

ZEITSCHRIFT FÜR DEN PHYSIKALISCHEN UND CHEMISCHEN UNTERRICHT

51. JAHRGANG

1938

HEFT 4

100 Jahre Schiffsschraube.

Von Professor Dr. Ing. F. Horn in Berlin (Technische Hochschule).

I. Entstehung und äußere Entwicklung der Schiffsschraube¹.

Wenn man das Jahr 1837 als Geburtsjahr der Schiffsschraube bezeichnet und feiert, so ist dies nur in dem Sinne berechtigt, als sie, obwohl grundsätzlich schon lange Zeit vorher bekannt, in diesem Jahr endgültig lebensfähig wurde, indem sie aus dem Stadium des Versuchs in das der praktischen Anwendung heraustrat und sich dabei als brauchbar und lebenskräftig erwies. Es muß aber um der Wahrheit willen betont werden, daß sich unter den Vorläufern derjenigen Schiffsschraube, die im Jahre 1837 den entscheidenden Erfolg errang, solche befanden (nämlich die Schrauben von STEVENS und RESSEL, s. u.), die genau die gleichen Erfolgsaussichten in sich bargen und lediglich infolge widriger äußerer Umstände nicht aus dem Versuchsstadium herauskamen.

Weit länger noch als alle Versuche liegt der eigentliche Erfindungsgedanke zurück, den Druck von Schraubenflächen, die um die Schraubenachse in Drehung versetzt werden, für den Antrieb von Schiffen auszunutzen. Schon im Jahre 1752 erhielt D. BERNOULLI von der französischen Akademie der Wissenschaften einen Preis für ein mit schräg gestellten, an Speichen befestigten Druckflächen versehenes Schraubensrad für den Antrieb von Wasserfahrzeugen. Diese und einige nachfolgende Ansätze mußten aber so lange unfruchtbar bleiben, als es noch keine Dampfmaschine gab; denn für die Betätigung von Menschenkraft stellte das von je einem Mann zu bedienende Ruder zweifellos das beste Antriebsmittel dar.

Nach dem Aufkommen der Dampfmaschine erfolgte bald ein sehr ernsthafter Versuch, den Gedanken der Schiffsschraube zu verwirklichen, durch den Amerikaner STEVENS. Diesem gelang es im Jahre 1804 in New York, mit zwei vierflügligen Heckschrauben einem kleinen Boot für eine allerdings nur kurze Zeit eine Höchstgeschwindigkeit von 7 bis 8 Knoten zu erteilen. Daß er die Weiterversuche mit diesen Schrauben, die in ihrer Bauart als mehrgängige Flügelschrauben unseren neuzeitlichen Schrauben sogar wesentlich näher standen als die Grundform derer, von denen die spätere große Entwicklung ausging, bald wieder aufgab, lag im Grunde nicht in der Unvollkommenheit seiner Schrauben selbst begründet, sondern in Mängeln der Dampfesselanlage, die für die Antriebsmaschine nicht genügend Dampf zu liefern vermochte. Ebenso scheiterten die Versuche des österreichischen Forstmeisters JOSEF RESSEL, der 1827 ein Privileg zur Herstellung „einer Schraube ohne Ende zur Fortbewegung der Schiffe“ erhielt, durch einen unglücklichen, ganz außerhalb der eigentlichen Sache liegenden Zufall, indem nämlich, nach aussichtsreichen Vorversuchen, die auf der Reede von Triest Mitte 1829 unternommene Probefahrt des 15,8 m langen Fahrzeuges „Civetta“, das durch eine am Heck in einer Aussparung des Totholzes angeordnete, als eingängige Schraubenfläche von $1\frac{1}{2}$ Windungen ausgebildete Schraube angetrieben wurde, nach 10 Minuten Dauer wegen Bruches eines kupfernen Dampfzuleitungsrohres abgebrochen werden mußte. Trotz aller Zähigkeit und Energie gelang es RESSEL dann leider nicht mehr, die Fortsetzung der aussichtsreichen Versuche durchzusetzen. Dies ist um so

¹ Vgl. C. MATSCHOSS: Technikgeschichte. Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie, Band 26, 1937; Beitrag „Die Entwicklung der Schiffsschraube“ von F. GUTSCHE.

mehr zu bedauern, als gerade die Schraube des Österreichers RESSEL, dessen Pläne auch nach England gelangten und dort vermutlich von anderer Seite zu Patentanmeldungen ausgenutzt wurden, ziemlich genau mit derjenigen Schraube übereinstimmte, die im Jahre 1837 in England den entscheidenden Erfolg brachte.

In diesem Jahre trat in England die Schiffsschraube gleich in zwei, und zwar stark voneinander abweichenden Bauformen, auf den Plan. Auf die eine hatte der englische Farmer F. P. SMITH im Jahre 1836 ein Patent erhalten. Die SMITH-Schraube war, wie gesagt, im wesentlichen die gleiche wie die RESSEL-Schraube. Sie bestand aus zwei vollen Windungen einer eingängigen Schraubenfläche. Während aber RESSEL ausgesprochen vom Pech verfolgt wurde, hatte SMITH ausgesprochen Glück. Auch SMITH erlitt bei den ersten Vorführungsfahrten eines 6 t großen und mit einer Antriebsleistung von 6 PS versehenen Modellboots auf dem Paddington-Kanal in London eine Havarie, indem die Schraube beim Anschlagen gegen ein Hindernis zur Hälfte abbrach, so daß nur noch etwa eine volle Windung übrigblieb. Diese Beschädigung wirkte sich aber zu seiner Überraschung in einer Geschwindigkeitssteigerung aus, und so wurde SMITH durch diesen Zufall gleich von vornherein auf den richtigen Weg gewiesen, indem er nun planmäßig die Schraube weiter verkürzte und auf diese Weise bald zu einer mehrgängigen Schraube mit kurzen Gewindegängen gelangte, die man nunmehr bereits als Flügel bezeichnen konnte. Im Sommer 1837 hatte SMITH den großen Erfolg, daß sich bei einer Fahrt seines kleinen Bootes über See von London nach Dover, Folkestone und Hythe und zurück der neue Antrieb auch bei schwerem Wetter gut bewährte und daß dadurch die britische Admiralität darauf aufmerksam wurde. Nachdem ein bald darauf gebautes größeres Schraubenschiff, die „Archimedes“ von 237 t und 80 PS Antriebsleistung, im Jahre 1839 eine Reihe erfolgreicher größerer Fahrten, unter anderem rund um England herum, ausgeführt hatte, war der Weg für eine allgemeinere Einführung des Schraubenantriebs in Kriegs- und Handelsmarine freigemacht; vor allem ging die britische Kriegsmarine wenige Jahre später nach weiteren umfangreichen Versuchen zu ausschließlicher Verwendung des Schraubenantriebs über, zumal dieser eine geschütztere Anordnung der Antriebsmaschine und des Propellers selbst ermöglichte als der bisherige Schaufelradantrieb.

Der schwedische Ingenieur ERICSSON erhielt wenige Wochen nach SMITH ein britisches Patent auf einen ganz andersartigen Schraubenantrieb, bei dem zwei gleichachsig hintereinander angeordneten Schraubenrädern gegenläufige Drehbewegungen erteilt wurden. Jedes dieser Schraubenräder bestand aus einem von drei Speichen getragenen Ring, an dessen Außenseite eine größere Anzahl von Schraubenflächen befestigt war. Es stellt dies eine interessante Anordnung dar insofern, als der ihr zugrunde liegende Gedanke, durch die hintere gegenläufige Schraube den sog. Drall, d. h. die Drehung des Schraubenstrahls, zu beseitigen und auf diese Weise einen möglichst axialen Austritt des Schraubenstrahls zu erzielen, als grundsätzlich richtig anerkannt werden muß und noch heute von namhaften Ingenieuren, u. a. von dem Italiener ROTA, vertreten wird, wenn man sich heute auch meist einfacherer Mittel zur Beseitigung des Dralls bedient (vgl. Abschnitt III). Wegen der technischen Schwierigkeiten wurde übrigens das hintere der ERICSSONschen Schraubenräder damals bald fallen gelassen. Während ERICSSON trotz aussichtsreicher Fahrten eines Versuchsbootes und trotzdem der im Winter 1837 auf der Kanalstrecke Manchester—London in Dienst gestellte, mit einer gegenläufigen Schraube ausgerüstete Dampfer „Novelty“ das erste in regelmäßiger Fahrt betriebene Schraubenschiff darstellt, sich in England doch nicht weiter durchsetzen konnte, erreichte er wesentlich größere Erfolge in Frankreich und den Vereinigten Staaten. Die große Weiterentwicklung der Schiffsschraube baute sich jedoch nicht auf dem ERICSSONschen Schraubenrad, sondern auf der einfacheren RESSEL-SMITHschen Bauart der unmittelbar auf die Achse oder Nabe aufgesetzten Gewindegänge bzw. Flügel auf.

Im Jahre 1845 überquerte erstmalig ein Schraubenschiff, die 98 m lange „Great Britain“ mit 1000 PS Antriebsleistung, den Atlantischen Ozean; sie brauchte für die Fahrt von Liverpool nach New York 14 Tage und 21 Stunden. Immerhin behielt die Handelsschiffahrt den bisherigen Schaufelradantrieb teilweise noch längere Zeit bei. Der sonst nach sehr fortschrittlichen Gesichtspunkten im Jahre 1858 erbaute Riesen-dampfer „Great Eastern“ von 207,5 m Länge und 27 000 t Wasserverdrängung erhielt noch einen gemischten Schrauben- und Schaufelradantrieb, und zwar eine Schraube von 7,3 m \varnothing und 4500 PS Antriebsleistung und 2 Seitenschaufelräder von 17,4 m \varnothing und 3 000 PS Antriebsleistung. — Vielfach wurde damals die Schraube auch zum Hilfsantrieb für Segelschiffe gebraucht und viel Mühe darauf verwandt, bei reiner Segelfahrt den Fahrtwiderstand der Schraube durch geeignete Maßnahmen, wie durch Hochheißeln oder durch Einstellung der Flügel in Längsrichtung, zu beseitigen oder zu verringern.

Bezüglich ihrer technischen Ausführung hatte die Schiffsschraube schon recht frühzeitig, etwa um 1850, die Gestalt erreicht, die sie in der seither verflossenen Zeit, trotz vielfacher vorübergehender Abarten, im großen und ganzen bis jetzt beibehalten hat. Diese Gestalt (Fig. 1) ist hauptsächlich gekennzeichnet durch Ausbildung der Druckfläche als einer mathematischen Schraubenfläche, also mit einer über den Radius konstanten Steigung, durch etwa elliptischen Umriß der abgewickelten Flügelfläche, durch kreissegmentartige Ausbildung der peripherialen Blattschnitte und durch eine Flügelzahl von 3 oder 4, die ja gleichzeitig die Zahl der Schraubengänge darstellt.

Andererseits hat der Schraubenantrieb eine ausgesprochene Weiterentwicklung nach den Richtungen erfahren, die durch die immer weitergehende Steigerung der Antriebsleistung von Kriegs- und Handelsschiffen bedingt waren. Im Kriegsschiffbau ging man etwa Ausgang der 70er Jahre, im Handelsschiffbau etwa 10 Jahre später, bei größeren Antriebsleistungen zum Doppelschraubenantrieb, im Laufe der Zeit erforderlichenfalls weiter zum Drei- oder Vier-Schraubenantrieb über. Ferner sah man sich, trotz grundsätzlichen Widerstrebens, mehr und mehr gezwungen, bei großen Antriebsleistungen die Drehzahl zu steigern, um die Abmessungen der Schrauben in erträglichen Grenzen halten zu können. Gegenüber den meist mit Doppelschraubenantrieb versehenen Vorkriegsschnelldampfern, deren Schrauben bei der niedrigen Drehzahl von 80 je Minute eine Leistung von rund 45 000 PS verarbeiteten, beträgt die Gesamtantriebsleistung eines neuzeitlichen Schnelldampfers, z. B. der „Normandie“, normal rund 160 000 PS, die von 4 Schrauben bei einer Drehzahl von etwa 240 je Minute aufgenommen wird.

II. Entwicklung der Schiffsschraubentheorie.

Den Erfindern der Schiffsschraube schwebte begreiflicherweise die schon an den Begriff „Schraube“ gekettete Vorstellung vor, daß die Fortbewegung der Wasserschraube im Wasser der einer Gewindespindel in einer festen Mutter vergleichbar sei, wobei es ausreichend erschien, dem Ausweichen des flüssigen Mediums Wasser durch Einführung einer sog. Schlüpfung oder, wie der Schiffsbauer sich ausdrückt, eines „Slips“ Rechnung zu tragen. Dieser Vorstellung entsprach es, daß beispielsweise die ersten Versuchsschrauben von RESSEL und SMITH aus einfachen eingängigen Schraubenflächen von $1\frac{1}{2}$ bzw. 2 Windungen bestanden und daß man der Ausbildung

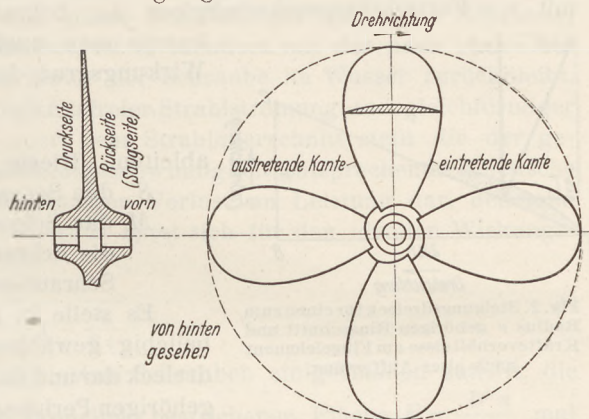


Fig. 1. Normaltyp einer vierflügeligen Schiffsschraube.

der Druckseite ausschließliche Bedeutung beimaß, während die Rückseite nur vom Gesichtspunkt ausreichender Materialdicke bemessen wurde. Auch nachdem man auf Grund der allmählich gemachten Erfahrungen zu mehrgängigen Flügelschrauben, d. h. also zu Schrauben mit nur noch sehr geringer Gewindelänge, übergegangen war, behielt man die ursprüngliche Vorstellung des Fortschraubens im Wasser durchaus bei, bildete also nach wie vor die Druckseite der Flügel als mathematische Schraubenfläche aus, was eine radial und peripheral unveränderliche Steigung (H) in sich schloß. Die axiale Austrittsgeschwindigkeit identifizierte man sinngemäß mit der sog. Steigungsgeschwindigkeit $n \cdot H$, worin n die Drehzahl in der Sekunde bedeutet, und definierte entsprechend den schon erwähnten Slip σ zu $\sigma = \frac{nH - v}{nH} = 1 - \frac{v}{nH}$,

mit v = Fortschrittsgeschwindigkeit der Schraube. Aus dieser Anschauung heraus konnte man auch eine sehr einfache Formel für den Wirkungsgrad der Schraube

$$\eta = \frac{Sv}{M \cdot 2\pi n} \quad (1)$$

ableiten. Hierin bedeutet:

S den Schraubenschub, also $S \cdot v$ die Nutzleistung;
 M das Schraubendrehmoment, also $M \cdot 2\pi n$ die in die Schraube hineingesteckte Leistung, die sog. Schraubendrehleistung.

Es stelle in Fig. 2 das Dreieck ABC das zu dem beliebig gewählten Radius r gehörige sog. Steigungsdreieck dar und das schraffierte Profil den zu diesem Radius gehörigen Peripheralschnitt durch einen Schraubenflügel.

In dem an r angrenzenden schmalen Kreisring von der Dicke Δr stellt nach der geschilderten alten Anschauung das zu der Druckseite senkrecht stehende Kraftelement ΔR die resultierende vom Wasser auf das Flügелеlement ausgeübte Kraft dar. Deren Komponenten in der Fortschritts- und Umdrehungsrichtung sind der Schub ΔS und die Tangentialkraft ΔT . Somit gilt für das betr. Schraubenelement

$$\eta = \frac{\Delta S \cdot v}{\Delta T \cdot r \cdot 2\pi n}$$

und wegen $\frac{\Delta S}{\Delta T} = \frac{2\pi r}{H}$:

$$\eta = \frac{v}{nH} = 1 - \sigma. \quad (2)$$

Da der Radius r hierbei herausfällt und die Steigung H unveränderlich ist, gilt das errechnete η nicht nur für das zunächst zugrunde gelegte Schraubenelement, sondern auch für die Gesamtschraube.

Vom Standpunkte der neuzeitlichen Strömungslehre aus gesehen, erscheint diese ganze alte Anschauung von der Wirkungsweise der Schiffsschraube überaus primitiv und überholt. Es ist aber sehr merkwürdig und lehrreich festzustellen, daß aus dieser primitiven Anschauung heraus Schraubentypen entwickelt worden sind, die noch jetzt als durchaus hochwertig zu bezeichnen sind und die in ihrem Wirkungsgrad auch von den Schrauben der jüngsten Zeit, bei denen alle Erkenntnisse der neuzeitlichen Strömungslehre ausgenutzt sind, nur um wenige Prozente übertroffen werden. Auf die Ursache dieser merkwürdigen Tatsache soll weiter unten noch etwas eingegangen werden.

Immerhin traten mit der Zeit die der ursprünglichen primitiven Vorstellung von der Schraubenwirkung anhaftenden Mängel immer mehr zutage. Sie lieferte keinerlei Anhalt über die für eine gewollte Wirkung erforderliche nähere Ausgestaltung der Schraube, auch lehrte die Erfahrung, daß, je kleiner die „Belastung“ der Schraube und damit deren Slip war, um so mehr die obige einfache Wirkungsgradformel versagte. Das Bedürfnis nach einer regelrechten Schraubentheorie wurde offenkundig.

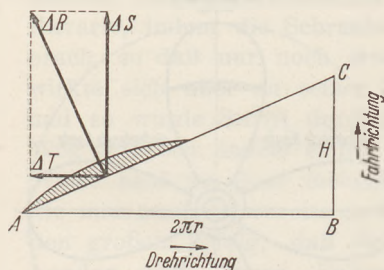


Fig. 2. Steigungsdreieck für einen zum Radius r gehörigen Ringschnitt und Kräfteverhältnisse am Flügелеlement nach alter Auffassung.

So entstanden mit der Zeit, abgesehen von einer großen Anzahl unsachlicher und stümperhafter Versuche, im wesentlichen zwei Theorien, die, wenn auch immer noch unzulänglich, doch wenigstens nach gewissen Richtungen zum Fortschritt beitrugen. Die eine ist die von dem Engländer RANKINE 1865 geschaffene sog. „einfache Strahltheorie“. Sie geht von dem bekannten Impulssatz der Mechanik aus, der mit Bezug auf die vorliegende Aufgabe in der Form geschrieben werden kann:

$$S = \rho Q c_a, \quad (3)$$

worin $\rho = \frac{\gamma}{g}$ die Dichte der Flüssigkeit, Q (m^3/sec) die von der Schraube in der Zeiteinheit erfaßte Wassermasse, c_a (m/sec) den dem Wasser von der Schraube erteilten mittleren Geschwindigkeitszuwachs in axialer Richtung bedeuten. Bei der „freifahrend“, d. i. ohne Zusammenhang mit einem Schiffskörper gedachten Schraube, die also gegen ruhendes Wasser fortschreitet, ist c_a identisch mit der nach rückwärts gerichteten Absolutgeschwindigkeit, die hinter der Schraube im Wasser zurückbleibt. Im Idealfalle rein axial gerichteter, zähigkeitsfreier Strahlströmung und gleichförmiger Verteilung der Strahlgeschwindigkeit über dem Strahlquerschnitt stellt die der genannten im Wasser zurückbleibenden Absolutgeschwindigkeit entsprechende kinetische Energie in der Zeiteinheit $\rho Q c_a^2/2$ den einzigen Verlust an Leistung dar, den man auch als „Austrittsverlust“ bezeichnet. Hieraus leitet sich für den ideellen Wirkungsgrad die einfache Beziehung ab:

$$\eta_{id} = \frac{1}{1 + \frac{c_a}{2v}}. \quad (4)$$

Wird in erster Näherung, die für leichtbelastete Schrauben einigermaßen zutrifft, die erfaßte Wassermenge gleich der vom Propeller bestrichenen Fläche $F = \frac{D^2 \pi}{4}$ mal Fortschrittsgeschwindigkeit v gesetzt, also $Q = F \cdot v$, so nimmt (4) gemäß (3) die Form an:

$$\eta_{id} = \frac{1}{1 + \zeta_s/4}, \quad (4a)$$

worin zur Abkürzung der sog. „Schubbelastungsgrad“

$$\frac{S}{\rho v^2/2 F} = \zeta_s \quad (5)$$

gesetzt ist. Bei genauerer Ausgestaltung¹ ist an Stelle von (4a) zu setzen

$$\eta_{id} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \zeta_s}}. \quad (4b)$$

Die Erkenntnis des aus (4b) ersichtlichen Zusammenhanges zwischen ideellem Propellerwirkungsgrad und Schubbelastungsgrad² ist von entscheidender Bedeutung. Sie lehrt, daß es für das Erreichen guter Wirkungsgrade unerläßlich ist, ausreichend große Propellerflächen F zu wählen und somit große Wassermengen Q zu erfassen, und sie lehrt vor allem auch die Grenze kennen, bis zu der bei gegebenen Größen von Schub, Fortschrittsgeschwindigkeit und Propellerfläche der Wirkungsgrad auch unter idealsten Bedingungen nur gesteigert werden könnte. Der wirkliche Wirkungsgrad muß beim freifahrenden Propeller wegen der Zähigkeitswirkung und weil ein völlig homogener und rein axial gerichteter Propellerstrahl nie erreicht werden kann, stets mehr oder weniger unter dem jeweiligen Wert von η_{id} bleiben.

Nach der einfachen Strahltheorie, die in anderer Fassung auch der späteren Theorie von Greenhill (1888) zugrunde lag, der jedoch die auf Grund des Flächen-

¹ Es ist die aus einer genaueren Theorie sich ergebende Tatsache zu berücksichtigen, daß am Orte des Propellers bereits die Hälfte der insgesamt erzeugten Zuwachsgeschwindigkeit c_a vorhanden, somit die Durchflußgeschwindigkeit durch die Propellerfläche $= v + c_a/2$ und $Q = F (v + c_a/2)$ zu setzen ist.

² Es erscheint angebracht, vor allem den Nichtfachmann noch besonders darauf aufmerksam zu machen, daß unter Schubbelastung oder allgemein unter Propellerbelastung in dem hier durchweg maßgebenden Sinne nicht die Belastung pro Flächeneinheit S/F , sondern die durch Gleichung (5) definierte Größe zu verstehen ist.

satzes zwischen Schraubendrehmoment und tangentialer Strahlgeschwindigkeit bestehende Beziehung in den Vordergrund stellte, konnte der Durchmesser der Schraube und, da zwischen η_{id} und Slip ebenfalls eine, der Gleichung (2) verwandte Beziehung besteht, bei gewählter Drehzahl auch deren Steigung mit dem Wirkungsgrad — wenn auch nicht mit dem tatsächlichen, so doch mit dem obigen ideellen Grenzwirkungsgrad — in Zusammenhang gebracht werden. Darüber hinaus vermochte jedoch diese Theorie, die die in der Schraube selbst vor sich gehenden Strömungsverhältnisse und damit auch die an den Flügeln erzeugten Strömungskräfte im wesentlichen im unklaren ließ, über die doch offensichtlich äußerst wichtige Ausbildung der Flügel nichts auszusagen. Die später (1878) von W. FROUDE entwickelte sog. Flügelblatttheorie faßte die Aufgabe gerade von der umgekehrten Seite an. Sie ging aus von Kraftmessungen an unter flachen Winkeln angeströmten ebenen Flächenelementen und konnte dabei auf dieser empirischen Grundlage, im Gegensatz zu der durch Fig. 2 gekennzeichneten Vorstellung, auch die infolge der Zähigkeit der Flüssigkeit tangential am Flügelement wachgerufenen Strömungskräfte wenigstens in erster roher Näherung berücksichtigen. Indem dann in üblicher Weise die Anströmungsgeschwindigkeit und -Richtung für jedes Flügelement gemäß Fig. 3 aus der Resultierenden von Fort-

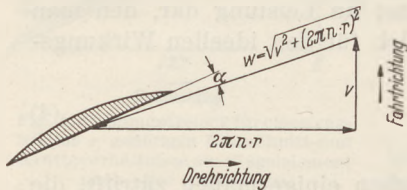


Fig. 3. Zusammensetzung der für die Anströmung eines auf Radius r gelegenen Flügelements maßgebenden Geschwindigkeiten.

schriftsgeschwindigkeit v und Tangentialgeschwindigkeit $2\pi r \cdot n$ gewonnen wurde, konnten durch Summierung über die gesamte Flügelfläche die gesamten an den Flügeln entstehenden Strömungskräfte in erster Näherung erfaßt werden, es konnte durch Bildung der Komponenten in Fortschritts- und Umfangsrichtung Schub und Drehmoment und somit gemäß Fig. 1 der Wirkungsgrad abgeleitet werden. Damit war insofern viel gewonnen, als nunmehr Größe und Form der Flügelfläche in die Rechnung einbezogen waren und

als infolge Berücksichtigung der Zähigkeitskräfte dem aus der einfachen Strahltheorie folgenden, unbegrenzten Wachsen des Durchmessers eine Grenze gesetzt wurde, die den tatsächlichen Verhältnissen wenigstens einigermaßen entsprach. Trotzdem war auch diese Theorie keineswegs befriedigend, da der zwischen den Strömungskräften und der erzeugten Strömung gemäß Impuls- und Flächensatz bestehende Zusammenhang nicht zu seinem Rechte kam. Man kann es in großen Zügen so ausdrücken, daß bei der einfachen Strahltheorie der ausgebildete Propellerstrahl mit seinen axialen und (später auch) tangentialen Geschwindigkeiten, also im Grunde die Wirkung des Propellers (hinsichtlich der Strömungsänderung), hauptsächlich zum Ausdruck kommt, dagegen bei der Flügelblatttheorie die durch die Drehung der Schraube erzeugten Strömungskräfte und somit die Ursache der Strömungsänderung. Eine Verknüpfung von Ursache und Wirkung ist aber keiner dieser früheren Theorien gelungen. Die Lücken wurden durch Einführung von Erfahrungskoeffizienten ausgefüllt.

Das Fehlen einer regelrechten Schraubentheorie hat einerseits dazu geführt, daß eine Unzahl unklarer Vorstellungen ins Kraut schossen, zumal merkwürdigerweise nicht nur Fachleute, sondern vielfach auch Laien für den Schiffsschraubenantrieb reges Interesse an den Tag legten und die Ansicht weit verbreitet war, daß die normale Schiffsschraube ein hinsichtlich ihres Wirkungsgrades recht mangelhaftes Organ sei. So entstand im Laufe der Zeit eine große Anzahl teilweise höchst abenteuerlicher Verbesserungsvorschläge und Sonderbauarten, die dann nach längerer oder kürzerer Zeit verdienstermaßen wieder in der Versenkung verschwunden sind und die auch nur anzudeuten jetzt nicht mehr im geringsten lohnen würde. Erwähnt sei nur kurz die auch jetzt noch manchmal auftauchende Vorstellung von einer Schleuderwirkung, die die Schraube auf das in Drehung versetzte und daher Zentrifugalkräften unterworfenen Wasser ausübe und der man durch Rückwärtsneigung der Schraubenflügel entgegenwirken müsse. In Wirklichkeit lehrt schon die einfache Strahltheorie, daß, da wegen

des Kontinuitätsgesetzes durch jeden Querschnitt des Schraubenstrahls in der Zeiteinheit durchweg eine und dieselbe Wassermenge fließt, sich dessen Querschnitt hinter der Schraube wegen des dem Wasser erteilten Geschwindigkeitszuwachs (c_a) verkleinert statt vergrößert, wie dies auch durch Messungen durchaus bestätigt wird. Wenn andererseits die Flügel von Schiffsschrauben in der Tat vielfach und mit gewissem Recht etwas nach hinten geneigt ausgeführt werden, so hat dies ganz andere Gründe, und zwar hängt es bei der freifahrenden Schraube damit zusammen, daß, da die Einschnürung des Schraubenstrahls schon vor der Schraube beginnt, die Nach-Hinten-Neigung der Flügel die Erfassung einer etwas größeren Wassermenge ermöglicht, was, wie dargelegt worden ist, günstig wirkt; bei am Schiffskörper arbeitenden Schrauben kommt dazu der rein praktische Gesichtspunkt, daß man wegen des nach hinten ansteigenden Verlaufs der Hinterschiffslinien bei Schrauben, deren Flügel nach hinten geneigt sind, unter sonst gleichen Umständen einen entsprechend größeren Durchmesser wählen oder einen entsprechend größeren Abstand der Flügelspitzen von dem Schiffskörper einhalten kann.

Nach einer anderen Richtung hat das lange Fehlen einer befriedigenden Schraubentheorie, wie man fast sagen möchte, sogar günstig gewirkt, indem es nämlich dazu antrieb, den empirischen Forschungsverfahren besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden. Und nachdem in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts das schiffbauliche Modellversuchswesen entstanden war, gelang es in der Tat bald, dieses auch für die Schiffsschraube auszunutzen, und zwar hauptsächlich auf dem Wege planmäßiger Schraubenmodellversuche. An Theorie brauchte man hierbei nichts weiter als die der Übertragung der Ergebnisse vom Modell auf die Großausführung nach den Gesetzen der Ähnlichkeitsmechanik. Für den Fall des Schraubenpropellers sagen diese beispielsweise aus:

$$\eta = f(\lambda) = f\left(\frac{v}{D\pi n}\right), \quad (6)$$

worin der sog. Fortschrittsgrad $\lambda = \frac{v}{D\pi n}$ das jeweilige Verhältnis der Fortschrittsgeschwindigkeit zur Spitzen-Umfangsgeschwindigkeit bedeutet. Gleichung (6) besagt also, daß geometrisch ähnliche Schrauben bei gleichem Fortschrittsgrad — übrigens, was auf dasselbe hinauskommt, auch bei gleichem Slip — auch gleichen Wirkungsgrad besitzen. Den Wirkungsgrad von Modellschrauben kann man aber (gemäß 1) für jeden durch Fahrgeschwindigkeit v und Drehzahl n meßtechnisch ohne weiteres gegebenes und planmäßig zu verändernden Fortschrittsgrad durch Messung des Schubes S und des Drehmoments M leicht ermitteln. Indem man nun für einen Schraubentyp, etwa den einer Normalschraube gemäß Fig. 1, in Modellserien stets gleichen Durchmessers beispielsweise die Größe der Steigung, unter Beibehaltung aller anderen Eigenschaften, planmäßig stufenweise abwandelt, so wird man die Ergebnisse all der entsprechenden Modellversuche leicht so auftragen und auswerten können, daß man daraus für den jeweils vorliegenden Fall — etwa für vorgegebenen Schub, Fortschrittsgeschwindigkeit und Drehzahl — diejenigen Schraubenabmessungen, hier also Durchmesser und Steigung, entnehmen kann, die dem größten Wirkungsgrad entsprechen. Ebenso kann man zusätzlich die Größe der abgewickelten Flügelflächen variieren und deren günstigste Größe ermitteln. Die so erhaltenen Ergebnisse gelten ohne weiteres auch für die naturgroße Schraube. Derartige systematische Modellversuche sind in der Tat in großem Umfange von den Schiffsbauversuchsanstalten verschiedener Länder durchgeführt worden und liefern ausgezeichnete Unterlagen für die Ermittlung der jeweils günstigsten Schraubenabmesungen. Man kann hiernach mit gutem Rechte behaupten, daß die nach diesen Grundlagen entworfene Schiffsschraube außerordentlich hochwertig ist, und wenn vielfach auch in Fachkreisen immer noch daran Anstoß genommen wird, daß der Wirkungsgrad von Schraubenpropellern den von Pumpen oder Turbinen teilweise bei weitem nicht erreicht, so liegt dem die Verkennung der durch die Gleichungen (4)

beleuchteten Tatsache zugrunde, daß die Schraube, um Schub zu erzeugen, Wasser nach rückwärts befördern und daß der entsprechende völlig unvermeidliche Austrittsverlust um so größer sein muß, je höher die Belastung der Schraube ist. Immerhin erreichen gute Schrauben von Seeschiffen, deren Belastung man als von mittlerer Größenordnung bezeichnen kann, Wirkungsgrade von 70% und darüber, während Schlepperschrauben, je nach der Größe des Schleppanhanges, teilweise bei äußerst niedrigen Wirkungsgraden — 25% und darunter — arbeiten müssen.

Die Erfolge durch die Möglichkeit der Auswahl jeweils günstigster Schraubenabmessungen auf Grund der systematischen Schraubenversuche wurden, wie gesagt, auf rein empirischem Weg erreicht und ohne daß man sich über das eigentliche Wesen der Schraubenwirkung Rechenschaft abzulegen brauchte. Der menschliche Geist begnügt sich aber glücklicherweise nicht mit solchen materiellen Erfolgen, sondern will erkennen und ergründen, wie diese zustande kommen. Und dies ist nun im Laufe der letzten zwei Jahrzehnte im wesentlichen ebenfalls gelungen; die Fortschritte der neuzeitlichen Strömungslehre haben es ermöglicht, eine Theorie des Schraubenpropellers zu schaffen, die wirklich diesen Namen verdient.

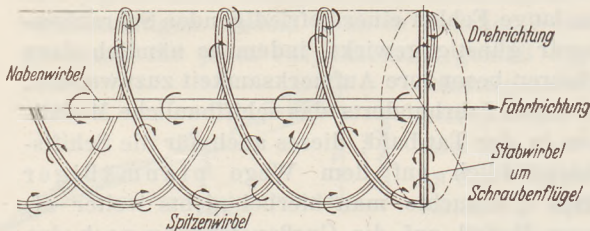


Fig. 4. Schema des Verlaufs der Wirbel bei einem zweiflügeligen Schraubenpropeller.

Hiernach trägt das Bild der Schraubenwirkung gänzlich neue und zunächst überraschende Züge. Es ist hauptsächlich gekennzeichnet durch den Charakter des Schraubenstrahls als eines Wirbelstrahls, daher spricht man auch von Schraubenwirbeltheorie. Die primäre Erscheinung

ist dabei die, daß bei Anströmung eines Profils unter einem Anstellwinkel α (Fig. 3) sich über die Grundanströmung (hier in Richtung von w) nach einem gewissen Anfahrvorgang eine geschlossene sog. Zirkulations- oder Wirbelströmung um das Profil herum ausbildet, derart, daß die Hinterkante des Profils keine Umströmung erfährt. Diese Übereinanderlagerung führt an der Oberseite des Profils eine Steigerung, an der Unterseite eine Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit herbei, und hiermit ist nach dem Satz von BERNOULLI eine Druckverminderung an der Oberseite, eine Drucksteigerung an der Unterseite verbunden. Es entsteht also ein Auftrieb normal zur Anströmungsrichtung und dessen Größe kann nach einfachen Gesetzen errechnet werden. Nun kann aber ferner der hiernach um das Profil herum über dessen ganze Länge sich ausbildende Wirbel — man nennt einen solchen einen gebundenen Wirbel oder Stabwirbel — nach den bekannten HELMHOLTZschen Wirbelsätzen an den Enden des Profils nicht aufhören, sondern muß sich in der Stärke, in der er an den beiden Enden besteht, in die freie Flüssigkeit hinein fortsetzen, wobei er als nunmehr freier Wirbel der Richtung der dort herrschenden Grundströmung folgen muß. Bei einer sich drehenden Schraube stellt sich somit, unter der schematischen Annahme, daß die Stärke der Zirkulation über die Flügellänge konstant bleibt und sich daher an Wurzel und Spitze der Flügel freie Wirbelfäden von je der gleichen Wirbelstärke anschließen, das aus Fig. 4 ersichtliche Bild ein. Die von den Wurzeln sämtlicher Flügel sich ablösenden Nabenwirbel bilden einen gemeinsamen starken und praktisch axialen Wirbelstrang, während die Spitzenwirbel, der der gleichzeitigen Fortschritts- und Tangentialbewegung der Flügelspitzen entsprechenden resultierenden Strömungsrichtung folgend, in einzelnen Schraubenlinien verlaufen und so den Schraubenstrahl gewissermaßen umschüßeln. Die durch das Arbeiten der Schraube dem Wasser erteilten absoluten Geschwindigkeitsänderungen entsprechen nun offenbar den um Naben- und Spitzenwirbel herum vor sich gehenden Umlaufströmungen, für die das bekannte Gesetz gilt $c_u \cdot r = \text{konst.}$, deren Geschwindigkeiten c_u also vom Wirbel-Kern nach außen nach einem hyperbolischen Gesetz abklingen. Das Innere des Schraubenstrahls wird demnach beherrscht von

einer starken um den gemeinsamen axialen Nabelwirbel verlaufenden Tangentialbewegung, die einen entsprechenden nach der Schraubenachse zu wachsenden Unterdruck zur Folge hat, während in dem äußeren Schraubenstrahlbereich die Spitzenwirbel fast ausschließlich maßgebend sind, die in meist ziemlich flachen Schraubenlinien verlaufen und daher vorwiegend axiale und innerhalb des Strahlumfangs durchweg gleichsinnige Zuwachsgeschwindigkeiten bedingen. Auch hier müssen natürlich den axialen Zuwachsgeschwindigkeiten gemäß dem Impulssatz (3) entsprechende Anteile des Schubes zugeordnet sein, der sich somit stark auf den äußeren Bereich konzentrieren wird, den tangentialen Zuwachsgeschwindigkeiten entsprechende Anteile des Drehmoments.

Wenn auch das vorstehende Bild notgedrungen nur in ganz rohen Umrissen hat gekennzeichnet werden können, so geht doch die eine Tatsache klar daraus hervor, nämlich daß es ein in sich geschlossenes Bild ist und daß erstmalig die in den bisherigen Theorien vorhandenen Lücken, die gerade das Wesen und die physikalische Natur der Schraubenwirkung betrafen, grundsätzlich beseitigt worden sind. Im übrigen ist auch durch Versuche die grundsätzliche Richtigkeit der der Schraubenwirbeltheorie zugrunde liegenden physikalischen Zusammenhänge voll bestätigt worden, indem beispielsweise bei stärkerer Belastung von Modellschrauben Naben- und Spitzenwirbel, insbesondere auch der schraubenlinienförmige Verlauf der letzteren unmittelbar durch die Hohlräume sichtbar werden, die infolge des extremen Absinkens des Drucks in den Kernen der freien Wirbel entstehen.

Durch Verfeinerung des angedeuteten Schemas ist es weiterhin zunächst für die freifahrende Schraube gelungen, Steigungs- und Blattbreitenverlauf im Zusammenhange mit der Profildicke so aufeinander abzustimmen, daß einerseits der außer seinem axialen auch einen tangentialen Anteil¹ enthaltende Gesamtaustrittsverlust, andererseits der Zähigkeitsverlust, zu einem Minimum wird. In letzterem Sinne zeigt es sich, daß die aus der Aerodynamik bekannten sog. Tragflügelprofile unter Umständen bessere Eigenschaften besitzen als die früher fast ausschließlich verwendeten Kreissegmentprofile, und so werden in der Tat jetzt bereits vielfach Tragflügelprofile für Schiffsschrauben mit gutem Erfolg verwendet. Überhaupt ist die Tatsache bemerkenswert, daß die angedeutete Schraubenwirbeltheorie in ihrer näheren Ausgestaltung und unter Verwendung der aus Windkanal- oder sonstigen Versuchen festgestellten Profileigenschaften unmittelbar als Grundlage für den Entwurf praktisch auszuführender Schiffsschrauben zu dienen geeignet ist und häufig bereits dazu gedient hat. So gut hierbei einerseits der Erfolg war, so ergab sich andererseits aus der nunmehr vorliegenden Möglichkeit, die Grenze des Erreichbaren mit ziemlicher Sicherheit zu übersehen, die Feststellung, daß die bisherigen aus empirischen Methoden heraus entwickelten Schrauben dieser Grenze tatsächlich bereits ziemlich nahe gekommen waren und daß durch weitere Verfeinerung eine Wirkungsgradsteigerung im allgemeinen nur noch in mäßigen Grenzen (bis zu etwa 5%) zu erzielen sei. Dies liegt teilweise daran, daß die Optimumkuppe des Wirkungsgrades ziemlich flach verläuft und daß es daher auf den genaueren Steigungs- und Blattbreitenverlauf nicht so sehr ankommt. So erklärt es sich auch, daß die aus der angedeuteten alten Anschauung heraus eingeführte konstante Steigung der Druckseite auch im Lichte der neuen Erkenntnisse jedenfalls als durchaus nicht ungünstig anzusehen ist.

Auf zwei auch vom praktischen Standpunkt wichtige Punkte sei noch hingewiesen:

1. Wie die erwähnten Profilvermessungen ergeben haben, besitzt die Unterdruckbildung an der Rückenseite (Saugseite) des Profils einen weit größeren Anteil an der Auftriebs- und demnach an der Schuberzeugung als die Druckseite. Auch nach dieser Richtung hat sich also die alte Anschauung als irrig erwiesen. — Der Ausbildung der Saugseite wird unter diesen Umständen jetzt mit Recht besondere Sorgfalt zugewendet.

¹ Demgemäß wird auch der ideelle Grenzwirkungsgrad des Schraubenpropellers kleiner als gemäß

$$4b. \text{ Die entsprechende Formel lautet näherungsweise: } \eta'_{id} = \eta_{id} \left(1 - \frac{\zeta_s \lambda^2}{2} \right). \quad (7)$$

2. Die in Fachkreisen seit Jahrzehnten bekannte Tatsache, daß unter sonst gleichen Umständen der Wirkungsgrad der Schraube mit Erhöhung der Drehzahl sinkt — eine Tatsache, die der aus Gründen der Maschinengewichtsverringerung sehr erwünschten und angestrebten Steigerung der Maschinendrehzahlen lange Zeit äußerst hemmend im Wege gestanden und erst mit der Einführung neuzeitlicher Untersetzungsgetriebe eine einigermaßen befriedigende Lösung gefunden hat —, hat sich auf Grund der jetzt möglichen genaueren Analyse im wesentlichen als Zähigkeitseinfluß herausgestellt. Wenn man diesen jetzt auch auf ein möglichst geringes Maß zurückzuführen in der Lage ist, kann man damit die erwähnte Tatsache doch nur etwas abmildern, nicht aber aus der Welt schaffen.

Zusammenfassend sei gesagt, daß nach der durch die neuzeitliche Schraubentheorie geschaffenen Aufklärung des physikalischen Wesens der Schraubewirkung die Entwicklung der freifahrenden Schraube im Sinne jeweils günstigster Ausbildung als praktisch abgeschlossen angesehen werden muß.

Dagegen sind gerade in letzter Zeit noch wesentliche Fortschritte durch Verbindung der Schraube mit gewissen Hilfsorganen gemacht worden. Hierüber möge im folgenden Abschnitt noch das Wichtigste angedeutet werden.

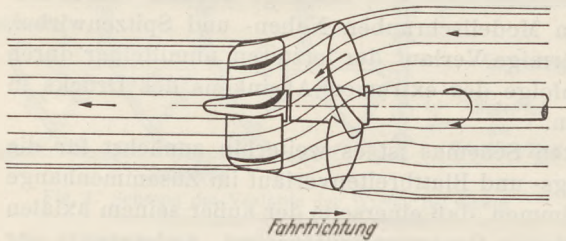


Fig. 5. Schema der Umlenkung des drallbehafteten Schraubenstrahls in axiale Richtung durch Leitflächen.

läufigen Schrauben vertretenen Gedanken zurück, die Strömung im austretenden Strahle möglichst axial zu richten, verwirklicht ihn aber auf wesentlich einfachere und mindestens ebenso wirksame Weise, nämlich durch sog. Leitapparate oder Leitflächen, die sowohl hinter als vor der Schraube angeordnet werden können. Der Erfinder, Dr. RUDOLF WAGNER, der mit seinem Vorschlag 1906 an die Öffentlichkeit trat, sich aber erst seit den 20er Jahren in größerem Umfange durchsetzen konnte, hatte dabei als Hauptgedanken im Auge, durch hinter der Schraube angeordnete, entgegen deren Drehsinn gekrümmte festeingebaute, von ihm als Kontrapropeller bezeichnete und zunächst mehrflügelig geplante Leitflächen die Umlenkung des drallbehafteten Schraubenstrahls in möglichst axiale Richtung zu erreichen und dadurch an den Leitflächen einen zusätzlichen Schub zu erzielen, Fig. 5. Dieser Gedanke ist theoretisch richtig, indem der — in Gleichung (7) (Fußnote S. 145) dem Minusglied in der Klammer entsprechende — tangentialen Austrittsverlust zum großen Teil vermieden bzw. durch die Leitfläche gewissermaßen wieder eingefangen wird, und hat sich auch in der Praxis durchaus bewährt. Es hat sich sogar auf Grund gewisser günstiger Rückwirkungen der Leitfläche auf die dicht davorliegende Schraube die praktische Wirkung meist noch größer herausgestellt, als nach dem obigen Effekt zu erwarten war. Die Größenordnung der Wirkungsgradverbesserung beträgt etwa 10% und fällt somit wesentlich ins Gewicht.

Statt der früheren mehrflügligen Ausführungen verwendet man jetzt meist nur noch eine zweiflüglige, die entweder durch Anordnung gekrümmter Leitflächen an dem vertikalen Ruderstegen oder durch leitflächenartige Verkrümmung des Steuerruders selbst verwirklicht wird. Im übrigen wird aber ein erheblicher Leitflächeneffekt auch bereits durch ein symmetrisches, gut stromlinienförmig ausgebildetes Steuerruder erzielt.

Da sich hinter den Seitenschrauben von Doppelschraubenschiffen kein Steuerruder befindet, macht man hier vielfach von Leitflächen vor der Schraube Gebrauch,

III. Hilfsorgane.

Bisher war im wesentlichen nur auf die freifahrende Schraube eingegangen worden. Nach zwiefacher Richtung hat deren Wirkung durch Hilfsorgane gesteigert werden können:

1. Das eine Mittel greift auf den alten, schon von ERICSSON mit seinen gegen-

indem man beispielsweise die Hinterkanten der davorgelegenen Wellenhosen entsprechend verkrümmt. Indem alsdann das Wasser in die Schraube mit einem entgegengesetzten Vordrall eintritt, läßt sich erreichen, daß es die Schraube auch wiederum annähernd axial verläßt.

2. Während, wie auf S. 141 ausgeführt, der Wirkungsgrad eines freifahrenden Propellers selbst unter den idealsten Verhältnissen an der Begrenztheit der von ihm in der Zeiteinheit zu erfassenden Wassermenge, die in erster Näherung gleich $F \cdot v$ zu setzen ist, seine unwiderrufliche Grenze findet, kann dieser bei Verwendung eines solchen Hilfsorgans überschritten werden, das dem Propeller ohne oder doch ohne wesentlich ins Gewicht fallenden Leistungsaufwand eine vergrößerte Wassermenge zuführt. Ein derartiges aus jüngster Zeit stammendes Organ ist die nach ihrem Erfinder KORT benannte KORT-Düse, deren z. Z. meist verwendete Form aus der schematischen Fig. 6 zu ersehen ist. Danach arbeitet die Schraube im engsten Querschnitt einer Ringdüse mit tragflügelförmigem Meridianschnitt, deren Querschnitt sich nach vorn zu mehr oder weniger erweitert, während das hinter der Schraube befindliche verhältnismäßig kurze Stück eine zylindrische oder nach hinten sich mäßig erweiternde Innenwand besitzt. Offensichtlich bewirkt die Tragflächenform des Meridianschnitts bereits bei nicht vorhandener Schraube, also im Schleppzustand der bloßen Düse, infolge der Unterdruckbildung auf der gewölbten Innenseite des Profils eine wesentliche Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeit durch den engsten Querschnitt gegenüber der ungestörten mit der Schleppgeschwindigkeit v identischen Zuströmungsgeschwindigkeit, also eine Vergrößerung der durchfließenden Wassermenge, eine Wirkung, die durch das Arbeiten der Schraube dann noch wesentlich verstärkt wird. Die dadurch bewirkte Erhöhung des ideellen Grenzwirkungsgrades geht Hand in Hand mit der Tatsache, daß die sonst unvermeidliche Kontraktion des Schraubenstrahls hinter der Schraube, je nach dem Grad der Düsenenerweiterung vorn, entweder vermindert oder ganz beseitigt — ein Zustand, wie er in Fig 6 dargestellt ist — oder sogar noch in eine Erweiterung umgewandelt werden kann, und mit der weiteren Tatsache, daß ein Teil des durch das Arbeiten der Schraube erzeugten Gesamtschubes von der festen Düse, infolge der Unterdruckbildung am vorderen Düsenmund, übernommen wird. Alle diese Erscheinungen treten offenbar in einem um so ausgeprägteren Grade hervor, je größer der Belastungsgrad ζ_s (Gl. 5) ist, und so können beispielsweise bei Schlepperschrauben in Schleppfahrt, wie in zahlreichen Fällen praktisch festgestellt, Wirkungsgraderhöhungen von 30 bis 40% erzielt werden. Aber auch bei leichter belasteten Schrauben zeigt sich, obwohl der nachteilige Eigenwiderstand der Düse hier offenbar stärker ins Gewicht fällt, infolge verschiedener Nebenerscheinungen immer noch, vor allem im Seegange, eine verbessernde Wirkung.

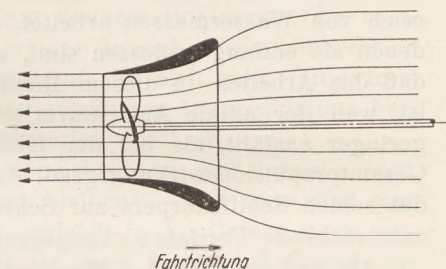


Fig. 6. Schema einer in einer KORTdüse arbeitenden Schraube.

IV. Vor- und Nachteile der Schiffsschraube.

Wenn die Schiffsschraube eine so ungeheure Verbreitung gefunden hat und auf Seeschiffen so gut wie ausschließlich das Feld beherrscht, so ist dies ein offenkundiger Beweis dafür, daß sie durchschlagende Vorzüge aufweist, denen gegenüber ihre älteren Wettbewerber, vor allem das Schaufelrad, sich nicht zu halten und neue sich nicht durchzusetzen vermochten. Die Vorzüge sind im wesentlichen die folgenden:

1. Größte Einfachheit in Anordnung und Betrieb.

In der Tat ist ein einfacheres Organ als ein solches, das lediglich eine Drehbewegung um seine Antriebswelle ausführt, wohl kaum denkbar. Ferner ist auch die

Anordnung am Heck der Schiffe wesentlich günstiger und geschützter als beispielsweise die von Seiten-Schauflerrädern, die schon allein durch die erhebliche Vergrößerung der Schiffsbreite störend wirken und überdies schon bei mäßigen Rollbewegungen im Seegange mehr oder weniger aus dem Wasser herausschlagen.

2. Guter Wirkungsgrad.

Daß Schiffsschrauben mit Bezug auf den ideellen Wirkungsgrad, der nun einmal für jede Art von Propellern, d. i. von Vortriebsorganen, die sich auf das Wasser stützen, eine unüberschreitbare Grenze bildet, durchaus günstig sind, wurde bereits im vorangegangenen Abschnitt betont. Aber auch dieser Grenzwirkungsgrad selbst liegt unter einigermaßen normalen Verhältnissen, zumal bei normalen Seeschiffen¹, bei Schiffsschrauben aus dem Grunde hoch, weil die übliche Anordnung am Heck die Unterbringung einer großen Propellerfläche und somit die Erfassung einer großen Wasserfläche ermöglicht, was nach dieser Richtung, wie auf S. 141 ausgeführt, von entscheidender Bedeutung ist. Man muß hiernach also die Schiffsschraube als einen sehr hochwertigen Propeller bezeichnen.

Dazu kommt, daß die Heckschraube in einem sog. Mitstrom, d. h. in einem Bereich von Wassermassen arbeitet, die durch die Reibung an den Schiffswänden, an denen sie entlang geflossen sind, eine Vorwärtsgeschwindigkeit erhalten haben, und daß das Arbeiten in diesem Mitstrom für die Schrauben aus dem Grunde günstig ist, weil der axiale Austrittsverlust, wie leicht einzusehen, unter diesen Umständen geringer ausfällt, als bei der freifahrenden Schraube. So kommt es, daß der sog. Gesamtpropulsionswirkungsgrad, dargestellt durch das Verhältnis der Schleppleistung des reinen Schiffskörpers zur Schraubendrehleistung, in der Regel höher ist, als der entsprechende Freifahrwirkungsgrad.

Da andererseits der Mitstrom nicht gleichförmig, sondern meist sogar höchst ungleichförmig über die Schraubenkreisfläche verteilt ist, resultiert hieraus grundsätzlich eine Verschlechterung gegenüber der Freifahrtschraube. Dieser ungünstige Einfluß ist aber bei weitem nicht so groß, wie man zunächst annehmen sollte, was mit der bereits in Abschnitt II angedeuteten Unempfindlichkeit der Schraube zusammenhängt, die somit als weiterer Vorzug zu werten ist und sich überdies auch im Seegange besonders bewährt.

Auf der anderen Seite haften der Schiffsschraube auch gewisse Nachteile an, die aber nicht entscheidender Art sind:

1. Die Schraubenflügel sind in der Regel fest mit der Nabe verbunden. Dies ist zwar meist von Vorteil, weil es die einfachste und die geringsten schädlichen Widerstände liefernde Bauart darstellt, aber in den Fällen von Nachteil, wenn das Fahrzeug starken Belastungsänderungen unterworfen ist, wie z. B. ein Schlepper, der teils in freier Fahrt, teils mit Schleppanhang fahren soll. Die feste Anordnung der Flügel bringt es mit sich, daß die Schraube nur in einem der beiden Belastungsfälle mit günstigstem Wirkungsgrade arbeiten und, was besonders ins Gewicht fällt, die volle Maschinenleistung aufnehmen kann. Hierauf ist beispielsweise auch der Abfall der Drehzahl in schwererem Seegange zurückzuführen. Der in jüngster Zeit mehrfach gemachte Versuch, diesem Nachteile dadurch zu begegnen, daß man die Schraube als sog. „Verstellerschraube“ mit während des Betriebes verstellbaren Flügeln ausbildet, hat sich bisher nur bei kleineren Fahrzeugen, deren Schrauben keine großen Kräfte aufzunehmen brauchen, bewährt.

2. Steigerung der Drehzahl über gewisse von Fall zu Fall zu untersuchende Grenzen hinaus führt außer dem bereits erwähnten und als Nachteil festgestellten Abfall des Wirkungsgrades unter Umständen die wesentlich unangenehmeren Begleiterscheinungen der sog. Hohlraumbildung (Kavitation) herbei. Erstmalig wurde

¹ Für solche kann man einen Schubbelastungsgrad $\zeta_s = 1$ als etwa normal ansehen. Es folgt dann aus (4b) ein $\eta_{id} = 0,83$.

sie im Jahre 1894 bei den Schrauben des englischen Torpedoboots „Daring“ beobachtet. Diese Erscheinung entsteht vorwiegend dadurch, daß bei der auf der Saugseite der Flügel vor sich gehenden Unterdruckbildung der Druck bis auf den der betr. Temperatur entsprechenden Verdampfungsdruck des Wassers, der praktisch dem absoluten Druck Null sehr nahe liegt, absinkt. Sobald diese Erscheinung über ein gewisses Maß hinaus gediehen ist, fördert die Schraube nicht mehr kompaktes Wasser, sondern ein mit Hohlräumen stark durchsetztes Wassergemisch von wesentlich verminderter Dichte. Die hauptsächliche Wirkung kann man sich leicht an Hand von Gleichung (5) klarmachen, indem mit abnehmender Dichte ρ unter sonst gleichen Umständen der Schubbelastungsgrad ζ_s steigt und somit der Wirkungsgrad sinkt. Gleichzeitig steigt die Drehzahl unverhältnismäßig stark an. Während man sich mit diesem Zustand immerhin noch abfinden kann und dies tatsächlich auch tut, denn es laufen beispielsweise die Schrauben der meisten neuzeitlichen Torpedoboote und auch der schnellen kleinen Kreuzer im Gebiete solcher weitgetriebenen Kavitation, ist das durch schwächeren Grad von Kavitation gekennzeichnete Übergangsgebiet, obgleich in diesem die Wirkungsgradeinbuße noch nicht groß zu sein braucht, wesentlich bedenklicher. Es bilden sich in diesem Falle nur kleinere Hohlräume, die bald, und zwar noch im Bereiche der Flügeloberfläche, wieder in sich zusammenbrechen. Dieses Zusammenbrechen ist aber, da es völlig ungedämpft vor sich geht, mit extrem harten Wasserschlägen verbunden, die nicht nur ein gewaltiges Lärmgeknatter hervorrufen, sondern sogar in kurzer Zeit das Flügelmaterial zerstören.

Man muß daher von vornherein beim Entwurf der Schrauben sehr darauf achten, entweder ganz unterhalb des Kavitationsgebietes zu bleiben — und dies wird man natürlich, wenn irgend möglich, vorziehen —, oder sogleich in das Gebiet stark ausgebildeter Kavitation hineinzukommen. Jedenfalls ist man heute auf Grund der Fortschritte der wissenschaftlichen und experimentellen Forschung in der Lage, diese Verhältnisse, die noch vor nicht langer Zeit sehr ungeklärt und rätselhaft waren, mit ausreichender Sicherheit zu beherrschen.

Wägt man Vor- und Nachteile der Schiffsschraube gegeneinander ab, so überwiegen die ersteren so erheblich, daß menschlichem Ermessen nach die Schiffsschraube auch weiterhin ihre Vorherrschaft zumindest auf dem weiten Gebiete der Seeschifffahrt auf absehbare Zeit beibehalten und auch im übrigen nur in Sonderfällen einen ernsthaften Wettbewerber finden wird.

Messungen an der Sonne. II.¹

Von S. Janß in Wandsbek.

A. Messungen an der Projektion der Sonne.

Das Netzmikrometer kann man in der Bildebene des Objektivs anbringen und dann mit der Sonne gemeinsam auf einen Schirm oder eine Wand projizieren und daran messen. Dieses Verfahren soll zunächst mit andern möglichen Messungen in Projektion verglichen werden. Man empfiehlt auch Projektion auf Millimeterpapier. Damit sind aber einige Mängel verbunden. Messungen an Papier von einem Block ergaben in beiden Richtungen Unterschiede von 1 mm auf 100 mm, Papier aus zwei Heften 0,2 und 0,4 mm. Das stört bei der Ermittlung der differentiellen Refraktion unbedingt, erfordert bei reinen Durchmessermessungen und Bestimmung von Flecken- und Merkurörtern stets gleiche Orientierung der beiden Strichrichtungen zu den Himmelskoordinaten und stets dieselbe Papiersorte. Außerdem sind die Striche gegenüber den projizierten Mikrometerstrichen so eng und schwach, daß nur wenige Schüler gleichzeitig die Schätzungen vornehmen können. Am projizierten Mikrometer können dagegen bei entsprechender Vergrößerung viele Schüler tätig sein

¹ Teil I vgl. diese Zeitschrift 51, 97; (1938).

oder gar die ganze Klasse (vgl. unten). Das Millimeterpapier muß ferner bei Messungen an verschiedenen Tagen, falls die Werte aufeinander bezogen werden sollen, gleichen Abstand vom Okular haben, was feste Verbindung und damit nur geringe Vergrößerung bedingt. Bei der Projektion des Mikrometers dagegen ist man von dem Schirmabstand völlig unabhängig, da Sonne und Mikrometer gleichmäßig mit dem Abstände die Vergrößerung ändern. Auch muß das Papier recht genau senkrecht zur Achse orientiert werden. Der zulässige Fehler ergibt sich durch eine allerdings recht rohe, aber ausreichende Rechnung folgendermaßen (Fig. 4). Das Sonnenbild ist etwas weniger als $0,01 \cdot f$. Das aus dem Okular Au mit der Brennweite f_a austretende Bündel hat dann die Öffnung $2 \cdot \psi$ von etwas weniger als $0,01 \cdot f : f_a$; also $\psi = \frac{f}{200 \cdot f_a}$. Aus der Figur folgt für die bei schiefer Stellung des Schirms ungleichen Sonnenradien

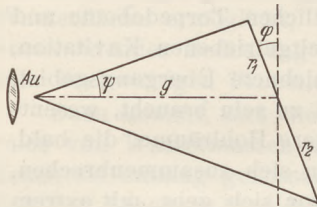


Fig. 4.
Verzerrung durch Neigung des
Projektionsschirms.

$$r_1 \text{ und } r_2: r_1 = \frac{g \cdot \sin \psi}{\sin [90 - (\psi - \varphi)]}, r_2 = \frac{g \cdot \sin \psi}{\sin [90 - (\psi + \varphi)]} \text{ und}$$

daraus $\frac{r_1}{r_2} = \frac{\cos(\psi + \varphi)}{\cos(\psi - \varphi)}$ oder, da φ nach dem unten folgenden Ergebnis nur klein ist,

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\cos \psi - \sin \psi \cdot \varphi}{\cos \psi + \sin \psi \cdot \varphi} = \frac{\cos \psi (1 - \operatorname{tg} \psi \cdot \varphi)}{\cos \psi (1 + \operatorname{tg} \psi \cdot \varphi)} \approx 1 - 2 \cdot \operatorname{tg} \psi \cdot \varphi.$$

Für $\operatorname{tg} \psi$ kann man genähert setzen $\psi = \frac{f}{200 \cdot f_a}$. Der relative Unterschied von r_1 und r_2 darf nicht $\frac{0,01 \text{ mm}}{0,005 \cdot f \text{ mm}} = \frac{2}{f}$ sein, da $r = 0,005 \cdot f$ ist. Also ist sehr roh $\frac{2 \cdot f}{200 \cdot f_a} \cdot \varphi = \frac{2}{f}$ oder $\varphi = \frac{200 \cdot f_a}{f^2}$; mit $f = 660$ und $f_a = 20 \text{ mm}$ und nach Multiplikation mit 3438, also reichlich $30'$. Das gelingt freihändig nicht; also auch diese Forderung macht feste Verbindung von Schirm und Rohr nötig. Die Neigung des Mikrometers in der Bildebene des Objektivs kann dagegen, nur mit Rücksicht auf die Verzerrung, rund $f : f_a$ mal so groß sein, ist also durch Lagerung des Mikrometers gegen die Okularsteckhülse St (Fig. 5, vgl. unten die Selbstanfertigung) unbedingt gesichert (selbstverständlich läßt die Schärfe keine derartige Neigung von mehr als 10° zu). Der Projektionsschirm für das Mikrometer kann dagegen beträchtliche Neigung gegen die Achse haben, da Sonnenbild und Mikrometer gleichmäßig verzerrt sind; nur die Verzerrung innerhalb eines Skalenteils ist wirksam, und diese ist immer unmerklich. Die etwas grobe Neigung beeinflusst auch nicht die Schärfe, da die Öffnung des einen Punkt der Sonnenscheibe abbildenden Bündels nur $\frac{0}{f \cdot V}$ ist; 0 die Öffnung des Objektivs, V die Vergrößerung des projizierten Bildes gegenüber dem Bild in der Bildebene des Objektivs, also sicher unter $1 : 150$. Weiter ist nachteilig, daß das Projektionsbild gegenüber dem Bild in der Bildebene des Objektivs verzerrt ist. Für das Mikrometerokular (Bild vor der Feldlinse) erhält man das, indem man in der Okularblende ein Mikrometer für Mikroskopokulare anbringt und es mit der Sonne auf einen Maßstab, senkrecht zur Fernrohrachse, projiziert. Bei anderen Okularen (Bild zwischen Feld- und Augenlinse) ist dieses Verfahren nicht anwendbar, da die Verzerrung durch die Feldlinse nicht mit erfaßt wird. Ich habe aus etwa 15 m Abstand einen Maßstab mit einer Okularkamera (Aufnahme des durch das Okular vergrößerten Bildes) photographiert und die Photographie ausgemessen. Das gemeinsame Ergebnis ist, daß die Verzerrung so groß ist, daß Fehler über $0,01$ des Sonnendurchmessers möglich sind, wenn man zwei Aufnahmen nebeneinander legt, und daß im Gebiet der zentral abgebildeten Sonne noch fast $1 : 200$ des Sonnenradius möglich ist, also Grenzleistungen ausgeschlossen sind. Zur Ermittlung lediglich der Tatsachen, etwa Exzentrizität und Sonnenrotation, sind Projektionen auf Millimeterpapier dagegen durchaus geeignet. Sehr vorteilhaft kann das Mikrometer in einem Raum projiziert werden, der durch Zuggardinen verdunkelt werden kann (Vorschläge der Staatlichen Hauptstelle); dafür stellt man das Rohr auf die Fensterbank und

umwickelt es mit den Gardinen; wirft man nun das Bild durch einen kleinen Spiegel an eine geeignete Wand, so können alle Schüler mit Messungen durch Stoppuhren und mit Schätzungen beschäftigt werden; das ist anscheinend eine Veranschaulichung, wie sie schöner wohl kaum gedacht werden kann.

Ein anderes in der Bildebene des Objektivs angebrachtes und mit der Sonne zugleich projiziertes Mikrometer beschreibt VOSS in HENSELINGs astronomischem Handbuch, 2. Aufl. 1905, S. 101. Es hat Striche in Millimeterabstand in beiden Richtungen, für kurze Brennweite waagrecht 5; daran schließt sich oben und unten je ein Millimeter in 0,1 mm geteilt, so daß man einen Fleck auf einen der Millimeterstriche des Feldes bringen und gleichzeitig am oberen und unteren Rand auf 0,01 mm schätzen kann. Dieses Mikrometer hat vor dem von mir benutzten den Vorteil, daß die kleineren Flecken infolge der geringeren Linienzahl besser sichtbar bleiben und man allgemein wohl aus gleichem Grunde schärfer einstellen kann. Es muß aber für jede Brennweite besonders angefertigt werden, wird darum teurer und dürfte sich weniger für andere Verwendungen eignen, namentlich auch nicht für die Vermessung von Sonnenaufnahmen und Sternfeldern.

Bei der Projektion des Mikrometers werden folgende Hilfsmittel gebraucht: Als Okulare eignen sich nur sog. Mikrometerokulare mit Bild vor den Linsen, da bei Okularen mit Bild zwischen den Linsen die Verzerrung durch die Feldlinse wirksam bleibt. Das Okular muß besonders hergestellt werden, da das Netzmikrometer mit 35 mm Durchmesser in kein käufliches hineinpaßt. Der Selbstanfertigung dienen die folgenden Vorschläge (Fig. 5): 1, 2, 3, 4 und 5 sind kleine, aus altem Zeichenpapier in mehreren Lagen gewickelte Röhren; 1 und 2, sowie 3 und 4 sind miteinander verleimt; 2 ist in 3 verschiebbar zwecks Scharfstellung des Okulars auf das Mikrometer *M*; 5 wird über die Okularsteckhülse *St* geschoben und muß herausgenommen werden, wenn man *M* hineinlegen oder herausnehmen will. Das Linsensystem (Röhren 1 und 2 mit den beiden Linsen) etwa als Ramsdenokular zu kaufen, hat den Vorteil, daß das scharfe Gesichtsfeld größer ist; der Grund ist vielleicht darin zu suchen, daß mir keine plankonvexen Linsen geeigneter Brennweite zur Verfügung stehen. Die kürzeste zulässige Brennweite ergibt sich folgendermaßen: Ist *d* der Durchmesser des durch das Objektiv erzeugten Sonnenbildes, *f_a* die Brennweite des Okulars und γ sein scheinbares Gesichtsfeld, dann gilt $\text{tg } \frac{\gamma}{2} = \frac{d}{2 \cdot f_a}$ oder $f_a = \frac{d}{2 \text{tg } \frac{\gamma}{2}}$. Mit *d* = 6 mm und maximal $\gamma = 30^\circ$

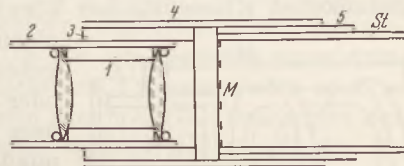


Fig. 5.
Okular für Projektion des Netzmikrometers.

wird demnach $f_a = 11$ mm [30]. Die gleichzeitige Schärfe von Mitte und Rand des Gesichtsfeldes ist dann aber nur mäßig; man nimmt also besser etwas größere Brennweite. Für Projektion im abgedunkelten Klassenzimmer muß man auf etwa 1 m, also rund 170fach vergrößern; das ergibt bei dem Schirmabstand (Wand) *D* mm genähert $f_a = D : 170$. Das dürfte in allgemeinen Sonnenbilder mit gleichzeitiger Mittel- und Randschärfe ergeben. — Verkittete Okulare sollen bei der Verwendung für die Sonne leiden; es wird aber auch angeben, daß das nur in Verbindung mit dunklen Blendgläsern eintritt, da nur die von diesen absorbierte und wieder ausgestrahlte Wärme dem Kitt schadet. Erfahrung darin habe ich nicht. — Die Einstellung geht so vor sich: Bei genähert scharfem Sonnenbild stellt man zuerst das Okular so ein, daß das Mikrometer scharf wird (Röhre 2 in 3 verschieben), und darauf mit Hilfe des Okulartriebes das Sonnenbild. Am genauesten ist die Stellung des Auszuges als Mittel zwischen den Stellungen für eben unscharfe Bilder in beiden Richtungen. Projektion im abgedunkelten Klassenzimmer erfordert am Okular einen kleinen Spiegel. Ein Vordersilberspiegel (15 · 20 mm², Glasdicke 1 mm) auf planem Glas, mit Lackschutz (für 1,50 RM von der Firma J. D. Möller in Wedel in Holstein hergestellt) ist auf ein Brett *B* (Fig. 6) mit

Leisten L_1 geleimt. Die Drehung um eine Achse durch die Spiegelebene wird möglich durch kleine Stifte (abgebrochene Nähnadeln oder Tapetenleistenstifte) durch die Leistenpaare L_1 und L_2 ; die L_2 sind an zwei Holzringen H befestigt, die im Innern ein Rohr δ , ebenfalls aus Zeichenpapier, halten; δ kann über 2 in Fig. 5 geschoben werden und erlaubt die Drehung um eine zweite Achse. Da im allgemeinen Okulare mit relativ langen Brennweiten zu empfehlen sind, könnte man befürchten, daß man zu wenig Einzelheiten in Flecken sieht; das ist aber nicht der Fall. Man kann in Projektion mit langbrennweitigen Okularen alles sichtbar machen, was man visuell nur mit kurzbrennweitigen sieht; es muß nur der Abstand des Schirmes so groß gewählt werden, daß das Auflösungsvermögen des Auges hinreicht. Visuell sieht man weniger; nicht, weil die schwachen Okulare ungünstiger abbilden, sondern weil das Auge versagt. Ob in Projektion die Grenze der Auflösung ($120'' : 0,0 =$ Objektivdurchmesser in mm) erreicht werden kann, ist wohl kaum festzustellen, da die Luftunruhe bei Sonnenbeobachtungen zu sehr stört. Das etwa 170fach vergrößerte Bild im abgedunkelten Klassenzimmer könnte die Grenze der Auflösung (rund $170 \cdot 0,01$ mm) in einem Abstand von rund $1200 \cdot 1,7$, etwa 2 m, noch ergeben (Grenze der Auflösung für das Auge ist etwa $3'$ oder $\text{arc} = 1 : 1200$). Die unter diesen Umständen besonders große Luftunruhe setzt diesen Abstand aber auf mindestens 5 m herauf.

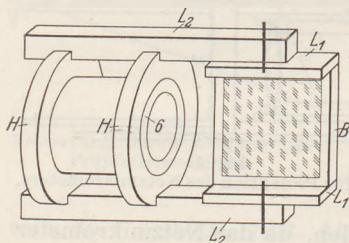


Fig. 6. Spiegel am Okular für Projektion in der Klasse.

Als Projektionsschirm benutzt man im Freien Zeichenpapier; bei den Messungen stört dessen etwas grobe Struktur nicht. Manche Einzelheiten in Flecken und Fackeln und die Granulation können aber nicht beobachtet werden. Dafür ist fixiertes photographisches Gaslichtpapier gut geeignet, weiß und glänzend. Im Klassenzimmer ist ein Projektionsschirm brauchbar; kann man ihn nicht geeignet aufstellen, so genügen auch eine Wand oder die Decke. — Bei Beobachtung im Freien schiebt man über das Objektiv einen Pappschirm von etwa $30 \cdot 30$ cm², in dessen Schatten man den Projektionsschirm aufstellt. Vorher muß man das Rohr einstellen. (Dieser Schirm ist auch bei visuellen Beobachtungen zu empfehlen, da er das nicht beobachtende Auge schützt. Beklebt man ihn nach dem Okular hin mit schwarzem Papier, dann gestattet er sogar Öffnung des nicht beobachtenden Auges; das ist bei längeren Beobachtungen außerordentlich angenehm.) — Über die Stoppuhren werden in III einige Ausführungen gemacht. (Eine Beobachtung, von der ich allerdings nicht weiß, ob sie immer zutrifft, möchte ich hier erwähnen. Das von mir benutzte Blendglas für visuelle Beobachtungen zeigt Granulation und Fackeln erheblich schlechter als die Projektion auf Gaslichtpapier, wie auch die Abnahme der Intensität nach dem Rande. Das Glas hat einen gelblichen Ton, und das ist offenbar nicht günstig.)

Bei den Messungen muß das Fernrohr genähert richtig parallaktisch aufgestellt werden (Anforderungen in III), und eine Strichrichtung im Mikrometer muß der täglichen Bewegung parallel sein; dies erreicht man durch Drehung von Rohr δ (Fig. 5) um die Okularsteckhülse St (Anforderungen ebenfalls in III). Bei Beobachtung im Klassenzimmer macht man diese Einstellung am besten ohne Spiegel nach dem Bild am Fußboden. Danach schiebt man den Spiegel über Rohr 2 und dreht um beide Achsen, bis das Bild am gewünschten Ort erscheint; dabei müssen aber Rohr 4 und 5 gut festgehalten werden, damit die Orientierung nicht wieder verloren geht. Hinreichend genaue Aufstellung (vgl. in III) erlaubt die Orientierung auch an der Bewegung eines Flecks während der Drehung des Rohres um die Stundenachse, also in erheblich kürzerer Zeit. — Kurze Brennweite ergibt keine Störung durch Krümmung der Spur des Fleckenweges bei feststehendem Rohr, auch nicht mit $\delta = 23,5^\circ$. Denn nach B 5 c ist hinreichend genau $h = \frac{\delta^2}{8 \cdot r}$; es ist aber $r = f \cdot \text{ctg } \delta$, gefunden an einer einfachen

Zeichnung oder nach A*, S. 152; s ist annähernd d oder $0,01 \cdot f$; demnach erhält man $h = \frac{0,0001 \cdot f^2}{8 \cdot f \cdot 2,3} = 0,0000055 \cdot f = 0,004 \text{ mm [0,008]}$. Dies bei Sonnenflecken zu beachten, hat wohl kaum Wert, wohl aber bei Merkurdurchgängen. Dann ist das Mikrometer richtig orientiert, wenn der Fleck beiderseits der Mitte im Abstand $d:2$ gleichen Abstand von einem waagerechten Strich hat. — Folgende Messungen wurden durchgeführt:

1. Wechselnde Größe der Sonne. Man schätzt am oberen und unteren Sonnenrand auf 0,01 mm, möglichst durch mehrere Schüler und bei etwas wechselnder Neigung des Rohres, so daß andere Skalenbruchteile sich ergeben, und bildet das Mittel. Da im Winter der Einfluß der Refraktion sich nicht vermeiden läßt, sucht man ihn möglichst einfach zu halten, indem man im Meridian beobachtet oder so nahe dabei, daß der Nord-Süd-Durchmesser noch nicht merklich von der Größe im Meridian abweicht. Der Grenzstundenwinkel ergibt sich auf folgende Weise: In der Refraktionsformel (1) ist für den Nord-Süd-Durchmesser stets hinreichend genähert $p' = 0$, also dieser Durchmesser um $d \cdot \mu \cdot \cos^2 q = \Delta R \cdot \cos^2 q$ kleiner; im Meridian um ΔR . Außerhalb des Meridians ist also am 21. Dezember (ungünstigste Zeit) in Hamburg mit zunächst willkürlich erscheinendem $\Delta R = 0,06 \text{ mm}$ (im Meridian unter 0,04) das Glied $\Delta R \cdot \cos^2 q = \Delta R - \Delta R \cdot \sin^2 q$. Soll das nicht von ΔR verschieden sein, so muß $\Delta R \cdot \sin^2 q = 0,06 \cdot \sin^2 q$ kleiner als 0,005 mm sein oder $q = 17^\circ$. Das ergibt den Stundenwinkel $1^{\text{h}} 50^{\text{m}}$ mit $z = 80^\circ$ und $\Delta R = 0,06 \text{ mm}$; dies ist der Grund für die obige Annahme von $\Delta R = 0,06 \text{ mm}$. [Bei langen Rohren $q = 9^\circ$; $t = 1^{\text{h}}$; $z = 78^\circ$; $\Delta R = 0,1 \text{ mm}$.] Man kann also in dieser ungünstigen Zeit noch fast zwei Stunden (eine Stunde) vor und nach dem Meridiandurchgang einfach zu korrigierende Werte erhalten. z findet man mit einem Höhenmeßinstrument (Genauigkeit $0,1^\circ$) oder aus $h = 90 - \varphi + \delta$, δ aus der Ephemeride; darauf μ aus Tabellen, da das Verfahren nach A 5 (in III) zu ungenau.

2. Im Lauf eines Jahres ergeben der größte und kleinste Durchmesser die Exzentrizität der Erdbahn. Die Extremwerte d_1 und d_2 sind mit der Exzentrizität e durch $d_1 : d_2 = (1 + e) : (1 - e)$ oder $e = \frac{d_1 - d_2}{d_1 + d_2}$ verbunden. Die Genauigkeit ist wesentlich durch $(d_1 - d_2)$ bedingt; da die Differenz rund 0,2 mm [0,5] ist, kann man etwa 5% [2%] Genauigkeit erwarten. Aus den Messungen mit den Ergebnissen 6,237 und 6,030 mm folgt $e = 0,0170$, während man aus den Jahrbuchwerten 0,01677 erhält. Dieses Ergebnis ist zufällig günstig; denn 0,001 mm kann man durch wenige Ablesungen noch nicht mit einiger Wahrscheinlichkeit erhalten; ferner stören dann auch die systematischen Fehler des Mikrometers. — Wetter und Ferien können diese Messungen kaum stören, da d in Sonnennähe und -ferne längere Zeit hinreichend konstant ist. Die zulässigen Abweichungen von diesen Zeiten erhält man auf folgendem Wege: Ist v der Winkelweg seit dem Durchgang durch das Perihel, dann ist der Erdabstand $r = \frac{1 - e^2}{1 + e \cdot \cos v}$, und der Sonnendurchmesser wird, wenn man $(d_1 + d_2) : 2 = d_0$ setzt, $d = d_0 \cdot \frac{1 + e \cdot \cos v}{1 - e^2}$, genähert $d_0 \cdot (1 + e \cdot \cos v)$ (Fehler 1 : 3600). Man kann also untersuchen, in welcher Zeit sich $\cos v$ in den Endpunkten der großen Achse so ändert, daß $d_0 \cdot e \cdot \Delta \cos v = 0,005 \text{ mm}$ oder $\Delta \cos v = \frac{0,005}{e \cdot d_0} = \frac{60 \cdot 0,005}{d_0}$. Dazu gehört nach den Tafeln der natürlichen Funktionswerte bei $v = 0$ oder 180° ein $\Delta v = 18^\circ$ [11°]. Da für diese Überlegung v hinreichend proportional der Zeit ist, kann man mindestens 18 Tage [11] vor und nach Perihel und Aphel (Anfang Januar und Anfang Juli) messen. (Ausdrücklich sei angegeben, daß das Rechnen mit 0,001 mm nur den Sinn haben soll, bei der Addition von Korrekturen zu den gemessenen Werten Fehler zu vermeiden.) — Wenn der Mathematikunterricht nicht die hier benutzte Formel für r vermittelt, ist die Rechnung auch mit $r = 1 - e \cdot \cos E$ möglich, in der E die sogenannte exzentrische Anomalie ist.

3. Zeit des Perihels. Darunter ist die Zeit der kleinsten Sonnenentfernung des größten Sonnendurchmessers zu verstehen. Da diese Zeit nach den Angaben unter 2. so wenig genau definiert ist, verfährt man günstiger so. Das Perihel liegt symmetrisch zu den Zeiten des mittleren Durchmessers Anfang April und Anfang Oktober;

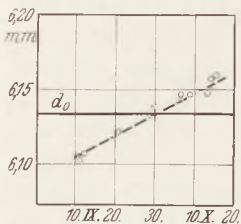
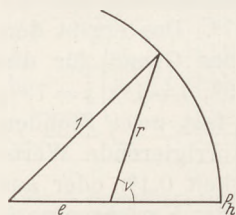


Fig. 7. Lage des Perihels.

diese Zeitpunkte erhält man dadurch relativ genau, daß man alle im März und April, sowie im September und Oktober erhaltenen Werte in ein Schaubild einträgt (Fig. 7 für September-Oktober 1935), darauf die den Werten sich gut anpassende Gerade hindurchlegt und deren Schnittpunkt mit der Geraden für den mittleren Wert d_0 von d bestimmt. So ergaben sich der 2. Oktober 1935 und der 4. April 1936, wodurch das Perihel auf den 2. Januar bestimmt wird, gegenüber dem 4. nach der Ephemeride. Nach ähnlichen Überlegungen wie unter 2. kann man vielleicht Genauigkeit auf 3 Tage [1 Tag] erwarten. Diese graphische Ermittlung aus Werten über etwa 2 Monate macht auch vom Wetter relativ unabhängig.

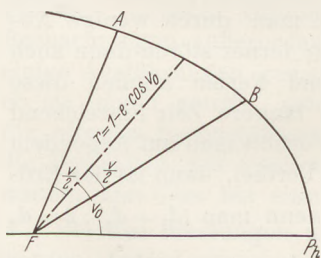
Aus der scheinbaren Größe kann man leider nicht ableiten, auch nicht mit den längsten Schulfernrohren, daß die Erdbahn eine Ellipse und nicht ein exzentrischer Kreis ist, da der Unterschied zu gering ist. Denn bei Bewegung in einem exzentrischen Kreis ist nach dem Cosinussatz, Radius = 1

(Fig. 8), $1 = e^2 + r^2 + 2 \cdot e \cdot r \cdot \cos v$ und daraus $r = \sqrt{1 - e^2 + e^2 \cdot \cos^2 v} - e \cdot \cos v = \sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 v} - e \cdot \cos v$, genähert $1 - e \cdot \cos v - \frac{1}{2} \cdot e^2 \cdot \sin^2 v$. Für die Ellipse gilt $r = \frac{1 - e^2}{1 + e \cdot \cos v} = (1 - e^2) \cdot (1 - e \cdot \cos v + e^2 \cdot \cos^2 v \dots) \approx 1 - e \cdot \cos v - e^2 + e^2 \cdot \cos^2 v = 1 - e \cdot \cos v - e^2 \cdot \sin^2 v$. In erster Näherung ist also der Unterschied $\frac{1}{2} \cdot e^2 \cdot \sin^2 v$, maximal $e^2 : 2$ oder rund 1 : 7000, und damit weit

Fig. 8.
Abstand der Erde von
der Sonne bei Bewegung
in exzentrischem Kreis.

unter der selbst bei langen Röhren möglichen Genauigkeit 1 : 1500.

4. In Verbindung mit dem scheinbaren Sonnenweg in einer bestimmten Zeit kann man dagegen den Flächensatz finden. Sieht man nämlich den Sektor FAB in Fig. 9 als Kreissektor an, dann ist sein Inhalt $0,5 \cdot r^2 \cdot v$, und für zwei verschiedene, zu denen gleiche Zeiten gehören, gilt nach dem Flächensatz $v_1 \cdot r_1^2 = v_2 \cdot r_2^2$ oder

Fig. 9.
Unterschied zwischen Ellipsen-
und Kreissektor.

$v_1 : v_2 = r_2^2 : r_1^2 = d_1^2 : d_2^2$, d. h. $v_1 \cdot d_2^2 = v_2 \cdot d_1^2$. Den Weg v der Erde (scheinbarer Sonnenweg) findet man mit einem Durchgangsinstrument oder anschaulicher nach HOFFMANN¹ mit einer Kamera, die fest an einem Ort aufgestellt ist oder mit großer Genauigkeit wieder am gleichen Ort aufgestellt werden kann. Damit macht man zu gleicher Sternzeit an aufeinanderfolgenden Tagen Sonnenaufnahmen (Diapositivplatten, kleine Blende, kurze Belichtungszeit, Rotfilter). Der Abstand der Bilder ist der Sonnenweg. Um für den Flächensatz größte Genauigkeit zu erhalten, darf die Messung auf der Platte keine Unsicherheiten ergeben, die größer sind als die bei den Durchmessern, also

nicht über 1 : 300 [1 : 750]. Mit $f = 135$ mm muß der Abstand also mindestens zwei Tage oder 5 mm sein. Es genügt auch eine einfache Kamera mit Brillenglas und auch eine Lochkamera mit dem nach Lord RAYLEIGH günstigen Lochdurchmesser $\delta = \sqrt{0,00127 \cdot f}$. Auch die Anforderungen an die Zeit sind beträchtlich; sie darf von Tag zu Tag keine Unsicherheit von 1 sec ergeben. Dafür nimmt man am besten den öffentlichen Zeitdienst zu Hilfe. Die erste Aufnahme macht man etwa 20 min nach

¹ B. HOFFMANN: Mathematische Himmelskunde und niedere Geodäsie an den höheren Schulen; Abhandlungen über den mathematischen Unterricht in Deutschland, Bd. III, H. 4. Leipzig-Berlin: B. G. Teubner 1912. S. 78, Fig. 3 und 4.

einem Rundfunkzeitsignal (12^h und 13^h Königswusterhausen, 11^h und vielleicht auch noch 15^h Hamburger Sendegruppe) und die folgenden an den folgenden Tagen jedesmal um 3^m 56^s früher; dann muß die Uhr (z. B. Stoppuhr) nur innerhalb der 20 min die sec genau halten, und das ist möglich. — Oben wurde der Unterschied zwischen dem Kreis- und Ellipsensektor FAB vernachlässigt. Daß diese Näherung den Leistungen des Schulfernrohres entspricht, kann man auf folgendem Wege beweisen: Es sei v in Fig. 9 der Weg der Erde, scheinbar der der Sonne, in der Beobachtungszeit, und r derjenige Leitstrahl, der v halbiert, ferner v_0 der von diesem Leitstrahl seit dem Perihel zurückgelegte Weg. Nimmt man die große Halbachse zu 1 an, dann ist $r = \frac{1-e^2}{1+e \cdot \cos v_0}$ und unter Vernachlässigung der quadratischen Glieder von e (von der Ordnung 1:3600) $r = 1 - e \cdot \cos v_0$. Nimmt man nun FAB als Kreissektor an mit $r = 1 - e \cdot \cos v_0$, so ist

$S_k = 0,5 \cdot r^2 \cdot v = 0,5 \cdot (1 - e \cdot \cos v_0)^2 \cdot v \approx 0,5 \cdot (1 - 2 \cdot e \cdot \cos v_0) \cdot v = 0,5 \cdot v - e \cdot v \cdot \cos v_0$. Das Element des Ellipsensektors ist dagegen

$$dS_e = 0,5 \cdot r^2 \cdot dv \approx 0,5 \cdot (1 - 2 \cdot e \cdot \cos v) dv.$$

Dann ist der Sektor

$$S_e = 0,5 \cdot \int_{v_0 - \frac{v}{2}}^{v_0 + \frac{v}{2}} (dv - 2 \cdot e \cdot \cos v \cdot dv) = 0,5 \cdot [v - 2 \cdot e \cdot \sin v] =$$

$$0,5 \cdot v - e \cdot \left[\sin \left(v_0 + \frac{v}{2} \right) - \sin \left(v_0 - \frac{v}{2} \right) \right] = 0,5 \cdot v - 2 \cdot e \cdot \cos v_0 \cdot \sin \frac{v}{2}.$$

Die beiden Ausdrücke für S_k und S_e unterscheiden sich also nur entsprechend dem Unterschiede von $\frac{\sin v}{2}$ und $\frac{v}{2}$, und das noch in einem Gliede mit einem Faktor, der maximal nur $2 \cdot e = 1:30$ des Hauptgliedes ist. Dann darf v ganz erheblich größer sein, als hier mit der Handkamera möglich ist.

Kleine Mitteilungen.

Holz — Zellstoff — Zellwolle.

Von R. Scharf in Berlin.

Die Erzeugung der Zellwolle benutzt als letzten Ausgangsstoff das Holz, wobei Zellstoff als Zwischenprodukt auftritt. Ziel der Holzverarbeitung ist, die im Holz enthaltene Zellulose frei von anderen Bestandteilen des Holzes zu gewinnen, sie dann auf irgendeine Weise zur Lösung zu bringen, und sie schließlich in Form eines Fadens wieder auszufällen und zu veredeln.

I. Zusammensetzung des Holzes.

Holz ist im chemischen Sinn ein recht uneinheitlich zusammengesetzter Stoff. Der Hauptbestandteil des Holzes ist Zellulose, die etwa 40 bis 60% des Gewichtes des trockenen Holzes ausmacht. Daneben finden sich im Holz beträchtliche Mengen (bis 25%) anderer Polysaccharide, sog. „Hemizellulosen“, die bei der Zellstoffherstellung zu einem geringen Teile mit in den Zellstoff gelangen. Diese Hemizellulosen geben bei der Hydrolyse, die teilweise recht schwer gelingt, Pentosen und Hexosen, also Xylose und Arabinose einerseits und Mannose, Glukose, Fruktose, Galaktose andererseits; statt der Bezeichnung „Hemizellulosen“ wird daher auch von „Pentosanen“ und „Hexosanen“ gesprochen.

Der dritte Hauptbestandteil des Holzes ist das Lignin, das zu 20 bis 30% darin enthalten ist. Über die chemische Natur des Lignins ist bisher nur recht wenig bekannt; jedenfalls scheint das Lignin eine ganze Reihe Stoffe zu umfassen, die als charakteristisch die Methoxylgruppe enthalten (15 bis 16% Methoxygehalt wurde im Lignin gefunden).

Neben den drei Hauptbestandteilen Zellulose, Hemizellulose und Lignin kommen im Holz in geringer Menge noch andere Stoffe vor. Kennzeichnend für die Nadelhölzer ist ein Harz-Fett-Gemisch, für die Laubhölzer ein Fett-Wachs-Gemisch. Schließlich können in manchen Hölzern noch Farb- und Gerbstoffe vorkommen. Mineralische Bestandteile sind in geringer Menge gleichfalls vorhanden; davon sind etwa 30% Kaliumverbindungen.

II. Gewinnung des Zellstoffes in der Technik.

Die Gewinnung der Zellulose aus dem Holz benutzt die Tatsache, daß Zellulose als hochmolekularer Stoff gegen die Einwirkung von Chemikalien sehr widerstandsfähig ist. Zellulose wird als unlösliches Endprodukt erhalten, während die anderen, leichter angreifbaren Bestandteile des Holzes durch die Einwirkung der Chemikalien in Lösung gehen. Zwei Verfahren sind es hauptsächlich, nach denen die Technik arbeitet: ein „alkalisches“ und ein „saureres“ Verfahren.

Im ersten Falle dient zum Aufschluß des Holzes in der Hauptsache Natronlauge und Schwefelnatrium mit einem Zusatz von Natriumsulfat. 3 bis 6 Stunden wird das zerkleinerte Holz mit der Lauge in geschlossenen Kesseln bei 170° bis 180° gekocht, wobei sich 7 bis 10 Atm Druck entwickelt. Das Lignin geht dabei in Natriumsalze der sog. Ligninsäuren über, die wasserlöslich sind. Der zurückbleibende Zellstoff, der noch einer Chlorbleiche unterzogen werden muß, wird Natronzellstoff bzw. Sulfatzellstoff genannt.

Das zweite, für die Weiterverarbeitung auf Kunstseide und Zellwolle fast ausschließlich angewendete Verfahren benutzt zum Aufschluß des Holzes schweflige Säure, in Verbindung mit den Basen Kalk, Magnesia oder (seltener) Natron. Je nach der Kochtemperatur (135° bis 150°) dauern die Kochungen 10 bis 30 Stunden. Es wird angenommen, daß der Prozeß in zwei Phasen verläuft: zu Beginn der Kochung werden HSO_3 -Ionen vom Lignin aufgenommen, so daß sich feste, unlösliche Lignosulfosäuren bzw. deren Calciumsalze bilden. Während der weiteren Kochung werden diese Lignosulfosäuren hydrolysiert und in löslicher Form aus dem Holz entfernt. Auch dieser „Sulfitzellstoff“ muß erst gebleicht werden, bevor er weiter verarbeitet werden kann. Die „Sulfitablauge“ enthält etwa 12% organische Substanz, an Zucker 1,0 bis 1,5%, von dem etwa drei Viertel vergärbar sind. Dieser Zucker wird in den großen Zellstoffabriken zu Spiritus vergoren. Die hier angegebenen Zahlen entsprechen der Ausbeute 4 bis 6 l Alkohol aus 1 cbm Sulfitablauge.

III. Gewinnung des Zellstoffes im Schullaboratorium.

Für die laboratoriumsmäßige Herstellung von Zellstoff ist die Nachahmung der technischen Verfahren im kleinsten Maßstabe recht unbequem, zeitraubend und nur mit einem größeren Aufwande von Mitteln (Drucktopf) zu erreichen. Demgegenüber läßt sich die ganze Zellstoffgewinnung recht einfach gestalten, wenn man das Holz mit Chlor bzw. Chlordioxyd vorbehandelt. Zu dieser Arbeitsweise wurde ich durch ein Analysenverfahren von CROSS und BEVAN angeregt, die das Holz mit gasförmigem Chlor behandeln und die gebildeten Lignin-Chlor-Additionsprodukte mit Natriumsulfitlösung auswaschen. Nach vielem Hin- und Herprobieren kam ich schließlich zu der folgenden einfachen Versuchsanordnung.

Fein gesiebte Sägespäne werden mit 25%iger Salzsäure ($D=1,126$) zu einem dünnflüssigen Brei angerührt. Unter einem gut ziehenden Abzug wird in diesen Brei in kleinen Mengen (je etwa 1 bis 2 g) festes Kaliumchlorat unter Umrühren eingetragen, wobei sich neben Chlor auch Chlordioxyd bildet, was sich im Geruch des entwickelten Gases bemerkbar macht. Es wird so viel Kaliumchlorat eingetragen, bis die Masse lebhaft zu schäumen beginnt. Der Holzbrei verändert während der Chlorierung seine Farbe sehr auffällig, es entsteht eine lebhaft Orangefärbung. Unmittelbar darauf wird die Masse mit der ein- bis zweifachen Menge heißem Wasser (Leitungswasser

genügt!) verdünnt und der feste Rückstand abgesaugt und oberflächlich mit heißem Wasser ausgewaschen. Das Filtrieren und Auswaschen geht außerordentlich schnell vor sich, da der Niederschlag sehr leicht filtrierbar ist.

Der orangefarbene Niederschlag wird jetzt vom Filter gelöst und wieder mit Wasser verrührt. In die entstandene Aufschlammung wird festes Natriumsulfit eingetragen, wobei die Chloradditionsverbindung des Lignins zerfällt und mit blut- bis braunroter Farbe in Lösung geht. Das Ganze wird einmal aufgeköcht; dabei tritt deutlich ein Holzteergeruch auf. Die inzwischen dunkelbraun gewordene Lösung wird wieder abgesaugt, der schmutziggelblich gefärbte Rückstand kurz mit heißem Wasser gewaschen. In der rotbraunen Lösung kann mittels FEHLINGScher Lösung Zucker nachgewiesen werden.

Der Rückstand muß jetzt noch gebleicht werden. Man kann dazu Chlorkalk nehmen; bequemer ist aber die Anwendung von technischer Natriumhypochlorit-Lösung (Eau de Javelle), weil sich darin keine unlöslichen Teile befinden. Nachdem der Rückstand mit kaltem Wasser verrührt ist, wird eine zur Bleichung genügende Menge Natriumhypochlorit-Lösung (durch den Chemikalienhandel zu beziehen oder selbst herzustellen durch Einleiten von Chlor in gekühlte 5%ige Natronlauge bis zur Sättigung) hinzugefügt und das Ganze langsam bis zum Sieden erhitzt. Dabei wird der Rückstand weiß, die Lösung ist schwach gelb gefärbt und besitzt einen schwachen, an Benzaldehyd erinnernden Geruch. Nun wird abgesaugt, zuerst mit heißem Wasser, dann mit einer geringen Menge salzsäurehaltigem Wasser, und schließlich wieder mit reinem Wasser nachgewaschen.

Der weiße Rückstand ist fast reine Zellulose, die noch geringe Mengen schwer hydrolysierbarer anderer Polysaccharide enthält. Sie kann vom Filter genommen und an der Luft oder im Trockenschrank bei 80° getrocknet werden. Das Endergebnis ist dann ein fester, filterpappenähnlicher, ziemlich harter und schwer zerreibbarer Filterkuchen, der „Zellstoff“.

Will man diesen Zellstoff weiter zu Kunstseide oder Zellwolle verarbeiten, so ist es zweckmäßig, ihn in noch feuchtem Zustand auf der Nutsche zum Schluß mit Alkohol oder Brennspritus auszuwaschen. Der dann zurückbleibende weiche Filterkuchen läßt sich nach dem Trocknen leichter in die einzelnen Fasern zerreiben. Wahrscheinlich werden bei der Behandlung mit Alkohol noch Reste von Harz, Fett oder Wachs aus dem Zellstoff herausgelöst.

Versuchsbeispiel:

10 g gesiebte Rotbuchen-Sägespäne;

80 ccm Salzsäure, $D = 1,126$;

5 g Kaliumchlorat;

10 g Natriumsulfit (wasserfrei);

50 ccm Eau de Javelle;

5,5 g Zellstoff.

IV. Weitere Verarbeitung des Zellstoffes in der Technik zu Kunstseide und Zellwolle.

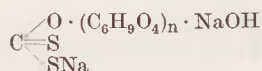
Gegenwärtig werden nach vier verschiedenen Verfahren Kunstseide und Zellwolle hergestellt: 1. Zellulosenitratverfahren (Kollodiumseide); 2. Kupferverfahren; 3. Viskoseverfahren; 4. Zelluloseacetatverfahren. Bei (1) bis (3) liegt der Unterschied hauptsächlich in der Art der Spinnlösung und der weiteren Verarbeitung, während das Endprodukt in chemischer Beziehung das gleiche ist, nämlich umgeformte Zellulose. Beim 4. Verfahren hingegen besteht der fertige Faden selbst aus dem Essigsäureester der Zellulose. Die Fadenerzeugung ist im Prinzip bei allen vier Verfahren die gleiche: Die Spinnlösung wird durch feine Öffnungen entweder in eine Fällflüssigkeit gepreßt, wo der flüssige Strahl bald zu einem festen Faden erstarrt (Verfahren 2, 3 und auch 4), oder dem Flüssigkeitsstrahl wird durch einen erwärmten Luftstrom das Lösungsmittel in Dampfform entzogen (Verfahren 1 und 4).

Bei der Kunstseideerzeugung kommt es darauf an, Fäden mit ganz gleichen Durchmessern, Querschnitten usw. zu erhalten, weshalb hierbei nur Einzeldüsen verwendet werden können; nur bei diesen lassen sich die Bedingungen entsprechend kontrollieren und einstellen. Bei der Zellwolleerzeugung kommt es auf diese absolute Gleichmäßigkeit der Fäden weniger an, da ja das Endprodukt nur aus kurzen, etwa 3 bis 7 cm langen Fadenstücken besteht, die durch Vermengen auf eine beliebig hohe Durchschnittsgleichmäßigkeit gebracht werden können. Die verschiedene Fadenstärke kann sogar unter Umständen von Vorteil sein, wenn man bedenkt, daß auch die natürlichen Fasern, denen die Fadenstücke nachgebildet sind, keine vollendete Gleichmäßigkeit aufweisen. Man wendet daher für die Zellwolleherstellung Mehrfachdüsen an, die auf einer Fläche, die nicht größer als ein Fünfundmarkstück ist, bis 2500 Löcher besitzen. Dadurch wird die Zellwolleherstellung billiger als die der Kunstseide, denn für die 1000 bis 2500 Einzelfäden der Zellwolle werden im Verhältnis zum Einzelfaden der Kunstseide weniger Nebenapparate (Spinnpumpen, Filterkerzen usw.) und Arbeitskräfte gebraucht.

Grundsätzlich unterscheiden sich also Kunstseide und Zellwolle nur dadurch, daß Kunstseide aus Einzeldüsen gesponnen und der Faden als Ganzes in die Zwirnerei und Weberei gelangt, während Zellwolle aus Mehrfachdüsen gesponnen und der Zellwollestrang in kurze Fadenstücke zerschnitten wird, die ähnlich wie die Naturfasern weiter verarbeitet werden. Es ist klar, daß daneben noch vielerlei kleinere Unterschiede bei der Herstellung gemacht werden — es sei z. B. an die Kräuselung des Zellwollefadens erinnert —, doch kann darauf an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden.

Hier sollen eingehender zwei Verfahren besprochen werden, die sich auch in der Schule mit einfachen Hilfsmitteln nachahmen lassen: das wichtige Viskoseverfahren — etwa 85% der gesamten Kunstseide und Zellwolle wird nach diesem Verfahren hergestellt — und das Kupferverfahren.

Beim Viskoseverfahren wird der Zellstoff mit 18%iger Natronlauge behandelt, wobei sich eine lose Verbindung zwischen Zellulose und Natriumhydroxyd bildet, die sog. „Natronzellulose“. Die überschüssige Lauge wird nach einer gewissen Zeit abgepreßt und die breiige Masse mit Schwefelkohlenstoff durchgeknetet; man erhält dann ein orange gefärbtes Zellulosexanthogenat, dem man folgende ungefähre Zusammensetzung zuschreibt:



Die krümelige Masse wird in dünner Natronlauge gelöst; es entsteht eine honiggelbe, zähflüssige Masse, die von CROSS und BEVAN „Viskose“ genannt wurde. Diese Viskose wird nach einer gewissen „Reifezeit“ aus Düsen (s. o.) in das Fällbad gepreßt, das neben verdünnter Schwefelsäure hauptsächlich Natriumsulfat enthält. Die Säure zersetzt die Zelluloseverbindung, wobei Schwefelkohlenstoff, Schwefelwasserstoff und andere Gase unter Zurücklassung von Zellulose abgespalten werden. Die Zusätze zur Säure sollen diese Gasabspaltung verlangsamen, um den gebildeten Faden möglichst zu schonen. Die ausgefällte Zellulose ist nicht rein genug, sie enthält noch elementaren Schwefel. Dieser wird durch heiße Schwefelnatriumlösung herausgelöst. Anschließend erfährt der Faden eine Nachbehandlung, die von Einfluß auf die Kräuselung, Naßfestigkeit usw. des fertigen Fadens ist.

Das Kupferverfahren, das für ganz bestimmte Qualitäten Kunstseide und Zellwolle immer noch angewandt wird, obgleich es teurer als das Viskoseverfahren ist, beruht auf der Löslichkeit von Zellulose in Kupfer (2)-tetraminhydroxyd-Lösung („Schweizers Reagens“), $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{OH})_2$, eine Verbindung, die nur in Gegenwart überschüssigen Ammoniaks beständig ist. Nach W. TRAUBE bildet sich zunächst eine alkoholähnliche Verbindung, die Kupfer (2)-tetraminzellulose. Mit einem weiteren

Teil des Kupfer (2)-tetraminhydroxyds setzt sich diese Verbindung zu Kupfer (2)-tetramin-Kupfer (2)-zellulose [etwa mit der Formel $C_{12}H_{16}O_{10}Cu \cdot Cu(NH_3)_4$] um. Durch Zusatz von Wasser, Alkalien oder Säuren wird das Gleichgewicht gestört und feste Kupfer-Alkali-Zellulose bzw. reine Zellulose ausgeschieden. Bei den dünnen Fäden der Technik wird meist 45 bis 50%ige Schwefelsäure als Fällflüssigkeit verwendet; dickere Fäden werden erst in Natronlauge (mit Zusätzen) gepreßt und anschließend mittels Säure entkuppert.

V. Kunstseide- und Zellwolleherstellung im Schullaboratorium.

In der Schule wird man, um das Prinzip der Zellwolleherstellung zu zeigen, selbstverständlich nur eine Einzeldüse verwenden, weil die Vorgänge dann leichter zu übersehen sind und Schwierigkeiten nicht gleich mehrfach auftreten. Streng genommen müßte der Faden als Kunstseidefaden bezeichnet werden. Auch in den anderen Teilen des Verfahrens wird man mit vielen Vereinfachungen arbeiten müssen; dafür dürfen natürlich an die Qualität der Fäden keine übertriebenen Anforderungen gestellt werden.

a) Viskoseverfahren. 3 g trockener, selbst hergestellter Zellstoff (oder zerzupftes Filtrierpapier) werden in einer 100-ccm-Pulverflasche mit 10 ccm 18%iger Natronlauge ($D=1,202$) und 10 ccm Schwefelkohlenstoff zusammengebracht; nach dem Verschließen der Flasche wird gut durchgeschüttelt. Der Zellstoff färbt sich bereits nach einigen Minuten schwach gelblich. Man läßt die Flasche über Nacht stehen; es hat sich dann das Xanthogenat als orangefarbener (bei Filtrierpapier brauner), zäher Kuchen am Boden der Flasche abgesetzt, darüber steht klarer, überschüssiger Schwefelkohlenstoff. Dieser wird abgossen (möglichst ins Freie, nicht in die Wasserleitung) und die Flasche anschließend etwa 10 bis 20 Minuten lang mittels einer Wasserstrahlpumpe evakuiert, um möglichst den ganzen überschüssigen Schwefelkohlenstoff zu verdampfen; erwärmt werden darf die Masse nicht. Während des Evakuierens stellt man die Flasche in einen Emailtopf oder eine Blechbüchse, um im Fall einer Implosion der Flasche gegen Glassplitter geschützt zu sein. Bei den kleinen 100-ccm-Pulverflaschen ist dies bei mir allerdings nie der Fall gewesen. Wer es sehr eilig hat, kann auf das Evakuieren schließlich auch noch verzichten; die Viskoselösung wird dadurch naturgemäß schlechter.

Das orange gefärbte, klebrige Xanthogenat wird in der gleichen Flasche mit 35 ccm 2,5%iger Natronlauge ($D=1,029$) verrührt. Man läßt einige Minuten stehen, rührt wieder, zerdrückt dabei möglichst die noch vorhandenen Klumpen, und wiederholt dies gegebenenfalls mehrere Male. Bei dieser Arbeit werden leider recht viele Luftbläschen in die Flüssigkeit hineingerührt, die aus der „viskosen“ Lösung erst im Laufe mehrerer Stunden entweichen. Bläschenfrei muß aber die Viskose sein, wenn sie versponnen werden soll, denn jede Blase würde eine Unterbrechung des Fadens an der Düse bedeuten.

Man kann das Hochschwimmen der Luftbläschen etwas beschleunigen, wenn man die Flasche während $1/2$ bis 1 Stunde evakuiert. Die Luftbläschen dehnen sich auf ein Vielfaches ihres bisherigen Durchmessers aus, und ihr Auftrieb wächst dabei mehr als ihr Reibungswiderstand in der Flüssigkeit. Die bläschenfreie Flüssigkeit wird jetzt in ein senkrecht aufgestelltes, etwa 20 cm langes Glasrohr von ungefähr 10 mm Außendurchmesser gefüllt, das am unteren Ende zu einer kurzen, nicht unter 0,5 mm weiten Kapillare ausgezogen ist; in einer kleinen leuchtenden Gasflamme wurde diese rechtwinklig umgeben¹.

Wenn die Viskose aus der Düsenöffnung herauszutreten beginnt (nicht vorher!), wird die Düse in das Fällbad gesenkt, das im einfachsten Fall aus der handelsüblichen verdünnten (16%igen) Schwefelsäure besteht. Von der Düse löst sich jetzt

¹ s. a. R. SCHARF, Diese Zeitschrift 49, 119 (1936).

ein zunächst flüssiger, dann aber fester Faden ab, der in unregelmäßigen Schleifen sich im Fällbad verteilt. Sollte sich aus irgendeinem Grunde die Düse verstopfen, so beseitigt man diese Verstopfung am besten dadurch, daß man ein 2 bis 3 mm langes Stückchen der Kapillare mittels einer kräftigen Pinzette im Fällbad abbricht; die Düse kann durch mehrere Glasmesserschnitte schon darauf vorbereitet sein.

Der Faden kann beim Spinnen gedehnt werden, so wie es in der Technik immer geschieht, indem der aus der Düse kommende Faden mit einer Pinzette gefaßt und mit gleichmäßiger, nicht zu großer Geschwindigkeit von der Düse abgezogen wird. Er muß dabei eine gewisse Strecke im Fällbad geführt werden, kann dann aber in die Luft hinausgezogen werden. Das Fällbad befindet sich hierbei am besten in einer flachen Glasschale oder einem flachen Porzellanteller. Nach dem Hinausziehen des Fadens — man wird höchstens 1 bis 2 m lange Enden ziehen — legt man ihn zur völligen Durchhärtung noch für 1 bis 2 Minuten in das Fällbad zurück, bringt ihn danach in Wasser und hängt ihn schließlich zum Trocknen auf; er wird am frei hängenden Ende mit einem Drähtchen oder ähnlichem beschwert, um ihm eine gestreckte Form zu geben. Die erhaltenen Fäden sind schwach gelbbraun gefärbt, da sie noch nicht entschwefelt sind; sie erinnern jedoch in ihrem Glanz an Kunstseide. Die dickeren Fäden, die aus einer 0,5 mm Düse ohne Dehnung gesponnen wurden, sehen weißem Roßhaar ähnlich, ihre Zugfestigkeit beträgt etwa 100 g.

Legt man Wert auf eine besondere Güte der fertigen Kunstseide bzw. Zellwolle, so kann man verschiedene Verfeinerungen anwenden. Zunächst wird die Herstellung der Natronzellulose von der des Xanthogenates getrennt. 3 g Zellstoff werden mit etwa 50 ccm 18%iger Natronlauge übergossen und unter wiederholtem Umrühren 10 Minuten stehen gelassen. Die überschüssige Natronlauge wird auf einer Jenaer Gasfilternutsche so weit abgesaugt, daß das Gesamtgewicht des Natronzellulosebreies 15 g beträgt. Diese Natronzellulose wird dann erst in einer kleinen Pulverflasche mit 10 ccm Schwefelkohlenstoff übergossen und geschüttelt, wobei sich im Lauf einiger Stunden das Xanthogenat bildet. Dieses wird in entsprechender Weise, wie oben beschrieben, weiter behandelt bis zur fertigen Viskose, die sich durch einen hohen Grad Reinheit und Klarheit auszeichnet.

Ein Fällbad, das besser als verdünnte Schwefelsäure arbeitet, besteht aus 60 g kristallisiertem Natriumbisulfat, 20 g kristallisiertem Zinksulfat, 15 g Glukose gelöst in 200 g Wasser. Die günstigste Temperatur für dieses Fällbad ist 50° C. Nach dem Spülen kann der Faden noch entschwefelt werden in einer kochenden 20%igen Lösung von Schwefelleber (Natriumsulfid) in Wasser. Nach 2 bis 5 Minuten kommt der Faden für kurze Zeit in ein Bad von 5%iger Salz- oder Schwefelsäure und wird schließlich endgültig mit Wasser ausgewaschen und unter Spannung getrocknet. Der nach diesem umständlicheren Verfahren gewonnene Faden hat ein besseres Aussehen, größere Gleichmäßigkeit, Festigkeit und Geschmeidigkeit als der vorher beschriebene.

b) Kupferverfahren. Dieses Verfahren habe ich für natürliche Baumwolle als Rohstoff bereits beschrieben¹. Bei der Verarbeitung von Zellstoff sind jedoch einige Änderungen nötig, die dadurch bedingt werden, daß native Zellulose einen weit höheren Polymerisationsgrad, nämlich mindestens 2000, besitzt als die technischen Zellulosen, deren Polymerisationsgrad im Durchschnitt etwa bei 300 liegt². Die Lösungen der technischen Zellulosen fallen daher bei gleicher Konzentration weit dünnflüssiger aus als die von natürlicher Baumwolle, und sie müssen, um die passende Zähflüssigkeit zu bekommen, entsprechend gehaltvoller angesetzt werden. Für 1 g Zellulose sind durchschnittlich 0,6 bis 0,7 g Kupferhydroxyd erforderlich; während nun bei natürlicher Baumwolle 30 ccm Salmiakgeist (25%, $D = 0,910$) je Gramm die passende Viskosität ergeben, muß man bei Verwendung von „Zellstoff“ (Filterpapier, Zellstoff-Watte)

¹ Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht 49, 119 (1936) und 50, 22 (1937).

² H. STAUDINGER: Naturwiss. 25, 673 (1937).

mit der Salmiakgeistmenge bis auf 10 bis 15 ccm heruntergehen, wenn die Lösung gut spinnbar sein soll. Für das Filtrierpapier Nr. 589, weich, von SCHLEICHER und SCHÜLL fand ich folgende Arbeitsweise günstig: 3 g zerzupftes Filtrierpapier werden in einer trockenen 100-ccm-Pulverflasche mit Stopfen mit 1,8 g Kupfer(2)-hydroxyd durchgeschüttelt, dann werden 30 ccm Salmiakgeist ($D = 0,910$) hinzugesetzt, mit einem Glasstab verrührt und einige Stunden verschlossen stehen gelassen. Die dunkelblaue Lösung ist dann, oder besser erst am nächsten Tage (mit der gleichen Einrichtung wie beim Viskoseverfahren beschrieben), zu verspinnen; als Fällbad dient eine Lösung von 9 Vol. technischer 33%iger Natronlauge und 1 Vol. wasserfreiem Glycerin. Danach wird der Faden in Wasser gespült, in 2%iger Schwefelsäure entkupfert, wieder gewaschen und unter Spannung getrocknet. Der erhaltene Faden ist schöner als der nach dem oben angegebenen Viskoseverfahren.

Arbeitet man mit dem selbst hergestellten Zellstoff, so sind im Durchschnitt statt der oben angegebenen 30 ccm Salmiakgeist etwa 40 bis 50 ccm auf 3 g Zellstoff erforderlich, um eine gut verspinnbare Lösung zu erhalten.

VI. Unterrichtliche Behandlung.

Wenn die chemischen Vorgänge bei der Herstellung des Zellstoffes und der Lösung der Zellulose hier sehr ausführlich behandelt wurden, so sind diese Angaben wesentlich nur für den Lehrer selbst bestimmt. Im Unterricht wird es genügen, wenn hervorgehoben wird, daß die Zellulose nicht wie Salz und Zucker einfach gelöst werden kann, sondern bestimmte Atomkomplexe an das Zellulosemolekül erst angelagert werden müssen, um eine Lösung der Zellulose zu ermöglichen, und daß diese angelagerten Gruppen im Fällbad wieder abgespalten werden müssen.

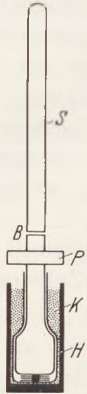
Als Schauversuche für den planmäßigen Unterricht würde ich die Zellstoffgewinnung aus Holz und die Herstellung künstlicher Fäden nach dem Kupferverfahren wählen, weil diese schnell durchzuführen sind und auch theoretisch keine großen Schwierigkeiten bieten.

Das Viskoseverfahren würde ich praktisch behandeln nur in dem allgemeinen Rahmen einer naturwissenschaftlichen Arbeitsgemeinschaft, deren Thema etwa „Das Holz“ ist, und die dieses Gebiet sowohl nach der chemischen, wie der biologischen, physikalischen und wirtschaftlichen Seite hin umfassend behandelt.

Für die Praxis.

Gerät zur Zerteilung von Kampfstoffattrappen. Von Dr. Wilhelm Flörke in Gießen. Das zu beschreibende Gerät soll es ermöglichen, die Art, in der chemische Kampfstoffe durch Fliegerbomben zerteilt werden können, im Lehrsaal zu zeigen. In der Figur bedeutet *H* eine Metallhülse von 12 mm äußerem Durchmesser und 22 mm Höhe (Stück einer Patronenhülse). *S* ist ein Stempel, der unten 9 mm und in seinem Schaft 5 mm dick ist. Über der Platte *P* besitzt er eine Bohrung *B*. Seine Länge beträgt insgesamt 80 mm. Zum Gebrauche werden auf den Stempel 3 bis 4 Zündblättchen (Amorces), wie sie in Kinderpistolen üblich sind, gelegt und mit einem quadratischen Stück dünnen Stanniolpapiers (Schokoladenpapier, Blattaluminium) bedeckt. Das Stanniol wird um den Stempel herumgelegt und vorsichtig an dem unteren Teile des Schaftes fest angedrückt. Es soll den Zündsatz von dem flüssigen Kampfstoffinhalt der Hülse trennen und darf deshalb keine Risse aufweisen, durch welche die Flüssigkeit zum Pulver gelangen könnte. Der so vorbereitete Stempel wird in die Hülse gesteckt und mittels eines Drahtes, der durch die Bohrung bei *B* und durch eine Kerbe im Boden der Hülse geht, festgebunden (in der Figur ist der Draht nicht gezeichnet). In die so vorgerichtete „Bombe“ wird kurz vor dem Gebrauche der „Kampfstoff“ *K*

eingefüllt. Als Attrappe für Geländekampfstoff benutzt man Vaselineöl, das man mit einer kleinen Menge einer Lösung von Sudanrot in Tetrachlorkohlenstoff rot färben kann. Läßt man die „Bombe“ in eine mit weißem Papier ausgeschlagene Kiste auf einen Stein fallen, so wird der „Kampfstoff“ durch die Explosion modellartig schön



Zerteilungsgerät für
Schein-Kampfstoffe.

in feine Tröpfchen zerteilt, die den Boden und die Wände (Hauswände!) bedecken. Als Attrappe für die Grünkreuzgruppe der Luftkampfstoffe dient eine leicht verdunstende Flüssigkeit, die einen starken Geruch besitzt, z. B. Amylacetat. Wirft man die damit beschickte Bombe in gleicher Weise wie vorher ab, so weist das Papier nachher entweder gar keine oder nur vereinzelte Flüssigkeitsspritzer auf, die jedoch schnell verdunsten. Dafür aber verbreitet sich der Geruch des „Kampfstoffs“ sehr rasch durch den ganzen Lehrsaal. Bei der Explosion wird in diesem Falle der „Kampfstoff“ so fein zerstäubt, daß bei der großen Dampfspannung, die er besitzt, eine fast augenblickliche Verdampfung eintritt. Eine Kampfstoffwolke aus Schwefelstoffen kann man mit Phosphorperoxyd nachahmen. In den Zwischenraum zwischen Hülse und Stempel füllt man etwas roten Phosphor, der bei der Explosion verbrennt, so daß an der Einschlagstelle eine Rauchwolke entsteht, die sich rasch in der Luft verteilt. In größerer Entfernung ist davon nicht ohne weiteres etwas zu sehen. Daß aber

dort auch Schwefelstoffteilchen vorhanden sind und in diesem Fall also keine molekulare Zerteilung des Kampfstoffs vorliegt, läßt sich im verdunkelten Saale leicht mit einem Lichtstrahlenbündel (Tyndallkegel) zeigen.

Das beschriebene Gerät ist einfach herzustellen, billig und bequem in der Handhabung und dürfte geeignet sein, die verschiedene Zerteilung, in der chemische Kampfstoffe auftreten können, eindrucksvoller zu zeigen, als dies ohne Zuhilfenahme einer eigentlichen Explosion im Lehrsaal möglich ist. Wer ein übriges tun will, kann dem Gerät sogar äußerlich die Form einer Fliegerbombe geben, in der dann nur der Spalt unter der Platte *P* für den Austritt des Kampfstoffes vorhanden sein muß, da wohl eine eigentliche Zertrümmerung des Gefäßes nicht in Frage kommen wird.

Berichte.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Internationaler Kongreß für Kurzwellen in Physik, Biologie und Medizin in Wien II.¹ Originalbericht von J. BÖHME in Berlin.

Bremsfeldmethode.

Die im Jahre 1920 von BARKHAUSEN und KURZ entwickelte Methode zur Erzeugung ultrakurzer Wellen setzt dort ein, wo die oben geschilderten Rückkopplungsschaltungen wegen der endlichen Elektronenlaufzeit versagen. Bei der Bremsfeldmethode wird gerade die endliche Laufzeit zur Schwingungsanfänger benutzt, da hier die Elektronenträgheit kein Hindernis für die ultrahohen Frequenzen bildet. Die Schaltung ist so angeordnet, daß das Gitter positive Spannung erhält, während die Anode negativ aufgeladen wird. Hierdurch entsteht folgender Vorgang (Fig. 6): die von der Kathode kommenden Elektronen werden durch das positive Gitter stark beschleunigt, an der negativen Anode jedoch stark abgebremst,

so daß sie wieder vom Gitter angezogen werden und zum Teil durch das Gitter bis kurz vor die Kathode gelangen und hier wiederum abgebremst

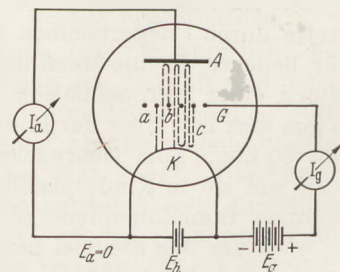


Fig. 6. Bremsfeldmethode nach BARKHAUSEN und KURZ.

und erneut zum Gitter hingezogen werden. Der Emissionsstrom belastet also im wesentlichen das Gitter, das sehr stabil gebaut sein muß, um die thermischen Gitterverluste aushalten zu können.

¹ Bericht I vgl. diese Zeitschr. 51, 113 (1938).

Gegenüber der Röhre in Rückkopplungsschaltung mit einseitig gerichtetem Elektronenstrom zeigt sich bei der Bremsfeldröhre eine periodisch um das Gitter pendelnde Elektronenbewegung. Die Wellenlänge der erzeugten Raumladungsschwingungen ist im wesentlichen von der Gitterspannung U_g abhängig ($\lambda^2 U_g = \text{const}$).

Die Theorie der Selbsterregung der Bremsfeldschwingungen ist noch nicht vollständig geklärt; sie soll hier auch nicht im Gedankengang erläutert werden, da diese Methode bisher in der Praxis noch keine große Anwendung gefunden hat; die erzeugten Energien sind noch viel zu gering. Man erreicht mit Bremsfeldröhren Wellenlängen von 20 cm bei einigen Watt Hochfrequenzenergie. In Fig. 7 ist eine Telefunkenröhre RS 296 wiedergegeben, mit der Wellenlängen von etwa 50 cm

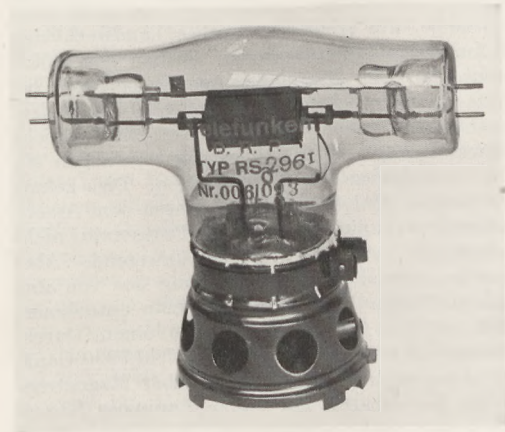


Fig. 7. Bremsfeldröhre RS 296 (Telefunken). Gitter- und Anodenanschluß sind nach beiden Seiten als Lecher-System herausgeführt.

erzeugt werden können. In seinem Vortrage sprach HOLLMANN u. a. auch über die vielen Deutungen, die der Bremsfeldtheorie von den verschiedensten Autoren gegeben werden und die zu manchen Mißverständnissen führten. Aber auch bei den experimentellen Untersuchungen stellten sich Widersprüche ein, die vielfach erst in der letzten Zeit geklärt werden konnten. Hier sei kurz auf die häufig mißverstandene Deutung der sogenannten GILL-MORELL-Schwingungen eingegangen, die immer in Gegensatz zu den BARKHAUSEN-KURZ-Schwingungen gestellt wurden. Es ist dankenswert, daß HOLLMANN diese augenscheinlichen Gegensätze geklärt hat.

Bei der Entdeckung der Bremsfeldschwingungen durch BARKHAUSEN und KURZ stellte sich ein grundlegender Unterschied gegenüber den damals bekannten Methoden der Schwingungserzeugung heraus: die mit einer Bremsfeldröhre erzeugte Wellenlänge hing in keiner Weise vom äußeren Schwingungssystem, sondern nur von den Spannungen und Strömen der Röhre ab, wodurch die Pendelbewegung der Elektronen als Ursache der ultrakurzen Schwingungen angesehen wurde. Als GILL und MORELL (1922) mit Brems-

feldröhren Untersuchungen anstellten, fanden sie, daß die Wellenlänge dennoch durch einen von außen angelegten Schwingkreis (z. B. Lecher-system) in bestimmten Grenzen verändert werden konnte. Die so erzeugten Wellenlängen waren unabhängig von den angelegten Spannungen und wurden durch die Resonanz des Lecher-Systems bestimmt. Also ein durchaus gegensätzliches Verhalten zu den Beobachtungen von BARKHAUSEN und KURZ. Später fand man sogar, daß beide Schwingungsarten gleichzeitig auftreten konnten.

Wie klärten sich nun diese Unstimmigkeiten auf? Es zeigte sich, daß die Dimensionierung des Gitters die Ursache zu den verschiedenen Schwingungsarten war. Bei feinem Gitter traten nur die von äußeren Kreisen unabhängigen Schwingungen auf. Röhren mit gröberen Gittern lassen diese BARKHAUSEN-KURZ-Schwingungen zurücktreten und gleichzeitig Schwingungen durch äußere Kreise in Erscheinung treten. Bei sehr groben Gittern wurden nur noch die GILL-MORELL-Schwingungen beobachtet.

Im letzten Falle kann also von einer Pendelung der Elektronenwolke nicht mehr gesprochen werden. HOLLMANN erklärt die Schwingungen auf Grund seiner Theorie, indem er sich die Anfängung der Schwingungen durch Inversionen des Innenwiderstandes der Röhre vorstellt. Nach HOLLMANN wirkt die Bremsfeldröhre als ultradynamischer Widerstand genau wie die Rückkopplungsröhre, nur daß die Funktionen von Gitter und Anode vertauscht sind.

Magnetfeldmethode.

Da wegen der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit weder HOLLMANN noch POSTHUMUS, der ja sehr viel über Magnetronröhren gearbeitet hat und durch seine Entgegnungen auf die von MEGAW aufgestellten Magnetrontheorien bekannt ist, über die Erzeugung von Ultrakurzwellen durch Magnetronröhren sprechen konnten, bildeten die Ausführungen von H. G. MÖLLER-Hamburg eine vollwertige Entschädigung für diesen Ausfall. MÖLLER, der sich mit der zum ersten Male von HABANN entwickelten Art von Magnetfeldröhren schon zu einer Zeit beschäftigt hat, als die Untersuchungen an Magnetronröhren noch nicht „Mode“ waren, besitzt als einer der wenigen Forscher auf diesem Gebiet ein festumrissenes Bild der Magnetrontheorie.

Ein Magnetron ist im Prinzip eine Zweipolröhre, bestehend aus einer Kathode und einer Anode, die entweder ungeschlitzt oder zwei-, drei-, vier- und auch mehrfach geschlitzt sein kann. Fig. 8 zeigt ein Vierschlitzmagnetron.

Ein Magnetfeld, das in Richtung des Heizfadens wirkt, übt ähnliche Funktionen wie das Gitter bei anderen Röhren aus, da man die Bewegung von Elektronen außer durch ein elektrostatisches Feld auch durch ein magnetisches Feld beeinflussen kann. Durch das Magnetfeld werden die ursprünglich radial aus der Kathode austretenden Elektronen von ihrer geradlinigen Bahn abgelenkt. Bei stärkerem Magnetfeld wird diese

Abbiegung so stark, daß die Elektronen die Anode zunächst nicht mehr erreichen, sondern sich auf kreisförmigen Bahnen bewegen. Die Anfachung der Schwingungen in einem Magnetron ist nicht mit wenigen Worten zu beschreiben. Auch hier treffen, wie bei der Bremsfeldröhre, mehrere Anfachungsmöglichkeiten zusammen, so daß man von Schwingungen erster und zweiter Art spricht, abgesehen davon, daß mehrere Autoren noch andere Schwingarten beobachtet haben wollen.

Die Schwingungen erster Art sind in erster Näherung nur vom Magnetfeld proportional abhängig (OKABE), während die Schwingungen zweiter Art nach POSTHUMUS durch das Magnetfeld und das elektrische Radialfeld zwischen den gegenüberliegenden, durch die Schlitze entstandenen Anodensegmenten bestimmt sind. Außerdem sind aber die Magnetronschwingungen von äußeren Kreisen abhängig. Bei den Dezimeterwellen benutzt man als äußeren Kreis in den meisten Fällen ein Lecher-Drahtsystem, mit dem man die Wellenlänge in weiten Grenzen ändern kann.

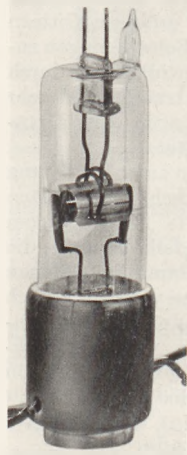


Fig. 8.
Vierschlitz-Magnetron (HABANN-Röhre) von Telefunken für $\lambda = 50$ cm und $N_s = 60$ Watt.

Mit Magnetronröhren kann man bei den kürzesten Wellen wesentlich größere Energien herstellen als mit den Bremsfeldröhren. Im Handel sind auch bereits mehrere Röhrentypen erhältlich. Außer der Telefunkenröhre MV 50/25, die bei $\lambda = 50$ cm etwa 25 W Leistung abgibt, seien Philips-Röhren genannt, die bei 60 cm Wellenlänge eine Leistung von 60 bis 70 W aufweisen, ohne Wasser Kühlung der Anoden, weiterhin ein Magnetron für 18 cm Wellenlänge. Mit Wasserkühlung erreicht eine andere Philips-Röhre bei 50 cm Wellenlänge etwa 300 W. Man findet aber in den zahlreichen Veröffentlichungen über Magnetronuntersuchungen auch Angaben von Röhren, die mit wassergekühlter Anode bei Wellen von etwa 1 m Leistungen von 600 bis 1000 W abgeben können. Hierbei handelt es sich aber um Laboratoriumsröhren, die noch keine große Lebensdauer besitzen. Es zeigt uns aber, daß auf dem Dezimeterwellengebiet die Entwicklung fortschreitet. Leistungen von einigen 100 W bei Wellenlängen zwischen 50 und 100 cm stellen schon außerordentlich hohe Energien dar, mit denen man sehr vorsichtig umgehen muß wegen ihrer außergewöhnlich großen Wärmewirkung auf dielektrische Substanzen.

Wie groß ist nun die kürzeste mit Magnetronröhren hergestellte Wellenlänge? Diese Grenze ist in den letzten Jahren immer weiter heruntersgeschraubt worden. Wie wir sahen, bereitet die Erzeugung von 50 cm Wellenlänge keine große

Schwierigkeit mehr; auch der Wirkungsgrad liegt hier noch zwischen 30 und 50%, je nach Art der verwendeten Röhren. Mit dem in Fig. 12 gezeigten Zweischlitzmagnetron lassen sich $\lambda = 10$ cm bei 0,5 W erreichen; der Wirkungsgrad beträgt hier nur noch 5%.

Bei Laboratoriumsversuchen der General Electric Comp. erzielte McARTHUR eine Wellenlänge $\lambda = 4,8$ cm bei 10 W Leistung mit dem Wirkungsgrade 3%; das hierbei verwendete Magnetfeld war schon außerordentlich groß und die Anodenspannungen betrugen über 3000 V. Zur Vergleichung sei erwähnt, daß man in den für 50- bis 70-cm-Wellen üblichen Magnetrons Spannungen von 1000 bis 1500 V und Magnetfelder von 600 bis 1200 Gauß anwendet. Weiterhin muß man beachten, daß, je kleiner die erzeugte Wellenlänge sein soll, desto kleiner auch der Anodendurchmesser gewählt werden muß, eine Tatsache, die schon erhebliches handwerkliches Können beim mechanischen Aufbau der Röhre erfordert. Die Anodendurchmesser betragen bereits nur etwa 8 bis 12 mm für die 50-cm-Wellen.

Um so mehr bekommen wir eine ehrliche Bewunderung dafür, daß es sogar gelungen ist, die 1-cm-Grenze zu unterschreiten. Dies gelang zum ersten Male vor einigen Jahren dem Amerikaner POTAPENKO. Leider war POTAPENKO nicht persönlich auf dem Kongreß anwesend. Aber aus der kurzen Zusammenfassung des von ihm beabsichtigten Vortrages kann man entnehmen, daß bei $\lambda = 1,22$ cm die Anode einen Durchmesser von 0,7 mm hatte; Magnetfeld 9900 Gauß, Anodenspannung 1350 V. Mit einer Magnetronröhre, die wirklich ein feinmechanisches Kunstwerk sein muß, erzeugte der Amerikaner WILLIAMS ungedämpfte Schwingungen von $\lambda = 6$ mm! Wie genau der Aufbau sein muß, kann man daran erkennen, daß der Anodendurchmesser 0,38 mm bei 5 mm Anodenlänge betrug. Außer einem sehr starken Magnetfeld von 40000 Gauß waren Anodenspannungen von mehreren 1000 V notwendig. In der Diskussion nach einem Vortrag über Magnetronröhren erklärte ESAU-Jena, daß inzwischen von ihm und seinen Mitarbeitern dieser „Rekord“ mit $\lambda = 4,9$ mm gebrochen sei. Die Energien sind allerdings äußerst gering, aber doch so weit hinreichend, um einige grundlegende Messungen damit anstellen zu können.

Bevor wir uns weiteren Ergebnissen zuwenden, betrachten wir noch einmal Fig. 1. Mit einer Wellenlänge von rund 5 mm ($f = 6 \cdot 10^{10}$ Hz) befinden wir uns auf dem rechten Ende des waagerechten Striches mit der Bezeichnung „Ultrakurzwellen“. Bei $5 \cdot 10^{11}$ ist der Beginn der ultraroten Wärmestrahlung, also der Beginn des optischen Teils des elektromagnetischen Spektrums angedeutet. In Wirklichkeit besteht hier keine Lücke; auch dieser Frequenzbereich ist bereits experimentell erobert worden. Wir befinden uns hier an dem Übergangsbereich, in dem Optik und Elektrizität ineinander übergreifen. Von der ultraroten Seite her erhielten bereits im Jahre 1925 NICHOLS und TEAR aus der Quecksilberquarzlampe durch geeignete Filterung eine

Strahlung mit $\lambda = 0,42 \text{ mm} = 420 \mu$. Mit Hilfe von Funkenstrecken konnten dieselben Forscher auf elektrischem Wege Wellenlängen bis zu $\lambda = 200 \mu$ herunter erzeugen. Aber auch dieser Wert wurde noch durch die Oszillatorensysteme bzw. den sog. Massenstrahler von GLAGOLEWA-ARKADIEWA mit Wellen von 82μ unterboten.

Zusammenfassend können wir sagen:

Kürzeste ungedämpfte elektrische Welle 4,9 mm
Kürzeste gedämpfte elektrische Welle . 0,08 mm
Längste ultrarote optische Welle . . . 0,42 mm.

Ob sich auch ungedämpfte elektrische Wellen bis in die Größenordnung der längsten ultraroten Wellen erzeugen lassen, kann heute weder mit ja noch mit nein beantwortet werden; vielleicht überwindet die Technik auch noch dieses Wellenlängengebiet.

Wie im Schrifttum, fanden auch bei den Wiener Vorträgen die Mitteilungen über Magnetronröhren große Beachtung, ohne daß hierüber ausführlicher berichtet werden kann. LÜDZIRICH sprach über die POSTHUMUS-Schwingungen (Schwingungen zweiter Art, s. oben). GROSZKOWSKI und RYZKO verwendeten statt der sonst üblichen Heizfäden aus Wolfram oder thoriertem Wolfram Oxydkathoden, wodurch der Gesamtwirkungsgrad wegen der verringerten Heizleistung vergrößert werden soll. Die Heizleistung betrug für eine von ihnen konstruierte Magnetronröhre mit Oxydkathode nur 0,6 W, gegenüber 6 W bei den üblichen Röhren; die Leistung 2 W wurde bei 30% Wirkungsgrad erzeugt. Wenn auch ein Gewinn im Gesamtwirkungsgrad erzielt wird, so muß dabei doch beachtet werden, daß die Oxydkathoden sehr empfindlich sind; durch Rückheizungseffekte oder beim Aussetzen des Magnetfeldes wird die Kathode leicht zerstört.

Bevor wir das Gebiet der Magnetfeldröhren verlassen, müssen wir noch einige Worte über die Herstellung der Magnetfelder sagen. Die Magnetfelder können auf drei verschiedene Arten hergestellt werden: durch permanente Magnete, Elektromagnete und durch das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule. Für die praktische Verwendung scheidet letzteres Verfahren wegen der sehr hohen erforderlichen Stromstärken aus. Permanente Magnete sind sehr praktisch, lassen jedoch nur geringe Änderungen des Magnetfeldes zu und besitzen wegen des großen Luftspaltes von etwa 30 bis 60 mm (je nach Röhrendurchmesser) nur Magnetfelder von wenigen 100 Gauß. Am bequemsten ist natürlich ein Elektromagnet, der allerdings einen ziemlichen Aufwand erfordert; durch leichte Änderung des Erregerstromes kann man aber die magnetische Feldstärke in weiten Grenzen regeln. Es werden jedoch immer wieder Versuche unternommen, Sonderstähle zu entwickeln, die als permanenter Magnet hohe Felder erzeugen. So ist es u. a. der Firma Philips gelungen, einen ziemlich kleinen permanenten Magneten zu schaffen, der ein Feld von 1300 Gauß bei 45 mm Luftabstand liefert.

Meßtechnik.

Das Grundprinzip der Physik und der technischen Wissenschaften lautet: Messen heißt wissen! Es ist jedoch häufig vorgekommen, daß praktische Anwendungen einer Entdeckung oder einer Erfindung der Entwicklung einwandfreier Meßmethoden vorausgeeilt sind. So ist es auch bei der Technik der Ultrakurzwellen; hier sind zum Kummer der Physiker und Techniker die Meßmethoden noch sehr unvollkommen. Doch auch hier wird man eines Tages die Schwierigkeiten überwinden, da mit größter Energie daran gearbeitet wird, geeignete Meßinstrumente zu entwickeln, die bei den ultrahohen Frequenzen nicht versagen.

Die Aufgaben der Hochfrequenzmeßtechnik bestehen in erster Linie in der Messung der den Schwingungskreis bestimmenden Größen Induktivität, Kapazität und Dämpfungswiderstand, der Wellenlänge oder Frequenz, der Hochfrequenzwechselspannungen und -ströme und der Hochfrequenzleistung. Die Messung dieser Größen bei Hochfrequenz wird durch viele Fehlerquellen beeinflusst, die nur dem Namen nach aufgezählt werden können: Die schwer oder gar nicht zu erfassenden Induktivitäten der Zuleitungen zum eigentlichen Meßobjekt, die Erdkapazitäten, der Skin- oder Hauteffekt, Wirbelströme, Strahlungsverluste, elektrische und magnetische Streufelder u. a. Die störenden Einflüsse steigern sich fast alle mit wachsender Frequenz, so daß bei den Ultrakurz- und Dezimeterwellen die Schwierigkeiten der Messung gewaltig zunehmen bzw. zum Teil bisher unüberwindlich sind.

Es möge nur erwähnt werden, wie schwer die Aufgabe ist, einen bestimmten Punkt eines Hochfrequenzkreises eindeutig zu erden, was ja bei Niederfrequenz bekanntlich keinerlei Schwierigkeiten bereitet. Dies wird jedoch erklärlich, wenn man nachrechnet, daß ein Kupferdraht von 1 mm Durchmesser bei 3 m Wellenlänge einen induktiven Widerstand ωL von etwa 1 Ohm besitzt. Also selbst bei kurzen Erdverbindungen verhindert der Spannungsabfall auf ihnen eine wirksame Erdung oder auch, wenn die Länge der Erdleitung die Größenordnung der halben oder ganzen Wellenlänge der erzeugten Schwingung besitzt, wirkt die Erdverbindung als ausstrahlende Antenne.

Wie groß auch die Schwierigkeiten der Meßtechnik ultrahoher Frequenzen sein mögen, so sind sie keineswegs darin begründet — wie vielfach irrtümlich angenommen wird —, daß die Grundgesetze der Niederfrequenz und Hochfrequenz etwa völlig verschieden sind; das ist nicht der Fall. Man kann dem Ausspruch von F. MOELLER in einer kürzlich erschienenen Abhandlung¹ über Versuche an Resonanzerscheinungen bei Nieder- und Hochfrequenz nur zustimmen: „In Wirklichkeit besteht im Wesen

¹ F. MOELLER: Versuche zur elektrischen Resonanz mit hochfrequenten und niederfrequenten Wechselströmen. Berlin: Julius Springer 1937.

beider kein Unterschied, sondern es wachsen, wenn man so sagen darf, gewissermaßen ‚die Amplituden der Versuche‘ mit der Frequenz . . .“

Die Meßtechnik im Ultrahochfrequenzbereich unterscheidet sich von der niedriger Frequenzgebiete z. B. dadurch, daß das Meßgerät dem Meßobjekt oft angepaßt werden muß und nur an dem betreffenden Meßobjekt einwandfrei arbeitet. Bei Langwellen, die im allgemeinen mit großer Energie ausgestrahlt werden können, genügt eine sehr lose Kopplung zwischen dem schwingungserzeugenden Kreis und dem Meßkreis, so daß eine Rückwirkung des Meßgerätes auf den Schwingungskreis ohne Einfluß ist; hingegen ist man bei Ultrakurzwellen wegen der oft sehr geringen Energie zu einer festen Kopplung des Meßgerätes mit dem Schwingungskreis gezwungen, wodurch starke unkontrollierbare Rückwirkungen auf den zu messenden Schwingungskreis auftreten, und somit das Meßergebnis in oft unbekannter Größe verfälscht wird.

Wenn bereits ein nur angekoppelter Meßkreis derartige Störungen hervorruft, um wieviel ungünstiger muß die Einwirkung eines direkt in den Stromkreis eingebauten Instrumentes bei den hohen Frequenzen sein! Abgesehen davon, daß das Instrument verschiedene kapazitive Überbrückungen im Innern besitzt, wird die Dämpfung des Schwingungs- bzw. Meßkreises völlig verändert. Schließlich sei noch erwähnt, daß Frequenzänderungen durch Schwingungsmessungen nicht bestimmt werden können, da z. B. bei 1 m Wellenlänge eine Konstanz der Frequenz im Betrage $10^{-5}\%$ notwendig wäre. Hinzu kommt, daß der zeitliche Ablauf der Erscheinungen im Schwingungskreis nicht mehr quasistationär angenommen werden darf.

Um es noch einmal zu betonen: Die Meßtechnik muß bei den Ultrakurzwellen oft eigenartige und ungewohnte Wege gehen, die physikalischen Grundgesetze aber gelten nach wie vor unverändert.

Nach diesen Betrachtungen kehren wir wieder zu den Vorträgen zurück. Über Strom-, Spannungs- und Frequenzmessungen sprachen TAMM-Berlin, STRAUBEL-Jena, ROHDE-München.

Strommessung.

Die Ausführungen von TAMM zeigten, daß Strommessungen bei Ultrahochfrequenz in den meisten Fällen durch Ausnutzung der Wärmewirkung erfolgen: a) Glühlampen besonderer Bauart; b) Bolometer; c) Thermoumformer.

Zu a). Die Strommessung mit Glühlampen im Hochfrequenzkreise geschieht durch Messung der Helligkeit. Es müssen aber besondere Glühlampen hergestellt werden, die möglichst geringe Eigeninduktivitäten und -kapazitäten besitzen. Normale Glühlampen eignen sich nicht dazu; dies ist leicht einzusehen, wenn wir uns an das oben Gesagte erinnern, daß 1 cm Draht bei 3 m bereits 1 Ohm induktiven Widerstand darstellt. Daß auch die Kapazitäten störend wirken, erkennt man daraus, daß eine zum Stromkreise parallel

gelegte Kapazität $C = 1$ cm bei $\lambda = 3$ m nur den Nebenschlußwiderstand $\frac{1}{\omega C} = 1500$ Ohm aufweist; also ein gewisser Teil des Stromes fließt nicht über den Glühdraht und geht somit für die Messung verloren. Wegen dieser den Meßvorgang störenden Kapazitäten eignet sich für ultrahohe Frequenzen auch nicht der Hitzdraht-Strommesser, der bei niederen Frequenzen noch durchaus brauchbar ist (bei $\lambda = 300$ m besitzt $C = 1$ cm bereits einen kapazitiven Widerstand $\frac{1}{\omega C} = 150000$ Ohm).

Zu b). Beim Bolometer wird die Widerstandsänderung eines Heizdrahtes mit Gleichstrom oder mit Niederfrequenz gemessen.

Zu c). Die Messung durch Thermoumformer hat sich in vielen Fällen bewährt. Grundsätzlich setzt sich ein Thermoumformer aus einem Heizdraht und einem mit diesem in galvanischer oder rein thermischer Verbindung stehenden Thermolement zusammen. Die Temperatur des vom Hochfrequenzstrom durchflossenen Heizdrahtes wird durch ein an das Thermolement angelegtes Drehspulinstrument bestimmt. Zur Kennzeichnung der bei dieser Methode auftretenden Fehler muß zunächst der Skineffekt erwähnt werden. Der Skineffekt bedeutet, daß die unter dem Einflusse der Hochfrequenzfelder im Heizdraht entstehenden Wirbelströme eine Verdrängung des Stromes an die Oberfläche des Leiters (Heizdraht) hervorrufen und somit eine scheinbare Widerstandserhöhung zur Folge haben. Dieser Fehler wird mit kleinerem Drahtdurchmesser geringer. Diese an sich erfreuliche Tatsache bedeutet aber, daß die zu messenden Stromstärken auf eine dem Drahtdurchmesser entsprechende Größe beschränkt sind. Es hat sich gezeigt, daß Stromstärken unterhalb 1 A ohne Schwierigkeiten bis zu Wellen von 6 m herab genau gemessen werden können.

Diese Erkenntnis hat zu der Entwicklung des Siemens-Hochfrequenzstromwandlers geführt, einer Art Transformator, dessen Primärseite im Hochfrequenzkreise von hohen Strömen durchflossen werden kann; das Übersetzungsverhältnis ist so gewählt, daß auf der Sekundärseite nur Ströme unterhalb 1 A fließen, die durch Thermolemente genau gemessen werden können. Die Meßgenauigkeit beträgt etwa 2%. Will man z. B. bei $\lambda = 3$ m keinen größeren Fehler als 1% zulassen, so darf die obere Grenze des Sekundärstromes nicht größer als 0,5 A sein. Außer dem Skineffekt müssen natürlich noch andere Fehler berücksichtigt bzw. durch geeignete Maßnahmen vermieden werden, z. B. Beeinflussung des Thermolements durch kapazitive Ströme zwischen Heizdraht und Thermolement.

ROHDE wies auf die Anwendung von Trockengleichrichtern in Verbindung mit Hochfrequenzwandlern als Strommesser hin, Instrumente, die den Vorzug einer großen Überlastbarkeit besitzen. Außerdem sind von ihm Thermoumformer gebaut worden, mit denen Ströme bis 500 A meßbar sind.

Eine sehr interessante optische Methode zur Strommessung wurde von STRAUBEL entwickelt¹. STRAUBEL geht von dem Standpunkt aus, daß jeder Eingriff in den Schwingungskreis störend wirkt. Es wird daher zur Strommessung das Hochfrequenzmagnetfeld herangezogen, derart,

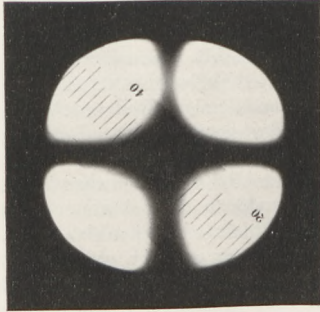


Fig. 9. Strommeßverfahren nach STRAUBEL durch optische Doppelbrechung.

daß in dem Schwingungskreis ein kleines dünnes, mit einem einseitig aufgebracht Metallüberzug versehenes Glasplättchen aufgehängt wird. Durch das hochfrequente Magnetfeld entstehen in der Metallschicht Wirbelströme, die eine Erwärmung des Metalls und damit eine einseitige Erwärmung

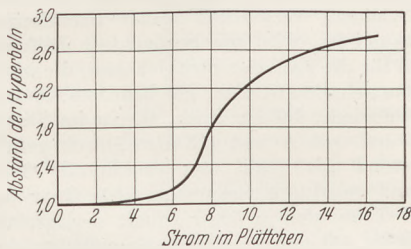


Fig. 10. Eichkurve nach STRAUBEL.

des Glasplättchens hervorrufen. Hierdurch treten Glasspannungen auf, die eine optische Doppelbrechung des Glases bewirken und durch eine Art Polarisationsapparat mit zwei NICOLSchen Prismen nachgewiesen werden können.

Verwendet man konvergentes oder divergentes Licht (also kein paralleles Lichtbündel), so erscheint bei gekreuzter Stellung der beiden NICOLSchen Prismen im Gesichtsfeld des Apparates ein dunkles Kreuz auf hellem Grund. Tritt nun durch die einseitige Erwärmung des Glasplättchens im Hochfrequenzmagnetfeld Doppelbrechung ein, so teilt sich dieses Kreuz in der Mitte in zwei Hyperbeln, die mit zunehmender Erwärmung auseinander wandern. Aus dem Abstände der Hyperbeln, der optisch gemessen wird, kann man nach vorangegangener Eichung auf die Stromstärken schließen. In Fig. 9 ist eine solche Hyperbelaufspaltung dargestellt. Fig. 10 gibt eine von

¹ Siehe auch: H. STRAUBEL, Hochfrequenz-techn. und Elektroakustik 50, 183 (1937); Heft 6.

STRAUBEL gemessene Eichkurve wieder. Ohne auf die Einzelheiten der Meßanordnung einzugehen, liegt der Vorteil dieser Methode darin, daß das Glasplättchen frei an jedem Schwingungskreis angebracht werden kann und infolge Fehlens jeglicher Ableitung völlig hochspannungssicher ist. Störungen des Schwingungskreises können also nicht eintreten, da die Beobachtungsoptik in jeder beliebigen Entfernung angebracht werden kann. Wenn sich auch der Apparat im Laboratorium bewährt hat, muß die Zukunft zeigen, ob er in der Praxis ohne Schwierigkeit verwendet werden kann.

Spannungsmessung.

Die Spannungsmessung bei den hohen Frequenzen ist natürlich ähnlichen Fehlerquellen wie die Strommessung unterworfen. Während Spannungen von einigen Volt mit Spezial-Elektrometern oder auch elektro-optischen Methoden gemessen werden können, kommt für höhere Spannungen in erster Linie das Röhrenvoltmeter zur Verwendung; hierbei müssen die Induktivität der Zuleitung und die Kapazität in der Eingangsschaltung so klein wie möglich gewählt werden. Um bei den ultrahohen Frequenzen die Elektronenlaufzeit nach Möglichkeit auszuschalten, müssen die Elektronenabstände der Meßröhre sehr verringert werden. Der Vorteil des Röhrenvoltmeters liegt darin, daß die Eichung bei niedrigen Frequenzen vorgenommen werden kann.

Ein sehr vorteilhaftes Röhrenvoltmeter wurde von ROHDE beschrieben; es besitzt für Wellen bis zu 6 m herab zwei Meßbereiche zwischen 1 und 250 bzw. 250 bis 2500 V. Bemerkenswert ist die Kleinheit des Instrumentes und die Tatsache, daß das Gehäuse nur die Kapazität 15 cm gegen die Umgebung aufweist. Eine besondere Ausführung eines Röhrenvoltmeters gestattet Spannungsmessungen bis zu 20 000 V bei $\lambda = 10$ m.

Frequenzmessung.

Die einfachste, meist hinreichend genaue Messung der Frequenz bzw. Wellenlänge geschieht in altbekannter Weise durch ein Lecher-Drahtsystem, wie es schon HERTZ bei seinen ersten Versuchen benutzte. TAMM und ROHDE erwähnten einige Instrumente, die im Prinzip einen Resonanzkreis mit Detektor und Anzeigeelement darstellen. Mit derartigen Resonanzkreisen kann man bis ins Dezimeterwellenlängengebiet hinein messen. Vielfach werden auch Instrumente gebaut, die auf einer Überlagerungs- oder Schwebungsmethode beruhen.

Wenn wir nach der Wellenlängenmessung für Wellen unter 1 cm fragen, so werden wir vergeblich nach elektrischen Meßmethoden anschauen. Wie aber bereits oben erwähnt wurde, besitzen diese kurzen Wellen bereits ausgesprochen optische Eigenschaften. Diese gestatten es, die Wellenlänge z. B. mit einem entsprechend dimensionierten Beugungsgitter in Verbindung mit einem Bolometer oder Radiometer zu bestimmen.

Über neuere Untersuchungen auf dem Gebiete der kosmischen Ultrastrahlung. III.¹ Von R. PYRKOSCH in Breslau.

Mit der *B*-Strahlung im besonderen beschäftigt sich eine Arbeit von R. HILGERT und W. BOTHE (23). Sie behandelt die Frage, ob etwa schon die *B*-Strahlung gebündelt ist, wie durch das gleichzeitige Auftreten mehrerer Teilchengarben in Nebelkammern nahegelegt wird. Anknüpfend an frühere Versuche von HILGERT (24) wurden die Messungen zumeist unter einem Kohlefilter ausgeführt, das aus Steinkohlebriketts aufgebaut war. Sie bestanden aus Koinzidenzzählungen mit 2 und 4 Zählrohren. Bei den Versuchen mit 2 Rohren wurden diese bei 4 cm Achsenabstand 55 cm unter dem Filter nebeneinander gelegt mit einem streifenförmigen Schirm zwischen ihnen, um die von der Umgebung herrührenden radioaktiven Störungskoinzidenzen einzuschränken. Über jedes Rohr konnte ein Pb-Streifen von $1 \cdot 5 \cdot 28 \text{ cm}^3$ gelegt werden, so daß 3 Fälle möglich waren, nämlich kein Pb, Pb über nur einem und Pb über beiden Rohren. Für jeden wurden die Koinzidenzen 40 Stunden lang gezählt mit dem Ergebnis, daß ein Bleistreifen allein nur eine geringe Erhöhung der Koinzidenzzahl veranlaßte, beide zusammen aber weit mehr als eine doppelt so große. Die Wirkung der beiden Streifen ist also nicht additiv. Darauf wurden die Messungen ohne Kohlefilter auf der Freiterrasse des Instituts unter einem dünnen Zelt wiederholt. Im Gegensatz zu vorher verursachten jetzt beide Pb-Streifen die doppelte Erhöhung der Koinzidenzzahl wie ein einziger.

Die Vermehrung der Koinzidenzen durch aufgelegte Pb-Platten wird bekanntlich in der Weise erklärt, daß durch einen *B*-Strahl eine Elektronengarbe im Pb ausgelöst wird, von der mindestens 1 Teilchen jedes der beiden Rohre durchsetzt. Wenn nun die *B*-Strahlen willkürlich zeitlich und räumlich verteilt auf die beiden Platten auftreffen, so sollte ihre Wirkung wie bei der zweiten Versuchsreihe additiv sein. Wenn dagegen gleichzeitig mehrere *B*-Strahlen auf die beiden Platten treffen und in ihnen je eine Teilchengarbe erzeugen, von denen jede ein Teilchen durch ein Rohr sendet, so sollte die Zunahme der Koinzidenzzahl mehr als additiv sein. Die einfachste Erklärung für das Ergebnis des ersten Versuchs sei also die, daß aus der Kohle Bündel von gleichzeitigen *B*-Strahlen kommen und je ein Strahl eines solchen Bündels einen der beiden Pb-Streifen trifft und dort einen *C*-Strahl oder eine Garbe solcher auslöst, von denen mindestens einer das zugehörige Rohr ansprechen läßt.

Daß der Versuch ohne Kohlefilter anders verläuft, wird dadurch erklärt, daß die aus der Luft kommenden *B*-Strahlenbündel, welche dann die aus der Kohle kommenden ersetzen, im allgemeinen so weit von den Pb-Platten entstehen, daß sich ihre Strahlen auf dem Wege zu diesen zu sehr voneinander entfernen, um beide treffen

zu können. Jedenfalls spräche die Vergleichung der beiden Versuche sehr dafür, daß die die Schauer auslösende Strahlung erst durch die primäre in irdischen Stoffen erzeugt werde und folglich eine echte *B*-Strahlung sei.

Da sich bei diesen Versuchen der große Null-effekt, nämlich die Koinzidenzzahl ohne Pb, störend bemerkbar machte, wurden zwei weitere Zählrohre unter die ersten gestellt und 4fache Koinzidenzen gezählt, was allerdings wegen ihrer Seltenheit lange Meßzeiten erforderte. Die Ergebnisse lassen den in Rede stehenden Effekt noch deutlicher hervortreten. Die Verf. folgern außerdem aus den Versuchen, daß die einzelnen Strahlen eines *B*-Bündels wahrscheinlich nicht auf einmal, sondern nacheinander beim Durchgang eines primären *A*-Strahls durch Materie erzeugt werden, etwa durch stückweise Abbrem-sung. Dagegen würden die auf Nebelkammeraufnahmen sichtbaren Garben von *C*-Strahlen gleichzeitig durch verschiedene *B*-Strahlen und nicht hintereinander durch denselben hervorgebracht, eine Ansicht, der auch BLACKETT zuneige (25)¹.

Wie NIE haben auch C. G. und D. D. MONTGOMERY die Absorption von Stoßstrahlen mit der Ionisationskammer untersucht (26) und sich auf große Schauer mit 100 oder mehr Strahlen beschränkt. Dabei wurde die Ionisation bestimmt, die ein Schauer vor und nach der Durchsetzung einer Massenschicht erzeugt. Da die Ionisation eines Schauers vermutlich seiner Strahlenszahl proportional ist, wird die beobachtete Differenz ein Maß für die Zahl der Strahlen sein, die in der Schicht angehalten werden. Die benutzte Kammer war zylindrisch, 150 cm hoch, 90 cm im Durchmesser und mit *N* von 6,8 Atm Druck gefüllt. Sie bestand aus Stahl von annähernd 18 mm Dicke und war durch eine waagerechte Querwand in zwei Teile von je 538 l Inhalt zerlegt, von denen jeder mit einem selbständigen Elektroden-system versehen war. Die Elektroden-spannung betrug ungefähr 500 Volt und die Zeit der Ionensammlung weniger als 1 s. Die dicke Stahlwand der Kammer diente als Schauerquelle; die durch die Schauer erzeugte Ionisation wurde in jeder Hälfte gemessen und damit die Häufigkeitsverteilung in beiden erhalten. Dann wurde eine kreisförmige Pb-Platte von 7 cm Dicke und 80 cm Durchmesser zwischen die beiden Kammerhälften gebracht und die Häufigkeitsverteilung in jeder wieder bestimmt. Dabei wurden in jeder Hälfte nur die Schauer berücksichtigt, die mehr als $4 \cdot 10^6$ Ionenpaare erzeugten. Dieser Betrag entsprach dem Durchgang von ungefähr 150 Elektronen hoher Geschwindigkeit, wenn die spez. Ionisation zu 60 Ionenpaaren je Zentimeter *N* bei Atmosphärendruck angenommen wurde. Die Beobachtung erstreckte sich über 2mal 35 Stunden

¹ Bemerkung bei der Korrektur: Zu einem anderen Ergebnis gelangt B. TRUMPY (Z. Physik 102, 691; 1936), der in ähnlicher Weise wie HILGERT und BOTHE nach in Al und Kohle gebildeten *B*-Strahlenbündeln gesucht hat, aber ohne Erfolg.

¹ Berichte I und II vgl. diese Zeitschr. 51, 76 und 117 (1938).

mit mehr als je 200 Schauern. Diese verteilten sich derart, daß ohne Pb in beiden Kammerhälften gleichzeitig 49, in der oberen (*I*) allein 89 und in der unteren (*II*) allein 78 Schauer oberhalb der Meßgrenze, mit Pb in beiden Hälften 24, in *I* allein 142 und in *II* allein 102 auftraten.

Die Wirkung der Pb-Platte ist zweifach, indem sie zugleich die über ihr erzeugten Schauer absorbiert, als auch neue verursacht, die sich besonders in *II* bemerkbar machen. Infolgedessen ergeben sich in *II* mehr Schauer mit Pb als ohne, doch stellt die Differenz nicht alle Schauer dar, die in dem Pb entstanden sind. Gewisse Schauer, deren Ursprung in *I* lag, deren Größe aber nur in *II* die Meßgrenze überschritt, werden nun durch das Pb absorbiert und in *II* zu klein, um gemessen zu werden. Daher sollte die Zahl dieser Schauer zu obiger Differenz addiert werden, um die Gesamtzahl der im Pb erzeugten Schauer zu erhalten.

Nach den oben angegebenen Zahlen wird die Zahl der Schauer, die in jeder Kammerhälfte die Meßgrenze überschreiten, durch das Pb sehr herabgesetzt. Dies rührt daher, daß das Pb die Größe mancher Schauer in *II* unter die Meßgrenze erniedrigt. Um ein Maß für diese Verminderung und damit für die Absorption durch das Pb zu gewinnen, werden zwei Treppenlinien in der Weise dargestellt, daß das Verhältnis der Größen eines Stoßes in *II* und *I* mit und ohne Pb als Abszisse und die zugehörige Stoßzahl als Ordinate aufgetragen werden. Ohne Pb bringen die meisten Schauer, die in *I* vorkommen, in *II* eine nur wenig geringere Ionisation hervor. Der kleine Unterschied ist der Ausbreitung der Schauerstrahlen von ihrem Ursprung aus und ihrem Durchgang durch die Seitenwände der Kammer zuzuschreiben. Mit dem Pb aber werden die Größen der Schauer in *II* vermindert, während sie in *I* dieselben bleiben, so daß sich der Gipfel der Treppenlinie mit Pb gegen den der Treppenlinie ohne Pb zu kleineren Werten der Abszisse verschiebt. Das Verhältnis dieser beiden Abszissen $0,35 : 0,85 = 0,4$ wird nun als der wahrscheinlichste Wert des Bruchteils der Strahlen eines Schauers angesehen, die das Pb durchdringen können.

Diese Schätzung kann jetzt zur Berechnung der Zahl von Schauern dienen, die vermutlich durch das Pb in *II* unter die Meßgrenze herabgedrückt werden, indem dabei noch die in einer Figur dargestellten Häufigkeitsverteilungen der Schauergrößen oberhalb der Meßgrenze in *I* und *II* mit und ohne Pb benutzt werden unter Berücksichtigung der oben erwähnten Korrektur. Es ergibt sich eine innerhalb der Fehlergrenzen mit der beobachteten $49 - 24 = 25$ übereinstimmende Zahl und damit die Bestätigung dafür, daß die 7 cm starke Pb-Platte die Zahl der sie durchsetzenden Schauerstrahlen im Verhältnis $0,4 : 1$ vermindert.

Dieses Ergebnis wird noch auf eine andere Weise geprüft, die auf der Bestimmung der Wahrscheinlichkeit dafür beruht, daß ein Schauer gegebener Größe gleichzeitig mehrere Zählrohre entlädt. In einer früheren Arbeit der Verf. ist gezeigt worden, wie diese Wahrscheinlichkeit unter einigen

einfachen Voraussetzungen zu berechnen ist (10). Wenn man einen Absorber zwischen die Schauerquelle und eines der Zählrohre bringt, so wird die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Schauerstrahl dieses Rohr entlädt, vermindert, und aus der beobachteten Verminderung kann die Wahrscheinlichkeit p dafür bestimmt werden, daß ein Schauerstrahl den Absorber durchdringt.

Die Schauerquelle war ein flacher Trog von 41,5 cm im Quadrat, der Bleischrot im Betrage von 1 cm einheitlichen Bleis enthielt. Die Schauer wurden mit einer unter dem Troge stehenden Ionisationskammer aus Mg und einem Vakuumröhren-Elektrometer gemessen. Unter der Kammer waren 3 Zählrohre in „Wiegenstellung“ angebracht, nämlich zwei in derselben Höhe, eines darunter. Über diesem und zwischen den beiden oberen befand sich ein Pb-Block als Absorber. Eine gleichzeitige Entladung der Zählrohre verursachte eine Spur auf demselben Lichtbildstreifen, auf dem auch die von den Schauern bewirkten Ionisationsstöße in der Kammer aufgezeichnet wurden. Der Bruchteil der Zahl der Stöße, die von einer Koinzidenz begleitet waren, wurde ohne Absorber und für verschiedene Absorberdicken bestimmt. Mit Hilfe der früher gewonnenen Formeln wird dann die Wahrscheinlichkeit p durch die beiden Bruchteile ohne und mit einer bestimmten Absorberdicke und die beiden Ansprechwahrscheinlichkeiten für das untere Zählrohr ohne und mit dem Absorber über ihm ausgedrückt. Mit diesem Ausdruck wird nun p für jede der verwendeten Dicken berechnet und festgestellt, daß sie mit der Dicke des Absorbers linear abnimmt. Außerdem ist die Übereinstimmung des so erhaltenen Wertes von p für 7 cm Pb recht befriedigend mit dem bei dem ersten Verfahren gewonnenen. Die Extrapolation auf die Reichweite eines Schauerstrahls in Pb ergibt 11 cm.

Die Verfasser bemerken noch, daß diese Versuche wieder einen Beweis für das Auftreten großer Energiebeträge bei den Stößen liefern. Mit Benutzung des Wertes von ANDERSON für den Energieverlust schneller Elektronen in Pb findet man, daß wenigstens die Hälfte der Schauerstrahlen aus der Kammer Energien von mehr als $3 \cdot 10^8$ eVolt haben und die Gesamtenergie eines Schauers oft $3 \cdot 10^{10}$ eVolt überschreitet. Es sei ferner klar, daß die von den Verfassern beobachtete große Durchdringungskraft der Schauerstrahlen mit der Ansicht unverträglich ist, daß die Lage des Gipfels der Rossi-Kurve bei 1,6 cm Pb zugleich ihre Reichweite bedeute.

Eine weitere beachtenswerte Folge dieser Versuche sei ihre zahlenmäßige Übereinstimmung mit den Beobachtungen über die Ionisation in gepanzerten und ungepanzerten Kammern in der Stratosphäre. In dem Maße, als man zu größeren Höhen geht, wird der Beitrag der am meisten durchdringenden primären Strahlen kleiner als der der sekundären in der Luft erzeugten Schauerstrahlen. Somit sei zu erwarten, daß die prozentuale Abnahme der Ionisation, die durch Panzerung einer Kammer mit Pb verursacht wird, sich mit wachsender Höhe dem Wert nähern sollte,

der in der vorliegenden Arbeit für die Wahrscheinlichkeit gefunden wurde, daß ein Schauerstrahl in Panzer angehalten wird. Nun haben BOWEN, MILLIKAN und NEHER eine Kurve veröffentlicht (27), die die Abnahme der Ionisation mit der Höhe darstellt, welche sie mit einer ungepanzerten und COMPTON und STEVENSON mit einer Kammer gemessen haben, die von 6,5 cm Pb umgeben war (28). Danach nähert sich die Abnahme mit der Höhe dem Werte 68%, während nach den Ergebnissen der Verfasser die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Schauerstrahl bei dieser Panzerdicke in ihm angehalten wird, gleich 62% ist.

Die Versuchsanordnung der MONTGOMERYS mit einer Ionisationskammer und der Wiegenstellung von 3 Zählrohren unter ihr ist auch von W. EHRENBURG benutzt worden, um die Beziehung zwischen Schauern und Stößen zu untersuchen (29), mit dem Unterschied aber, daß er nicht wie jene außer den Zählrohrkoinzidenzen alle über eine gewisse Grenze hinausgehenden Stöße aufzeichnen ließ, sondern nur diejenigen, die von einer Zählrohrkoinzidenz begleitet waren; er wandte also ein zählrohrkontrolliertes Verfahren statt des „stetigen“ der MONTGOMERYS an.

Die Gesamtzahl der beobachteten Koinzidenzen war 2951, doch war die Größenbestimmung nur bei denen über 20000 Ionenpaare zuverlässig, deren Anteil 30% betrug. Die damit festgesetzte untere Grenze entspricht einem Schauer von 4 Strahlen. 16,5% waren Stöße über 40000 Ionenpaare oder 8 Strahlen, der größte war einer von rund $6 \cdot 10^6$ Ionenpaaren oder 1200 Strahlen. Wie bei den MONTGOMERYS ergab die Häufigkeitsverteilung, nach der \log - \log -Skala dargestellt, annähernd eine gerade Linie, die einem Gesetz $R = A : N^s$ entsprach (s. oben), wo s zwischen 2,2 und 3,1 lag, während die MONTGOMERYS im Mittel 3,2 gefunden hatten.

Eine Reihe Messungen wurde mit einer Pb-Platte von 15 mm Dicke über der Kammer ausgeführt, um den Einfluß des Pb auf die Schauererzeugung zu untersuchen. Es vermehrte die Koinzidenzen von 12,1 je Stunde auf 15,5, wobei es schien, als ob die meisten größeren Stöße von dem Pb herrührten. Die durchschnittliche Zahl Strahlen eines solchen Pb-Stoßes wird auf 30 geschätzt.

Der Verfasser ist mit den MONTGOMERYS der Ansicht, daß die Stöße nicht wesentlich von den Schauern verschieden, sondern nur solche Schauer sind, welche durch die von ihnen erzeugte Ionisation gemessen werden, so daß die aus seinen Versuchen hervorgehende Häufigkeitsverteilung zugleich Schauer und Stöße umfasse, doch sei zu berücksichtigen, daß nicht alle Stöße durch die Zählrohre angezeigt werden, wie sowohl aus den Versuchen der MONTGOMERYS als auch seinen eigenen hervorgeht, wenn er das stetige Verfahren anwandte. Dieser Umstand sei ein Nachteil des zählrohrkontrollierten Verfahrens gegenüber dem stetigen, der vielleicht auch daran schuld sei, daß der Wert von s etwas zu klein herauskomme, aber dadurch aufgewogen werde, daß bei dem ersten grundsätzlich weder eine untere noch eine obere

Grenze für die Messung der Stoßgröße vorhanden ist, weil die kurze Zeit der Ionensammlung, die hier kaum $\frac{1}{50}$ s betrug, und die Schnelligkeit der Aufzeichnung, die durch das Aufleuchten eines Lämpchens von $\frac{1}{10}$ s Dauer bewirkt wurde, die Aufzeichnung statistischer Schwankungen ausschloß und die Messung von Ablenkungen des Elektronenfadens von beliebiger Größe zuließ.

Aus der von dem Verfasser erhaltenen Häufigkeitsverteilung kann auch der Anteil der Schauer und Stöße von mehr als 3 Strahlen an der Gesamtionisation durch die Ultrastrahlung geschätzt werden. Danach ist der mittlere Wert für die Zahl von Stoß- und Schauerstrahlen, die die Kammer durchsetzen, gleich 3,3 je Minute gegen 300 Einzelstrahlen im Meeresniveau, also wenig mehr als 1%.

Die Erzeugung von Schauern in Blei ist von E. C. STEVENSON und J. C. STREET besonders daraufhin untersucht worden, ob sie außer durch die nicht ionisierende B -Strahlung auch durch ionisierende Teilchen geschieht (30). Dazu benutzten sie eine große Nebelkammer von $35 \cdot 30 \cdot 8$ cm³, deren Spannungen durch die gleichzeitige Entladung von 3 Zählrohren bewirkt wurden, von denen eines über der Kammer, die beiden anderen unter ihr nebeneinander angebracht waren. Die 1,3 cm dicke Streubleiplatte befand sich inmitten der Kammer auf isolierenden Stützen und diente zugleich als Elektrode.

Die durchschnittliche Zahl Koinzidenzen war 0,162 je Minute, so daß im Mittel 6 Minuten zwischen zwei Aufnahmen vergingen. Bei 94 von den 174 gelungenen Aufnahmen waren Elektronenfarben aus dem Pb als Ursache des Ansprechens der unteren Rohre zu erkennen, die übrigen 80 waren von ihnen frei. Auf 49 Aufnahmen war nur eine einzige geradlinige Elektronenspur im unteren Teil der Kammer zu sehen. Das Ansprechen der unteren Rohre ist in diesen Fällen wohl Elektronen zuzuschreiben, die durch Photonschauer in den Rohrwänden ausgelöst werden.

Von den 94 Aufnahmen mit Elektronenschauern aus dem Pb hatten 71 einen einzigen Ausstrahlungspunkt, 17 deren 2 und 3 deren 3. Die 3 noch übrigen wiesen eine Menge Strahlen auf, die von oben in die Kammer eintraten und eine unbestimmte Zahl Schauer aus dem Pb nach unten sandten. Die 71 Einzelschauer waren von dreierlei Art: 48 von Elektronen erzeugt, 17 von einer nicht ionisierenden, wahrscheinlich aus Photonen bestehenden Strahlung; bei den übrigen 6 lag der Scheitel außerhalb der belichteten Pb-Platte. Von den 17 Doppelschauern waren 6 von 2 Elektronen ausgelöst, 1 von 2 Photonen, 7 von 1 Elektron und 1 Photon, und bei den 3 übrigen war einer der beiden Scheitel nicht sichtbar. Die 3 Aufnahmen mit 3 Scheiteln waren besonders bemerkenswert, denn auf jeder sind 2 Schauer durch 2 Elektronen mit fast parallelen Bahnen erzeugt und der dritte durch ein Photon.

In den Fällen, wo kein Elektron im oberen Teil der Kammer zu sehen ist, wird das obere Zählrohr zumeist von Elektronen sekundärer Art entladen, die in der Rohrwand durch Photonen

ausgelöst werden; zurückgestreute Elektronen kämen kaum in Betracht, obgleich 5 Paare vom Pb nach oben gerichteter beobachtet wurden, 3 davon bei derselben Aufnahme. Überhaupt konnte bei mehr als der Hälfte der Aufnahmen das Ansprechen von mindestens einem Rohr nur durch Photonen erklärt werden. Da ein γ -Strahl beim Durchsetzen eines Zählrohrs dieses

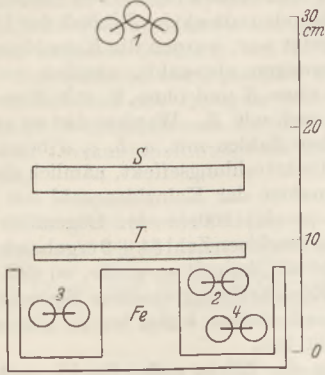


Fig. 1. Erste Zählrohranordnung von WOODWARD: 1, 2, 3, 4 Zählrohre, S Streuplatte, T Absorberplatte.

mit einer Wahrscheinlichkeit von nur 0,01 ansprechen läßt, müßten im Einklang mit GEIGER und ZEILLER (31) sehr viele Photonen beteiligt sein. Trotzdem zeigen die Versuche der Verfasser, daß ein beträchtlicher Bruchteil der Koinzidenzen durch unmittelbare Wirkung von Elektronen allein erklärt werden kann. Allerdings müsse dahingestellt bleiben, ob diese Elektronen nicht doch noch Photonen als Zwischenstrahlung erzeugen.

Dieses Ergebnis wird in einer Arbeit von R. H. WOODWARD über die in Pb ausgelösten Schauer verwertet (32). Er benutzte eine Zählrohranordnung, wie sie in Fig. 1 dargestellt ist. 1 bedeutet eine dreifache Gruppe Zählrohre, 2, 3, 4 sind zweifache Gruppen solcher Zählrohre, die wie einzelne größere Rohre wirken. Fe-Blöcke waren unter und neben die Rohre 2, 3, 4 gestellt, um die Zahl der seitlich gestreuten Strahlen zu vermindern. Die Koinzidenzen 1 2 3 und 2 3 4 wurden gleichzeitig für verschiedene Dicken der Pb-Platte S aufgezeichnet, so daß hier zur selben Zeit eine Dreikantanordnung 2, 3, 4 mit S über dem oberen Rohre und eine 1, 2, 3 mit S unter ihm betätigt wurden. Der Absorber F war zunächst nicht vorhanden. Eine Koinzidenz 1 2 3 erforderte Ionisation über S, während eine 2 3 4 von der Art der Strahlung über S unabhängig ist. Es ergab sich, daß die Kurven, welche die Koinzidenzzahlen N_{123} und N_{234} als Funktionen der Dicke von S darstellen, außer bei großen Dicken geometrisch ähnlich waren. Das sei überraschend, da in jedem Falle die Gestalt der Kurve und Lage ihres Gipfels durch die Beziehung zwischen den Absorptionen der in S einfallenden und ausgelösten Strahlung bedingt ist, aber nach STEVENSON und STREET ungefähr 70% der Koinzidenzen 1 2 3 von einfallenden Elektronen herkommen,

während die meisten 2 3 4 durch B-Photonen aus der Luft verursacht werden.

Die Absorption der C-, D-, E-Strahlen nach der Bezeichnung von GEIGER und FÜNFER, die im wesentlichen die unteren Rohre entladen, wurde gemessen, indem Pb und Al Schichten verschiedener Dicke bei T unter den Pb-Dicken 0; 0,476; 1,59 und 7,94 cm bei S angebracht wurden. Auch in diesem Falle sind die Kurven für die Koinzidenzzahlen N_{123} und N_{234} sehr ähnlich, so daß die Durchdringungskraft der von Elektronen und Photonen erzeugten Schauer und ihrer Sekundärstrahlen dieselbe zu sein scheint. Der anfänglich steile Abfall der Kurven zeigt, daß die meisten Schauerstrahlen in 2 mm Pb absorbiert werden. Diese Tatsache spräche gegen die Ansicht von GEIGER und FÜNFER, daß die C-Strahlen stärker durchdringend seien als die B-Strahlen. Ferner geht aus den Kurven hervor, daß die Durchdringungskraft der Schauerstrahlen sich nicht merklich ändert, wenn die Dicke von S vergrößert wird.

Da der Nulleffekt, nämlich die Koinzidenzzahl ohne S und T beträchtlich war und T sich nicht allein als Absorber verhält, sondern selbst sekundäre Strahlen aussendet, wurde noch eine andere Anordnung (Fig. 2) hergestellt, bei der die vierfachen Koinzidenzen für verschiedene Dicken von S zunächst ohne T gezählt wurden und bei der die erwähnten Mißstände fast vermieden waren. Mit dieser Anordnung sind frühere Messungen des Verfassers auf vier verschiedenen Höhenstufen vom Meeresniveau bis 4300 m Höhe wiederholt worden. Die 4 Koinzidenzkurven gleichen einander innerhalb der Fehlergrenzen vollkommen. Die aus ihnen hervorgehende Zunahme der Schauer mit der Höhe ist mit anderen Koinzidenzbeobachtungen in guter Übereinstimmung, aber nicht mit den Ionisationsmessungen der MONTGOMERYS (12), nach denen die Stoßhäufigkeit vom Meeresniveau bis 4300 m Höhe auf das 26,6-fache ansteigt, während der Verfasser nur das 8,5-fache findet. Als Erklärung der Unstimmigkeit wird

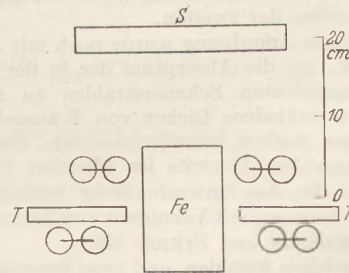


Fig. 2. Zweite Zählrohranordnung von WOODWARD.

vermutet, daß die Zahl der kleinen Schauer, die bei den Zählrohrversuchen in erster Linie festgestellt werden, mit der Höhe weniger schnell anwächst als die der großen, die wieder besonders mit der Ionisationskammer zu beobachten sind. Die Ergebnisse, die R. T. YOUNG an denselben 4 Orten mit einer kleinen Kammer erhalten hat, scheinen die Vermutung zu bestätigen (33). Er

findet, daß die Zahl der kleinen Stöße vom Meeresniveau bis 4300 m Höhe auf das 9,0-fache, die der großen auf das 22-fache ansteigt.

Durch einen Versuch ähnlich dem von ACKEMANN und HUMMEL (34), durch welchen sie einen zweiten niedrigeren Gipfel der Koinzidenzkurve bei großen Pb-Dicken fanden, wurde dessen Vorhandensein bei 18 cm Pb bestätigt. Nach KULENKAMPF (35) rührt er von Schauern her, die von einer stärker durchdringenden *B*-Strahlung erzeugt werden und selber in höherem Maße durchdringend sind als die zu dem ersten Gipfel gehörigen. Der oben erwähnte Unterschied zwischen den Kurven für N_{123} und N_{234} bei großen Pb-Dicken kann jetzt erklärt werden durch den Beitrag, den diese Schauer 2. Art zu der Zahl N_{234} liefern, aber nicht zu N_{123} , da hierzu ein ionisierender Strahl über *S* erforderlich ist.

Indem Platten von Pb und Al bei *T* angebracht wurden, ist noch die Absorption der im Pb bei *S* erzeugten Schauerstrahlen, wahrscheinlich ein Gemisch von *C*-, *D*-, *E*-Strahlen, in diesen Stoffen gemessen worden mit dem Ergebnis, daß die Durchdringungskraft der Strahlen von der Pb-Dicke *S* und der Höhe über Meeresniveau unabhängig war.

Zu ganz entsprechenden Ergebnissen ist J. C. STEARNS gekommen (36). Er hat während des Sommers 1935 Untersuchungen von Schauern auch in 4 Höhenstufen vom Meeresniveau bis 4300 m Höhe mit 3 Zählrohren ausgeführt, die auf 2 Arten angeordnet wurden. Die erste war eine vom Dreikantschlage mit Pb-Platte *S* über dem obersten Rohr, doch war das eine der beiden unteren Rohre tiefer gelegt als das andere, um einen Pb-Absorber *T* über ihm anbringen zu können; bei der zweiten lagen die Rohre senkrecht übereinander mit *S* über dem obersten.

Die Koinzidenzkurven, die die Abhängigkeit der Schauerzahl von der Dicke von *S* darstellen, sind zwar für die beiden Anordnungen verschieden, haben aber wie bei WOODWARD in den verschiedenen Höhen dieselbe Gestalt und den Gipfel bei derselben Pb-Dicke, nämlich 1,6 cm bei der ersten und 1 cm bei der zweiten.

Die erste Anordnung wurde noch mit *T* dazu verwandt, um die Absorption der in der oberen Platte ausgelösten Schauerstrahlen zu messen. Die für verschiedene Dicken von *T* ausgeführten Messungen machen es wahrscheinlich, daß diese Schauerstrahlen ihrerseits im Absorber Strahlen auslösen, die das unterste Rohr betätigen, in Übereinstimmung mit Versuchen von ZEILLER (37) und STEVENSON und STREET (30).

Von solchen Strahlen, und zwar besonders von den rückwärts gerichteten, von den Schauern in Materieschichten unter den Zählrohren ausgelösten Strahlen (38) handelt auch eine Tübinger Dissertation von E. HEIDEL und eine Arbeit von R. HOSEMANN (39). Während die von HEIDEL benutzten Zählrohre Messingwände von 0,5 mm Dicke hatten und folglich sehr weiche Strahlen absorbieren mußten, verwandte HOSEMANN Zählrohre aus 0,1 mm starker Al-Folie. Wegen der dünnen Wand waren sie anstatt mit verdünnter

mit Luft von Atmosphärendruck gefüllt, was wohl eine Verzögerung der Stromstöße zur Folge hatte, die aber durch passende Wahl des Verstärkers unschädlich gemacht wurde. Die 3 Rohre waren nebeneinander angeordnet. Über ihnen lag wie bei HEIDEL eine Streuschicht *S* von 1,5 cm Pb, möglichst dicht unter ihnen ein 0,5 cm dickes Pb-Blech als Rückstrahler *R*. Nachdem durch geeignete Maßnahmen der bei den dünnen Wänden recht störende radioaktive Einfluß der Umgebung herabgesetzt war, wurden die Koinzidenzen unter 4 Bedingungen abgezählt, nämlich mit *S* und ohne *R*, ohne *S* und ohne *R*, mit *S* und mit *R*, ohne *S* und mit *R*. Werden die so erhaltenen stündlichen Zahlen mit, *a*, *b*, *c*, *d* bezeichnet, so ist der Rückstrahlungseffekt, nämlich die prozentuale Zunahme der Koinzidenzzahl mit *R*, gleich $[(c-d)-(a-b)] \cdot 100 : (a-b)$. Gegenüber der von HEIDEL gefundenen Zahl 54 ± 9 ergab sich nunmehr eine mehr als doppelt so große, so daß offenbar bei der Rückstrahlung weichere Bestandteile vorhanden sind, als man bisher bei der Ultrastrahlung festgestellt hat.

Indem der Effekt außer für Pb noch für Sn, Cu, Al und Paraffin bestimmt wurde, zeigte sich, wie schon bei HEIDEL, daß der Effekt nahezu proportional mit der Ordnungszahl der Atome ist. Werden auf *R* Al-Bleche gelegt, so absorbieren diese die Pb-Rückstrahlung, ohne selbst einen merklichen Beitrag zu liefern. Auf diese Weise wurde für größere Schichtdicken derselbe mittlere Wert der Schwächungszahl wie von HEIDEL, nämlich $\mu = 1 \text{ cm}^{-1}$ Al gefunden. Dagegen entsprach der Anfang der Absorptionskurve für dünne Schichten einer viel weicheren Strahlung mit $\mu = 3,3 \pm 0,3 \text{ cm}^{-1}$ Al.

Mit der Dicke des Streustrahlers für größte Schauerhäufigkeit, die in den Arbeiten, über die im Vorhergehenden berichtet wurde, eine erhebliche Rolle spielt, beschäftigt sich in theoretischer Beziehung eine Mitteilung von H. J. BHABA und W. HEITLER (40). Wenn ein Elektron großer Geschwindigkeit Materie durchsetzt, verliert es seine Energie hauptsächlich durch Ausstrahlung einiger großer Quanten, die als Bremsstrahlung bezeichnet wird. Diese werden wieder absorbiert, indem ihre Energie zumeist zur Bildung von Elektronenpaaren verwandt wird. So erzeugt ein schnelles primäres Elektron in einer Schicht genügender Dicke eine Anzahl von sekundären positiven und negativen Elektronen, die als Schauer auftreten und drei- und mehrfache Koinzidenzen veranlassen können.

Die Verfasser haben nun den Wirkungsquerschnitt, den BETHE und HEITLER für diesen Vorgang aus der relativistischen Quantenmechanik erhalten hatten (41), benutzt, um die Wahrscheinlichkeit zu berechnen, daß ein primäres Elektron mit einer gegebenen Energie E_0 sekundäre Elektronen mit einer Energie erzeugt, die einen gegebenen Wert *E* übertrifft, wenn es eine Schicht der Dicke *d* durchsetzt. Das Ergebnis kann in derselben Form für alle Stoffe ausgedrückt werden, wenn *d* für jeden Stoff nach einem bestimmten Verhältnis umgerechnet wird. So entsprechen

dem Werte $d = 1$ der allgemeinen Form 0,40 cm Pb; 7,4 cm Al; 33 cm H₂O und 280 m Luft. Es ergibt sich dann, daß die durchschnittliche Zahl positiver und negativer Elektronen, die in einer bestimmten Zeit aus der Schicht herauskommen, nur von d und dem Verhältnis $E_0 : E$ abhängt und ihren größten Wert bei d_m zwischen 3,5 bis 5 annimmt, wobei d_m langsam mit $E_0 : E$ ansteigt. $d_m = 4$ entspricht 1,6 cm Pb, also der Abszisse des Gipfels der ROSSI-Kurve. Beidieser Dicke erzeugt ein primäres Elektron von $2 \cdot 10^9$ eVOLT z. B. im Durchschnitt zwei positive und zwei negative Elektronen mit Energien über $20 \cdot 10^6$ eVOLT, welche die Koinzidenzen bei der von ROSSI angegebenen Dreikantanordnung von Zählrohren verursacht.

Schrifttumsverzeichnis.

1. Z. physik. chem. Unterr. 49, 169 (1936). — 2. Physic. Rev. 49, 107 (1936). — 3. Z. Physik 100, 237 (1936). — 4. Physic. Rev. 45, 144 (1934). — 5. Physic. Rev. 47, 817 (1935). — 6. Z. Physik 78, 668 (1932). — 7. Physic. Rev. 47, 429 u. 578 (1935); Naturwiss. 21,

898 (1933); vgl. auch Z. physik. chem. Unterr. 49, 175 (1936). — 8. Physic. Rev. 48, 471 (1935). — 9. Physic. Rev. 48, 969 (1935). — 10. Physic. Rev. 48, 786 (1935). — 11. Z. physik. chem. Unterr. 49, 173 (1936). — 12. Z. physik. chem. Unterr. 49, 174 (1936). — 13. Physic. Rev. 48, 641 (1935); vgl. auch Z. physik. chem. Unterr. 49, 221 (1936). — 14. Naturwiss. 23, 372 u. 738 (1935). — 15. Naturwiss. 24, 280 (1936). — 16. Naturwiss. 21, 898 (1933). — 17. Physic. Rev. 47, 572 (1935). — 18. Proc. Roy. Soc. A 154, 223 (1936). — 19. Nature, Lond. 138, 77 (1936). — 20. Z. Physik 99, 453 (1936). — 21. Z. Physik 99, 776 (1936). — 22. Z. Physik 99, 787 (1936). — 23. Z. Physik 99, 353 (1936). — 24. Z. Physik 93, 589 (1935); Z. physik. chem. Unterr. 49, 222 (1936). — 25. Z. techn. Physik 16, 379 (1935). — 26. Physic. Rev. 49, 705 (1936). — 27. Physic. Rev. 46, 646 (1934). — 28. Z. physik. chem. Unterr. 48, 267 (1935) u. 49, 220 (1936). — 29. Proc. Roy. Soc. A 155, 532 (1936). — 30. Physic. Rev. 48, 464 (1935) und 49, 425 (1936). — 31. Z. physik. chem. Unterr. 49, 173 (1936). — 32. Physic. Rev. 49, 711 (1936). — 33. Physic. Rev. 49, 638 (1936). — 34. Naturwiss. 22, 169 (1934); Z. physik. chem. Unterr. 49, 170 (1936). — 35. Physik. Z. 22, 785 (1935). — 36. Physic. Rev. 49, 473 (1936). — 37. Z. physik. chem. Unterr. 49, 172 (1936). — 38. Z. physik. chem. Unterr. 49, 171 (1936). — 39. Z. Physik 100, 212 (1936). — 40. Nature, Lond. 138, 401 (1936). — 41. Proc. Roy. Soc. A 146, 83 (1934).

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Einführung in die physikalischen Grundlagen der Rundfunktechnik. Von O. FRANKE. 272 Seiten, 167 Abbildungen. Wien: Julius Springer 1937. Preis brosch. RM 9,60.

Das vorliegende Buch, das, wie der Verfasser im Vorwort sagt, aus Vorlesungen für Physiker und Elektrotechniker hervorgegangen ist, soll in erster Linie dem Leser einen Überblick über die Physik des Rundfunks geben, ohne dabei erschöpfend die gesamte Hochfrequenztechnik zu behandeln. Das Buch gliedert sich in folgende Kapitel: 1. Elektrische Schwingungen. Der THOMSONSche Schwingungskreis. Die Resonanzerscheinungen. Gekoppelte Schwingungskreise. Überlagerung von Schwingungen. — 2. Elektronenröhren. Glühlekttrizität. Röhren ohne Gitter. Röhren mit Gitter. Verstärkeröhren. Rückkopplung. Röhrengeneratoren. Das Audion. — 3. Elektrische Wellen. Drahtwellen. Die stabförmige Antenne. Die Dipolantenne. Die elektromagnetischen Wellen im Raume. Der Empfang elektromagnetischer Wellen. — 4. Wellentelegraphie und Wellentelephonie. Historische Systeme der Wellentelegraphie. Telegraphie mit ungedämpften Wellen. Wellentelephonie. Prinzip und Schaltung. Empfang. Probleme des Rundfunks. Anhang.

Die ersten drei Kapitel sind rein theoretischer Natur. In sehr ausführlicher Form werden die Vorgänge in elektrischen Schwingungskreisen, in Elektronenröhren sowie in Antennen und längs Drähten auf Grund der MAXWELLSchen Gleichungen behandelt. Die Darstellung ist sehr klar und so ausführlich, daß gerade der Anfänger sehr viel Nutzen von diesem Buche haben wird und es auch dem Studierenden sicher gute Dienste leisten wird.

In dem vierten Kapitel, das wesentlich elementarer gehalten ist, bringt der Verfasser einen Überblick über die Entwicklung der Wellentelegraphie und beschreibt an Hand von gut gewählten Schaltbildern die wichtigsten Anordnungen für Sendung und Empfang elektrischer Wellen. Auch hier ist die Darstellung klar und flüssig geschrieben.

In einem Anhang befindet sich eine Zusammenstellung der Grundgleichungen der MAXWELLSchen Theorie und der in dem Buch benutzten Vektorformeln.

Beim Lesen sind dem Referenten folgende Unstimmigkeiten in einigen Gleichungen aufgefallen, die leicht zu Irrtümern führen. Auf S. 39

$$\text{mußes heißen: } i_{\max} = \frac{\bar{u}}{\delta 2L} T = \frac{\bar{u} \cdot \pi}{\omega L \delta} \text{ statt } i_{\max} = \frac{\bar{u} 2L \delta}{T} = \bar{u} \frac{\omega L \delta}{\pi} \text{ und auf S. 122 u. 123:}$$

$$L = 2\mu ll n \frac{D}{2a} \text{ sowie } C = \frac{\epsilon}{c^2} l \cdot \frac{1}{2 \ln \frac{D}{2a}} \text{ statt}$$

$$L = 2\mu ll n \frac{2a}{D} \text{ und } C = \frac{\epsilon}{c^2} l \frac{1}{2 \ln \frac{2a}{D}}.$$

Doch sind dies nur Kleinigkeiten, die den Wert des Buches keineswegs herabsetzen.

L. Bergmann.

Das Fernsehen. Von F. FUCHS. 47 Seiten mit 30 Abbildungen. Herausgeg. vom Deutschen Museum München 1937. Preis geh. RM. 0,50.

Als während der Olympiade 1936 die breite Öffentlichkeit durch die zahlreichen Fernsehempfangsstellen der Deutschen Reichspost mit der glänzenden Entwicklung des Fernsehens bekannt wurde, hatte man den Eindruck, daß die Technik vor einem großen Fortschritt auf dem verwickelten Gemeinschaftsgebiet elektrisch-

optisch-akustischer Probleme stand. Wenn auch bisher nur wenige ein eigenes Fernsehempfangsgerät besitzen, so werden sicherlich nur noch einige Jahre vergehen, bis das Fernsehen so Allgemein-gut sein wird, wie es heute der Unterhaltungsrundfunk ist.

Das Deutsche Museum in München hat im Mai 1937 eine Sonderschau eröffnet, welche die Entwicklung des Fernsehens durch viele, nach pädagogischen Gesichtspunkten aufgebaute Demonstrationsversuche, durch Erläuterungstafeln und Originalbestandteile (wie Photozellen, Relais, Elektronenröhren usw.) dem Laien und dem Fachmann zeigen soll. Einer der wissenschaftlichen Mitarbeiter des Deutschen Museums, F. FUCHS, der Verfasser des bekannten Buches „Grundriß der Funktechnik“¹, hat für die Besucher des Deutschen Museums einen Leitfaden geschrieben, der ihnen das Verständnis der physikalischen Vorgänge beim Fernsehen erleichtern soll.

In klaren Worten werden die in der Sonderschau aufgestellten Versuche beschrieben, die zur Erklärung der physikalischen Grundlagen des Fernsehens notwendig sind. Es folgt die Beschreibung der Fernsehgeräte mit mechanisch-optischen Bildzerlegern (Nipkowscheibe u. a.), der BRAUNschen Kathodenstrahlröhre und des Elektronenmikroskops, weiterhin die Darstellung der Fernsehgeräte mit elektrischen Zerlegern. Schließlich werden die betriebsfähigen Fernsehanlagen behandelt, wie sie im Personenabtaster und Großbildempfänger nach KAROLUS, im Fernseh-Tonfilmsender (Dreikanalverfahren), im Elektronen-Bildfänger von Telefunken und in der öffentlichen Fernseh-Sprechstelle der Deutschen Reichspost (Berlin-Leipzig) verwirklicht sind.

Der Besucher des Deutschen Museums wird aus dieser kleinen, aber inhaltreichen Schrift seinen Nutzen ziehen.

J. Böhme.

Wahrscheinlichkeit, Statistik und Wahrheit. Einführung in die neue Wahrscheinlichkeitslehre und ihre Anwendung. Von RICHARD VON MISES. Band 3 der „Schriften zur wissenschaftlichen Weltanschauung“, herausgeg. von PH. FRANCK und M. SCHLICK. Zweite, neu bearbeitete Auflage. VIII und 282 Seiten. Wien: Julius Springer 1936. Preis brosch. RM 16,—.

Die zweite Auflage ist gegenüber der ersten, die 1928 erschienen ist, erweitert und ergänzt, vor allem durch den Abschnitt „Kritik der Grundlagen“. Das Buch enthält 6 Vorträge: Definition der Wahrscheinlichkeitsrechnung; Elemente der Wahrscheinlichkeitsrechnung; Kritik der Grundlagen; die Gesetze der großen Zahlen; Anwendungen in der Statistik und Fehlertheorie; Probleme der physikalischen Statistik. Die Darstellung ist für den Nichtmathematiker bestimmt; sie verzichtet auf Formeln und Rechnungen und läßt daher alle Probleme beiseite, die zweckmäßig nur mit Hilfe der Formelsprache behandelt werden.

Verfasser legt in dem Buche seine eigene Auffassung der Wahrscheinlichkeitsrechnung dar, die

er zuerst 1919 veröffentlicht hat, und die ja seitdem weithin bekannt geworden und diskutiert worden ist. Wesentlich für diese Auffassung ist, daß von Wahrscheinlichkeit erst gesprochen werden kann, wenn ein wohl bestimmtes, genau umgrenztes „Kollektiv“ vorliegt. Ein solches Kollektiv ist eine Massenerscheinung oder ein Wiederholungsvorgang, der 2 Bedingungen erfüllen muß: die relativen Häufigkeiten der einzelnen Merkmale müssen bestimmte Grenzwerte besitzen, und diese müssen unverändert bleiben, wenn man durch willkürliche Stellenauswahl einen Teil der Elemente aussondert (Prinzip der Regellosigkeit oder des ausgeschlossenen Spielsystems). Der Grenzwert der relativen Häufigkeit eines bestimmten Merkmals heißt die „Wahrscheinlichkeit für das Auftreten dieses Merkmals innerhalb des betrachteten Kollektivs“. Da die Wahrscheinlichkeit der Grenzwert der Häufigkeit ist, bedeutet „Wahrscheinlichkeit 1“ sinnentsprechend, daß das betr. Ereignis fast immer, aber nicht notwendig immer auftritt. Auf diesen Grundlagen läßt sich die Wahrscheinlichkeitsrechnung als normale Wissenschaft aufbauen. Sie geht aus von bestimmten, gegebenen Aussagen über Wahrscheinlichkeiten (Häufigkeiten in langen Beobachtungsreihen); hieraus berechnet sie Wahrscheinlichkeiten innerhalb anderer, aus dem „Ausgangskollektiv“ abgeleiteter Kollektivs, und zwar durch Zurückführung auf die 4 Grundoperationen der Auswahl, der Mischung, der Teilung und der Verbindung. Dagegen gibt es nach dem Verfasser weder eine a priori-Erkenntnis der Wahrscheinlichkeit noch die Möglichkeit, mit Hilfe anderer Wissenschaften (z. B. der Mechanik) auf Wahrscheinlichkeitswerte zu schließen; nur die Messung der Häufigkeitswerte liefert eine exakte Grundlage. Besonders interessant ist der dritte Vortrag, die Kritik der Grundlagen. Die klassische Definition der Wahrscheinlichkeit (Quotient aus der Zahl der dem Ereignis günstigen Fälle durch die Gesamtzahl aller gleich möglichen Fälle) ist einerseits zu eng und umfaßt nur einen kleinen Teil der Aufgaben und räumt andererseits der Gleichverteilung eine Sonderstellung ein, die ihr nicht zukommt. Gegen die Theorie des Verfassers ist z. B. eingewendet worden, daß die Wahrscheinlichkeit als Grenzwert einer unendlichen Folge definiert werde und daher praktisch nicht brauchbar sei (jedoch vermag die Theorie sehr wohl bestimmte Aussagen darüber zu machen, was bei einer endlichen Zahl von Beobachtungen zu erwarten ist), oder daß ein Kollektiv mit den geforderten Eigenschaften überhaupt gar nicht existiert (diese und andere erkenntnistheoretische Fragen erlauben noch keine völlig klare Antwort; wesentlich ist aber, daß sich bisher keinerlei Widersprüche in der Theorie gezeigt haben, und vor allem, daß sich alle Folgerungen bei den Anwendungen gut bewährt haben). Mit diesen und andern Einwänden setzt sich der Verfasser ausführlich auseinander.

Er behandelt dann die sog. „Gesetze der großen Zahlen“; er legt ihre Bedeutung dar und stellt fest, daß sie dann und nur dann sinnvolle Aussagen über den Ablauf einer Beobachtungs-

¹ S. diese Zeitschr. 50, 123 (1937).

folge machen können, wenn man von der Häufigkeitsdefinition der Wahrscheinlichkeit ausgeht. Anwendung findet die Wahrscheinlichkeitsrechnung vor allem in der Theorie und Praxis der Glücksspiele, im Versicherungswesen und in der physikalischen Statistik. Den beiden zuletzt genannten Anwendungen sind der 5. und 6. Vortrag gewidmet. Hierbei werden insbesondere die Theorie der Beobachtungsfehler, die zeitlich aufeinander folgenden Beobachtungen eines sich selbst überlassenen physikalischen Systems (die unmittelbar kein Kollektiv bilden!) und das Verhältnis der statistischen und der deterministischen Gesetze der Physik behandelt.

Das Buch ist außerordentlich gedankenreich und sehr klar und anregend geschrieben. Jeder, der sich mit Wahrscheinlichkeitsrechnung befaßt, sollte es aufmerksam studieren. Insbesondere müßte jeder Lehrer an höheren Schulen, der in seinem Unterricht kürzer oder ausführlicher auf die Wahrscheinlichkeitsrechnung eingeht, dieses grundlegende Buch unbedingt kennen.

E. Lamla.

Chemie des Waffen- und Maschinenwesens. Leitfaden der Stoffkunde für den Offiziersnachwuchs der Kriegsmarine. Von S. PAARMANN, Marinestudienrat an der Marineschule Flensburg-Mürwik. VII, 178 Seiten mit 49 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1936. Preis geb. RM 7,50.

Das Buch gibt in gedrängter Form eine Gesamtübersicht über die chemischen Hilfsmittel neuzeitlicher Kriegsführung und ihre chemischen Grundlagen. Der Stoff ist zu einem kurzen, methodischen Lehrgang der Chemie zusammengefaßt, der allerdings von dem herkömmlichen Aufbau erheblich abweicht. Der Inhalt ist in 7 Abschnitte gegliedert: Einfache Betriebsstoffe, Verbrennung, Metallische Werkstoffe, Säuren und Salze im Kesselbetrieb, Säuren und Salze als Kampfmittel, Neuzeitliche Pulver und Sprengstoffe, Kampfstoffe und Gasschutz.

Das Buch wird für den Chemielehrer, der sich über das Gesamtgebiet der Wehrchemie unterrichten will, von Nutzen sein.

R. Scharf.

Über die Sicherheitslampe. Von HUMPHRY DAVY. Aus dem Englischen übersetzt und herausgegeben von KLAUS CLUSIUS. OSTWALDS Klassiker der exakten Naturwissenschaften Nr. 242. 62 Seiten. Leipzig: Akademische Verlaganstalt m. b. H. 1937. Preis kart. RM 3,60.

Eine steigende technische Entwicklung um 1800 nach Erfindung der Dampfmaschine machte eine erweiterte Ausbeutung der Kohlengruben notwendig. Die bereits erschlossenen Gruben wurden in immer größeren Tiefen abgebaut. Je tiefer die Gruben ausgebaut wurden, um so größer wurden die Verlustzahlen an Menschenleben durch Schlagwetterkatastrophen. — Es ist sehr anregend zu verfolgen, wie ein Wissenschaftler von hervorragendem Rang, angeregt durch eine rein technische Frage, die Untersuchungen über die Verhütung der Bergwerkskatastrophen mit den einfachsten Mitteln der heute noch gebräuchlichen

Lösung auf exakt wissenschaftlicher Grundlage entgegenführt. Nach sehr gründlichen Untersuchungen über Entzündlichkeit und Explosionsfähigkeit von Schlagwetter-Luftgemischen und Wärmeleitungsversuchen an Glas und Metallen entwickelte DAVY in kurzer Zeit seine Drahtnetz-sicherheitslampe. — Die vorliegende Ausgabe enthält außerdem Untersuchungen über das Wesen der Flamme. Es wird das Aussehen der verschiedenen Teile der Flammen brennender Körper erklärt und eine Deutung für die Abhängigkeit der Lichtintensität von dem Vorhandensein fester Partikelchen gegeben. Untersuchungen über die Entzündlichkeit von Gasen und Gasgemischen bei vermindertem und erhöhtem Druck und die Beeinflussung der Explosion von Gasgemischen durch Zusatz verschiedener Gase, wie schließlich die katalytische Wirkung des Platins und Palladiums bei der Verbrennung von Gasen und Gasgemischen, bilden den Schluß der hier zusammengefaßten der Royal Society vorgetragenen Versuchsergebnisse.

K. E. Dörmer.

Zusammenhänge zwischen physikalischen Eigenschaften und chemischer Konstitution. Von ROBERT KREMANN, mitbearbeitet von MAX PESTEMER. Band 41 der wissenschaftlichen Forschungsberichte, naturwissenschaftliche Reihe. Herausgegeben von RAPHAEL ED. LIESEGANG, Frankfurt a. M. 225 Seiten mit 30 Abbildungen. Dresden und Leipzig: Theodor Steinkopff 1937. Preis RM 18.—

Die Absicht KREMANNs bei der Herausgabe seiner Vorlesungen über die Zusammenhänge zwischen physikalischen Eigenschaften und chemischer Konstitution in kurzgefaßter Buchform war, eine Art Neuausgabe des 1914 erschienenen, klassischen Buches von SMILES-HERZOG über den gleichen Gegenstand zu schaffen, in der vor allem der Organiker eine Übersicht über alle damals bereits bekannten und in der Zwischenzeit in großer Zahl neu entdeckten Eigenschaften und Verfahren zur Konstitutionsforschung findet. Das ist ihm in ausgezeichneter Weise gelungen. Es gibt wohl kaum eine physikalische, für die Erforschung des chemischen Aufbaues verwendbare Eigenschaft, die nicht in einem der 16 Kapitel des Buches zu finden ist, das Seite für Seite eine nahezu überwältigende Fülle von Zusammenhängen und — was für den experimentierenden Chemiker besonders wertvoll ist — zahlenmäßigen Angaben enthält. Im I. Kapitel werden einleitend die Arten der physikalischen Eigenschaften in dem bekannten Sinne von W. OSTWALD charakterisiert, dem im II. Kapitel als erste Grundlage der Aufbau der Moleküle aus den Atomen, die dabei wirksamen Kräfte und die Atom- und Bindungskonstanten folgen. Aus ihnen ergibt sich das Verständnis für die im III. Kapitel besprochene Additivität des Molvolumens von Flüssigkeiten. Das IV. Kapitel wiederum, das über die Lage, Verteilung und das Verhalten der Atome nach der Molekülbildung berichtet, bildet die Grundlage für das V., das die energetischen Beziehungen enthält, wie sie sich in der Additivität der Bildungs-, Bindungs- und Verbrennungs-

wärmen äußert. Es folgen nun die Moleküleigenschaften, die ihre Ursache im elektrischen Aufbau der Moleküle haben: im VI. Kapitel die Orientierungspolarisation und das Dipolmoment, im VII. die Deformationspolarisation (Brechungsindex, Molrefraktion), im VIII. die Dispersionserscheinungen, im IX. die durch die Anisotropie der Polarisierbarkeit hervorgerufenen Eigenschaften der Streustrahlung und der elektrischen Doppelbrechung. Im X. Kapitel werden (durch M. PE-STEMER) die Lichtabsorption und -emission im Sichtbaren und Ultravioletten behandelt, im XI. die Wechselwirkung zwischen Licht- und Molekülschwingungen im Ultrarot- und Ramanspektrum besprochen. Es folgen im XII. Kapitel die optische

Aktivität, im XIII. die magnetischen Eigenschaften, die magnetische Suszeptibilität, der Faradayeffekt und die magnetische Doppelbrechung, im XIV. der Zusammenhang zwischen Dissoziationskonstante und Konstitution. Die beiden letzten — das XV. und XVI. Kapitel — umfassen alle Eigenschaften, die mit den Kohäsionskräften in Zusammenhang stehen: Siedepunkt, Verdampfungswärme, Oberflächenspannung, innere Reibung und Schmelzpunkt.

Diese Übersicht über den Inhalt des Buches mag eine Andeutung seiner Reichhaltigkeit geben, aus der Studierende und Lehrer eine außerordentliche Menge Tatsachen und immer neue Anregungen schöpfen können.
Dr. W. Groth.

Vereine und Versammlungen.

Berliner Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts. Bericht über das Jahr 1937 (56. Vereinsjahr).

Den Vorstand bildeten die Herren GIRKE, KLAMBROTT und HAASE. Der Vorsitzende wurde zum kommissarischen Leiter des Sachgebietes Physik im NSLB, Gauverwaltung Berlin, ernannt. Nachdem der Deutsche Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts auf der Hauptversammlung in Nordhausen seine Überführung in das Sachgebiet Mathematik und Naturwissenschaften des NSLB beschlossen hat, wird der Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts fortan als Sachgebiet Physik im NSLB, Gauverwaltung Berlin, weiterarbeiten.

Es wurden folgende Sitzungen abgehalten:

19. Januar. Prof. Dr. L. BERGMANN (Breslau): Ultraschall in Wissenschaft und Technik.

17. Februar. Gemeinsame Sitzung der Vereine zur Förderung des mathematischen und physikalischen Unterrichts und der Vereinigung der Schulchemiker. Prof. Dr. phil. h. c. Dr. Ing. E. h. C. MATSCHOSS VDI: Vom Aufbau der deutschen Technik und Industrie und ihren großen Männern in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. (Vorläufer: Büchsenmeister, Kunstmeister im Bergbau, Calvör-Harz, Holtzhausen, Oberschlesien als Wiege des deutschen Maschinenbaues. Preußens Gewerbe-förderung: Beuth, Ausbildung der Männer der Technik, Technische Schule, Verein zur Beförderung des Gewerbefleißes. Große Männer der Technik im Westen: Dinnendahl—Harkort—Krupp. Drei Jahrhundert-Jubilare: Borsig—Schichau—Hartmann. Freund, Egells, Hoppe, Schwartzkopff. — Die großen schöpferisch tätigen Männer brauchen wir heute mehr als je.)

2. März. Gemeinsame Sitzung der Vereine zur Förderung des mathematischen, des physikalischen und des biologischen Unterrichts und der Vereinigung der Schulchemiker. Studienrat H. SCHWERDT: Wechselbeziehungen zwischen Mathematik und Wirtschaftlichkeit mit Beispielen aus der Technik, Chemie und Biologie.

27. April. Dr. Ing. FR. HASSLER VDI: Das Deutsche Museum und sein Schöpfer. (Das Lebenswerk OSKAR V. MILLERS, das Deutsche Museum als Stätte der Belehrung. Ein Gang durch die naturwissenschaftlichen und technischen Abteilungen und durch die Säle der Bibliothek.)

8. Juni. Experimentalvortrag. Studienrat J. RADEMACHER: Versuche zur Strömungslehre und zur Mechanik des Fluges. (Innere Reibung. — Bestimmung des Reibungskoeffizienten von Luft und von Flüssigkeiten. — Die REYNOLDSSche Zahl. Versuche von REYNOLDS und HAGEN. — Laminare und turbulente Strömung.)

3. September. Studienrat E. ZIMMER (Lübeck): Quantenphysik im Schulunterricht. (Gedankengang eines in Prima durchgeführten Lehrganges.)

19. September. Besuch der Segelflugschule Trebbin.

2. November. Prof. Dr. F. WEIDERT: Konstruktion und Wirkungsweise der wichtigsten militärischen optischen Instrumente. (Beobachtungsinstrumente, Richtmittel, Entfernungsmesser usw.)

14. Dezember. Experimentalvortrag. Oberstudienrat Dr. W. VOLKMAN: Der Interferenzspiegel. (Geometrische Bedingungen der Beobachtung. — Physikalische Beherrschung des Versuches. — Physiologische Deutung des Anblickes. — Erläuternde Zusatzversuche.) *R. Girke.*