutzes betrug nur 2 bis 3 mm.

Der benutzte Wärmeschutz ist ein Hohlzylinder von 10 cm Höhe, 9,5 cm äußerem und 7,2 cm innerem Durchmesser. Zu seiner Herstellung wurden von zwei Haltwarenbüchsen mit unterschiedlichen Durchmessern die Böden entfernt und die Büchsen konzentrisch ineinander gesteckt. Der Zwischenraum wurde mit einem Brei aus Wasserglas und Asbest ausgefüllt, der nach dem Trocknen völlig feuerfest geworden war. Die Wandstärke des Wärmeschutzes betrug mithin 11 mm.

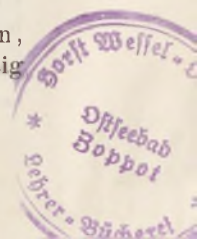
In der Entfernung 4 cm vom oberen Rande des Hohlzylinders sind quer durch den ganzen Hohlkörper zwei parallel nebeneinander liegende Eisenstäbe von je 4 mm Durchmesser hindurchgesteckt. Sie ragen auf beiden Enden je 3 cm aus der äußeren Wand heraus. Die Enden der Eisenstäbe werden auf den Eisenring eines Stativs gelegt, und der Wärmeschutz liegt fest und sicher; er kann noch den Tiegel mit tragen.

Dem Graphittiegel wird später der elektrische Strom durch ein am oberen Rande befindliches breites Metallband oder durch den ihn mithaltenden Eisenring zugeführt.

Nachdem das Gemisch aus gleichen Teilen Kryolith und Aluminiumfluorid fest in das untere Drittel des Tiegels eingestampft worden war, wurde unter dem Tiegel ein Teklubrenner aufgestellt, und zwar so, daß der heißeste Teil der Flamme sich im Hohlraum des Wärmeschutzes gründlich auswirken konnte. Die Flammengase schlugen weit über den oberen Rand des Wärmeschutzes durch den schmalen Spalt zwischen Hohlzylinder und Tiegel hinaus. Zur Unterstützung des Teklubrenners wurde noch ein Bunsenbrenner beigegeben.

Die Heizgase oberhalb des Tiegels wurden durch einen Schornstein mit breitem unteren Schirm aufgefangen und dem im Vorführungstisch befindlichen Abzuge zugeführt. Während des Erhitzens wurde der Graphittiegel mit einer Asbestplatte zugedeckt.

Nach etwa 15 Minuten Erhitzung war das Salzgemisch völlig geschmolzen, während es bei Versuchen mit dem obengenannten Eisentiegel durchaus nicht flüssig werden wollte.



Jetzt wurde die reine weiße Tonerde hinzugefügt, die sich schnell löste. Ein dicker Kohlestab als Anode wurde herangeschoben, er berührte einige Augenblicke den inneren Boden des Tiegels und wurde dann sofort um wenige Millimeter gehoben. Die Elektrolyse kam mit 8 Volt und etwa 8 Ampere in Gang.

Nachdem der Strom etwa 25 Minuten durchgegangen war, wurde der Vorgang unterbrochen. Das Ergebnis waren kleine Aluminiumkügelchen von etwa 3 mm Durchmesser. Sie wurden, nachdem der heiße Tiegel bis zu zwei Dritteln in kaltes Wasser getaucht worden war, herausgeholt und untersucht.

Die Kügelchen hatten den Silberglanz des reinen Aluminiums. Sie konnten mit einer Flachzange abgeplattet werden, waren also dehnbar und nicht spröde. Vor dem Lötrohr auf Kohle wurden sie weich und ließen sich eindrücken. Eisen, mit dem Aluminium sich gern legiert, wurde nicht gefunden. Die Kügelchen lösten sich leicht in kalter Salzsäure, ohne einen Rückstand zu hinterlassen. Die salzsaure Lösung wurde von einem Stück Filtrierpapier aufgesaugt, ein Tropfen Kobaltnitrat hinzugefügt und das Papier verbrannt und geglüht. Der Nachweis durch Thénards Blau war positiv. Da Kieselsäure, die eine ähnliche Reaktion gibt, zu keinem Zeitpunkte des Prozesses hinzugekommen war, war kein Zweifel an der Reaktion.

Aluminiumkarbid konnte nicht vorliegen, denn eine Einwirkung auf Wasser, das mit Al-Karbid Methan liefert, erfolgte nicht. Bekanntlich werden auch in der Großindustrie die großen Eisenbehälter, in denen die Tonerde der Elektrolyse unterworfen wird, mit Kohle ausgekleidet, weil jede Berührung des Aluminiums mit dem Eisen eine Legierung fördert.

Der Graphittiegel scheint also bei der Herstellung des Aluminiums im Schulzimmer den Vorzug zu verdienen, denn die unangenehme Legierung des Aluminiums mit dem Eisen fällt fort. Außerdem kann man den ganzen Versuch in einer einzigen Stunde zu Ende führen, wenn man für das Schmelzen 15 Minuten und für die Elektrolyse 25 Minuten rechnet.

Zur Zeit wird versucht, mit demselben Gerät aus geschmolzenem Carnallit Magnesium herzustellen.

Berichte.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Die Energiequellen der Sterne. Von B. JUNG in Breslau.

Über das Alter der Sterne sind wir ziemlich gut unterrichtet. Jedenfalls läßt sich heute mit einiger Sicherheit sagen, daß es zwischen den Grenzen von einer und fünf Milliarden Jahren liegen muß. Die untere Grenze ergibt sich aus dem Alter der Erdschichten. Auf Grund des radioaktiven Zerfalls muß man den präkambrischen Formationen nämlich ein solches Alter zuschreiben. Die Anhaltspunkte für die obere Grenze sind etwas unsicherer. Man folgert sie meist aus der Tatsache, daß unser Sternsystem Struktureigentümlichkeiten aufweist, die sich in längeren Zeiträumen längst ausgeglichen haben würden.

Die Frage nach den Energiequellen der Sterne war lange Zeit eine offene. Chemische Energien kamen nicht in Frage, da sie die Ausstrahlung höchstens für wenige Jahrzehntausende decken konnten. Die ergiebigste Energiequelle schien lange Zeit die Kontraktionsenergie zu sein, die den Strahlungsverlust der Sonne auf Jahrtausenden hinaus zu decken vermag. Aber auch dieser Zeitraum ist, wie wir gesehen haben, noch viel zu kurz.

Außerdem kennt man Sterne, die je Masseneinheit mindestens die tausendfache Energie wie die Sonne ausstrahlen, bei denen die Kontraktionsenergie also erst recht nicht ausreicht.

Heute stehen dem Physiker allerdings wesentlich stärkere Energiequellen zur Verfügung als zu H. HELMHOLTZ' Zeit, in der die Kontraktionshypothese begründet wurde. Es sind dies die subatomaren Energien, die wir in zwei Gruppen einteilen wollen.

Einerseits ist bekannt, daß jede Masse m den Energieinhalt mc^2 Erg besitzt, wobei c die Lichtgeschwindigkeit in Zentimetern bedeutet. Nach dieser Gleichung entspricht einem Gramm Masse eine Energie von 25 Millionen Kilowattstunden. Beim heutigen Stand unseres Wissens ist uns jedoch kein Prozeß bekannt, der eine derartige Zerstrahlung von Materie in die Wege leiten könnte. Wir müssen annehmen, daß derartige Reaktionen, wenn überhaupt, dann nur unter ganz extremen Bedingungen ablaufen, die im Sterninneren jedenfalls nicht herrschen. Die dort vorkommenden Temperaturen betragen etwa 20–40 Millionen Grad, bei denen sich der Physiker nach A. S. EDINGTON „noch ganz wohl fühlt“. Das soll heißen,

daß bei diesen Temperaturen noch die uns wohl-bekannteren Naturgesetze walten und wir auf keine besonderen Überraschungen gefaßt zu sein brauchen. Noch vor 10 Jahren, als man die Dinge weniger übersehen konnte als heute, hielt man derartige Zerstrahlungsvorgänge aus kosmogonischen Erwägungen heraus, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, für wahrscheinlich und schätzte dementsprechend das Alter der Sterne auf viele Jahrbillionen. Denn so lange könnte der Verlust durch Ausstrahlung auf diese Weise bestritten werden.

Der andere Vorgang, mit dem wir uns im folgenden ausschließlich zu beschäftigen haben, ist der Auf- bzw. Abbau von chemischen Elementen, die Umwandlung von Atomkernen. Daß die Atomkerne der verschiedenen Elemente ineinander übergeführt werden können, weiß man seit einigen Jahrzehnten. Man beobachtete solche Vorgänge bekanntlich zunächst in den Erscheinungen der natürlichen Radioaktivität und lernte bald, derartige Umwandlungen auch an nicht radioaktiven Kernen durch Beschießung mit Korpuskularstrahlen herbeizuführen. Es gelang auch, die Energiemengen, die bei solchen Prozessen frei werden, abzuschätzen. Man erhielt Werte, die in günstigen Fällen knapp 1% der gesamten in der Materie enthaltenen Energie erreichen. Dieser Wert (0,8%) wird bei dem Aufbau von Helium aus Wasserstoff frei. Wenn man annimmt, daß die Sterne zu Beginn ihrer Entwicklung aus reinem Wasserstoff bestanden haben, der im Laufe der Zeit in Helium umgewandelt wird, so würde der Energiebedarf für viele Jahrmilliarden, also für ausreichend lange Zeiten, gedeckt werden können. Diese Vorstellung, daß im Sterninneren derartige Aufbauprozesse tatsächlich stattfinden, wird in der Tat seit anderthalb Jahrzehnten von verschiedenen Forschern vertreten.

Nur waren die Astronomen hier zunächst in derselben Lage wie bei der Frage nach der Zerstrahlung von Materie: man kannte eben keinen Prozeß, der unter den im Sterninneren herrschen-

den Bedingungen den Aufbau von schwereren Elementen aus Wasserstoff in die Wege leiten konnte. Erst der beispiellose Aufschwung der Kernphysik in den letzten Jahren, der durch die Entdeckung des Neutrons und die dadurch bedingte Erweiterung der experimentellen Grundlagen erst möglich wurde, hat in diese Fragen einige Klarheit gebracht. Wir kennen heute eine Reihe von Reaktionen bzw. Reaktionsketten, die im Sterninneren zur Bildung von Helium aus Wasserstoff führen müssen. Es scheint, daß das einmal gebildete He dabei als Katalysator wirkt und somit den Bildungsprozeß beschleunigt. Nach dieser Vorstellung wird also die Leuchtkraft eines jeden Sternes im Laufe seiner Entwicklung zunehmen. Auch die Leuchtkraft der Sonne müßte das beispielsweise. Früher hat man bekanntlich das Gegenteil angenommen. Tatsächlich sprechen aber auch Beobachtungsdaten für einen solchen Anstieg der Leuchtkraft. Wir kennen nämlich Sternsysteme in sehr verschiedenen Entwicklungsstadien, die wahrscheinlich auch einem verschiedenen Alter der betreffenden Sterne entsprechen. Es zeigt sich dabei stets, daß die in der Entwicklung am weitesten fortgeschrittenen auch die hellsten Sterne enthalten.

Ein weiteres zum Teil noch ungelöstes Problem ist der Aufbau der schwereren Elemente. Es muß, wie gesagt, angenommen werden, daß in der Urmaterie, aus der sich die Sterne bildeten, keine schweren Atomkerne existiert haben, da keine Möglichkeit zu ihrem Aufbau vorhanden war. Die Wahrscheinlichkeit der Vereinigung von leichteren Atomkernen zu schwereren nimmt jedoch in wachsender Kernladung derartig schnell ab, daß sich in den zur Verfügung stehenden Zeiträumen Elemente, wie beispielsweise Blei, praktisch überhaupt nicht bilden könnten. Die Frage erscheint noch ungeklärt. Man nimmt heute meistens an, daß beim Aufbau der leichten Elemente durch irgendeinen Mechanismus Neutronen frei werden, die auf Grund des Fehlens der Coulombschen Abstoßung in schwerere Kerne eindringen können.

3. Geschichte und Erkenntnislehre.

Zum hundertsten Geburtstag ERNST ABBES. Von HANS BOEGEHOLD in Jena.

Am 23. Januar 1840 wurde ERNST ABBE als Sohn des Spinnmeisters ADAM ABBE in Eisenach geboren. Sein Leben und sein Lebenswerk sind mehrfach geschildert worden¹. Ich will das Nötigste wiederholen, länger aber bei ABBES bekanntester wissenschaftlicher und technischer Leistung verweilen; sie liegt mir als dem gegenwärtigen Leiter der Mikroskoprechnungen im Zeisswerk am

nächsten, und durch Mitteilung der neueren Feststellungen kann ich wohl hie und da eine falsche oder unvollständig begründete Auffassung berichtigen oder ergänzen. Ich werde dann einige Bemerkungen anschließen, die vielleicht den Leserkreis dieser Zeitschrift anregen können.

ABBES Kindheit und frühe Jugend verging im Elternhause in dürftigen Verhältnissen, war aber [15] (5) „so von elterlicher Liebe umhegt und behütet, daß er . . . eigentlich nichts entbehrte und immer heiter und zufrieden war“. In erschütternder Weise schildert er aber später [3] (241/2), wie sein Vater und dessen Arbeitskameraden durch eine Arbeitszeit von 14 bis 16 Stunden früh zu Greisen wurden. Dabei waren die Unternehmer, die Gebr. v. Eichel-Streiber, nicht etwa besonders rückständig, sondern „wohlwollend und fürsorglich für ihre Arbeiter“. Sie glaubten eben, „es könne nicht anders sein“.

¹ Außer der älteren Lebensbeschreibung [5] sind namentlich die Arbeiten von M. v. ROHR [12 bis 15] zu erwähnen. Bei ihm sind auch mehrere kleinere Veröffentlichungen benutzt und angeführt. (Die in eckigen Klammern stehenden Zahlen verweisen auf das Quellenverzeichnis am Schluß; die in runden Klammern hinzugefügten Zahlen geben die zugehörigen Seitenzahlen an.)

Sie haben es auch — wenigstens mithelfend — ermöglicht [15] (3ff.), daß ERNST ABBE zunächst die Realschule in Eisenach besuchen und nach ausgezeichnet bestandener Abschlußprüfung (1857) studieren konnte; einen Teil des Unterhalts hat er sich durch Erteilung von Privatunterricht, auch durch Bearbeitung von Preisaufgaben erworben und sich eben einschränken müssen. Er studierte 1857 bis 1859 in Jena, dann in Göttingen, wo er am 16. März 1861 promovierte. Nach kurzem Aufenthalt in Frankfurt a. M. kehrte ABBE nach Jena zurück und habilitierte sich am 8. August 1863 als Privatdozent. Seine Niederlassung und seinen ersten Unterhalt bestritt er aus der Stiftung eines Frankfurter Gönners. — Doch erhielt er [15] (17/21) auf Gesuch des Prof. K. SNELL und nach Befürwortung des Kurators M. SEEBECK seit 1865 eine jährliche Beihilfe von 200 Talern aus der weimarischen Staatskasse; ein Beweis, daß die Universität große Hoffnungen auf ihn als akademischen Lehrer setzte. 1870 wurde er zum außerordentlichen Professor ernannt.

Seit dem 3. Juli 1866 — der Zeitpunkt steht [15] (27) genau fest, war ABBE für die optische Werkstätte des Universitätsmechanikers CARL ZEISS, einen kleinen, aber angesehenen Handwerksbetrieb tätig. Es ist nicht sicher, was er dort bis 1869 getan hat; M. v. ROHR [13] (20), [14] (264/6) hat es wahrscheinlich gemacht, daß ABBE damit beschäftigt war, in den optischen Zweigen des Betriebes die Teilarbeit einzuführen. Anfang 1869 äußerte CARL ZEISS den Wunsch, ABBE möge ihm eine brauchbare Wasserimmersion berechnen.

Eine solche Einführung wissenschaftlicher Grundsätze in die Anfertigung eines optischen Instruments, des Fernrohrs, hatte 60 Jahre zuvor J. FRAUNHOFER für die Benediktbeurer, später Münchner Werkstätte vorgenommen; in den vierziger und fünfziger Jahren hatte J. PETZVAL dasselbe bei der Aufnahmelinse durchgeführt; auch sonst waren ähnliche Versuche gemacht worden (etwas andres ist natürlich die Beratung des Optikers durch den das Instrument benutzenden Naturwissenschaftler, von der ich im folgenden auch einige Beispiele anführe). Theorie und Ausführung waren nicht mehr so getrennt wie im 18. Jahrhundert, wo man nur von gegenseitigen Anregungen sprechen kann. Beim Mikroskop — es handelt sich in der Hauptsache um das Objektiv — lagen aber besondere Schwierigkeiten vor.

Die Hebung des Farbenfehlers war hier erst im Anfang des 19. Jahrhunderts erstlich unternommen worden. Es zeigte sich bald — man vergleiche die unbefangene Darstellung des Beraters der Plösslschen Werkstätte [10] (132, 139/41) —, daß die mit achromatischen Objektiven (zwei miteinander verkitteten Linsen) ausgerüsteten FRAUNHOFERSchen Mikroskope zwar sehr schöne und deutliche Bilder lieferten; daß diese Bilder aber manche Einzelheiten nicht enthielten, die durch einfache Linsen zu sehen waren. Um 1830 fanden englische Mikroskopiker¹, daß unabhängig von

¹ Für das Folgende verweise ich auf ausführlichere Darstellungen, die ich mehrmals gegeben habe: [6], [8] (495/500), [9] (497/9).

der Güte der Abbildung feinere Einzelheiten erschienen, wenn das Objektiv einen weiter geöffneten Strahlenkegel einließ. Dabei brauchte das beleuchtende Strahlenbündel nur schmal zu sein, so daß, wie ABBE später [1] (274) schrieb, im Objektiv anscheinend ein „dunkler Raum“ blieb, der gleichwohl ausgenutzt wurde. Es war weiter von Vorteil, wenn dies schmale Beleuchtungsband nicht in der Richtung der Achse, sondern recht schief einfiel. — Natürlich suchte man den Öffnungswinkel des Objektivs zu steigern; um dabei die Abbildungsfehler möglichst zu heben, mußte man das Objektiv aus mehreren durch Luftabstände getrennten Gliedern zusammensetzen. Man erprobete Formen, die den früheren mehr und mehr überlegen waren; jetzt erst konnte das aus Objektiv und Okular zusammengesetzte Mikroskop für stärkere Vergrößerungen das einfache Mikroskop verdrängen. In den Büchern sprach man [1] (48, 72) von der „Definition“ und dem „Auflösungsvermögen“ des Objektivs, jene hänge von der Fehlerhebung, dieses vom Öffnungswinkel ab. Warum der größere Öffnungswinkel Vorteile biete, darüber wurden nur vage Vermutungen mitgeteilt.

Um die Mitte des Jahrhunderts führte G. B. AMICI das Immersionsobjektiv ein, wo die Strecke zwischen dem Gegenstand und der ersten Linse mit einem Wassertropfen auszufüllen war. Der geringere Unterschied der Brechzahlen (Wasser—Glas statt Luft—Glas) ermöglichte eine bessere Fehlerhebung, aber auch das Auflösungsvermögen war größer als bei den Trockenobjektiven, und das war nicht ohne weiteres verständlich.

Die ZEISSISCHE Werkstätte bestand seit November 1846. CARL ZEISS hatte anfangs nur einfache Mikroskope hergestellt. Beraten von dem Botaniker J. SCHLEIDEN [13] (12/13) kam er in der Zeit von 1858 bis 1861 allmählich zur Anfertigung von zusammengesetzten Mikroskopen. Seine Erzeugnisse waren erpöbelt, sie hatten unter den Benutzern einen guten Ruf. Aber es gelang ihm [13] (20), [14] (162) nicht, die Güte der Wasserimmersionen zu erreichen, die E. HARTNACK in Paris in den Handel brachte. Nun hatte ZEISSENS Lehrherr, FR. KÖRNER [13] (4/5) in Beziehungen zu dem Mathematiker FR. W. BARFUSS gestanden; ZEISS hatte sie aufgenommen und bis zu BARFUSSENS Tode (1854) fortgesetzt [13] (8/9), freilich ohne besonderen Nutzen. 1869 entschloß sich ZEISS, für die neue Aufgabe einen neuen Versuch mit dem jungen Gelehrten zu machen, der seit 2 $\frac{1}{2}$ Jahren in seinem Betriebe tätig war.

Das erste ABBESCHE Rechenheft trägt die Aufschrift „April 1869“. Es läßt erkennen, daß ABBEN die gestellte Aufgabe noch fremd war. Er findet bald, daß er mit der Vorrechnung (Entwicklung der Fehler nach Potenzen der Öffnung und des Gesichtsfeldes) nicht zum Ziele kommen wird und bildet die Durchrechnung (Verfolgung einzelner Strahlen durch die brechenden Flächen) für seine Zwecke aus. Er mußte die optischen Eigenschaften der verschiedenen Glasschmelzen (Brechungsverhältnis und Farbenzerstreuung) selbst messen [die Glashütten stellten nur die spezifischen Gewichte

fest [4] (5)] und erfand neue Vorrichtungen [veröff. 1874, [2] (82/164)].

1869 ist sicher auch die Arbeit „Über die Lichtstärke optischer Instrumente, mit besonderer Berücksichtigung des Mikroskops . . .“ [1] (14/44) mindestens in ihrer ersten Form geschrieben worden und der bekannte ABBESche Beleuchtungsapparat [1] (101/12), zunächst zu eigenem Gebrauch, ausgedacht [14] (266/7), s. auch [13] (32, Anm. 2).

Das eigentliche Ziel wurde aber 1869 nicht erreicht, im Herbst 1869 hat ABBE sich einer kleinen Sonderaufgabe [1] (1/13) zugewandt und dann anscheinend seine Rechnungen einige Monate unterbrochen.

Februar 1870 beginnt er von neuem, im September 1871 ist [14] (163) seine Aufgabe gelöst, im August 1872 werden im Preisblatt [13] (32/3), [13] (Anl. III) die „sämtlich neuerdings auf Grund theoretischer Berechnung des Herrn Prof. ABBE konstruierten Objektive“ bekannt gemacht¹; im nämlichen Jahre ist [15] (217) auch ABBES theoretische Darstellung fertig geworden, sie erschien im April 1873 [1] (45/100). Was hat ABBE in diesen Jahren geleistet?

1. Er hat die Bedeutung des großen Öffnungswinkels klargestellt und durch eine Formel ausgedrückt, sowie praktische Folgerungen aus dieser Erkenntnis gezogen. — Es handelte sich [1] (71) um die „seit lange anerkannte Tatsache, daß die Leistungen des Mikroskops“ (außer durch (die geometrische Vollkommenheit der Bilder) „noch durch die Größe des Öffnungswinkels bedingt seien“. Um alle anderen Einflüsse auszuschließen, wurde eine Reihe von Objektiven mit sehr verschiedener Brennweite und sehr verschiedener Öffnung hergestellt, alle aber genau berechnet und möglichst genau angefertigt [1] (72, 77), und es wurde an ihnen durch viele Versuche geprüft, wann ein Vorteil größerer Öffnung vorhanden war und wann nicht. Hierbei war die durch ABBES Beleuchtungsrichtung ermöglichte leichte und genaue Regelung der Beleuchtung von großem Vorteil. Für CARL ZEISS ist es ein glänzendes Zeugnis, daß er die Werkstätte für diese kostspieligen Versuche, deren geschäftlicher Nutzen doch nicht von vornherein gewiß war, zur Verfügung stellte. Die Versuche bestätigten das größere Auflösungsvermögen bei größerem Öffnungswinkel, auch wenn das Beleuchtungsbündel schmal war, sowie den Vorteil schiefer Beleuchtung. ABBE stellte das Ergebnis [1] 73/4) zusammen² und kam zu dem Schlusse, daß bei feinem Gefüge „die dioptrische Wiedervereinigung der von den

¹ Verkauft sind sie sicher schon früher [15] (35).

² Man kann nicht gut sagen, ABBE hätte gehofft, durch Objektive von geringer Öffnung, aber guter Fehlerhebung eine Auflösung feinen Gefüges zu erreichen und wäre durch den Mißerfolg enttäuscht worden. Nach der 40jährigen Erfahrung seiner Vorgänger konnte er nichts anderes erwarten, und seine Darstellung spricht auch nicht dafür, daß er etwas anderes erwartet hätte. Er macht einen Unterschied zwischen der Abbildung gröberer und feinerer Einzelheiten [1] (74, 81/2), später hat er diese Unterscheidung aufgegeben [1] (289/90).

Objektpunkten ausgehenden Strahlenbündel . . . unbedingt nicht der zureichende Grund für die Abbildung des Objekts sein (könne), weil auf eine solche Voraussetzung hin die nachgewiesenen Unterschiede absolut unerklärbar sein würden“. Er betrachtete nun [1] (75) ff., [1] (279) ohne Okular die Öffnungsbilder in der Nähe der oberen Brennebene des Objektivs (mit freiem Auge oder schwachem Hilfsmikroskop). Bei regelmäßigem Gefüge erscheint ein Hauptmaximum in der Richtung des Beleuchtungsbündels, dies ist umgeben von einer Anzahl Beugungsspektren. Hat man z. B. ein waagrecht liegendes Gitter mit senkrechten Stäben und Zwischenräumen, so liegen die Beugungsspektren rechts und links vom Hauptmaximum. ABBE blendete nun einen Teil von ihnen ab, setzte das Okular wieder auf und beobachtete die Wirkung auf das Bild des Gegenstandes. Es verschwanden alle Einzelheiten, wenn nur das Hauptmaximum durchgelassen wurde, andererseits konnte durch passende Ablendung von Zwischenmaximis ein Gefüge vorgetäuscht werden, das im Gegenstande gar nicht vorhanden war. Eine genauere Darstellung findet man in jedem einschlägigen Lehrbuch. ABBE gibt [1] (82) das Ergebnis dahin an, „daß verschiedene Strukturen stets das nämliche Bild liefern, sobald die Verschiedenheit des . . . Beugungseffekts . . . künstlich beseitigt wird“, daß also das Bild nicht in festem Zusammenhang mit dem Gegenstande, sondern nur mit dem die Abbildung vermittelnden Beugungsvorgange stehe. Wenn außer dem Hauptmaximum noch ein Seitenmaximum mitwirkt, so entsteht ein (wenigstens roh ähnliches) Bild; daraus erklärt sich der Vorteil der schiefen Beleuchtung. Als Grenze für die Auflösung eines Gitters ergibt sich [1] (87):

$$e \geq \lambda / \sin \sigma = \lambda_0 / n \sin \sigma \text{ (senkrechte Beleuchtung);}$$

$$e \geq \lambda / 2 \sin \sigma = \lambda_0 / 2 n \sin \sigma \text{ (ganz schiefe Beleuchtung).}$$

Hier ist e der kleinste Wert, den die Gitterkonstante (die Stabbreite + der Lückenbreite) noch haben darf, wenn das Gitter auflösbar sein soll; λ ist die Wellenlänge im dingseitigen Mittel (der Einfachheit halber einfarbiges Licht vorausgesetzt), n die Brechzahl des dingseitigen Mittels, λ_0 die Wellenlänge in Luft, 2σ der dingseitige Öffnungswinkel. Es kommt also nicht auf 2σ , sondern auf die Größe $n \sin \sigma$ an, ABBE hat sie später numerische Apertur (Öffnungszahl) genannt. Die Vorrichtung zu ihrer Bestimmung (das Apertometer) hat ABBE seit 1870 benutzt, in den Handel gebracht wurde es 1877 [13] (22/3). Bei anderem regelmäßigem Gefüge ist die Grenze für e nicht ganz dieselbe, wie bei einem Gitter, aber nur wenig verschieden, wie z. B. Lord RAYLEIGH an einigen Beispielen gezeigt hat [9] (509). ABBE selbst hat in seinen Vorlesungen [11] eine ganz allgemeine mathematische Darstellung gegeben¹ und gezeigt, daß auch für

¹ Die Vorlesung ist nach einer Niederschrift von 1887/8 veröffentlicht worden. Ich habe sie 11 Jahre später gehört. ABBE suchte damals zu zeigen, wie man mit einem Mindestmaß von theoretischen Vorstellungen auskomme; in der Veröffentlichung tritt dies weniger hervor.

unregelmäßig gestaltete Gegenstände das nämliche gilt. Seine Schlüsse auf die Grenze der mikroskopischen Abbildung, auf die Beziehung zwischen Öffnungszahl und nutzbarer Vergrößerung, auf die Vorteile der Beobachtung mit kurzen Wellenlängen sind bekannt. Er hat seine Auffassung noch mehrfach auseinandergesetzt, fortgebildet, gegen Angriffe und Mißverständnisse verteidigt; namentlich auch z. B. [1] (375ff.) gegen die Folgerung, man solle vornehmlich Objektive mit großer Öffnungszahl anfertigen. ABBE verweist darauf, daß für Untersuchungen, bei denen es nicht auf die feinsten Einzelheiten ankommt, Objektive kleiner Öffnungszahl wegen der möglichen besseren Fehlerhebung ihre große Bedeutung haben. In der Zeit des Elektronenmikroskops sei auf [1] (152) oben verwiesen.

Nicht eigentlich ABBES Schlüsse, aber seine Darstellung trifft der Einwand, daß der von ihm behauptete Unterschied in der Abbildung von Selbstleuchtern und Nichtselbstleuchtern praktisch wenig Bedeutung habe [9] (512/5). — Ich verweise hier nur darauf, daß die Beobachtung mit großer, womöglich voller Beleuchtungsapertur, auf die sich dieser Einwand besonders stützt, erst in der Zwischenzeit an Bedeutung gewachsen ist; ohne ABBES Verbesserung der Mikroskope wäre das aber, wie schon der erste große Vertreter dieses Verfahrens, R. KOCH, bemerkt hat, kaum möglich gewesen s. [1] (185).

2. ABBE hat die einzelnen Abbildungsfehler nach ihrer Bedeutung untersucht [1] (56/9). Hierüber wird noch zu reden sein (s. Nr. 5). Schon hier muß aber auf die Entdeckung der Sinusbedingung hingewiesen werden. Ohne ihre Erfüllung konnte auch die scharfe Abbildung eines Achsenpunktes nicht helfen, da ein noch so winziges Gebiet um die Achse mit Abweichungen wiedergegeben wird, die einmal mit seiner eigenen Größe, außerdem aber mit einer höheren Potenz der Öffnungszahl wachsen. Der Bedingung möglichst zu genügen, ist schon beim Fernrohrobjektiv wünschenswert, beim Mikroskopobjektiv mit großer Öffnungszahl aber unbedingt notwendig, da sonst ein kleines Flächenstückchen mit Abweichungen abgebildet wird, die von seiner eigenen Größenordnung sind (d. h. es wird überhaupt nicht wirklich abgebildet). ABBE hat später durch eine sinnreiche Vorrichtung [1] (224/5) festgestellt, daß die präbelsenden Optiker die Bedingung erfüllt hatten, ohne sie zu kennen und daraus geschlossen, daß der Rechenmeister sie bewußt erfüllen müsse, um es ihnen auch nur gleichzutun. Unter Anführung von ABBES eigenen Äußerungen zeigt M. v. ROHR, daß der Grund für den anfänglichen Mißerfolg und den späteren Erfolg der Rechnungen ABBES nicht nur in der Behandlung der Beugung, sondern auch hier zu suchen ist; [15] (34/5), s. auch [13] (24/5), [14] (163, 168)¹.

¹ Von den Fehlern eines größeren Gesichtsfeldes hat ABBE den Farbenfehler (Vergrößerungsunterschied) besprochen und durch die Kompensationsokulare erfolgreich bekämpft. Den Zwickelfehler (Astigmatismus) und die Verzeichnung beim Mikroskop hat er nicht behandelt,

3. ABBE hat die geometrische Theorie des Mikroskops dadurch gefördert, daß er das Objektiv in eine (den Gegenstand ins Unendliche abbildende) Lupe und ein schwaches Fernrohrobjektiv zerlegt dachte [1] (54/6). So erscheint das Mikroskop in der Zusammensetzung Lupe + Fernrohr statt Objektive + Okular. Er konnte, von dieser Darstellung ausgehend, manche Frage schärfer stellen und vor manchen Irrwegen warnen [1] (58/65). Seltsam genug, daß heute manche Mikroskope, z. B. Metallmikroskope wirklich so angelegt werden, wie ABBE nur gedacht hat.

4. ABBE hat das Prüfungsverfahren unter Berücksichtigung der Zwischenfehler entwickelt. Insbesondere hat er gezeigt, daß man kein einwandfreies Ergebnis erhält, wenn man bloß die feinsten Einzelheiten feststellt, die ein Objektiv auflöst. Dagegen hat er das Verfahren des „empfindlichen Strahlenganges“ ausgearbeitet.

5. ABBE hat eine Menge Einzelarbeit erledigt, gemessen, gerechnet, geprüft. Z. B. hat er damals alle Rechnungen selbst ausgeführt; ein Beispiel dafür, daß das fast sprichwörtliche Ungeschick der Mathematiker im Zahlenrechnen gerade bei den Größten des Fachs auch Ausnahmen hat.

ABBE konnte nun [1] (46/7) schreiben:

„Seit einiger Zeit werden in der genannten Werkstatt Mikroskopsysteme, die einigermaßen auf der Höhe der dermaligen Leistungen stehen dürften, vom schwächsten bis zum stärksten, durchaus nach theoretischen Vorschriften ausgeführt.“ Geschäftlich war das erste Ergebnis, daß ABBES Anteil am Reingewinn (für die verschiedenen Objektive zwischen 5 und 20%) im Geschäftsjahr 1871/72 schon 800 Taler betrug [13] (34), [15] (35). ABBE war aber mit seiner Leistung nicht so zufrieden, wie man vielleicht denken könnte. Die Objektive standen zwar „auf der Höhe der dermaligen Leistungen“, aber die Untersuchung der Fehler hatte ihn zu der Überzeugung gebracht, es müsse Besseres möglich sein; und bald konnte er auch (S. 57) feststellen, daß er recht hatte. Es blieben nämlich drei Arten Abweichungen höherer Ordnung übrig, und zwar schon für Dingpunkte in der Achse.

a) Die Restfarben (das sekundäre Spektrum). Fällt das durch ein enges Bündel erzeugte Bild eines Gegenstandes für zwei Farben (genauer zwei FRAUNHOFERSche Linien) zusammen, so nicht für alle Farben. Es rührt dies von dem ungleichmäßigen Gange der Farbenzerstreuung in den verschiedenen Glasarten her; schon FRAUNHOFER hat sich um die Verbesserung dieses Fehlers bei Fernrohrobjektiven bemüht.

b) Die Zwischenfehler (Zonen). Bei einem weiten Bündel kann man wohl erreichen, daß der

beide Fehler sind aber bei seinen Objektiven gering. Nach 1900 hat ABBE [13] (112) Untersuchungen veranlaßt, wie man die Wölbung des Bildfeldes bekämpfen könne; bei schwachen Objektiven haben sie auch Erfolg gehabt. Je mehr Bedeutung die Mikrophotographie bekommen hat, um so mehr muß man auch bei stärkeren Objektiven auf diesen Fehler Rücksicht nehmen.

Öffnungsfehler (die sphärische Abweichung) für eine gewisse Öffnung gehoben ist; d. h. daß ein Strahl, der in der Nähe des Randes einfällt, die Achse eben dort schneidet, wie ein achsennaher Strahl, dann aber schneidet ein Zwischenstrahl sie im allgemeinen näher am Objektiv (der Öffnungsfehler ist für ihn unterbessert).

c) Der Farbenunterschied des Öffnungsfehlers. Ist der Öffnungsfehler für eine mittlere Farbe,

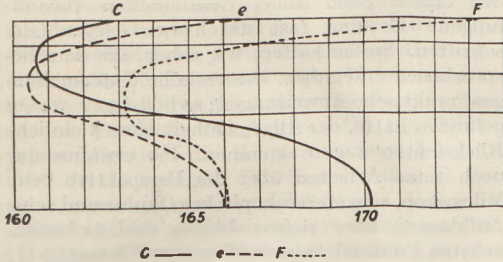


Fig. 1. Farben- und Öffnungsfehler für den alten Achromat *D* (Brennweite 4,1 mm, Öffnungszahl 0,65). Die Abweichung ist gerechnet für die rote Wasserstofflinie *C* ($\lambda = 656,28 \text{ m}\mu$), die grüne Quecksilberlinie *e* ($\lambda = 546,07 \text{ m}\mu$), die blaue Wasserstofflinie *F* ($\lambda = 486,13 \text{ m}\mu$). Die Abszissen bezeichnen die Schnittweiten der Strahlen mit der Achse, von der letzten Fläche des Objektivs ausgehend (in Millimetern), die Ordinaten sind die Höhen an der letzten Fläche, sie sind den Sinus der dingseitigen Öffnungswinkel nahezu proportional. Die waagerechten Striche entsprechen den Strahlen, für die gerechnet worden ist, die zugehörigen Ordinaten sind 0; 1,3; 1,9; 2,3; 2,7 mm. Man erkennt, daß die Achsenbildpunkte für *e* und *F* zusammenfallen, die Schnittweite für *C* ist länger. Bei allen Farben wird die Schnittweite bei kleinen Öffnungswinkeln kürzer (Unterbesserung), bei größeren länger (Überbesserung). Für *e* fallen Rand und Mitte nahezu zusammen (möglichst gute Hebung des Öffnungsfehlers), *C* ist unter-, *F* überbessert. — Für die violette Wasserstofflinie *G* ($\lambda = 434,05 \text{ m}\mu$) stimmt die Schnittweite achsennaher Strahlen nahezu mit der für *C* überein, die Überbesserung des Öffnungsfehlers ist noch größer als für *F*.

etwa grünes Licht gehoben, so ist er im allgemeinen für rotes Licht unter-, für blaues überbessert. Fig. 1 zeigt diese Verhältnisse an einem guten Objektiv.

ABBE fand [1] (56/7), daß beim Mikroskopobjektiv der letztgenannte Fehler am meisten störe. Zu seiner Beseitigung konnte [1] (200ff.) eine Kittfläche dienen, die auf den Öffnungsfehler wie eine zerstreue, auf den Farbenfehler wie eine sammelnde Fläche (oder überhaupt nicht) wirkte. Hierzu brauchte er zwei Glasarten, von denen die stärker brechende die geringere Farbenzerstreuung hatte. Solche Glasarten stellten aber die Fabrikanten optischen Glases — es kamen nur CHANCE in Birmingham und CH. FEIL in Paris in Betracht — nicht her. Dagegen haben einige stark zerstreue Flüssigkeiten niedrige Brechzahlen. ABBE berechnete 1873 und 1876 zwei Objektive (Polyobjektive) mit Flüssigkeitlinse [1] (201), und C. ZEISS bewies wieder den Weitblick, diese Versuche ausführen zu lassen, obwohl an einen Verkauf nicht zu denken war. Rechnung und Ausführung zeigten den erwarteten Erfolg. Ich habe kürzlich [7] den ersten Versuch nach Skizzen und Heften ABBES behandelt, vgl. auch [15] (57/67), dieser Darstellung ist die Fig. 2 entnommen.

1876 reiste ABBE [14] (171ff.), [15] (88/9) im Auftrage der preussischen Regierung zur internationalen Leih-Ausstellung wissenschaftlicher Apparate nach London. Über die Hilfsmittel der Mikroskopie hat er ausführlich berichtet [1] (119/64). Die besten englischen Mikroskope litten unter demselben Mangel wie die deutschen. ABBE verwies [1] (131) darauf, daß in den letzten beiden Jahrzehnten im Vergleich zu früheren Zeiten nur geringe Fortschritte erzielt seien, gab, offenbar in Berücksichtigung seiner Erfahrungen bei den Polyobjektiven eine Darstellung der wichtigsten Aufgaben und besprach zum Schluß seines Berichtes die Wünsche an die Glasindustrie [1] (159/64).

Bald darauf wurde ABBE durch J. W. STEPHENSON veranlaßt, sich mit dem Gedanken der homogenen Immersion zu befassen. Statt des Wassertropfens (S. 54) wird der Tropfen einer Flüssigkeit benutzt, deren Brechzahl nahezu gleich der des Kronglases ist, aus welchem das Deckglas und die unterste Linse (Frontlinse) des Mikroskops hergestellt werden. AMICI u. a. hatten schon versucht,

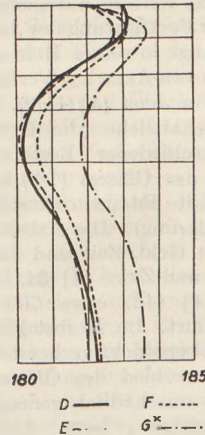


Fig. 2. Farben- und Öffnungsfehler für das ABBESche Polyobjektiv von 1873 (Brennweite 6,3 mm, Öffnungszahl 0,83). Es sind etwas andere Farben benutzt worden; die gelbe Natriumlinie *D* ($\lambda = 589,29 \text{ m}\mu$), die grüne Eisenlinie *E* ($\lambda = 526,95 \text{ m}\mu$), die Linie *F*, die violette Eisenlinie *G* ($\lambda = 432,58 \text{ m}\mu$). Die Höhen sind sowohl infolge der größeren Brennweite als auch der größeren Öffnungszahl größer als in Fig. 1; die waagerechten Linien entsprechen 0; 2,9; 3,5; 4,1; 4,6; 5,1 mm. Man erkennt, daß die Schnittweite mit wachsendem Öffnungswinkel erst ab-, dann zu-, dann wieder abnimmt, daß diese Zwischenfehler viel geringer sind als bei Fig. 1 und namentlich, daß der Verlauf für die verschiedenen Farben nahezu derselbe ist.

das Wasser durch eine andere Flüssigkeit zu ersetzen, aber ohne dauernden Erfolg. Nach mühevollen Suchen fand ABBE, daß das Zedernholzöl geeignet ist; im Januar 1879 konnte er über eine Reihe von Objektiven berichten, die den Wasserimmersionen überlegen waren [1] (181/95), das erste war [14] (173) Ende 1877 fertig geworden.

Diese Rechnungen veranlaßten ihn [1] (203ff.), wieder an die alte Aufgabe zu gehen, und er konnte ein Mittel angeben, den bekämpften Fehler mit alten Glasarten zu heben (Objektiv aus zwei weit voneinander getrennten Gliedern; bei einem Gliede sind Farben- und Öffnungsfehler unter-, beim

andern überbessert). Anscheinend hat er [1] (452) aus äußeren Gründen keine praktisch brauchbare Form erhalten. Das angegebene Mittel ist aber bei den Apochromaten auch angewandt worden.

Seit 1875 war ABBE stiller Teilhaber der Werkstätte. Dritter Teilhaber war seit 1879 der ältere Sohn von C. ZEISS, RODERICH. Seine Verdienste um das Werk — ABBE hat sie stets anerkannt — liegen sowohl auf wissenschaftlich-technischem Gebiete [Mikrophotographie [13] (84/7)] wie auf dem der notwendigen Umstellung des bis dahin noch teilweise handwerksmäßigen Betriebes [15] (91) (die Arbeiterzahl war 1878 auf etwa 50 gestiegen). Wegen der Abmachungen mit ZEISS lehnte ABBE 1878 einen Ruf nach Berlin, sowie eine ordentliche Professur in Jena ab, er wurde darauf zum Honorarprofessor ernannt.

1879 wandte sich der junge Glastechniker O. SCHOTT¹ an ABBE. Er hatte Versuche ausgeführt, neue Stoffe in die Glasflüsse einzuführen, und erwartete von ABBE, dessen Londoner Bericht er gelesen hatte, weitere Anregungen. ABBE veranlaßte ihn zur Fortführung der Arbeiten, SCHOTT schmelzte anfangs in seiner Heimatstadt Witten, später in einem von ABBE zur Verfügung gestellten Laboratorium in Jena [4] (11/2). Die Aufgaben waren wissenschaftliche (die Untersuchung des Einflusses verschiedener Bestandteile auf die Eigenschaften des Glases) (7/9) und praktische (besonders die alte FRAUNHOFERSche und die neue ABBESche Forderung). Die Arbeiten erforderten große Opfer an Geld, Zeit und Arbeitskraft von ABBE, SCHOTT und ZEISS [4] (34, 51/2). Bis Ende 1883 waren [4] (42) etwa 700 Probeschmelzungen ausgeführt. Im Herbst 1883 konnte man einzelne Mikroskopobjektive herstellen, bei denen der Farbenunterschied des Öffnungsfehlers und die Restfarben unschädlich gemacht waren: um diese zu beseitigen, hatte ABBE außer den neuen Glasarten auch Flußspat eingeführt [4] (45/6), [15] (219). Man mußte nun die technische Verwertung einleiten; ABBE, SCHOTT und beide ZEISS gründeten die „Glotechnische Versuchsanstalt“, aus der die Glashütte entstand. ABBE fiel [4] (VI) die Aufgabe zu, „sich speziell der auf die Fabrikation Bezug habenden wissenschaftlichen Aufgaben nach der optischen Richtung anzunehmen“. Es ist bekannt, daß der preußische Staat eine Beihilfe von 60 000 Mark gab. Die Akten hat M. v. ROHR 1928 veröffentlicht [4]. Man erkennt den Anteil der einzelnen, insbesondere ABBES. Man sieht aber auch, wie mehrere Industrielle den Vorteil eines solchen Unternehmens auch für andere Zwecke, optischer und sonstiger Art, einsahen und es nach Kräften förderten. Unter den preußischen Beamten ist es namentlich W. WEHRENFENNIG, der durch eine verständnisvolle Aufnahme des Beihilfesuches den Weg freimachte. — 1886 erschien das erste Glasverzeichnis der Hütte [2] (194/205); im nämlichen Jahre kam die neue Reihe der Objektive, die Apochromate, in den Handel [1] (450/72), [12].

¹ Vgl. diese Zeitschr. 49, 40 (1936).

Die Glashütte hat von vornherein auch gewöhnliches Kron- und Flintglas hergestellt, sie hat nicht nur an das Zeisswerk, sondern an alle Betriebe geliefert, und so die optische Industrie von der Vormachtstellung zweier Firmen, Deutschland von einer lästigen Abhängigkeit vom Auslande befreit.

ABBES Schriften über das Mikroskop — aus einem Zeitraum von reichlich 20 Jahren — bilden den ersten Band seiner Gesammelten Abhandlungen. Es sind fast durchweg Gelegenheitschriften. Sie enthalten, wie schon aus dem Besprochenen erkennbar, theoretische Untersuchungen, praktische Anweisungen; so ließ ABBE, was er gefunden hatte, der Allgemeinheit ohne kleinliche Rücksichten zugute kommen. Ich erwähne nur noch seine Arbeiten über die Perspektive beim Mikroskop, sein stereoskopisches Okular und seine Aufklärung über tiefenrichtigen und tiefenverkehrten Eindruck beim beidäugigen Mikroskop [1] (244/72, 313/24, 436/44), sowie seinen Vortrag über mikrometrische Messung optischer Bilder [1] (165/72).

CARL ZEISS starb am 3. Dezember 1888. Zwischen ABBE und R. ZEISS entstanden bald „Unstimmigkeiten, . . . die namentlich in der Richtung der von ERNST ABBE vertretenen größeren Expansionsbestrebungen und sozialen Anschauungen lagen“ [M. FISCHER [13] (89)]. Nach längeren Verhandlungen schied R. ZEISS gegen Zahlung seines Geschäftsanteils aus, ABBE entäußerte sich seines Besitzes an der Werkstätte und am Glaswerk zugunsten der CARL-ZEISS-Stiftung¹. Es ist äußerst lohnend, die Einzelheiten dieses Vorganges in den ausführlichen Darstellungen [5], [14], [15] nachzulesen; M. v. ROHR hat auch hier bisher unbekannte Akten verwerten können. ABBE war nun einer der drei Geschäftsleiter des Werks; seine Hauptleistung war, obwohl er immer noch zu der Arbeit an den Mikroskopen zurückkehrte, eine doppelte: der Ausbau des Werks und sozialpolitische Betätigung.

Wie zu der alten Mikroabteilung eine Abteilung nach der andern entstand, ein Instrument nach dem andern in Angriff genommen wurde, muß man auch [14], [15] nachlesen. Überall gibt ABBE die Anregung, er liefert dem Leiter der Abteilung das theoretische Rüstzeug und greift in schwierigen Fällen immer wieder ein. Die bekannteste Leistung des Zeisswerks in den neunziger Jahren, das Prismenfernrohr, hat ABBE im optischen Teile freilich wiedererfunden, aber durch die Art, wie er es als beidäugiges Instrument ausgebildet hat, wurde es erst lebensfähig. In seinen letzten Jahren ist ABBE bestrebt gewesen, die regelmäßige Anfertigung und Benutzung unkugliger Flächen zu ermöglichen; er hat nur die ersten Erfolge erlebt, aber allmählich erweitert sich ihre Verwertung.

¹ M. v. ROHR weist die Auffassung zurück, ABBE habe diesen Namen nur gewählt, um sich nicht selbst zu nennen. Mit der Hochschätzung ABBES für seinen Partner und Freund ist sie unvereinbar [14] (333).

ABBE hat die Theorie besonders in seinen Vorlesungen gefördert; erhalten ist uns der Inhalt der Strahlenoptik betreffenden durch seinen Schüler S. CZAPSKI. Nach dessen Zusammenfassung [8] (III/IV) handelt es sich (abgesehen von der Beugungslehre) um dreierlei, 1. die Gründung der Lehre von den optischen Bildern (der GAUSSischen Abbildung ohne Berücksichtigung der Abweichungen) auf die rein geometrischen Gesetze der kollinearen Abbildung; 2. die Behandlung der Strahlenbegrenzung. Hier hat ABBE selbst einzelnes veröffentlicht, so die Arbeit über die Lichtstärke optischer Instrumente [1] (14/44). Andere Arbeiten gingen vom Mikroskop aus, sie sind schon teilweise erwähnt. Der Vortrag [1] (165/72) bespricht allgemein die Bedeutung des telezentrischen Strahlenganges. Die Begriffe und die Zeichnungen „Eintrittspupille“ und „Austrittspupille“ sind in den Vorlesungen verwandt worden. Auf dieser Grundlage haben die Schüler ABBES, insbesondere M. v. ROHR gebaut; heute ist die Strahlenbegrenzung ein wichtiger Teil jedes Lehrbuchs; 3. die Lehre von den Abweichungen, nämlich deren Behandlung mit Invarianten. — In den beiden Handbüchern der Physik (WIEN-HARMS und GEIGER-SCHEEL) sind fast alle Abschnitte über Strahlenoptik und ihre Anwendung von Angehörigen des Zeisswerks, also unmittelbaren oder mittelbaren Schülern ABBES geschrieben worden.

Die Entdeckung der Sinusbedingung als eines Satzes, der von der bloßen Verfolgung der von einem Punkte ausgehenden Strahlen auf die Abbildung eines kleinen Gebiets schließen läßt, ist eine wichtige Anregung für die Theorie gewesen. HELMHOLTZ hat die Bedingung freilich 1874 unabhängig von ABBE aus energetischen Betrachtungen abgeleitet. In den folgenden Jahrzehnten ist sie immer wieder im Zusammenhange mit den verschiedensten Grundtatsachen behandelt und in mehrfacher Weise verallgemeinert worden, eine Arbeit, die wohl noch nicht zu Ende geführt ist.

ABBE las [s. die Verzeichnisse [14] (161/3, 254/6)] über reine Mathematik, theoretische und Experimentalphysik. Später hat er sich mehr und mehr auf Optik und optische Instrumente beschränkt. 1885 verzichtete er — das Schriftstück [14] (257/62) läßt in seiner Begründung eine Gewissenhaftigkeit erkennen, wie sie selten vorkommen dürfte — auf sein Gehalt als Hochschullehrer. Er setzte seine Vorlesungen noch fort, doch von 1890 ab war es ihm durch seine sonstigen Verpflichtungen nicht mehr möglich, regelmäßig zu lesen. Es war ihm schmerzlich, in späteren Jahren nicht mehr in dieser Weise für die Hochschule tätig zu sein, er ist es in anderer Art gewesen: Schon 1886 hat er den „Ministerialfonds“ zu ihrer Unterstützung [14] (298) gegründet, und dann sind die Erträge der Carl-Zeiss-Stiftung zu seinen Lebzeiten und nach seinem Tode geflossen, ein Neubau nach dem anderen ist aus diesen Mitteln entstanden, später (1908) auch die neue Hochschule. Zur Zeit meines Studiums (um 1895) wurde noch über die mißliche Lage der Universität geklagt, selbst ihre Aufhebung befürchtet; die Carl-Zeiss-Stiftung hat diese Gefahren beseitigt.

1876 wurde die Stelle des Direktors der Jenaer Sternwarte frei. Diese Sternwarte war in einem Zustande, daß an eine wissenschaftliche Forschung nicht zu denken war; man schlug vor sie aufzuheben. ABBE trat entschieden für das Fortbestehen ein [5] (166/9), [15] (103/4); wenn auch die Astronomie in Jena nicht um ihrer selbst willen gepflegt werden könne, sei sie als Hilfswissenschaft zur Ausbildung der Studenten nicht zu entbehren. Er übernahm selbst die Direktorstelle. Das Gehalt von 900 Mark verwandte er zur Zahlung einer Hilfskraft und bat sich auch 1885 (s. oben) aus, daß er es weiter so benutzen könne. Aus dem „Ministerialfonds“ ist eine neue Sternwarte gebaut worden, und dann hat ABBE auch dafür gesorgt, daß eine Lehrkraft für das Fach nach Jena kam. Aber noch drei Sommer nach 1890 hat er als einzige Vorlesung [14] (255/6) „astronomische Übungen auf der Sternwarte“ angekündigt.

Wie hoch ABBE die Lehrtätigkeit schätzte, zeigen die Worte [2] (342/6), die er 1900 am Sarge seines früheren Lehrers und späteren Kollegen H. SCHÄFFER gesprochen hat, der „von den beiden Aufgaben, die der Beruf des Hochschullehrers umfaßt: Mitarbeit zum Fortbau der Wissenschaft selbst, zur Erweiterung der wissenschaftlichen Erkenntnis einerseits — und Überlieferung des jeweiligen Besitzes der Wissenschaft an das jüngere Geschlecht und dessen Vorbereitung zur späteren eigenen Mitarbeit andererseits — . . . die letztere, bescheidenere gewählt“ hatte [2] (345). ABBE konnte hier aber auch zeigen, wie er rein menschliche Eigenschaften zu würdigen wußte¹.

Daß ABBEN auch die Verbreitung von Kenntnissen in weiteren Kreisen am Herzen lag, dafür mag eine der ersten Einrichtungen der Carl-Zeiss-Stiftung als Beweis dienen, die Lesehalle mit öffentlicher Büchersammlung, zu denen wenige Jahre später das Volkshaus gebaut wurde, eine der ältesten und schönsten Einrichtungen dieser Art in Deutschland. — Über einen nicht zur Ausführung gekommenen Plan, für die Ausbildung begabter unbemittelter Schüler zu sorgen, vgl. man [15] (166/8).

Ich kann nicht mehr viel über ABBES größte Tat sagen, daß er sein gesetzmäßiges Eigentum nicht einfach als sein Recht ansah und ruhig behielt, sondern fortgab, für die Allgemeinheit und für die Angehörigen des Werks. Wer seine Veröffentlichungen, seine Vorträge und die jetzt bekannt

¹ Für Leser, die von SCHÄFFER nicht viel gehört haben, bemerke ich, daß er zu einer Zeit, wo es Seminare und Praktika wenigstens in Jena kaum gab, durch das Physikalische Kabinett, sowie die Gründung der Mathematischen Gesellschaft die Studenten zur persönlichen Mitarbeit zu erziehen wußte. ABBE hat in der Gesellschaft wiederholt Vorträge gehalten, und zwar noch als Dozent [5] (64, 121). — Als seine Hauptaufgabe sah SCHÄFFER die Ausbildung der Lehrer an den höheren Schulen an. Vgl. das in dieser Zeitschr. 15, 307 (1902) besprochene Buch von H. BOHN, Physikalische Apparate und Versuche einfacher Art aus dem Schäffermuseum. Berlin 1902.

gewordenen Akten liest, wird erkennen, daß ihn gar nicht der Wille zur Wohltätigkeit leitete, auch nicht nur Gleichgültigkeit gegen den Besitz, sondern innere Überzeugung. Schon bei der ersten größeren Auszahlung von ZEISS (S. 56) waren ihm Bedenken gekommen. Nach seinem eigenen Zeugnis [15] (160) ist er als Arbeitersohn, durch seine Kindheitserlebnisse beeinflusst worden. Er hat aber alle Einzelheiten durchdacht, selbst die Rechtsfragen (wobei die Mithilfe seiner Berater nicht vergessen werden darf)¹. Wenn ABBE im Zeisswerk den festen Zeitlohn, die Gewinnteilnahme, die Abgangentschädigung, den Achtstundentag, den Arbeiterausschuß einführt, so ist dies in jedem Falle das Ergebnis einer wissenschaftlichen Überlegung und immer ist er auch bestrebt, ändern seine Überzeugung deutlich zu machen.

Es ist aber nicht dasselbe, ob man eine theoretische Überzeugung hat, oder ob man ihr folgt, wo der eigene Vorteil dagegen spricht. Jedoch ABBE war [15] (210) „den auf die meisten wirkenden Lockungen von Geld, Stellung, Ruhm oder Auszeichnungen überhaupt nicht zugänglich“. So hat sich denn keiner seiner Persönlichkeit entziehen können; M. v. ROHR, den Herkunft und Vorbildung zu ganz anderen Auffassungen gebracht hatten, ist ein beredter Zeuge dafür. Er führt noch andere Beispiele an, so W. WEHRENFENNIG, den älteren preußischen Beamten, an den ABBE als Bittender oder Fordernder herantrat, der ihm nicht nur die Wege ebnete, sondern auch lebenslanglich sein Freund blieb.

ABBE war seit 1871 mit der Tochter seines früheren Lehrers, des Prof. SNELL verheiratet. Man mag [5] (346ff.) nachlesen, wie diese Frau sich ihres Mannes in jeder Weise würdig erwies².

¹ Ähnlich hat ABBE sich auch 1890 Einsicht in den kaufmännischen Betrieb verschafft [13] (90).

² Persönlich bemerke ich, daß ich ABBEN, von jenem Vorlesungsbesuch S. 55 abgesehen, nicht gekannt habe, auch erst 3 Jahre nach seinem Tode ins Zeisswerk eingetreten bin. Meine Mutter hat mit Frau ABBE gelegentlich in Wohlfahrtsangelegenheiten zusammengearbeitet.

ABBE ist nicht ganz 65 Jahre alt gestorben, die Überanstrengung für sein Werk hat ihn getötet. Schon während der Rechnung für die Achromate, 1885/6, erlebte er einen Nervenzusammenbruch [15] (147). Er hat sich wieder erholt und noch über anderthalb Jahrzehnte die Riesenarbeit geleistet, freilich nicht ohne Anwendung künstlicher Mittel. Seine letzte Lebenszeit war traurig. 1903 hat er seine Stellung in der Geschäftsleitung niedergelegt und am 14. Januar 1905 ist er verschieden.

Quellenverzeichnis.

- 1.—4. E. ABBE: Gesammelte Abhandlungen, Bd. 1 bis 4. Jena: Gustav Fischer 1904—1928. — 5. F. AUERBACH: ERNST ABBE, sein Leben, sein Wirken, seine Persönlichkeit nach den Quellen und aus eigener Erfahrung geschildert, Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft 1918. XV, 512 S. Bildn. 115 + (zweite, gekürzte Auflage 1922). — 6. H. BORGEHOLD: Zur Vorgeschichte der ABBESchen Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung. Zentr.-Ztg. Opt. Mech. 45, 141/2 (1924). — 7. H. BORGEHOLD: Die Glasmessungen ABBES und sein erstes Polyobjektiv. Forsch. Gesch. Opt. 3, 1/15, 14 + (Sept. 1939). — 8. S. CZAPSKI u. O. EPPENSTEIN: Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente, 3. Aufl. (H. ERFLE† und H. BORGEHOLD). Leipzig: Joh. Ambr. Barth 1924, XX, 747 S. 316 +. — 9. Handbuch der Physik (H. GEIGER u. K. SCHEEL), Bd. XVIII, Geometrische Optik. Optische Konstante. Optische Instrumente (H. KONEN). Berlin: Julius Springer 1927. XX, 865 S., 688 +. — 10. JACQUIN, J. Frhr. v.: Bemerkungen über Mikroskope und ihren Gebrauch für Naturforscher, Baumgartners u. v. Ettingshausens Z. Phys. Math. 5, 129/60 (1829). — 11. O. LUMMER u. F. REICHE: Die Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop von ERNST ABBE. Braunschweig: F. Vieweg u. Sohn 1910, XII, 108 S. Bildn. 57 +. 12. M. v. ROHR: ERNST ABBES Achromate. Zur 50. Wiederkehr ihrer ersten Bekanntmachung am 9. Juli 1886. Jena: C. Zeiss (Leipzig: F. Volekmar) 1936. 24 + 24 + 14 S. — 13. M. v. ROHR: (mit Beiträgen von MAX FISCHER und AUGUST KÖHLER): Zur Geschichte der Zeissischen Werkstätte bis zum Tode ERNST ABBES. 2. verb. Abdr. Forsch. Gesch. Opt., 2. Bd. Juli 1936, 1/119, 55 +. 4 Anlagen. (S. A. mit Namenweiser S. 119/28.). — 14. M. v. ROHR: Die Arbeitsgemeinschaft von CARL ZEISS und ERNST ABBE bis zum Ende der siebziger Jahre. — Über den Ausgang der Arbeitsgemeinschaft von CARL ZEISS und ERNST ABBE. — ERNST ABBE als Leiter der Werkstätte bis zu seinem Tode. Forsch. Gesch. Opt., 2. Bd. Jan. 1937 bis Dez. 1938. 160/76, 253/92, 295/350. 15 +. — 15. M. v. ROHR: ERNST ABBE. Jena: Gustav Fischer 1940. XXIV, 234 S. 29 + 17 Tfln.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Physik für technische Lehranstalten. Von H. SCHMIEDEL und J. SÜSS. 279 Seiten mit 496 Abbildungen. Leipzig: Julius Klinkhardt 1938. Preis: kart. RM 4,80, geb. RM 5,60.

Das Buch stammt von vier Verfassern, die ihre Erfahrungen im Unterricht an technischen Lehranstalten zugrunde gelegt haben. Die Mechanik, Wellenlehre und Wetterkunde hat J. Süss bearbeitet, die Elektrizitätslehre und Strömungslehre H. SCHMIEDEL, die Wärmelehre R. FABIAN, die Optik E. KRAUSE. Die Verfasser wollen den Schülern der gewerblichen und technischen Lehranstalten eine Hilfe geben, durch die sie dem Physikunterricht besser folgen können. Auch an

die Studierenden der Ingenieurschulen ist dabei gedacht.

Die Verfasser haben eine große Fülle Stoff in klarer, übersichtlicher Darstellung bewältigt. Entsprechend der gestellten Aufgabe geben sie einen Überblick über die ganze Physik, behandeln aber mit besonderem Nachdruck solche Erscheinungen und Gesetze, die in der Technik Anwendung finden. Auch diese technischen Anwendungen werden kurz besprochen. Natürlich konnten die Verfasser nicht überall die physikalischen Gedankengänge in ihren Feinheiten entwickeln, sondern mußten manchmal etwas summarisch verfahren und die Ergebnisse mitteilen. Auch bei den Anwendungen

ist die Darstellung kurz gehalten, gelegentlich nach meiner Ansicht zu kurz. Ich glaube z. B. nicht, daß der Lernende die Darstellung des Kreuzfadenspyrometers auf Seite 97 genau verstehen wird, oder daß er sich nach Seite 170 klar machen kann, warum bei einer Drehung des Kopfes vom U-Bootssehrohr das Bild stürzt, und warum zur Korrektion ein Prisma mit halber Geschwindigkeit gedreht werden muß.

Auf Seite 21 wird bei der schiefen Ebene der Sinus des Steigungswinkels als Steigung definiert. Dazu ist folgendes zu sagen. In der Mathematik kommt man bei der Steigung einer Kurve zwangsläufig auf den Tangens durch die Bildung des Differentialquotienten. In den Büchern der darstellenden Geometrie wird dementsprechend bei der Steigung von Böschungen usw. regelmäßig der Tangens verwendet. Es ist sehr zu wünschen, daß alle Ausnahmen, in denen etwa der Sinus verwendet wird, verschwinden.

Noch ein paar Kleinigkeiten, die mir aufgefallen sind. Auf Seite 17 unten sind Zähler und Nenner zu vertauschen, und auf Seite 139 oben muß in der Formel für T der Buchstabe k statt h stehen; auf Seite 153 muß in der Formel für den Lichtstrom die Benennung Lumen (Lm) genommen werden. Auf Seite 157, Mitte, muß es heißen: „Fällt auf einen parabolisch gekrümmten Hohlspiegel ein Bündel achsenparalleler Strahlen“, und auf Seite 97 besser „Farbstoffe“ statt „Farben“. In der Fußnote zu Seite 53 wird bei den Magdeburger Halbkugeln eine Vorführung aus dem Jahre 1663 erwähnt. Das mag an sich richtig sein. Die erste Ausführung geschah aber in Magdeburg bereits 1656 und, mit Abänderungen, 1657. Schließlich noch dieses: Die jungen Techniker hören wohl sämtlich besondere Vorträge über Wärmekraftmaschinen. Vielleicht haben die Verfasser aus diesem Grunde die Kolbendampfmaschine, die Dampfturbine, den Otto- und den Dieselmotor ganz weggelassen. Man empfindet aber hier eine Lücke.

Die gemachten Ausstellungen betreffen durchweg nur Kleinigkeiten, die bei einer neuen Auflage leicht geändert werden können und den Wert der ganzen Arbeit kaum beeinträchtigen. Aus dem Buche kann jeder Physiklehrer Anregungen schöpfen, wie er seinen Unterricht mit Anwendungen auf die Technik verknüpfen kann. P. Henckel.

Technische Beispiele zur Mathematik aus dem Blickfeld des Schülers. Von S. FRÖHNER. 80 Aufgaben mit 55 Abbildungen und den durchgerechneten Lösungen. 49 Seiten. Karlsruhe-Leipzig: Boltze 1939. Preis RM 2,40.

Verfasser gibt als Material für den mathematischen Unterricht eine Sammlung von Aufgaben aus verschiedenen Gebieten: 1. Verkehrs- und andere Zeichen: Maße und Flächen; 2. Straßenbau und -verkehr: Maße, Krümmungen, Zugkräfte; 3. Reichsautobahn: Brücken, Stoffmengen; 4. Abflußkanäle: Sielquerschnitte, hydraulischer Radius; 5. Reichsbahn: Schienenmaße, Gleisbau;

6. Flugwesen: Maße von Flugzeugen, Wolkenhöhe, Nocken von Motoren; 7. Werkstoffe: Legierungen, elektrische Leitungen, Härteprüfung.

Aufgaben von sehr verschiedener Schwierigkeit (von Proportionen bis Integralrechnung) und sehr verschiedenem Werte: Abschnitt 1 könnte fehlen bzw. durch Aufgaben ersetzt werden, wo die Flächenberechnung einen praktischen Wert hat. Aus der Aufgabe über den Gleisübergangsbogen (5) könnte noch mehr herausgeholt werden, z. B. die Verlegung des Mittelpunktes des Anschlußkreises. In Abschnitt 4 müßte doch wohl etwas mehr über die Widerstandsformel und ihren Beiwert gesagt werden. Jedenfalls ist die Anschaffung für Lehrer und Lehrerbüchereien als Material zu empfehlen. Der Preis des Buches könnte im Interesse der Sache niedriger sein.

Grundsätzlich aber ist dazu zu sagen, daß alle solche Materialsammlungen, so verdienstvoll sie für die Belebung des mathematischen Unterrichts sind, nur Vorarbeiten für seine Reform sind. Es handelt sich ja nicht darum, dem Schüler, der die abstrakte Mathematik geschluckt hat, nachträglich zur Belohnung, als Nachtisch, ein paar Anwendungen zu bieten. Vielmehr muß umgekehrt die mathematische Fragestellung aus den Anwendungen herausgeholt werden. Man darf nicht vom Abstrakten ausgehen, sondern muß die Abstraktion vor dem Schüler vollziehen, muß zeigen, wie Geometrie und Trigonometrie aus dem Vermessungswesen, wie die Algebra aus dem Bedürfnis nach Umformung und Auflösung von Formeln entsteht, wie die analytische Geometrie erwächst aus dem Bedürfnis der Zeichnung von Kurven (Abschnitt 3: Brückenbogen; Abschnitt 5: Gleisbau)¹.

Bezeichnend für die psychologischen Hemmungen, die bei den Mathematikern vorliegen, ist der Satz aus dem Vorwort des Verfassers: es sei darauf zu achten, „daß die zum Verständnis des technischen Problems nötige Sacherklärung seinen mathematischen Gehalt nicht überwuchert“, ein Bedenken, das einem auch sonst häufig entgegengehalten wird. Sicherlich wird man von einfachen Sachverhalten ausgehen müssen, aber nie wird es dazu kommen, daß der mathematische Unterricht mit technischem Geiste durchdrungen wird, solange der Mathematiker die Sacherklärung als lästige Nebenarbeit empfindet. Sie ist vielmehr eine seiner eigentlichen Aufgaben und die Quelle aller mathematischen Fragestellungen. Eine große Arbeit in sachlicher, philosophischer und psychologischer Hinsicht: Ordnung des Stoffes, Durcharbeitung im einzelnen, ist noch zu leisten über die Bücher der besprochenen Art hinaus.

H. Blasius.

¹ Vgl. meine Aufsätze: „Erfahrungen aus dem Unterricht an technischen Schulen“; diese Zeitschr. 48, 182 (1935). — „Physikunterricht und Technik“; Techn. Erzieh. 1935; Nr. 8, S. 89. — „Die Mathematik der höheren Schule als Grundlage der Ingenieurausbildung.“ Techn. Erzieh. 1936; Nr. 5, S. 57.

Moderne Mehrgitterelektronenröhren. 2. Band. Elektrophysikalische Grundlagen. Von M. J. O. STRUTT. V, 144 Seiten und 98 Textabbildungen. Berlin: Julius Springer 1939. Preis brosch. RM. 13,50.

Während der vor einem Jahr erschienene erste Band der „Modernen Mehrgitterelektronenröhren“ über Bauart, Arbeitsweise und Eigenschaften dieser Röhren berichtete [s. die Besprechung in dieser Zeitschr. 52, 81 (1939)], bringt der nun vorliegende zweite Band einen Überblick über die physikalischen Grundlagen, auf denen die Wirkungsweise dieser Mehrgitterröhren beruht, die heute bekanntlich in fast allen neuzeitlichen Verstärkeranordnungen vielseitige Verwendung finden.

So werden aus der Elektronenbewegung und den Konstruktionsdaten der Röhren die statischen und dynamischen Kennlinien abgeleitet und eine Berechnung der statischen Röhrenkapazitäten vorgenommen. Für die Schirmgitter-Anodenstrecke einer idealen Tetrode wird die Charakteristik abgeleitet und ihre Bedeutung bei den verschiedenen Anwendungen dieser Röhrentype diskutiert. Ein besonderes Kapitel ist den im Betriebszustand der Röhre auftretenden dynamischen Röhrenkapazitäten gewidmet. Des weiteren werden das Verhalten der Röhren bei sehr hohen Frequenzen und die dann auftretenden Elektronenlaufzeiteffekte besprochen. Ferner wird die Elektronenbewegung unter dem Einfluß elektrischer Wechselfelder in Oktoden und Röhren mit gekrümmten Elektronenbahnen behandelt. Dazu werden Messungen angegeben, die es ermöglichen, Rückschlüsse auf diese Elektronenbewegungen zu ziehen. Schließlich geht der Verfasser auch auf das Rauschen der Röhren und den Bau rauscharmer Röhren, sowie auf die Frage der an den Elektroden auftretenden Temperaturen näher ein.

Es ist eine sehr große Stoffmenge, die in gedrängter, aber wohlgeordneter und übersichtlicher Form dem Leser geboten wird. Wenn auch in erster Linie das Theoretische überwiegt, so findet gerade der Röhrenfachmann auch sehr viel Experimentelles und zahlreiche Messungen, die an modernen Röhrentypen aufgenommen wurden. Der Text wird durch eine große Zahl Diagramme und eine Reihe sehr guter Bilder ergänzt, und ein Schrifttumsverzeichnis bringt die wichtigsten auf diesem Gebiete vorliegenden Arbeiten, die zu einem großen Teile vom Verfasser selbst herrühren.

Das Buch wird ebenso wie der erste Band jedem, der sich mit Mehrgitterröhren befassen muß, sehr willkommen sein und besonders dem an theoretischen Fragen Interessierten mancherlei Anregungen geben.

L. Bergmann.

Der Ultraschall und seine Anwendung in Wissenschaft und Technik. Von LUDWIG BERGMANN. 2. völlig überarbeitete und erweiterte Auflage. Din A 5, 358 Seiten mit 225 Bildern. Berlin: VDI-Verlag 1939. Preis geb. RM 25,—; für VDI-Mitglieder RM 22,50.

Die rasche Entwicklung der Physik des Ultraschalles und seine immer vielseitigere Anwendung zeigen sich unter anderem auch in der Notwendig-

keit einer so baldigen Neuauflage des BERGMANNschen Buches. Freilich ist der schnelle Absatz auch durch die Güte des Buches selbst verursacht. Es ist ein umfassendes, ausführliches Lehrbuch, geschrieben vom Fachmann, der die gesamte Darstellung mit einer Fülle praktischer Winke aus eigener Erfahrung belebt. Der Nachdruck liegt auf der Beschreibung der experimentellen Methoden, die bis auf den neuesten Stand dargestellt werden, und ihrer praktisch-technischen Verwendung. Die theoretische Begründung wird nur soweit als nötig geboten, dann möglichst direkt und einfach, unter Umständen in Kleindruck.

Ein weiteres Eindringen in den Stoff wird durch ein ausführliches Schrifttumsverzeichnis erleichtert, das dem Buch angeschlossen ist. Es enthält neben der Angabe einiger zusammenfassender Darstellungen eine Angabe der Einzelaufsätze, die seit der vor 2 Jahren erschienenen 1. Auflage von etwa 500 Arbeiten auf fast 700 bis zum Herbst 1938 angewachsen sind.

Nach einer ausführlichen Darstellung der Erzeugung von Ultraschall, besonders mit magnetostruktiven und piezoelektrischen Schallgebern, wird der Nachweis und die Messung von Ultraschall, besonders das Verfahren der Beugung des Lichtes an Ultraschallwellen behandelt. Überall ist durch Überarbeitung und Ergänzung die Darstellung auf den neuesten Stand gebracht. Das gilt auch vom 2. Teil, der die Anwendungen des Ultraschalles schildert. Den Schallgeschwindigkeits- und Absorptionsmessungen und der Bestimmung der elastischen Konstanten fester Körper ist neu angefügt das Verfahren, die elastooptischen Konstanten eines festen Körpers, die bisher nur rein optisch bestimmt werden konnten, durch zusätzliche Ultraschallmethoden zu bestimmen. Neu ist in der 2. Auflage ferner die Darstellung der Verwendung des Ultraschalles beim Fernsehempfang zum Ersatz der KERR-Zelle und in der Metallkunde zur Kernverfeinerung bei Metallschmelzen und bei Legierungen. Bei den mannigfachen anderen Anwendungen, die dargestellt werden, ist besonders die Verwendung des Ultraschallstroboskops als Fluorometer, d. h. als Apparat zur Messung der Abklingzeit von Lumineszenzerscheinungen zu nennen, weiter neue Versuche, den Ultraschall zur Materialprüfung anzuwenden und die zahlreichen Verfahren der dispergierenden und kolloidchemischen Wirkungen des Ultraschalles.

Die Darstellung dieses reichen Materials ist sehr übersichtlich, das Buch ein Lehrbuch für jeden, der sich mit Ultraschall im ganzen oder mit irgendwelchen Einzelfragen befassen will.

Ernst Zimmer.

Molekülspektren und Molekülstruktur. I. Zweiatomige Moleküle. Von GERHARD HERZBERG. Wissenschaftliche Forschungsberichte, Naturwissenschaftliche Reihe, Bd. 50, herausgeg. von RAPHAEL ED. LIESEGANG. XVI, 404 Seiten mit 169 Abbildungen. Dresden u. Leipzig: Theodor Steinkopff 1939. Preis geb. RM 33,50.

In der rühmlich bekannten LIESEGANGSchen Sammlung, „Wissenschaftliche Forschungsberichte“

ist ein neuer, ausgezeichnete Band erschienen. Er behandelt ein Spezialproblem der Spektroskopie, dessen Verständnis durch die Entwicklung der Quantenphysik ermöglicht wurde, nämlich die Bandenspektren und die Folgerungen, die sich aus ihnen für die Struktur der Moleküle ziehen lassen, insbesondere speziell in diesem ersten Bande die zweiatomigen Moleküle. Das Buch ist eine Fortsetzung des vom gleichen Verfasser in derselben Sammlung erschienenen Bandes „Atomspektren und Atomstruktur“ [siehe diese Zeitschr. 51, 133 (1938)].

Nach einem Einleitungskapitel, das eine kurze, klare, wiederholende Darstellung der Grundlagen der Atomtheorie in der Form der BOHRschen Theorie und der Wellenmechanik gibt, werden die empirisch gefundenen Gesetze der Molekülspektren einschließlich der RAMAN-Spektren zusammengestellt und danach gezeigt, wie diese Tatsachen im Prinzip mit Hilfe der Annahme der Rotation und der Schwingung der Moleküle gedeutet werden können. Es folgt in zwei weiteren Kapiteln die wirkliche Berechnung der Elektronenzustände und Elektronenübergänge, danach eine Darstellung der verschiedenen Arten der chemischen Bindung, eine Behandlung der Dissoziation, der Prädissoziation und der Rekombination zweiatomiger Moleküle und schließlich eine Reihe Anwendungen, z. B. auf Kernphysik, Chemie und Astrophysik.

Die ganze Darstellung ist besonders klar und übersichtlich. Wer neu in die Probleme der Molekülspektren eindringen will, wird sich über die eingehende Behandlung der Grundlagen ebenso wie über die Veranschaulichung durch viele Diagramme und graphische Darstellungen freuen und die praktische Gliederung angenehm empfinden, die Grundlagen und Weiterführendes leicht unterscheiden läßt. Ihm wird auch die Möglichkeit gegeben, die theoretischen Grundlagen kennen zu lernen, ohne daß er sich sehr mit mathematischen Einzelheiten zu beschäftigen braucht, für die vielmehr ein ausführliches Literaturverzeichnis die Quellen angibt. Wer schon im ganzen mit dem Stoffe vertraut ist, wird das Buch wegen der vielen Tabellen, die bis auf den neuesten Stand fortgesetzt sind, gern als Nachschlagewerk benutzen. *Ernst Zimmer.*

Lehrbuch der anorganischen Chemie. Von Prof. Dr. HEINR. REMY, Hamburg. Bd. 1, 806 Seiten mit 102 Abbildungen. 2. Aufl. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m.b.H. 1939. Preis geb. RM 26,—.

Über Anlage und Vorzüge des großen REMY wurde in dieser Zeitschrift 46, 285 (1933) ausführlich berichtet. Die besondere Eignung des Buches als wissenschaftliches Vorbereitungs- und Nachschlagewerk für den Lehrer der Chemie an höheren Schulen, welche damals schon hervorgehoben wurde, erscheint nach dem vorliegenden 1. Bande der 2. Auflage noch erhöht, insofern anorganische und physikalische Chemie auf den neuesten Stand gebracht und namentlich hinsichtlich der neueren Ergebnisse der Atomphysik und der röntgenometrischen Strukturanalyse wesentlich ergänzt und vertieft worden sind. Daß den Fragen der chemischen Technologie noch mehr Raum gewährt wird,

als in der ersten Auflage, und daß auch solche Probleme berührt werden, die zwar noch nicht abgeschlossen, aber wissenschaftlich oder volkswirtschaftlich im Vordergrund des Interesses stehen, werden die Freunde des Werkes nur begrüßen. Neu aufgenommen sind u. a. die Abschnitte über chemische Affinität, deren Bestimmung und Bedeutung, über die Raumchemie der nicht aus Ionen aufgebauten Stoffe, über die Oxydoreduktion, das Zustandsdiagramm des Wassers, ferner über die neueren Untersuchungen des Ultramariningitters, den Feinbau der kristallisierten Silikate, den Basenaustausch bei den Permutiten und vieles andere mehr. Man findet häufiger als in der ersten Auflage Erzeugungs-, Einfuhr- und Ausfuhrzahlen, die bis in die jüngste Zeit reichen. Neu sind auch die den größeren Kapiteln angefügten ausführlichen Verzeichnisse der über die behandelten Hauptfragen erschienenen wichtigeren Einzelschriften des In- und Auslandes, die zweifellos eine willkommene Bereicherung des Buches darstellen.

Das ausgezeichnete Lehrbuch liegt somit in einer noch erheblich verbesserten Auflage vor, die der besonderen Beachtung der Leser dieser Zeitschrift empfohlen sei. *L. Doermer.*

Tautomerie und Mesomerie. Von Dr. BERND EISTERT. Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge, herausgeg. von Prof. Dr. R. PUMMERER; N. F., Heft 40. 204 Seiten mit 2 Abbildungen. Stuttgart: Ferdinand Enke 1939. Preis geb. RM 14,—.

Es ist gewiß ein gewagtes Unternehmen, neben die altbewährten Formeln der organischen Chemie neuartige Ausdrücke zu setzen, die den Anspruch erheben, übersichtlicher zu sein als jene. Wenn sich ein solches Bestreben rechtfertigen soll, müssen maßgebliche Erfolge als Belege anzuführen sein, zum mindesten muß einer neuen Theorie ein solcher heuristischer Wert innewohnen, daß sie zu neuen experimentellen Aufgaben anregt und überdies bestehende Ergebnisse zwanglos zu erklären vermag. Die Durchsicht der modernen organischen Literatur zeigt, daß die Wege, die der Verfasser in seinem Buch als in einer Zusammenfassung seiner eigenen und seiner mit F. ARNDT erhobenen Überlegungen weist, bereits häufiger und mit Erfolg begangen werden. Es ist daher durchaus begrüßenswert, wenn diese Theorien zusammenfassend dargestellt werden. Man mag in der einen oder anderen Formulierung oder in bestimmten Schlußfolgerungen anderer Meinung sein, das wird immer bei solchen Werken der Fall sein, die Neues bringen wollen. Vielleicht liegt gerade darin ihr anregender Wert.

Der Verfasser handelt zunächst die älteren Vorstellungen über chemische Bindung ab, um dann überzugehen zu den neuesten Vorstellungen mit ihrer wellenmechanischen Deutung der Atombindung. Dabei wird mit Geschick für den Leser ein Zuviel an physikalisch-theoretischen Vorkenntnissen vermieden. Besonders eingehend werden die gegen die klassischen Theorien neuen Begriffe der induktiven Effekte und der Oktettregel behandelt. Nach diesen einleitenden allgemeinen Kapiteln wird die neue Betrachtungsweise an Beispielen

erprobt, z. B. aus dem Gebiete der Tautomerie- und der Mesomerieerscheinungen, und es wird versucht, das Reaktionsverhalten organischer Verbindungen sowie ihr physikalisch-chemisches Verhalten mit Hilfe der neuen Formulierungen abzuleiten.

Es ist in der Tat oft erstaunlich, zu welchen Schlußfolgerungen die EISTERTSchen Anschauungen zu führen vermögen, wenn sie auch manchmal dem mehr klassisch arbeitenden organischen Chemiker ungewohnt oder sogar vieldeutig erscheinen werden. Aber alles in allem liegt hier ein Werk vor, in dem viele Anregungen und gute Ansätze enthalten sind, ein Werk allerdings, welches erarbeitet sein will. *Albers, Danzig.*

Chemisches über die verschiedenen Reinigungsvorgänge im Haushalt. Von Dr. HANS LÜTHJE und Dr. MARGRET STURM. Chemische Arbeitshefte, Heft 2. 23 Seiten mit 5 Abbildungen. Dresden: Hermann Pöschel 1939. Preis kart. RM —,40.

Das kleine Heft enthält 8 Abschnitte über die wichtigsten, zu Reinigungszwecken verwendeten und in Reinigungsmitteln vorkommenden Chemikalien. Daß dabei außer älteren und allgemein bekannten Stoffen auch modernere Waschmittel wie Fewa und die darin wirksamen Fettalkoholsulfonate behandelt werden, macht das Büchlein besonders brauchbar für den Unterricht. Als Grundlage für Arbeitsgemeinschaften an deutschen Oberschulen sollte man es den Schülern in die Hand geben, denn neben den Versuchen, auf die naturgemäß in erster Linie Wert gelegt worden ist, steckt doch auch eine ganze Menge an theoretischer Unterweisung darin. *G. Mangliers.*

Wie lernt man Chemie? Von Prof. RUDOLF WINDERLICH. Ein Hilfsbuch für den Lehrer, ein Berater beim Selbstunterricht. 163 Seiten mit 74 Abbildungen und 4 Bildnissen. Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn 1939. Preis brosch. RM 2,80, geb. RM 3,60.

Eine Einführung in die Chemie, die ein so erfahrener Lehrer der Chemie, wie der Verfasser, schreibt, hat schon von vornherein Anspruch auf Beachtung. Wenn das Buch daneben auch Hilfsbuch in der Hand des Lehrers sein will, so berechtigen dazu die zahlreichen methodischen und didaktischen Feinheiten, die dem Laienleser oft nicht unmittelbar aufgehen werden, die aber das Ergebnis des Schaffens einer ganzen Lehrergeneration sind, welche auf saubere Gedankenführung Wert legte.

Korrespondenz.

Nachträge zu den Kleinen Mitteilungen im 1. Hefte dieses Jahrgangs, S. 10.

1. In dem Beitrage von M. v. LAUE, „Goethes Vorahnungen kommender naturwissenschaftlicher Ideen“ muß es in der vorletzten Zeile heißen: taktische Empfindung (nicht faktische).

Den Vortrag, auf den v. LAUE hinweist und den HELMHOLTZ in der Generalversammlung der Goethesellschaft 1892 gehalten hat, haben „Die Naturwissenschaften“ wiederholt in dem Sonderhefte zur Jahrhundertfeier von Goethes Todestag: „Goethes naturwissenschaftliches Denken und Wirken.“ Berlin: J. Springer 1932 (vgl. diese Z. 45, 236; 1932).

Zahlreiche wohlherprobte Versuche, die mit einfachen Mitteln auszuführen sind, werden genau und mit allen erforderlichen Hinweisen auf etwaige Gefahren beschrieben. Das notwendige Arbeitsgerät und die erforderlichen Mineralien und Chemikalien sind am Schlusse des Buches zusammengestellt. Die geschichtlichen Zusammenhänge sind belebend und vertiefend in den Text eingebaut und nehmen keineswegs einen zu breiten Raum ein; wer sollte auch die Bedeutung der Chemie für die Kultur besser zu würdigen verstehen, als der Herausgeber von „Chemie und Kultur“, der sein ganzes Leben lang auf diesem Gebiete Pionierarbeit geleistet hat? Die besondere Rohstofflage Deutschlands kommt an den dazu gegebenen Stellen des Textes wie auch in einem besonderen Abschnitt über die vorausschauende Stoffwirtschaft eindringlich zur Darstellung. Brandschutz und Luftschutz beschließen das ansprechende kleine Buch.

Der Laie, der sich durch Selbstunterricht chemische Kenntnisse erwerben möchte, der Lehrer an der Volksschule, der sich über die Grundlagen der einfachsten chemischen Vorgänge klar werden will und der junge Lehrer in der höheren Schule, der nach methodischer Gestaltung seines Unterrichtes strebt, sie alle werden in diesem Buche vollauf ihre Rechnung finden. *L. Doermer.*

Petrographie. Von Dr. W. BRUHNS. 2. Aufl. von Prof. Dr. P. RAMDOHR. Sammlung Göschen, Band 173. Berlin: Walter de Gruyter & Co. 1939. Preis geb. RM 1,62.

Das Bändchen führt so anschaulich, wie das ohne Anschauungsmaterial überhaupt möglich ist, in die Gesteinkunde ein. Von der Herstellung eines Dünnschliffes und den optischen und chemischen Untersuchungsmethoden ausgehend, werden zunächst die gesteinsbildenden Mineralien, dann die Absonderung, Bildung und Umbildung der Gesteine und schließlich im speziellen Teile die magmatischen Gesteine, Sedimentgesteine und kristallinen Schiefer nach ihren wesentlichen mikro- und makroskopischen Eigenschaften dargestellt.

Bis auf wenige Ausnahmen ist der heutige Nachwuchs unter den Lehrern der höheren Schulen — eine Folge der Prüfungsordnung für das höhere Lehramt — kaum noch in der Lage, ein solches Göschen-Bändchen mit Gewinn zu studieren, so sehr dies auch für die Weitergabe der Kenntnis vom Boden, auf dem wir leben, an die Schüler erwünscht wäre.

L. Doermer.

2. Zu der Mitteilung von G. LÖSCHNER und P. BRAUER (Experimenteller optischer Dopplereffekt) schreibt ein Leser: „HUGGINS hat bei seiner Berechnung der Siriusgeschwindigkeit (67 km/sec) aus dem Doppler-Prinzip dieses bis dahin nur akustisch gerechtfertigte Prinzip auch als für Lichtwellen geltend angenommen. Den experimentellen Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme hat BELOPOLSKY (1854—1934) erbracht.“ — Ferner: „ZEEMAN und RISCO haben 1929 experimentell den optischen Dopplereffekt mit 350 m/sec Lichtquellengeschwindigkeit erzeugt.“