

Aerosole.

Ein Überblick über die neueren Ergebnisse der Aerosolforschung¹.

Von O. Brandt in Köln.

Nebel, Staube, Rauche und ähnliche Gebilde, die auf natürlichem oder künstlichem Wege entstanden sein können, werden unter dem wissenschaftlichen Namen „Aerosole“ zusammengefaßt². Es handelt sich also um disperse Systeme, die in einem gasförmigen Träger fein verteilte feste oder flüssige Stoffe im Schwebезustand enthalten. Mit den Hydrosolen haben sie viele Züge infolge ihres kolloidalen Charakters gemeinsam. Der große Unterschied, der zwischen den beiden Dispersionsmitteln sowohl in mechanischer wie in elektrischer Hinsicht besteht, läßt indessen auch grundlegende Unterschiede erwarten. Die lyophilen Hydrosole sind durch ihre Umhüllung, die lyophoben durch die Aufladung gegen Zusammenstöße untereinander und mit den Gefäßwänden geschützt und dadurch wirksam stabilisiert. (Genauer ist die Bezeichnung „elektrokratisch“ für solche Kolloide, die wesentlich durch ihre elektrischen Eigenschaften, und „nichtelektrokratisch“ oder „solvatokratisch“ für solche, die vorwiegend durch Solvation stabilisiert sind.) Eine derartige Stabilisierung fehlt bei den Aerosolen. Infolge der geringen Dichte des luftförmigen Trägers ist der Gewichtsverlust der Schwebeteilchen durch den Auftrieb verschwindend gering, infolge der geringen Zähigkeit die Beweglichkeit aber sehr groß. Die Schwebepartikel befinden sich unter der Einwirkung der Schwerkraft daher in dauernder Fallbewegung, die sie verhältnismäßig schnell in Berührung mit dem Gefäßboden bringt. Ein Teilchen von beispielsweise $1\ \mu$ Radius sinkt in 1 sec um $1,3 \cdot 10^{-2}$ cm, ein solches von $0,1\ \mu$ Radius um $3 \cdot 10^{-4}$ cm ab (Teilchendichte = 1 gesetzt). Kürzlich konnte N. FUCHS³ in einer einfachen Anordnung zeigen, daß fast jeder Zusammenstoß mit der Gefäßwand zum Haften des Teilchens führt, das damit aus dem System ausscheidet. Vertikale Luftströmungen, Turbulenzbewegungen und äußere elektrische Felder (z. B. auch in der Atmosphäre) können der Fallbewegung entgegenwirken. Der gerichteten Fallbewegung überlagert sich die für alle Kolloide typische Brownsche Bewegung, die um so stärker ist, je mehr sich die Teilchengröße den molekularen Dimensionen nähert. Diese lebhaften unregelmäßigen Bewegungen führen zu Zusammenstößen der Teilchen untereinander, die ebenfalls infolge der fehlenden Stabilisierung zu einem sehr hohen Prozentsatz wirksam zu sein scheinen und zur Vereinigung führen. Bei elektrisch stabilisierten Hydrosolen kann bekanntlich erst nach Entladung der Partikel etwa durch Elektrolytzusatz ein gegenseitiges Haften und schnelle Ausflockung erzielt werden. Für dieses sehr charakteristische Verhalten ist in Aerosolen kein Gegenbeispiel bekannt. Die Annahme, daß das plötzliche Abregnen von Wolken auf einen derartigen Umschlag aus dem stabilen zum instabilen Zustand

¹ Eingegangen am 17. 10. 1936.

² Vollständige Angaben des Schrifttums können wegen der Beschränkung des Raumes nicht gemacht werden. Bezüglich ausführlicherer Angaben sei auf die folgenden Monographien hingewiesen: R. MELDAU: Der Industriestaub. Berlin: VDI-Verlag 1926. — R. WHYTLAW-GRAY u. H. S. PATTERSON: Smoke. London 1932. — A. WINKEL u. G. JANDER: Schwebstoffe in Gasen. Stuttgart: Ferdinand Enke 1934. — Die auf der Tagung der Faraday-Society im April 1936 zu Leeds gehaltenen Vorträge wurden in einem Sonderheft der „Transactions of the Faraday Society“ zusammengefaßt unter „Disperse Systems in Gases; Dust, Smoke and Fog. A General Discussion held by the Faraday Society“; London: Gurney and Jackson 1936 (im folgenden angeführt als: Disc. Far. Soc.).

³ N. FUCHS: Acta physicochimica, U.R.S.S. III, 819 (1935).

infolge einer Entladung der vorher hochgeladenen Teilchen zurückzuführen sei, ließ sich experimentell noch keineswegs endgültig beweisen. Daß natürliche Nebel oft sehr hohe Ladungen tragen, die nach den elektrostatischen Grundgesetzen einer Vereinigung gleichsinnig geladener Teilchen entgegenwirken müssen, wurde vor allem von WIGAND¹ gezeigt. Kräftige, einsinnige Aufladung, die im Laboratoriumsversuch erzielt wurde, bewirkte zwar ein Aussetzen der Koagulation, führte aber zu einem sehr schnellen Verschwinden des Nebels durch elektrostatische Zerstreuung^{2,3}, denn die einsinnig geladene Aerosolwolke bewirkt nach den elektrostatischen Grundgesetzen (Poissonsche Gleichung) ein Raumladungsfeld, in dem die Teilchen nach außen wandern. Überhaupt klafft — so wesentlich neue Gesichtspunkte die Meteorologie der Betrachtung der „Atmosphäre als Kolloid“⁴ verdankt — zwischen den Experimenten in laboratoriums-mäßigen Ausmaßen und den natürlichen atmosphärischen Vorgängen eine Kluft, deren Überbrückung noch nicht gelungen ist. Von solchen Grenzfällen abgesehen, werden wir jedenfalls ein Aerosol stets als ein instabiles Gebilde ansehen müssen, das infolge Absetzung und Flockung in stetiger Veränderung begriffen ist.

Zur Kennzeichnung eines Systems von Schwebstoffen als Aerosol kann daher nur das Merkmal des Feinheitsgrades der Zerteilung (Dispersitätsgrad) herangezogen werden. Nach der üblichen Festlegung beschränkt man den kolloidalen Zustand auf Teilchengrößen von 1 bis 500 m μ . Der Übergang zum molekulardispersen bzw. grobdispersen System ist aber durchaus stetig. Es ist üblich, die Grenzen des Aerosolgebietes höher zu legen als bei den Hydrosolen. Erst Teilchen, deren Radius die Größe von einigen Mikron ($1\ \mu = 10^{-4}\text{ cm}$) überschritten hat, wird man nicht mehr zu den eigentlichen Aerosolen zählen, obgleich sich in starken Gasströmungen noch viel größere Teilchen in der Schwebelage halten können. Besonders bei der Untersuchung von Industriestauben hat man sich mit teilweise sehr viel grobteiligeren Schwebstoffen („Pseudokolloide“) zu befassen. Die untere Grenze läßt sich bei Teilchen von einigen Millimikron ziehen. Da noch kleinere Teilchen infolge ihrer starken Brownschen Bewegung sehr schnell aggregieren, können sie höchstens in sehr hoher Verdünnung vorkommen. Die Großionen der Atmosphäre mit Teilchengrößen von einigen Millimikron fallen in das untere Grenzgebiet. Kleinionen in der Größenordnung $5 \cdot 10^{-8}$ bis 10^{-7} cm gehören nicht mehr zu den eigentlichen Schwebstoffen, obgleich auch sie durch Clusterung den molekulardispersen Zustand bereits überschritten haben. Ungefähr parallel zu diesen Grenzen laufen die Grenzen der optischen Sichtbarmachung. Im oberen Grenzgebiet beginnt die mikroskopische, im unteren die ultramikroskopische Beobachtung zu versagen. (Mit stark auflösenden Systemen lassen sich allerdings Teilchen bis hinab zu $0,2\ \mu$ noch abbilden.)

Eine Einteilung der Aerosole kann nach verschiedenen Gesichtspunkten geschehen. Die vorwissenschaftlichen Bezeichnungen Nebel, Staub, Rauch, Wolken, Dunst, Schwaden usw. sind in die wissenschaftliche Forschung leider nicht in einheitlicher Deutung übernommen worden. Es hat sich nunmehr als praktisch erwiesen, daß unter Nebeln ganz allgemein Schwebstoffe mit flüssiger, unter Stauben solche mit fester disperser Phase verstanden werden. Die Bezeichnungen Wolken, Schwaden usw. dagegen deuten die äußere Erscheinungsform des Gesamtbildes an. Eine kurze Gegenüberstellung verschiedener anderer Einteilungsgrundsätze soll auf die Vielseitigkeit der mit Aerosolen beschäftigten Forschung hinweisen. Die Einteilung in natürliche-künstliche Schwebstoffe, Ionen-Staub-Hydrometeore (WIGAND), erwünschte (chemische Fabrikation) -unerwünschte, freie-abgeschlossene (in umwandeten Räumen), giftige-gesundheitschädliche-unschädliche Aerosole deutet jeweils die leitenden Gesichtspunkte des besonderen

¹ A. WIGAND: Physik. Z. 27, 803 (1926); A. WIGAND u. F. FRANKENBERGER: Physik. Z. 31, 204 (1930). ² WHYTELAW-GRAY: „Smoke“.

³ P. BEYERSDORFER: Staubexplosionen, S. 77. Dresden: Theodor Steinkopff 1925. — N. FUCHS u. J. PETRJANOW: Acta physicochimica, U.R.S.S. III, 827 (1935).

⁴ A. SCHMAUSS u. A. WIGAND: Die Atmosphäre als Kolloid. Braunschweig: F. Vieweg & Sohn 1929.

Forschungsgebietes an. Sie zeigt gleichzeitig die unmittelbare Verbindung mit praktisch bedeutsamen Anwendungen, die der wissenschaftlichen Forschung stets besonderen Antrieb gegeben hat. Die Herstellung feinst verteilter Stoffe sowie die Abscheidung unerwünschter Nebel und Staube spielen in der chemischen Industrie eine wesentliche Rolle. Herstellung von Tarn- und Giftnebeln als Angriffs- und Verteidigungswaffen auf der einen, ihre Abscheidung und Filterung auf der anderen Seite, sind Fragen, die mit der Aerosolforschung weitestgehend zusammenhängen. Trotz der Instabilität stößt nämlich die Abscheidung der Aerosole auf zunächst unerwartete Schwierigkeiten. Das Hindurchleiten durch Waschflüssigkeit (Waschflaschen), in der bekanntlich Gase, die in der betreffenden Flüssigkeit löslich sind, sehr vollständig absorbiert werden können, ergibt bei Aerosolen nicht den gewünschten Erfolg, da nur ein Teil der Partikel infolge der gegenüber den Gasen geringen Diffusionsgeschwindigkeit an die Außenfläche der sie enthaltenden Gasblasen gelangt. Sehr kleine Teilchen haben dabei größere Aussichten, durch ihre starke Brownsche Bewegung, sehr grobe Teilchen durch ihre Fallbewegung, an der Flüssigkeitsumhüllung der Gasblasen zur Abscheidung zu gelangen^{1,2}. Es gibt daher eine dazwischenliegende Teilchengröße mit optimaler Durchdringungsfähigkeit. Nach neueren Untersuchungen von REMY¹ scheint auch die Bewegung des Gases in den hochperlenden Gasblasen Einfluß auf die Abscheidung der in ihnen enthaltenen Schwebepartikel zu haben. Bekannt sind die Schwierigkeiten, die sich zunächst der Absorption der SO_3 -Nebel aus dem Kontaktprozeß entgegenstellten. Eine ähnliche Durchdringungsfähigkeit zeigen nun die Aerosole auch gegenüber festen Filtern. Auf dieser Eigenschaft beruhte ihre Verwendung als Giftkampfstoffe. Nebel von hoher Reizwirkung sollten die Kohlefilter durchdringen, das Tragen der Gasmasken unerträglich machen und den gleichzeitig verschossenen Giftgasen zum Erfolg verhelfen. Die Einstellung der Reiznebel auf eine Teilchengröße mit optimaler Durchdringungsfähigkeit einerseits und die Schaffung hochabsorbierender Filter mit möglichst geringem Strömungswiderstand andererseits sind Probleme von hoher Bedeutung. Völlig aussichtslos erscheint dagegen die Abscheidung freien Nebels. Ein bescheidener Erfolg ist dem Verfahren von E. L. BOWLES und H. G. HOUGHTON³ zwar beschieden gewesen, nach dem es gelungen ist, ein beschränktes Gebiet in unmittelbarer Erdnähe durch Zerstäuben konzentrierter Calciumchloridlösung nebelfrei zu machen. Für die Praxis kommt das Verfahren wegen des Mißverhältnisses zwischen Aufwand und Erfolg nicht in Frage⁴.

Schäden durch Industriestaub.

Der kolloidale Charakter der Atmosphäre bestimmt den Zustand auf der Erde so maßgebend, daß eine Erde, deren Atmosphäre aus reinen Gasen bestünde, in ihrem organischen wie anorganischen Aufbau ganz anders organisiert sein müßte. Andererseits sind die großen Aerosolmengen, die durch die menschliche Tätigkeit über den großen Industriezentren ausgebreitet werden, nicht ohne Einfluß auf die Lebensbedingungen in der Umgebung. Leider geht die Konzentrierung von Menschen und Staub einander parallel, da in der Nähe der Industriezentren Großstädte mit hoher Bevölkerungsdichte aufgewachsen sind. Zu dem Auswurf der Fabrikschlote gesellen sich die schwebstoffbeladenen Abgase der Maschinen und Motoren eines dichten Eisenbahn- und Kraftverkehrsnetzes, der Abrieb verkehrsreicher Straßen und der Ruß ungezählter Hauskamine. Gerade bei Schönwetterlage kann sich dieser Schwebstoff

¹ Die Arbeiten von H. REMY und seinen Mitarbeitern siehe bei: H. REMY: Disc. Far. Soc. S. 1185.

² H. ENGELHARD: Z. Elektrochem. **31**, 590 (1925).

³ Angeführt nach D. BRUNT: Disc. Far. Soc. S. 1264.

⁴ Auch die menschlichen Atemwege stellen ein Filter dar, in dessen weiteren Kanälen (Trachea und größere Bronchien) die groben Teilchen (größer als 10μ) zur Abscheidung gelangen, während die kleineren (etwa 1μ) sich in der Lunge selbst absetzen. Auch hier gibt es Teilchen mit geringster Neigung zur Abscheidung (etwa $0,1\mu$ bis $0,3\mu$), die infolgedessen größtenteils wieder ausgeatmet werden. Nach W. FINDEISEN: Pflügers Arch. **236**, 367 (1935).

infolge der Windstille tagelang am Orte halten, hervorragend getragen von der leichten Thermik über dem Häusermeer, fortlaufend sich konzentrieren und, unterstützt von atmosphärischen Abscheidungen — denen die Staubeilchen willkommene Kondensationskerne sind —, zu einer unbeweglich lagernden Dunsthaube auswachsen. F. ALBRECHT und J. GRUNOW haben die Luftverhältnisse der Großstadt sehr eingehend erforscht. Durch Messungen vom Flugzeug aus ließ sich feststellen, daß sich die „Dunsthaube“ bis zu mehreren hundert Metern Höhe ausdehnen kann¹. Infolgedessen werden in der Einstrahlung, die insgesamt um 20% geschwächt sein kann², gerade die wertvollen und keimtötenden ultravioletten Strahlen durch bevorzugte Absorption ausgefiltert. Eingehendere Beachtung hat die Gefahr der Schädigung des Lungengewebes durch die Staubeinwirkung gefunden. Der Staub braucht jedoch nicht einmal die unmittelbare Ursache von Gesundheitsschädigungen zu sein, er kann vielmehr auch durch angelagerte pathogene Keime zum Übermittler infektiöser Erkrankungen werden. Hinsichtlich der umfangreichen medizinischen Forschung muß auf die Spezialliteratur³ verwiesen werden. Die geäußerten Bedenken werden verständlich, wenn man die erstaunliche Höhe der Staubkonzentration in einigen Gebieten erfährt. Großstadtluft kann mehrere hunderttausend Staubeilchen im Kubikzentimeter enthalten. Mit jedem Atemzug gelangen dann mehrere hundert Millionen Teilchen in die Atemwege. (Nach FLURY und ZERNIK.) Über Liverpool z. B. fallen nach Messungen, die seit 1921 alljährlich fortgesetzt wurden, rund 250 Tonnen an industriellen Schwebstoffen je Jahr und Quadratkilometer aus⁴. Neben den chronischen Schädigungen müssen bei der Menge der Schwebstoffe sogar akute Vergiftungen der anwohnenden Bevölkerung in den Bereich der Erwägungen gezogen werden. Das British Medical Journal (zitiert nach MELDAU) berichtet schon im Jahre 1880 über eine bemerkenswerte Erhöhung der Sterblichkeit, als London Ende Januar und Anfang Februar von einem sehr dichten Nebel heimgesucht wurde: „Die jährliche Sterblichkeitszahl für diese Woche ... war 48,1 pro Tausend der geschätzten Bevölkerung, während in 19 Provinzstädten diese Ziffer 26,3 nicht überschritt ... Es ist der Rauch, der die Londoner Nebel so verderblich macht.“ Eine größere Katastrophe hat in jüngster Zeit in den Tagen vom 1. bis 5. Dezember 1930 das Maastal in Belgien heimgesucht. FIRKET⁵ hat als Mitglied des Untersuchungsausschusses hierüber kürzlich nochmals zusammenfassend berichtet. Auch hier bildete ein tagelang unbeweglich über dem Tal lagernder dichter Nebel die Grundlage für die allmähliche Anreicherung der Luft mit schädlichen Auswurfstoffen, die langsam aus den Kaminen der benachbarten Industrien von Lüttich in den „Nebeltunnel“ absanken. Am 4. und 5. Dezember war die Konzentrierung so weit fortgeschritten, daß mehrere hundert Personen erkrankten, von denen 63 starben. Nach den pathologischen und analytischen Befunden scheint die maßgebende Giftwirkung von SO₂- und SO₃-Nebeln ausgegangen zu sein, die als lästige Begleiter in den Verbrennungsprodukten schwefelhaltiger Kohlen auftreten. (Über die Konzentrationsgrenze, bis zu der SO₂ und SO₃ unschädlich, bzw. gesundheitsfördernd — „Säuretherapie“ — sind, liegen eine Reihe Arbeiten vor [FLURY und ZERNIK].) Die Gefahr einer solchen Katastrophe für die Öffentlichkeit zeigt FIRKET sehr eindringlich, wenn er angibt, daß ein gleiches Vorkommnis über dem dichtbevölkerten London 3200 Todesopfer gefordert hätte.

Wesentlich größer ist naturgemäß die Gefährdung der Menschen, die durch ihre Tätigkeit an die unmittelbare Nähe starker Staubquellen gebunden sind (z. B. Quarzstaub in Goldbergwerken über 400 mg/m³ [MELDAU], im Bunkerraum von Schiffen beim Kohlenladen bis fast 3 g/m³ [FLURY und ZERNIK]). Staub aus brennbaren Stoffen ist in höherer Konzentration explosionsgefährlich. An erster Stelle stehen die Kohlen-

¹ Siehe J. GRUNOW: Z. VDI, H. 3 (1936).

² Nach R. MELDAU: Der Industriestaub. Berlin: VDI-Verlag 1926.

³ F. FLURY u. F. ZERNIK: Schädliche Gase. Berlin: Julius Springer 1931.

⁴ J. S. OWENS: Disc. Far. Soc., S. 1234. ⁵ J. FIRKET: Disc. Far. Soc., S. 1192.

staubexplosionen¹, die trotz großer Fortschritte in ihrer Bekämpfung (z. B. Gesteinsstaubverfahren) als ernste Gefährdung der Belegschaft zu gelten haben. Die schädlichen Wirkungen starker Staubeinatmung in staubverseuchten Betrieben haben umfangreiche gewerbehygienische Maßnahmen gefordert. Kohlenstaub scheint, solange er frei von Gesteinsstaub ist, ziemlich harmlos zu sein; von manchen Seiten wurde ihm sogar eine Schutzwirkung gegen Tuberkulose zugeschrieben. Dasselbe gilt von Kalkstauben. Die erschreckend hohe Sterblichkeit der Goldminenarbeiter, in deren Lungen mehr als 20 g Quarzstaub nachgewiesen werden konnten, zeigt, daß im Gegensatz zum Kohlenstaub der chemisch gegenüber den Körpersäften fast ebenso indifferente Quarzstaub infolge chronischer Reizungen zu tödlichen Erkrankungen führt („Silikose“). Das Vorkommen des Quarzstaubes ist natürlich keineswegs auf die angeführten Goldminen beschränkt. Schwebstoffe von spezifischer Giftwirkung, wie Arsentrioxyd-, Schwermetall-, besonders Blei-Staube und bei schwefelhaltigen Erzen große Mengen von schwefeldioxydhaltigen Nebeln werden von den Hüttenrauchen mitgeführt. Zwecks genauerer Unterweisung muß auch hier auf die umfangreiche Sonderliteratur hingewiesen werden. Interessant zu erwähnen ist vielleicht noch die hautreizende Wirkung, die bei einigen Holzstäuben ausländischer Hölzer nachgewiesen wurde² (Teakholz u. a.). Auch schwebende Mikrolebewesen (Heuschnupfen!) sind als Aerosol aufzufassen. Sieht man aber von allen diesen direkten Schäden ganz ab, so ist die Ablagerung von Rauch, Staub und Ruß an den Gebäuden dichtbesiedelter Industrieviertel und der freude- und trostlose Anblick dunkler Straßenzüge und Höfe, die unaufhaltsame Schwärzung der Arbeitsstätten und heller, nach sozialen und hygienischen Gesichtspunkten gebauter Neusiedlungen ein Problem, das gerade unter den heute leitenden Gesichtspunkten weitestgehende Aufmerksamkeit verdient. Die Bemühungen zur Abscheidung der Schwebstoffe aus den Industrieabgasen hat zu den verschiedensten brauchbaren Verfahren geführt, von denen weiter unten noch die Rede sein wird.

Ergebnisse der Aerosolforschung.

Die Eigenart des Gebietes bringt es mit sich, daß die „kolloidphysikalischen“ Untersuchungen dem Umfang und der Bedeutung nach weit mehr hervortreten als die kolloidchemischen. Zur Darstellung der Grundzüge sei zunächst ein allgemeiner Typ eines Aerosols der Betrachtung zugrunde gelegt, während alle durch stoffliche und strukturelle Besonderheiten bedingten Erscheinungen als Abweichungen davon aufgefaßt werden. Diese Abweichungen sind allerdings recht vielseitig und nur zu einem geringen Teil genauer bekannt. Kugelförmige Schwebstoffteilchen aus chemisch indifferenten Stoffen von verschwindendem Dampfdruck und unkomplizierter Oberflächenbeschaffenheit in einem ruhenden Träger (Luft) von Normaldruck und -temperatur würden einem solchen Typ entsprechen. Angenähert realisiert werden kann ein solcher Schwebstoff z. B. durch Paraffinölnebel oder ähnliche Stoffe. Kugelförmige feste Partikel hat WHYTLAW-GRAY durch Verdampfen und Kondensierung von Stearinsäure erhalten. Es ist aber zu bedenken, daß feste Teilchen schon nach der ersten Aggregation keineswegs mehr kugelförmig sein können. Zur Herstellung brauchbarer Aerosole für wissenschaftliche Untersuchungen hat sich die Methode der Kondensation zuvor verdampfter Substanzen am meisten bewährt. Auch chemische Gasreaktionen liefern vielfach Schwebstoffe. Dichte Salmiakstaube lassen sich z. B. in einfachster Weise aus Salzsäure- und Ammoniakgas gewinnen. Diese Teilchen sind allerdings nicht kugelförmig, sondern mehr oder weniger flockig. Sehr feinteilige Eisenoxydstaube stellten JANDER und WINKEL³ durch photochemische Reaktion aus Eisenpentacarbonyldampf her. Auch diese sind keineswegs kugelförmig und zeigen einige unerwünschte Besonderheiten^{4, 5}. Eines der bequemsten Verfahren, das daher zur

¹ P. BEYERSDORFER: Siehe Fußnote 3, S. 2. ² K. TOUTON: Naturwiss. 17, 371 (1929).

³ G. JANDER u. A. WINKEL: Kolloid-Z. 63, 5 (1933). ⁴ W. CAWOOD u. R. WHYTLAW-GRAY: Disc. Far. Soc., S. 1055. ⁵ K. E. STUMPF u. G. JANDER: Disc. Far. Soc., S. 1048.

Herstellung von Modellnebeln in der Technik (Filterprüfung) viel benutzt wird, ist die Vernebelung von Flüssigkeiten durch Druckluft aus Zerstäuberdüsen. Leider reicht der Grad der Fein- und Gleichteiligkeit für genauere wissenschaftliche Untersuchungen oft nicht aus. Für die Herstellung von Stäuben durch Zermahlen fester Körper gilt dasselbe in verstärktem Maße. Verbrennungsrauche lassen sich ebenfalls nur zu qualitativen oder grobquantitativen Versuchen benutzen. MgO-Rauche durch Verbrennen von Magnesiumband und Tabakrauch¹ sind wegen der Einfachheit der Herstellung zu orientierenden Versuchen trotzdem häufig benutzt worden. Von der Art der Herstellung hängt der Grad der Fein- und Gleichteiligkeit in erster Linie ab. Es muß hier eingeschaltet werden, daß allerdings eine mehr oder weniger starke Ungleichteiligkeit eine wesentliche Eigenschaft aller Aerosole ist. Als gleichteilig oder isodispers pflegt man den Schwebstoff schon zu bezeichnen, wenn die Teilchengrößen sich eng um eine maximale Häufigkeit gruppieren und alle davon wesentlich abweichenden Größen in geringer Konzentration vorkommen. Gerade die Ungleichteiligkeit der Schwebstoffe und bei Stäuben außerdem die Unbestimmtheit der Form machen der quantitativen Erforschung erhebliche Schwierigkeiten. Die theoretischen Ansätze gelten

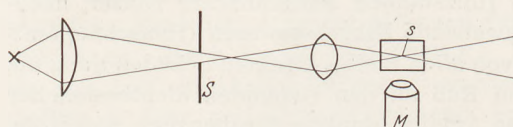


Fig. 1. Spaltultramikroskop von SIEDENTOPF und ZSIGMONDY. *S* Spalt, *s* Spaltbild in der Rauchkammer, *M* Beobachtungsmikroskop.

für kugelförmige Partikel und durchweg für isodisperse Systeme. Die Spanne der prinzipiellen und zufälligen Fehler ist daher recht erheblich.

Teilchengröße und Teilchenkonzentration (Teilchen/cm³) sind grundlegende Eigenschaften des Aerosols. Solange es sich um Mikronen handelt, wie

bei vielen Industriestäuben, ist eine direkte mikroskopische Beobachtung und Ausmessung möglich. An sehr groben Teilchen können sogar Strukturuntersuchungen und selbst mikroskopische Schnitte aufschlußreiche Erkenntnisse vermitteln. Aber auch noch unterhalb 1 μ Teilchengröße besteht die Möglichkeit, mit stark auflösenden Mikroskopsystemen die zuvor abgesetzten Partikel auszumessen. PATTERSON und CAWOOD² benutzen neuerdings eine Skala aus eingetätzten kleinen Kreisen von stufenweise wachsendem Durchmesser nach Art eines Okularmikrometers, um damit die Teilchengrößen abzuschätzen. Nach derselben Methode gelingt den Verfassern auch die Bestimmung der Größenverteilung der Partikel, die zu den schwierigsten Messungen der Aerosolforschung gehört. Im Gebiete der Submikronen können dagegen nur indirekte Meßverfahren zum Ziele führen. Es handelt sich hier darum, überhaupt einen Lichteindruck des Teilchens zu gewinnen. In der Dunkelfeldbeleuchtung erscheinen die Submikronen als helle Beugungsscheibchen auf dunklem Grunde. Die grundlegende Anordnung ist das Spaltultramikroskop von SIEDENTOPF und ZSIGMONDY, bei dem Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtung zueinander senkrecht stehen (Fig. 1). Das Bedürfnis nach kurzzeitigen mikrophotographischen Aufnahmen hat neuerdings zu optischen Anordnungen von besonderer Lichtstärke geführt. WINKEL und WITT³ haben nach dem Prinzip des Spaltultramiskopes von zwei entgegengesetzten Seiten mit sehr starken Bogenlampen beleuchtet. Eine sehr hohe Lichtstärke, die auch eine befriedigende Projektion der Teilchen und Aufnahmen von weniger als $1/100$ sec Belichtungsdauer gewährleistet, wurde von O. BRANDT und H. FREUND⁴ nach dem bekannten Prinzip der Zentralabblendung erreicht (Fig. 2). Neuerdings wurde hier

¹ Wegen seines analytisch hohen Wassergehaltes ist Tabakrauch oft als kugelförmig angesehen worden. Die mikrophotographische Aufnahme von Sedimenten (O. BRANDT u. E. HIEDEMANN, Disc. Far. Soc., S. 1101) zeigt, daß dies nur bedingt zutrifft. Das typische „Funkeln“ von Tabakrauchteilchen im Ultramiskroskop (O. BRANDT u. H. FREUND, unveröffentlicht) deutet sogar auf eine ausgesprochen anisotrope Gestalt hin.

² H. S. PATTERSON u. W. CAWOOD: Disc. Far. Soc., S. 1084.

³ A. WINKEL u. W. WITT: Z. Elektrochem. **42**, H. 6 (1936).

⁴ O. BRANDT u. H. FREUND: Bl. Untersuch.- u. Forsch.-Instrum. **9**, 57 (1935).

durch den Gebrauch eines Hohlspiegels um das Mikroskopobjektiv eine wesentliche Verbesserung erzielt. Das Spaltultramikroskop hat für Meßzwecke den Vorteil, daß durch die verkleinerte Abbildung s des Spaltes S in der Rauchkammer die Begrenzung des Beobachtungsraumes in der Tiefe optisch festgelegt ist. Die Abgrenzung in den beiden anderen Koordinaten durch das Quadrat eines Netzkulars legt dann einen definierten Beobachtungsraum fest. Man kann daher die Teilchen „auszählen“ und aus einer größeren Anzahl solcher Messungen durch Mittelwertnahme die Teilchenkonzentration (Teilchen/cm³) bestimmen. Anstatt die schwebenden Teilchen zu zählen, empfiehlt sich manchmal die Zählung der aus einem bekannten Raum auf ein fehlerfreies Deckglas abgesetzten Teilchen. Der Weg über Teilchenkonzentration und Gewichtskonzentration, die sich aus einer Wägung der in einem bekannten Raum befindlichen Aerosolmenge ergibt, führt bei ausreichender Gleichteiligkeit und bekannter Dichte zur rechnerischen Ermittlung des Radius r . Bei einer Teilchenkonzentration $7,5 \cdot 10^5$ Teilchen im Kubikzentimeter und einer Gewichtskonzentration $3 \cdot 10^{-6}$ g/cm³ (3 g/m³) ergibt sich z. B. etwa der Radius 1μ . Bei einem Radius $0,1 \mu$ würden sich entsprechend $7,5 \cdot 10^8$ Teilchen im Kubikzentimeter befinden (Dichte = 1). Diese einfache Methode zur Bestimmung der Teilchengröße versagt jedoch bei ungleichteiligen Schwebstoffen.

Da die Angabe eines „durchschnittlichen“ Radius sodann keine Bedeutung mehr hat, muß die Größe der einzelnen Teilchen durch indirekte Verfahren bestimmt werden. Sie werden ermöglicht durch die Kenntnis der Bewegungsgesetze der Schwebstoffpartikel im Gase. Wegen des vorherrschenden Zähigkeitswiderstandes ist die Bewegung unbeschleunigt, d. h. bewegende Kraft K und Widerstandskraft W sind im Gleichgewicht. Es gilt nach der von CUNNINGHAM für kleine Teilchen korrigierten STOKESSchen Formel

$$K = W = 6\pi r \eta v (1 + A/r)^{-1}.$$

(η = Zähigkeitsbeiwert, v = Geschwindigkeit, A = Konstante¹.)

Die Geschwindigkeit v läßt sich ultramikroskopisch messen oder auch mikrophotographisch aus der Länge der Teilchenbahnen bestimmen, die sich während einer bekannten Belichtungszeit als helle Striche auf dem Bild abgezeichnet haben. Die bewegende Kraft K ist im einfachsten Falle die Schwerkraft. $K_s = 4/3 \pi r^3 \cdot d \cdot g$ (d = Dichte, $g = 981$ cm/sec²). Man beobachtet dann also die Fallbewegung der Partikel. Geladene Teilchen, die in einem elektrischen Felde der Feldstärke E wandern, unterliegen der Kraft $K_e = e \cdot E$ (e = Teilchenladung). Die Feldstärke ist hinreichend bekannt, da Raumladungen, die durch die geladenen Teilchen auftreten könnten, gegenüber dem angelegten Feld in jedem Falle zu vernachlässigen sind. Anstatt der Geschwindigkeit im konstanten elektrischen Felde haben WELLS und GERKE² die Amplituden der in einem niederfrequenten Wechselfeld schwingenden Teilchen zur Bestimmung benutzt. Durch Kombination der Bewegung im Schwerfeld und einem dazu senkrechten elektrischen Wechselfeld bestimmten FUCHS und PETRJANOW³ Größe und Ladung der Teilchen gleichzeitig. In seinen berühmten Versuchen hat MILLIKAN zur Bestimmung des Elementarquantums die Schwerkraft durch eine entgegengesetzte elektrische Feldkraft kompensiert. Bei den Fallzeitmessungen muß d , bei den Messungen im elektrischen Feld e bekannt sein, damit r als einzige Unbekannte berechnet werden kann. Entsprechend läßt sich e (MILLIKAN) oder d (WHYTLAW-GRAY)⁴ bestimmen, wenn r vorgegeben ist. Die Ladung der Teilchen ist allerdings meistens unbestimmt. Dasselbe gilt von der Teilchendichte, sobald es sich nicht um flüssige Stoffe, sondern um Staube

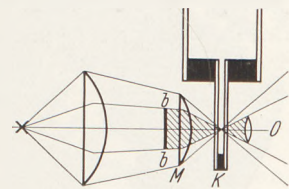


Fig. 2.
Allseitdunkelfeldbeleuchtung.
 b Zentralblende, K Beobachtungskammer, O Objektiv des Beobachtungsmikroskopes.

¹ Dem Betrage nach ist A etwa gleich der mittleren freien Weglänge.

² P. V. WELLS u. R. H. GERKE: J. Amer. chem. Soc. **41**, 312 (1919).

³ Siehe Fußnote 3, S. 2. ⁴ WHYTLAW-GRAY: Smoke, S. 100.

handelt¹. EHRENHAFT hat seinerzeit diese Tatsache übersehen und infolgedessen die „Subelektronen“ gefunden, da er im Gegensatz zu MILLIKAN, der bekanntlich Ölnebel benutzte, seinen Messungen verschiedene Staube zugrunde legte. Später bestimmte BÄR² die tatsächlichen Dichten dieser Partikel. Auch WHYTLOW-GRAY³ hat die Dichten fester Schwebeteilchen gemessen, indem er in Umkehrung des MILLIKANSchen Verfahrens die elektrische Ladung als bekannt annahm. Aus den gemessenen Dichten von bei-

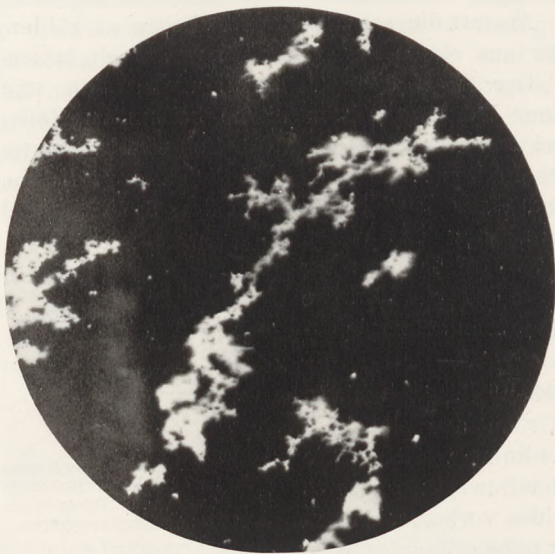


Fig. 3. Staubpartikel mit lockerem Gefüge (etwa 350 fach).

spielsweise $d = 0,94$ anstatt $D = 10,5$ (D = Dichte des kompakten Stoffes) für Silber, muß man für Staube offenbar ein höchst aufgelockertes flockiges Gebilde annehmen. Es muß dann bedacht werden, daß die STOKESSchen Bewegungsgesetze nur für kugelförmige Teilchen gelten. Ob man die Form der äußeren zusammenhängend gedachten Umhüllung aber bei einem Staube noch als annähernd kugelförmig annehmen darf, ist mehr als fraglich. Eine gedachte Umhüllung ist überhaupt bei einem aufgelockerten flockigen Gebilde undefiniert und der physikalische Sinn der Dichte als Gewicht/Volumen unbestimmt. Fig. 3 zeigt ein durch akustische Aggregation (siehe S. 9) aus mehreren Tausend Einzelteilchen entstandenes Staubpartikel. Man sieht daraus, daß

zum mindesten gröbere Staube die geäußerten Bedenken rechtfertigen. Die Gestalt von Staubeilchen im ultramikroskopischen Gebiet ist noch unbekannt. Staube verändern zudem ihre Form andauernd durch die Aggregation der Teilchen untereinander. Zwei kugelförmige feste Teilchen z. B. können kein kugelförmiges Aggregat ergeben.

Sedimentation und Koagulation. In einem ungleichteiligen Schwebstoff setzen sich die großen Teilchen wegen ihrer höheren Fallgeschwindigkeit bevorzugt ab, während die kleineren wegen der stärkeren BROWNSchen Bewegung bevorzugt durch gegenseitige Zusammenstöße aggregieren, so daß der Schwebstoff während des Alterns dauernd gleichteiliger wird. In derselben Richtung wirkt die iso-

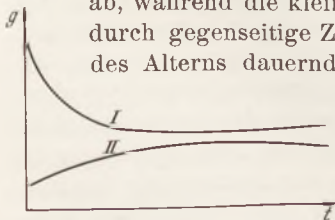


Fig. 4. Veränderung des mittleren Teilchengewichtes g infolge Sedimentation und Aggregation bei einem ungleichteiligen gröberen (I) und einem gleichteiligen feineren (II) Schwebstoff.

therme Destillation, da die kleinen Teilchen infolge ihrer stärkeren Krümmung einen höheren Dampfdruck haben und zu den größeren überdestillieren. Von der Verdampfung soll im folgenden aber abgesehen werden. Jede Messung von Teilchengröße und -konzentration gibt also nur einen zeitlich begrenzten Zustand wieder. Betrachtet man als Kriterium das mittlere Teilchengewicht, so wird sich bei einem stark ungleichteiligen Schwebstoff, der also grobe Partikel enthält, dieses durch die Sedimentation zunächst vermindern (Fig. 4), bei einem im ganzen

feinteiligen Schwebstoff aber infolge der vorwiegenden Aggregation vergrößern. Bei einem sehr feinteiligen Aerosol darf die Sedimentation in erster Annäherung überhaupt vernachlässigt werden. Die reziproke Teilchenzahl $1/n$, die dem mittleren Teilchengewicht proportional ist, gibt dann in Abhängigkeit von der Zeit t den Verlauf der

¹ V. KOHLSCHÜTTER u. TÜCHER: Z. Elektrochem. **27**, 225 (1921).

² R. BÄR: Ann. Physik **67**, 157 (1922). ³ Siehe Fußnote 2 S. 1.

Aggregation an. WHYTLAW-GRAY und seine Mitarbeiter^{1,2} fanden Proportionalität zwischen $1/n$ und t . Fig. 5 zeigt das Ergebnis solcher Messungen, die übereinstimmend nach zwei Methoden erhalten wurden. (Einmal durch Auszählen im Spaltultramikroskop, das andere Mal durch Auszählen der aus einem bekannten Raum abgesetzten Teilchen.) Tatsächlich fordert die Theorie der Koagulation, die SMOLUCHOWSKY für die schnelle Koagulation gleichteiliger Hydrosole abgeleitet hat und die von WHYTLAW-GRAY durch den CUNNINGHAMSchen Korrekturfaktor für Aerosole korrigiert wurde, ein solches Verhalten. Nach SMOLUCHOWSKY ist: $dn/dt = K \cdot n^2$ und $t = [1/n - 1/n_0] \cdot K$. Die Frage, ob diese Ansätze auch für Aerosole gelten, hat eine unverhältnismäßig starke Beachtung und Behandlung erfahren. Sie scheint durch die Messungen bejaht zu werden, jedoch sind diese nicht unwidersprochen geblieben³. Es sei noch erwähnt, daß hochkonzentrierte und sehr feinteilige Nebel, wie sie im Augenblicke der Kondensierung einer verdampften Substanz auftreten können, so schnell aggregieren, daß für Messungen an diesem Punkte gar keine Zeit bleibt. WHYTLAW-GRAY⁴ gibt als Beispiel für Stearinsäurestaube die Zeit 0,02 sec an, in der die Teilchenkonzentration von 10^{11} Teilchen/cm³ auf die Hälfte gesunken ist.

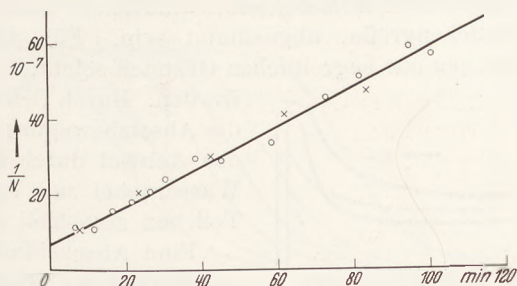


Fig. 5. Zunahme des mittleren Teilchengewichtes $1/n$ infolge Aggregation.

Bei weniger feinteiligen Schwebstoffen können ähnlich hohe Aggregationsgeschwindigkeiten nur in einem intensiven Schallfeld bei Frequenzen des oberen Schall- und unteren Schallgebietes erzielt werden. Innerhalb weniger Sekunden, bei höchster Schallintensität in Bruchteilen einer Sekunde, lassen sich Teilchenvergrößerungen auf das Mehrhundertfache der Anfangsgröße erreichen⁵. Die Teilnahme der Partikel an der Schallschwingung des Gases hängt von Frequenz und Radius ab (siehe im nächsten Abschnitt Fig. 8). Es ließ sich zeigen, daß infolge der ungleichen Amplituden die Stoßwahrscheinlichkeit zwischen verschiedenen großen Teilchen erhöht wird, so daß kinetische Zusammenstöße zusammen mit hydrodynamischen Anziehungskräften die schnelle akustische Aggregation erklären dürften. In Fig. 6 a sind akustisch schwingende Rauchpartikel ($1/125$ sec Belichtungszeit) und in Fig. 6 b die Bahnen größerer, nicht mehr schwingender aggregierender Partikel ($1/10$ sec Belichtungszeit) wiedergegeben. Das entgegengesetzte Problem der Beeinflussung des Schallfeldes durch den Schwebstoff, vor allem die

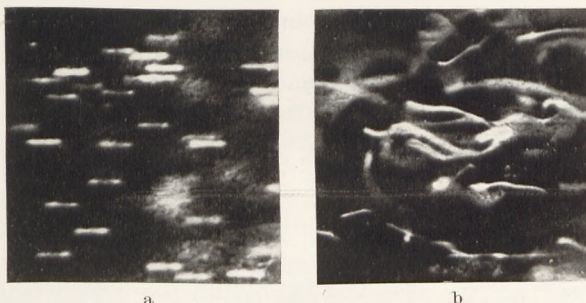


Fig. 6. a Schwingende Aerosolteilchen im Schallfeld. b Größere, nicht mehr schwingende Teilchen während der Aggregation.

¹ WHYTLAW-GRAY: Smoke; R. WHYTLAW-GRAY, W. CAWOOD, H. S. PATTERSON: Disc. Far. Soc., S. 1057.

² Auf Systeme mit nichtkugeligen Teilchen soll hier nicht eingegangen werden [V. KOHLSCHÜTTER: Kolloid-Z. 42, 203 (1927); WHYTLAW-GRAY: Smoke; D. BEISCHER u. A. WINKEL: Z. physik. Chem. (A) 176, 1 (1936)].

³ WINKEL u. JANDER: Schwebstoffe in Gasen, s. Fußnote 2 S. 1; A. WINKEL: Z. angew. Chem. 49, 404 (1936).

⁴ R. WHYTLAW-GRAY: Disc. Far. Soc., S. 1045.

⁵ O. BRANDT u. H. FREUND: Z. Physik 92, 384 (1934); 94, 348 (1935). — O. BRANDT u. E. HIEDEMANN: Disc. Far. Soc., S. 1101; Kolloid-Z. 75, 129 (1936). — O. BRANDT, H. FREUND u. E. HIEDEMANN: Kolloid-Z. 77, 103 (1936).

Schallabsorption, die mit der Erhöhung der Schallfrequenz sehr erheblich wird, hat trotz mancher Arbeiten¹ noch nicht ihre abschließende Behandlung gefunden.

Das Verhalten der Teilchen in Kraftfeldern ist auch unter anderen Gesichtspunkten von Bedeutung. Die Bewegung im Schwerfeld bewirkt, wie erwähnt, Konzentrationsverlust des Schwebstoffs durch Sedimentation. Vom Standpunkte der Staubabscheidung aus ist dieser Vorgang naturgemäß wünschenswert. In der Entstaubungstechnik werden auf diesem Grundprinzip Gase von Schwebstoffen befreit, indem man sie durch flache „Staubkammern“ leitet. Höhe und Länge der Kammer und Durchströmungsgeschwindigkeit müssen auf die Fallgeschwindigkeit, also die Teilchengröße, abgestimmt sein. Für die kleinen Teilchen eines echten Aerosols können aus begreiflichen Gründen solche Kammern nicht mehr wirtschaftlich verwendet

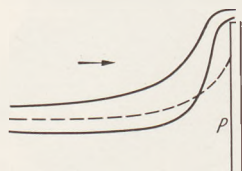


Fig. 7.
Stromlinien des Gases (ausgezogen) und eines Schwebeteilchens (gestrichelt) vor einer Platte (Prallfläche).

werden. Durch Beladung der Teilchen mit Flüssigkeit läßt sich die Absetzbewegung beschleunigen. Man leitet zu diesem Zweck das Aerosol durch Rieseltürme oder Kammern oder setzt ihm Wassernebel zu. Von den fallenden Wassertropfen werden die Teilchen zum Teil auch rein mechanisch mitgerissen.

Eine Abscheidung der Partikel kann weiterhin durch die Ausnutzung der Trägheitskräfte bewirkt werden. Da die Teilchenmasse gegenüber der Masse des verdrängten Mediums sehr groß ist, treten bei einer beschleunigten Strömungsbewegung des Gases, d. h. also auch bei jeder Richtungsänderung Trägheitskräfte auf, die das Teilchen in der alten Richtung weiter zu bewegen suchen. Daher können die Schwebstoffe auf Prallflächen oder auf Filtern usw. zur Abscheidung kommen. In Fig. 7 sind schematisch die Stromlinien des Gases vor der Prallfläche P eingezeichnet. Die gestrichelte Linie gibt den Weg eines Teilchens an. Bei Rotation des Trägers, wie sie z. B. in den Fliehkraftabscheidern (Zyklonen) erzielt wird, äußern sich die Trägheitskräfte durch Zentrifugieren der Teilchen zur Außenwand, an der sie zur Abscheidung kommen.

Als Maß der Massenträgheit der Teilchen kann der „spezifische Bremsweg“ gelten, der durch folgendes Gedankenexperiment festgelegt ist². Ein Teilchen vom Radius r trete mit der Geschwindigkeit 1 m/sec in ein ruhendes Gas ein. Es schreitet in diesem so lange fort, bis seine Einschußenergie $\left(\frac{m v_0^2}{2}\right)$ vom Zähigkeitswiderstand

$(6\pi r \eta v)$ verbraucht ist. Aus $\frac{m v_0^2}{2} = \int_0^{x_\infty} 6\pi r \eta v dx$ folgt für den Bremsweg: $x_\infty = \frac{m}{6\pi r \eta} \cdot v_0$;

$x'_\infty = \frac{m}{6\pi r \eta}$. (r = Teilchenradius, d = Teilchendichte, η = Zähigkeitsbeiwert, v_0 = Einschußgeschwindigkeit, v = Augenblicksgeschwindigkeit, x_∞ = Bremsweg, x'_∞ = spezifischer Bremsweg.) Die folgende Tabelle gibt den spezifischen Bremsweg für verschiedene Teilchengrößen an. ($d = 1$, $\eta = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^{-1} \text{ g sec}^{-1}$.) Für die Schweb-

stoffe des eigentlichen Aerosolgebiets macht sich die Trägheit also erst bei großen Einschußgeschwindigkeiten oder — wenn wir wieder zu den real vorliegenden Verhältnissen, bei denen die Teilchen von vornherein im Gase eingelagert sind, zurückkehren — bei großen Gasbeschleunigungen bemerkbar.

Ganz ungemein hohe Beschleunigungsamplituden werden in hochfrequenten Schallfeldern erreicht. (Bei 10 000 Hz und einer Amplitude 100μ ist die Beschleunigungsamplitude z. B. 400 000 m/sec².) Das Verhalten der Teilchen in solchen Feldern ist der Gegenstand neuerer Untersuchungen³ gewesen. Bei hohen Frequenzen (Ultraschall)

¹ W. ALTBERG u. M. HOLTZMANN: Physik. Z. **26**, 149 (1925). — O. BRANDT, H. FREUND u. E. HIEDEMANN: Erscheint in Z. Physik.

² W. SELL: Forschungsheft 347; VDI-Verlag 1931. — F. ALBRECHT: Physik. Z. **32**, 48 (1931).

³ O. BRANDT, H. FREUND, E. HIEDEMANN: Siehe Fußnote 5 S. 9.

werden selbst sehr feinteilige Schwebstoffe nur teilweise und schließlich gar nicht mehr von der Schwingung des Trägers mitgenommen. Für das Verhältnis zwischen Teilchenamplitude X_p und Amplitude X_g des umgebenden Gases gilt: $\frac{X_p}{X_g} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{4\pi d r^2 N}{9\eta}\right)^2 + 1}}$.

Bei vorgegebenen d und η ist also das Produkt $r^2 \cdot N$ (N = Frequenz) für den Grad der Teilnahme des Partikels an der Schwingung maßgebend.

Trägt man X_p/X_g als Funktion von r für verschiedene Frequenzen auf, so erhält man die Kurven der Fig. 8, aus denen ersichtlich ist, daß die Teilchen bei einer bestimmten Frequenz bis zu einer Grenzgröße fast vollständig mit dem Gase mitschwingen ($X_g/X_p = 1$), während alle noch größeren Teilchen mehr oder weniger zurückbleiben ($X_p/X_g < 1$).

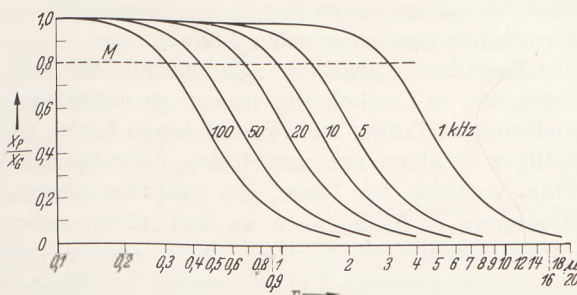


Fig. 8. Verhältnis zwischen Teilchen- und Gasamplitude X_p/X_g in Abhängigkeit vom Teilchenradius bei verschiedenen Schallfrequenzen.

Bewegungen der Teilchen relativ zum Gase lassen sich auch in einem Temperaturgefälle beobachten. Die bewegendende Kraft resultiert hier aus dem Unterschied im Impuls der Molekelstöße auf der wärmeren und kälteren Seite des Partikels. Eine

kalte Wand zieht infolgedessen die vorbeistreifenden Aerosolteilchen an, während eine warme sie abstößt. Der nebelfreie Raum, der sich um einen heißen Körper bildet, wurde schon von TYNDALL sowie RAYLEIGH und AITKEN² untersucht. GREEN und WATSON¹ haben den Effekt zur Konstruktion eines Apparates zur Abscheidung kleiner Nebelmengen ausgenutzt. In Fig. 9 ist W der Querschnitt durch einen geheizten Draht. Um W würde sich ohne die Begrenzung durch die beiden Deckgläser A und B im aufsteigenden Gase der nebelfreie Raum R bilden. Zwischen a und b werden die Partikel also vom Deckglas abgefangen. Die gerichtete Bewegung der Teilchen im Lichtstrahl „Photophorese“ hat ebenfalls zu verschiedenen Untersuchungen Anlaß gegeben, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll.

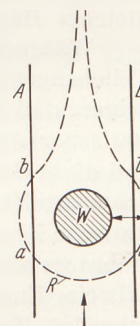


Fig. 9. Nebel-freier Raum R um den geheizten Draht W in einem zwischen den Deckgläsern A und B aufwärtsströmenden Gase.

Die Ausnutzung der elektrophoretischen Wanderung geladener Partikel im elektrischen Felde zu Meßzwecken wurde schon vorhin erwähnt. Auf ihr beruht das in der Technik im größten Maßstab angewendete Elektrofilterverfahren, mit dessen Entwicklung besonders die Namen COTTRELL und MOELLER verbunden sind. Das strömende Aerosol wird durch die Koronaentladung einer Sprühelektrode (Draht), die sich z. B. in der Achse eines durchströmten Zylinders befindet, aufgeladen, an die Gegenelektrode getrieben, die von der geerdeten Kammerwand gebildet wird, und dort abgeschieden. Bis zur technischen Reife hat das in seinen Grundlagen überaus einfache Verfahren eine unerwartet lange Entwicklung durchgemacht, die sich in vielen Untersuchungen und einer großen Zahl von Patenten widerspiegelt.

Es wurde schon eingangs erwähnt, daß die elektrische Ladung der Aerosole keinesfalls eine wesensbestimmende Eigenschaft ist wie bei Hydrosolen. Vielfach sind Schwebstoffe bei ihrer Entstehung überhaupt ungeladen. KOHLSCHÜTTER², SACHSSE³ und andere zeigten dieses für Schwebstoffe aus chemischen Gasreaktionen und ebenso für zerstäubte Paraffin- und ähnliche Substanzen, JANDER und WINKEL⁴ für Eisen-

¹ Siehe bei H. H. WATSON: Disc. Far. Soc., S. 1073.

² V. KOHLSCHÜTTER: Z. Elektrochem. 27, 225 (1921).

³ H. SACHSSE: Ann. Physik 14, 396 (1932). ⁴ WHYTLAW-GRAY: Smoke, S. 151f.

oxydstaube, die durch photochemische Reaktion gewonnen wurden, WHYTLAW-GRAY¹ für Ammoniumchlorid, Stearinsäurestaube u. a., die durch Kondensation entstanden waren. In anderen Fällen ist die Aufladung jedoch sogleich mit der Entstehung verknüpft. Staube, die bei hohen Temperaturen gebildet waren, wie MgO-Staub aus verbranntem Magnesiumband und Silberstaub aus dem elektrischen Lichtbogen, zeigten starke Ladung¹. Bekannt ist ferner die Aufladung zerstäubter Wassernebel (Wasserfallelektrizität), die von LENARD² in umfassenden Arbeiten erforscht wurden. Beim Zermahlen fester Stoffe oder Aufwirbeln abgesetzten Staubes können reibungselektrisch hochgeladene Teilchen entstehen. BEYERSDORFER schreibt dieser starken Aufladung auch bei industriellen Stäuben gelegentliche Funkenbildung zu, durch die Staubexplosionen ausgelöst werden können.

Mag der Schwebstoff nun unmittelbar nach seiner Entstehung geladen oder auch ungeladen in Erscheinung treten, so unterliegt er sogleich dem Einfluß der in seinem gasförmigen Träger stets vorhandenen Ionen, die durch die ionisierende Wirkung kurzweiliger Strahlen aus natürlichen oder künstlichen Strahlungsquellen fortdauernd gebildet werden. Die Ionen, die zunächst monomolekular sind, wachsen zum Teil durch Clusterung zu Klein-Ionen an und bilden sozusagen einen „Ionenschwebstoff“, dessen Konzentration zeitlich gleich bleibt, sobald sich zwischen Entstehung und Wiedervereinigung ein Gleichgewicht eingestellt hat. Beim Zusatz eines geladenen oder ungeladenen Aerosols wird dieses Gleichgewicht gestört, da der „Ionenschwebstoff“ mit dem Aerosol aggregiert. Die hochbeweglichen Ionen lagern sich dabei an die Teilchen an und teilen diesen ihre Ladung mit. Elektrostatische Anziehungs- und Bildkräfte überlagern sich dabei der ungeordneten Diffusionsbewegung. Die Geschwindigkeit der Aufladung ist häufig untersucht worden und hängt von verschiedenen Faktoren ab. Es kann immerhin Stunden dauern, bis der Nebel seine maximale Aufladung erreicht hat. Natürlich läßt sich die Aufladung durch erhöhte Ionenproduktion infolge künstlicher Bestrahlung erheblich beschleunigen³. Positive und negative Ladungen kommen dabei ungefähr in gleicher Häufigkeit vor.

Während sich in einem beidersinnig aufgeladenen Aerosol eine Beziehung zwischen Teilchengröße und Ladung nicht auffinden ließ, konnten ARENDT und KALLMANN⁴ zeigen, daß in einer unipolaren Ionenwolke die Aufladung der Teilchen infolge elektrostatischer Abstoßungskräfte bei einer bestimmten Grenzlادung zum Stillstand kommt und diese Grenzlادung ungefähr proportional der Teilchengröße ist. Einsinnig geladene Schwebstoffe zeigen auch weitere ausgeprägte Raumladungseffekte. Die starke elektrostatische Zerstreuung wurde schon erwähnt. Bemerkenswert und noch keineswegs bis in ihre weiteren Folgerungen untersucht ist die von CAWOOD und PATTERSON⁵ beschriebene teilweise Entmischung, die dann eintritt, wenn in einem durchweg einsinnig geladenen Schwebstoff eine geringere Anzahl Teilchen mit entgegengesetztem Vorzeichen eingelagert ist. Im Raumladungsfeld bewegen sich diese zur Mitte des Aerosols und bilden dort eine auffällige, kugelförmig begrenzte Wolke (von z. B. 20 cm Durchmesser), die sich durch Nähern geladener Konduktoren als Ganzes anziehen oder abstoßen läßt.

Optische Eigenschaften. Dem Lichte gegenüber zeigen die Aerosole die typischen Eigenschaften aller Kolloide. Durch Beugung und Reflexion der Lichtstrahlen wird das Licht vom Schwebstoff seitlich gestreut, während in Richtung des Lichtstrahls durch den Streuverlust und echte Absorption eine entsprechende Schwächung der Intensität eintritt. Es ist allbekannt, daß ein Lichtkegel bei dunstiger Luft von der Seite sichtbar ist (TYNDALL-Effekt). Die zu optischen Demonstrationen gebräuchliche

¹ WHYTLAW-GRAY: Smoke, S. 151f.

² P. LENARD: Ann. Physik **47**, 463 (1915); W. BUSSE: Ann. Physik **76**, 493 (1925); A. BÜHL: Ann. Physik **83**, 1220 (1927).

³ Über den photoelektrischen Effekt an Aerosolteilchen siehe E. MEYER und W. GERLACH: Ann. Physik **47**, 227 (1915).

⁴ P. ARENDT u. A. KALLMANN: Z. Physik **35**, 421 (1926).

⁵ W. CAWOOD u. H. S. PATTERSON: Nature (Lond.) **128**, 150 (1931).

„Sichtbarmachung des Strahlenganges“ in einer Rauchkammer geht bereits auf ALHAZEN¹ (11. Jahrh.) zurück. In dichten Nebeln verliert sich ein gerichtetes Lichtbündel durch Streuung und Mehrfachstreuung schon nach geringer Eindringtiefe in eine diffuse Aufhellung.

Der quantitativen wissenschaftlichen Erforschung der optischen Eigenschaften haben sich erhebliche Schwierigkeiten entgegengestellt. Dies läßt sich verstehen, wenn man bedenkt, daß die Teilchengrößen der Aerosole gerade in das Gebiet der Lichtwellenlänge fallen. Die feineren unterschreiten, die gröberen überschreiten sie. Die Zerstreuung des Lichtes beruht aber auf Beugung, solange die Teilchen kleiner als die Wellenlänge sind, während nach deren Überschreitung die Reflexion in den Vordergrund tritt. Die optischen Eigenschaften verändern sich also sehr schnell mit der Teilchengröße, wenn diese in der Nähe der Lichtwellenlänge liegt. Der klassische

Ansatz von RAYLEIGH, der Streuintensität, Radius und Wellenlänge verbindet, gilt für Partikel, die klein gegen die Wellenlänge sind, und läßt sich daher für Aerosole meistens nicht anwenden. Er verlangt eine Proportionalität der Streuintensität mit r^6 und λ^{-4} (λ = Wellenlänge). G. MIE² zeigt in ausführlichen Berechnungen, daß für größere Teilchen eine Abhängigkeit von niederen Potenzen des Radius erwartet werden kann. Zuverlässige Messungen der Streuintensität in Abhängigkeit vom Radius haben PATTERSON und WHYTLOW-GRAY³ durchgeführt, indem sie die Helligkeit der Partikel mit der eines im Okular angebrachten beleuchteten Kügelchens verglichen. Die Potenz p des Radius (Streuintensität $J = \text{const} \cdot r^p$) schwankte je nach Feinteiligkeit und stofflicher Natur des Schwebstoffes zwischen Werten von etwa 2 bis 4. Die Abhängig-

keit der Streuintensität von der Wellenlänge des Lichtes gibt die Formel von RAYLEIGH ebenfalls nur qualitativ richtig wieder. Feinteilige Rauche erscheinen bläulich wegen der bevorzugten Streuung der kurzwelligen Strahlen (Vorderrrauch der Zigarre im Gegensatz zu dem wasserdampfbeladenen inhalierten Rauch). Die langwelligen Strahlen des Infrarot dagegen erleiden nur einen geringen Verlust durch Zerstreuung, so daß sie eine hervorragende Durchdringungsfähigkeit besitzen. Hiervon wird in der Infrarotphotographie Gebrauch gemacht, durch die es gelingt, Gegenstände photographisch aufzunehmen, die für das Auge schon im Dunst verschwunden sind. Die Hoffnung, durch Wassernebel photographieren zu können (z. B. Flugzeug in Wolken), hat sich allerdings als trügerisch erwiesen, da Wassernebel eine ausgeprägte Absorption im Infrarot haben.

Ein „Funkeln“ der Partikel im Ultramikroskop⁴ läßt mit Sicherheit auf nicht-kugelige Teilchen schließen, da dann die Streuintensität von der augenblicklichen Lage zum Lichtstrahl abhängt. Diese ändert sich aber andauernd durch die BROWNSCHE Bewegung. Durch „Ausrichten“ der Teilchen, z. B. im elektrischen Felde, kann das „Funkeln“ augenblicklich zum Verschwinden gebracht werden (FREUNDLICH⁵ bewirkte bei Hydrosolen die Ausrichtung auch durch ein Strömungsfeld). Die einheitliche Richtung der Teilchen macht sich dann durch eine Änderung der Streuintensität des ganzen

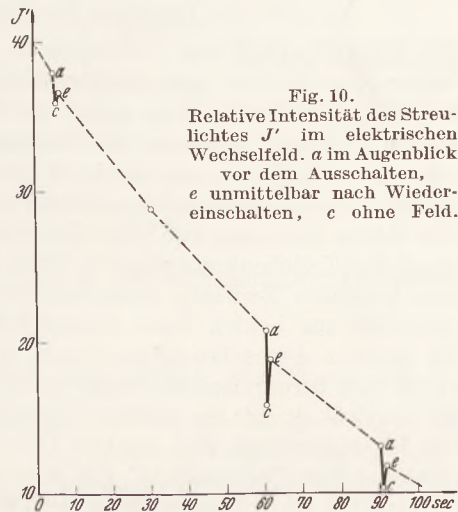


Fig. 10.
Relative Intensität des Streulichtes J' im elektrischen Wechselfeld. a im Augenblick vor dem Ausschalten, e unmittelbar nach Wiedereinschalten, c ohne Feld.

¹ Nach E. GERLAND: Geschichte der Physik. München u. Berlin: R. Oldenbourg 1913.

² G. MIE: Ann. Physik 25, 377 (1908).

³ H. S. PATTERSON u. R. WHYTLOW-GRAY: Proc. Roy. Soc., Lond. (A) 113, 312 (1926).

⁴ Z. B. F. STADIE: Ann. Physik 86, 751 (1928).

⁵ Weiteres Schrifttum bei H. FREUNDLICH: Kapillar-Chemie.

Systems bemerkbar. Fig. 10 zeigt die mit einer Photozelle gemessene Streuintensität eines Schwebstoffes¹ (Tabakrauch), der einem elektrischen Wechselfeld ausgesetzt ist und infolgedessen gleichzeitig schnell aggregiert. Die Lichtintensität nimmt infolge der Vergrößerung und Sedimentation stetig ab. Nur beim Aus- (a) und Wiedereinschalten (e) zeigt sich ein „Lichtsprung“ infolge der Beendigung bzw. des Wiedereintritts der Ausrichtung. Die Größe des Lichtsprungs (fast 20%) läßt auf eine ausgeprägte längliche Form der Aggregate schließen.

Die Möglichkeit, aus der Streuintensität die Teilchenkonzentration zu bestimmen, hat zur Konstruktion sog. Nebelmesser (Nephelometer) geführt. Für geringe Konzentrationen gilt nach H. SAUER², der die näheren Bedingungen für solche Messungen eingehend untersucht hat:

$$J = c \cdot f(\delta) \cdot n.$$

(J = Intensität, n = Teilchenkonzentration, c = Konstante.)

Die Anwendbarkeit des Verfahrens ist jedoch auf den Fall beschränkt, daß der Streufaktor $f(\delta)$, der in verwickelter Weise von Größe, Form und besonderen optischen Eigenschaften der Teilchen, sowie vom Winkel zwischen Beobachtungs- und Beleuchtungswinkel abhängt, während der Messungen konstant bleibt, oder daß zum mindesten $f(\delta) = (\text{const} \cdot r^3)$ ist, was, wie oben gezeigt (WHYTLAW-GRAY), nur in besonderen Fällen zutrifft. Es ist dann ja $r^3 \cdot n$ proportional der Massenkonzentration. Man beschränkt sich daher durchweg auf Vergleichsmessungen an demselben Aerosol, etwa auf Bestimmung der Teilchenkonzentration eines Nebels vor und nach Durchströmen eines Filters. Das bekannte Zeißsche Nephelometer z. B. enthält zwei Nebelkammern. Die Streuintensität aus beiden kann unmittelbar im PULFRICH-Photometer verglichen werden. Bei höheren Aerosolkonzentrationen, bei denen die Proportionalität zwischen Teilchengröße und Streuintensität nicht mehr gewahrt ist, geben Lichtabsorptionsmessungen die Möglichkeit, mit der gleichen Apparatur Konzentrationsbestimmungen durchzuführen. Die Lichtextinktion $E = \log 1/D$ (E = Durchlässigkeit) ist in gewissen Grenzen proportional der Teilchenzahl. Die Nephelometer kommen besonders dem Bedürfnis der Praxis nach schnell auszuführenden Vergleichsmessungen weitgehend entgegen, während man für wissenschaftliche Untersuchungen die genaueren, aber zeitraubenden Methoden des „Auszählens“ der Teilchen bevorzugen wird. (Über Meßmethoden bei Tarnrauchen und Nebeln siehe z. B. HANSLIAN³, STAMPE⁴, SCHMAUSS und WIGAND⁵.)

In dem gegebenen kurzen Überblick wurde von den Eigenschaften, die durch die besondere stoffliche Natur bedingt sind, abgesehen. Die Verschiedenheit der Dampfdrucke, der Oberflächenbeschaffenheit, der Dielektrizitätskonstante, der äußeren Form und des inneren Gefüges usw. haben mehr oder weniger große Abweichungen von dem im Anfange der Ausführungen angegebenen „allgemeinen Typ“ zur Folge. Wie weit es der Forschung gelingen wird, hier weitere übergeordnete und allgemeingültige Gesichtspunkte herauszuarbeiten, läßt sich zur Zeit noch nicht sagen.

¹ O. BRANDT u. H. FREUND: Unveröffentlicht. Auch hierauf sind die Überlegungen von RAYLEIGH nicht übertragbar. Wegen der Größe der Teilchen steht vielmehr die Reflexion des Primärlichtes im Vordergrund, die je nach der Lage der Teilchen und Lichtrichtung unterschiedliche Beträge annimmt.

² H. SAUER: Wiss. Mitt. des Drägerwerks, Heft 2 (1931), sowie Mitt. aus dem Zeißwerk, Jena und Z. techn. Physik 12, 148 (1931).

³ R. HANSLIAN: Der chemische Krieg. Berlin: Mittler & Sohn 1927.

⁴ G. STAMPE: Heerestechnik Nr. 5, Mai 1926 und Nr. 7, Juli 1926.

⁵ Siehe Fußnote 4 S. 2.

Kleine Mitteilungen.

Der induzierte Widerstand der Flugzeuge.

Von H. Bock in Hamburg.

Man begegnet immer wieder der Ansicht, daß es in einer idealen Atmosphäre möglich sein müßte, mit motorlosem Flugzeug bei ruhender Luft beliebig weit waagrecht zu gleiten. Hiernach wären es also allein die Verluste, d. h. der Übergang von Energie in Wärme, die ein solches ideales Verfahren unmöglich machen. — Nutzlose Bestrebungen der Konstrukteure können die Folge dieses Irrtums sein.

Daß es in Wirklichkeit anders ist, läßt sich leicht zeigen und ist schon zahllose Male gezeigt worden. Die im folgenden gegebene kurze Betrachtung schließt sich an Überlegungen PRANDTLs an.

In Fig. 1 bedeutet die Doppellinie den von vorn gesehenen Flugzeugflügel, der mit V m/s auf den Beschauer zukommen möge. Der von ihm erfaßte und mit der Geschwindigkeit w nach unten geworfene waagerechte Luftzylinder hat einen zu l^2 proportionalen Querschnitt, der durch die schraffierte Ellipse angedeutet sei; ihr Flächeninhalt sei $k \cdot l^2$ m². Somit ist das sekundlich betroffene Luftvolumen $k \cdot l^2 \cdot V$ m³.

$\frac{dm}{dt} = k \cdot l^2 \cdot V \cdot \frac{\gamma}{g}$ kg · s/m ist die Masse dieser Luft, so daß sich nach der Beziehung

$$\frac{d(m \cdot w)}{dt} = w \cdot \frac{dm}{dt} = A$$

der Impulsstrom der hinabgeworfenen Luft, d. h. der Auftrieb des Flugzeuges zu

$$A = k \cdot l^2 \cdot V \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot w \text{ kg} \quad (1)$$

ergibt.

Weil die beschleunigte Luft kinetische Energie forträgt, so hat der Motor einen zusätzlichen Widerstand W zu überwinden, dessen Wert aus folgender Energiebilanz hervorgeht:

$$W \cdot V = k \cdot l^2 \cdot V \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{w^2}{2} \text{ mkg/s.} \quad (2)$$

Eliminiert man w aus (1) und (2), so kommt

$$W = \frac{A^2 \cdot g}{2 k \cdot l^2 \cdot V^2 \cdot \gamma} \text{ kg} \quad (3)$$

als „induzierter“ Widerstand, der auch in einer idealen Flüssigkeit auftreten würde. Wie man erkennt, konvergiert er mit wachsender Flügellänge gegen Null. Die Praxis hat das längst erkannt.

Hieran schließt man gewöhnlich noch folgende Überlegung. Man benutzt bekanntlich in der Flugzeugtheorie die Beiwerte c_a und c_w , die so definiert werden:

$$A = c_a \cdot l \cdot b \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{V^2}{2} \text{ kg,} \quad (4)$$

$$W = c_w \cdot l \cdot b \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{V^2}{2} \text{ kg,} \quad (5)$$

worin b die in der Fahrtrichtung gemessene Breite der größten Flügelprojektion ist. Aus (3) bis (5) folgt:

$$c_w = \frac{1}{4k} \cdot \frac{b}{l} \cdot c_a^2. \quad (6)$$

Danach sollte der Zusammenhang zwischen den beiden c parabolisch verlaufen (Fig. 2), während er in der Tat etwa so geht, wie die strichpunktierte „EIFFELSche Polare“ zeigt, die an einem Flügel durchschnittlicher Form experimentell aufgenommen

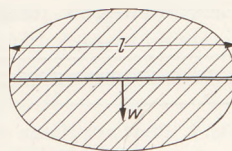


Fig. 1. Querschnitt des von dem Flugzeugflügel nach unten geworfenen waagerechten Luftzylinders.

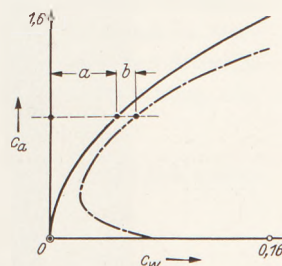


Fig. 2. Parabolischer Zusammenhang zwischen c_a und c_w mit der EIFFELSchen Polare.

ist. Der gemeinsame Parameter beider c ist der Anstellwinkel des Flügels. Wie die Kurve zeigt, ist die eigentliche „Reibung“ b innerhalb eines beträchtlichen Gebietes nahezu konstant, während der induzierte Widerstandsanteil a mit c_a quadratisch ansteigt.

Bewegliche Druckgebiete.

Von Dr. Karl Stoye in Quedlinburg a. H.

Um die Fortbewegung der Luftdruckgebiete und die damit zusammenhängenden Erscheinungen dem Verständnis im wetterkundlichen Unterricht näher zu bringen,

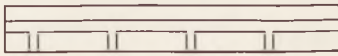


Fig. 1. Brett mit Nuten zum Halten der Glasröhren.

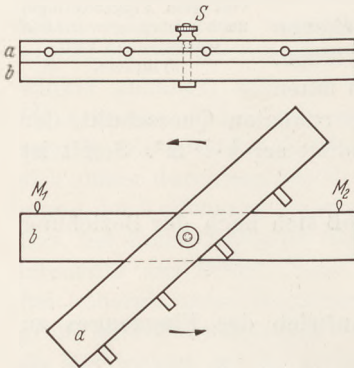


Fig. 2.
a Doppelbrett mit Stellschraube;
b Schwenkvorrichtung dazu.

verwende ich das nachstehend beschriebene neue Hilfsmittel. Vier ungefähr je 1,20 m lange Glasröhren von 6 mm Durchmesser werden an dem einen Ende rechtwinklig umgebogen. Die umgebogenen Enden bettet man in Nuten eines 60 cm langen Brettes ein (Fig. 1), und dieses Brett wird mit einem anderen überdeckt. Die so erhaltene Vorrichtung a (Fig. 2) wird auf ein anderes Brett b um eine Stellschraube S drehbar angebracht. Das Brett b erhält oben zwei Metallösen M_1 und M_2 , um es auf einem Draht hin- und herschieben zu können. Auf den Glasröhren werden leicht biegsame Drähte von 4 mm Durchmesser befestigt.

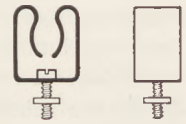


Fig. 3.
Widerstandshalter
zur Befestigung der
Isobarendrähte.

Die Befestigung dieser „Isobarendrähte“ geschieht im Notfalle mit schwarzem Faden oder dünnem Draht. Mit Vorteil werden aber Klemmen verwendet, wie sie in der Funkindustrie als Widerstandshalter dienen (Fig. 3). Ebenso lassen sich als „Isobarendrähte“ dickere Lötdrähte verwenden, die eine noch größere Biegsamkeit besitzen.

In der Mitte des Druckgebietes (Fig. 4) ist auf dem einen Glasrohr eine Klemme angebracht, welche zum Tragen der die Kalt- und Warmluftfronten darstellenden Streifen

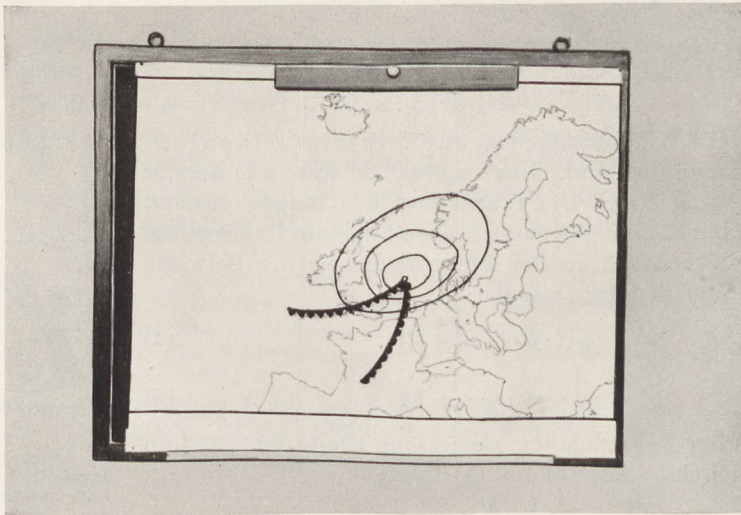


Fig. 4. Gesamtansicht des Gerätes zur Veranschaulichung beweglicher Druckgebiete.

dient. Unter das Ganze kommt eine Karte von Europa 1,00/1,25 m, die man sich selbst herstellt (Fig. 4). Oben an die Tafel oder in die Wand werden zwei kräftige Haken

eingeschlagen und starker Draht daran befestigt, nachdem man vorher den Draht durch die beiden Ösen M_1 und M_2 gezogen hat.

Die darzustellenden Druckgebiete werden nun von links nach rechts über die Europa-Karte hinwegbewegt; außerdem können sie noch mit Hilfe der beschriebenen Schwenkvorrichtung um die Stellschraube gedreht werden (Achsendrehung bei Tiefdruckgebieten). Ebenso können Windpfeile mittels der Klemmen aufgesteckt werden. Während der West-Ost-Bewegung können die Isobarendrähte nun verschiedene Umformungen erfahren. Infolge der Biegsamkeit der verwendeten „Isobarendrähte“ sind Deformationen der Isobaren leicht herzustellen; zum anderen gestatten die Klemmen eine leichte Verschiebbarkeit auf den Glasröhren. Hoch- und Tiefdruckgebiete, Kalt- und Warmluftfronten der verschiedensten Typen können so in ihrer Entwicklung und ihrem Vorübergang dargestellt werden.

Noch einige Bemerkungen zur Spannungs- und Stromresonanz (mit Versuchen).

Von Friedrich Moeller in Berlin-Tempelhof.

Anfragen und Anregungen aus dem Leserkreise dieser Zeitschrift haben gezeigt, daß das Interesse für die Erscheinungen der elektrischen Resonanz sehr groß ist, zumal sich die wesentlichen Versuche, wie Verf. gezeigt hat, mit Netzfrequenz verhältnismäßig gut zeigen lassen; es sei daher dem Verf. gestattet, zu den früheren Veröffentlichungen über diese Probleme¹ noch einige Bemerkungen hinzuzufügen und einige Versuche zu beschreiben, die sich aus den Fragen ergeben, die mündlich oder schriftlich gestellt worden sind.

Es seien zunächst die Ergebnisse der erwähnten Aufsätze noch einmal kurz zusammengefaßt. Bei Spannungsresonanzschaltungen liegen Induktivität und Kapazität in Reihe zu einander und zur Betriebsspannung; die Wirkwiderstände, die Spulen und Kondensatoren besitzen, sind ebenfalls in Reihe zur Induktivität bzw. zur Kapazität gelegt zu denken. Bei Niederfrequenzversuchen (50 Hertz) müssen Eisenkernspulen benutzt werden, wobei im Eisenkern, zumal wenn er geschlossen ist, große Verluste infolge der bekannten Eigenschaften des Eisens auftreten. Die Verluste sind als in einem Wirkwiderstand auftretend zu deuten, der zunächst parallel zur Induktivität gelegt zu denken und dessen Zahlwert sehr groß ist; rechnerisch läßt er sich in einen kleinen Wirkwiderstand umwandeln, der dann in Reihe zur Induktivität liegt². — Bei Stromresonanzschaltungen bleibt die Lage der Wirkwiderstände unverändert, sie liegen also wie vorhin in Reihe zu den zugehörigen Blindwiderständen; Induktivitätszweig und Kapazitätzweig liegen aber jetzt parallel zueinander, und die Betriebsspannung liegt jetzt nicht im Kreise, sondern am Kreis. — Unter Resonanz versteht man die Bedingung, daß die Blindwiderstände von Kapazität und Induktivität einander gleich sind; bei Spannungsresonanz tritt im Kreis auch Abstimmung ein,

¹ Vgl. diese Zeitschr. 48, 162f. u. 193f. (1935).

² Ist R_e der zur Induktivität L parallel gelegt zu denkende Eisenwiderstand, so läßt sich setzen:

$$R'_e = R_e \frac{(\omega L)^2}{R_e^2 + (\omega L)^2} \quad \text{und} \quad \omega L' = \omega L \frac{R_e^2}{R_e^2 + (\omega L)^2}.$$

Ist nun $R_e \gg \omega L$, was stets der Fall ist, so wird nahezu $R_e^2 + (\omega L)^2 = R_e^2$, und daher ist:

$$R'_e = R_e \frac{(\omega L)^2}{R_e^2} \quad \text{und} \quad \omega L' = \omega L.$$

R'_e ist also im Verhältnis $\frac{(\omega L)^2}{R_e^2}$ kleiner als R_e und die neue rechnerisch eingeführte Induktivität L' bleibt so groß wie die frühere L . — Eine ähnliche Beziehung läßt sich für den Verlustwiderstand R_c eines Kondensators aufstellen; Kondensator und R_c liegen physikalisch in Reihe, doch läßt sich für R_c ein kleiner Widerstand R'_c finden, der dann in Reihe zur Kapazität in Reihe geschaltet ist.

die sich in einem größtmöglichen Werte des im Stromkreis auftretenden Stromes kundgibt, wobei der Strom den Wert annimmt: $I_{res.} = \frac{U}{R}$; $\left(\omega L = \frac{1}{\omega C}\right)$.

Bei Stromresonanz macht sich ohne Hilfswiderstand eine Abstimmung nur im „äußeren“ Stromkreise bemerkbar, und zwar im umgekehrten Sinne wie vorhin: Sobald die Resonanzbedingung erfüllt ist, erreicht der Strom I ein Minimum. Wird in den äußeren Stromkreis ein Hilfswiderstand R gelegt, so tritt auch im „inneren“ Stromkreis (= Schwingungskreis) Abstimmung ein, und zwar erreicht der Strom $I_{res.}$ zugleich sowohl im Induktivitätszweige wie im Kapazitätszweig ein Maximum dann, wenn im äußeren Stromkreis das Minimum eintritt. Diese Aussage gilt aber streng nur dann, wenn die Wirkwiderstände der Spule bzw. des Kondensators einander gleich oder wenn beide Widerstände gegen die Blindwiderstände sehr klein sind; im anderen Falle sind die Maxima der Ströme im Kapazitätszweig und Induktivitätszweig voneinander verschieden (vgl. Fig. 1) und fallen auch nicht genau auf die gleiche Einstellung der veränderbaren Größe (Kapazität oder Induktivität oder

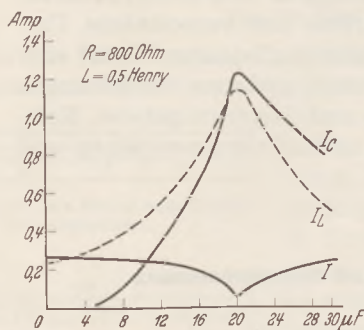


Fig. 1. Stromresonanzkurven.

Frequenz). Bei Spannungsresonanz wird der Strom unendlich groß, wenn der Wirkwiderstand Null wird; das ist einleuchtend, da ja im Falle der Resonanz die Blindwiderstände der Induktivität und Kapazität sich gegenseitig aufheben und dann das normale OHMSche Gesetz gültig ist. Auch bei kleinsten Betriebsspannungen U wird daher der Strom für $R = \text{Null}$ unendlich groß und daher auch die Teilspannung an der Induktivität bzw. der Kapazität. Ist aber wie immer in praktischen Fällen ein Wirkwiderstand vorhanden, so werden bei gleichbleibenden Wirkwiderständen und

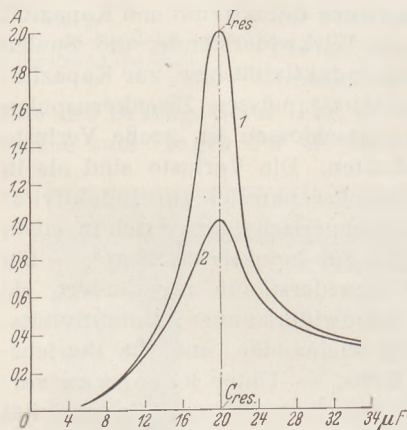


Fig. 2. Spannungsresonanzkurven.

daher gleichbleibenden Strömen die Blindspannungen (Resonanzspannungen) um so größer, je größer die gewählte Induktivität und also je kleiner die Kapazität wird. — Bei Stromresonanzschaltungen tritt eine derartige Resonanzspannung niemals ein; die Spannung am Kreise kann die Betriebsspannung nicht überschreiten, bleibt praktisch sogar stets kleiner als diese, da der Hilfswiderstand, der zur Abstimmung auf ein Strommaximum im Kreise notwendig wird, stets einen Teil der Spannung aufnimmt. Der Abstimmungsstrom erreicht bei im Kreise fehlenden Wirkwiderständen R_{kr} die Größe $I = U/\omega L$, da in diesem Falle der Spannungsverbrauch am äußeren Widerstande gleich Null wird, weil der in Reihe zu ihm liegende resultierende Blindwiderstand unendlich groß ist. Größer kann also der

Resonanzstrom niemals werden, er bleibt praktisch stets kleiner, da ja im Kreise stets Wirkwiderstände vorhanden sind. — Alle diese Folgerungen ergaben sich aus den Niederfrequenzversuchen, die früher beschrieben worden sind.

In Fig. 1 ist eine Stromresonanzkurve nochmals wiedergegeben, deren Entstehung schon erläutert ist¹. Veränderbare Funktion war die Kapazität, während die Induktivität konstant gehalten wurde, nachdem sie vor Beginn der Meßreihe auf den Wert L etwa $= 0,51 \text{ Henry} = 1/\omega^2 C$ für $C = 20 \mu\text{F}$ und $\omega = 2\pi f$ für $f = 50 \text{ Hertz}$ gebracht war. Benutzt wurde wie bei den erwähnten Arbeiten der LEYBOLDSCHE Versuchstransformator, in diesem Falle mit 2 Spulen 500 Wdg., je eine auf einem Schenkel. Der Eisenkern war bei Resonanz schon offen, wodurch die Verluste verhältnismäßig klein

¹ Vgl. diese Zeitschr. 48, 198 (1935), Fig. 9.

gehalten werden konnten; der Wirkwiderstand des Kreises war fast genau 10 Ohm. — In Fig. 2, Kennlinie 1 ist nun auch eine Resonanzkurve für Spannungsresonanz angegeben, wobei Induktivität und Wirkwiderstand die gleichen wie vorhin geblieben sind. Als Betriebsspannung wurden wie bei den früheren Versuchen mit Spannungsresonanz 20 Volt benutzt, die über einen Transformator dem Wechselstromnetz entnommen sind. Der Wirkwiderstand der Sekundärspule des Transformators war so klein, daß er vernachlässigbar war. Die Kapazität wurde in Sprüngen von $2 \mu\text{F}$ von Null bis zu einem Endwert $32 \mu\text{F}$ geändert, es wurden insgesamt 7 Blöcke $4 \mu\text{F}$ und 2 Blöcke $2 \mu\text{F}$ benutzt, die entsprechend zusammengeschaltet wurden. Im Resonanzpunkt (= Abstimmungspunkt) steigt die Stromstärke auf ihr Maximum = 2 Amp entsprechend dem normalen OHMSchen Gesetz, sie erreicht also einen sehr viel größeren Wert als bei Stromresonanz, wie die Theorie fordert. — Die Kurve 2 der Fig. 2 ist ebenfalls eine Spannungsresonanzkurve, die unter sonst gleichen Betriebsbedingungen entstanden ist, nur wurde in den Kreis ein Zusatzwiderstand 10 Ohm geschaltet, so daß also der Wirkwiderstand verdoppelt war; genau der Formel $I_{\text{res.}} = U/R$ entsprechend sinkt der Resonanzstrom hier auf den halben Wert wie vorhin. Außerhalb der Resonanz werden die Blindwiderstände nach beiden Seiten hin größer und größer, die Wirkwiderstände werden allmählich unbedeutend und die beiden Kurven müssen daher bald zusammenfallen. Auf der linken Seite des Resonanzpunktes ist der Strom kapazitätsbestimmt, auf der rechten Seite dagegen induktivitätsbestimmt; mit wachsender Kapazität ändert sich dann der Strom kaum noch, sondern nähert sich dem Wert $U/\omega L$, da der Wirkwiderstand gegen den Blindwiderstand zu vernachlässigen ist. Der Blindwiderstand bei sehr großem C ist nahezu $\omega L = 2 \cdot 50 \cdot 0,51 = \text{etwa } 160 \text{ Ohm}$. — Werden die Wirkwiderstände größer, so wird die Resonanzkurve immer flacher und eine „Abstimmung“ ist schließlich überhaupt nicht mehr erkennbar, die Erkennung des Resonanzeintritts verschwindet.

Den größten praktischen Wert haben die Resonanzerscheinungen, besonders die Spannungsresonanz, in der Hochfrequenztechnik erhalten¹. Wenn auch hier Hochfrequenzversuche nicht im einzelnen beschrieben werden sollen, die ja heute allgemein bekannt sind, so ist doch vielleicht eine Vergleichung der bekanntesten Versuche dieser Art mit den hier beschriebenen nicht ohne Interesse, da physikalisch beide wesensgleich sind. In der Fig. 3 ist links ein Hochfrequenzgeneratorkreis G gekennzeichnet; er kann mit Funken (also gedämpft) oder durch eine Röhre (also ungedämpft) erregt werden, die Mittel zur Erhaltung der Schwingung sind hierbei unwesentlich und daher auch nicht gezeichnet. Die beiden erregten Kreise A und B sind einander gleich, wenn man von der kleinen Spule L_k absieht, deren Induktivität gegen die andere Spule verschwinden soll; die beiden Kreise unterscheiden sich daher nur durch die Art der Kopplung, d. h. der Übertragung des Generatorfeldes. In Kreis A induziert der Generator auf die kleine Koppelspule L_k , während die Hauptspule L vom Generatorfeld nicht induziert sein soll; die gleiche Spule L des Kreises B dagegen ist so

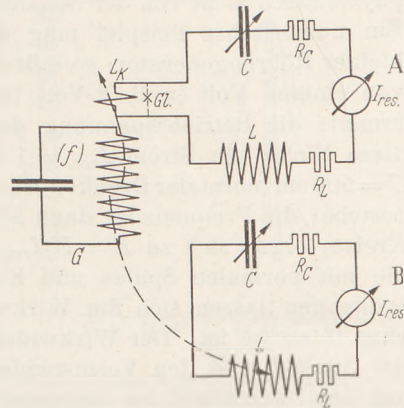


Fig. 3. Schaltungen zur Aufnahme von Spannungsresonanzkurven für Hochfrequenz.

¹ In den Wechselstromnetzen 50 Hertz haben Spannungsresonanzen insbesondere der an sich kleinen Oberschwingungen oft eine unerwünschte isolationsstörende Rolle gespielt. Solche Überspannungen, die völlig überraschend auftreten können, sind der Grund, daß man die Netzspannung möglichst sinusförmig zu halten sucht. — Die bekannten Erscheinungen in der Hochfrequenztechnik beruhen in der Regel auf Spannungsresonanz; eine Ausnahme macht aber die Schwingungserzeugung durch die Elektronenröhre, wobei der innere Widerstand der Röhre als notwendiger Widerstand wirksam ist.

aufgestellt, daß in ihr das Generatorfeld eine Spannung induziert; die Rückwirkung der Kreise auf den Generator soll vernachlässigbar sein, und beide Kreise A und B sollen untereinander keine Kopplung haben. Beide Kreise sind auf die Frequenz f des Generators abgestimmt, und es gilt daher die Spannungsresonanzbedingung $\omega L = 1/\omega C$; alle Blindwiderstände fallen daher weg und der Resonanzstrom $I_{res.}$ ist nur durch die Gleichung angegeben: $I_{res.} = U/(R_C + R_L) = U/R$; U ist die „Betriebsspannung“, die der Generator über die Spule L_k im Kreise A und über die Spule L im Kreise B induziert. Wird die Spule L des zweiten Kreises B so aufgestellt, daß der Resonanzstrom dieses Kreises gleich dem Resonanzstrom des Kreises A ist, so müssen auch beide Betriebsspannungen gleich sein. — Die Schaltung A ist bis ins einzelne gleich der entsprechenden Spannungsresonanzschaltung, wie sie früher für Niederfrequenzmessungen benutzt worden ist¹, die Spule L_k übernimmt hier die Rolle der Sekundärspule des Transformators 220:20; die Schaltung B unterscheidet sich physikalisch nicht von der Schaltung A , sondern die Unterschiede sind nur äußerlich. — Ein numerisches Beispiel mag das Gesagte noch etwas näher erläutern. Ist G ein kleiner Röhrengenerator, so läßt sich an der Spule L_k ($= 1$ Wdg.) leicht eine Spannung von einigen Volt (z. B. 2 Volt) induzieren, so daß ein Zwergglämpchen Gl an L_k normal brennt; die Betriebsspannung des Kreises ist dann 2 Volt. Es läßt sich leicht auf diese Weise ein Strom $I_{res.} = 1$ Amp im Kreise erzeugen, der aus einer Kapazität $C = 500$ cm (normaler Drehkondensator) und einer Induktivität L etwa $= 0,182 \cdot 10^{-3}$ Henry bestehe; die Frequenz ist dann 500 000 Hertz ($\lambda = 600$ m); der Wirkwiderstand R des Kreises ergibt sich zu $R = U/I_{res.} = 2$ Ohm. Das sind ganz gewöhnliche Verhältnisse, die mit normalen Spulen und Kondensatoren zu erzielen sind; mit besonderen Anordnungen lassen sich die Wirkwiderstände noch weiter herabsetzen, was aber hier ohne Interesse ist. Der Wirkwiderstand des Kreises verteilt sich auf den Widerstand der Spule L und den Verlustwiderstand des Drehkondensators C , endlich auch noch auf den Widerstand des Strommessers. — Da die Kreise A und B genau größengleich sind, da ferner vorausgesetzt wurde, daß auch die Ströme $I_{res.} = 1$ Amp gleich groß sind, so muß die gleiche Betriebsspannung $U = 2$ Volt auch im Kreise B wirksam sein, sie wird durch die Spule L selbst erzeugt. — Die Blindspannungen können aus der Größe der Kapazität oder der Induktivität berechnet werden. Es ist $U_{res.} = I_{res.} \frac{1}{\omega C}$;

da $C = 500$ cm $= 500/9 \cdot 10^{11}$ Farad, so wird $U_{res.} =$ etwa 570 Volt, das Verhältnis der Resonanzspannung zur Betriebsspannung ist also etwa 285. — Durch Heraufsetzen der Frequenz läßt sich die Resonanzspannung bei gleichbleibender Induktivität erhöhen, die Kapazität muß dann quadratisch verkleinert werden; bei Verdoppelung der Frequenz ist die Resonanzspannung ebenfalls um den gleichen Betrag gewachsen, vorausgesetzt, daß die Wirkwiderstände nicht gestiegen sind; das ist allerdings in der Regel nicht der Fall, da die Verluste in Spule und Kondensator mit wachsender Frequenz zunehmen. Immerhin erkennt man bei diesem einfachen Beispiel die großen Vorteile von Hochfrequenzkreisen gegenüber den niederfrequenten Versuchen.

Schaltet man z. B. in den Kreis B anstatt des Strommessers ein Lämpchen als Indikator, das hinreichenden Widerstand besitzt, z. B. eine Zwerglampe 3,5 Volt, deren Widerstand etwa 20 Ohm beträgt, so läßt sich der sonstige Wirkwiderstand des Kreises gegen den Widerstand der Lampe fast vernachlässigen, und das Lämpchen zeigt, sobald es normal brennt, praktisch die Betriebsspannung $=$ etwa 3,5 Volt an, die im Kreise wirksam ist. Wird der Kondensator kurz geschlossen, so erlischt die Lampe sofort, da jetzt die „neutralisierende“ Wirkung des Kondensators fortfällt und der Blindwiderstand der Spule L merkbar wird; er ist $\omega L = 2\pi \cdot 5 \cdot 10^5 \cdot 0,182 \cdot 10^{-3} =$ etwa 570 Ohm; da die Betriebsspannung 3,5 Volt erhalten geblieben ist, so muß das Lämpchen erlöschen.

Nach den gleichen Gesetzen der Spannungsresonanz erfolgt die Spannungsinduzierung von der Antenne eines Senders zur fernen Empfangsantenne. Das vom Sender

¹ Vgl. diese Zeitschr. 48, 163 (1935).

am Ort des Empfängers hervorgerufene Wechselfeld induziert die „Betriebsspannung“ in dem abgestimmten Empfangskreis, die allerdings in der Regel nur nach Bruchteilen eines Millivolts zu rechnen ist, aber an der Spule dieses abgestimmten Kreises, die an die Eingangsröhre geschaltet wird, ist schon eine hundertfach so hohe Blindspannung vorhanden, sobald die Dämpfung hinreichend klein gehalten werden kann. Der Antennenkreis wirkt also als sehr erheblicher Spannungsverstärker, und zwar nur für die Frequenz, auf welche er abgestimmt ist. — In Spannungsresonanzschaltung arbeitet auch jeder Wellenmesser, wenn er zum Zwecke der Wellenlängenmessung an einen schwingenden Kreis induktiv gekoppelt wird.

Endlich sei noch ein Hinweis auf den Begriff der „Resonanzschärfe“ gestattet. Die Kurve 1 der Fig. 2 erscheint zwar annehmbar scharf, ihre Vergleichung mit anderen Resonanzkurven ist aber nicht möglich, da die Maßstäbe ganz willkürlich genommen sind. Eine genaue Theorie der Resonanzkurve kann hier nicht gegeben werden¹, aber es kann doch ohne Weitläufigkeit im Zusammenhange mit den vorstehenden Ausführungen eine kurze Klärung erfolgen. Kennlinie 1 der Fig. 4 ist aus Kennlinie 1, Fig. 2 dadurch entstanden, daß auf der Abszisse das Verhältnis der eingestellten Kapazität zur Resonanzkapazität (also in diesem Falle 20 μ F), auf der Ordinate das Verhältnis der zugehörigen Ströme zum Resonanzstrom (hier also etwa 2 Amp) aufgetragen sind. Man erhält dann auf beiden Achsen Zahlenverhältnisse, die ganz unabhängig von der Frequenz eine Vergleichung von Resonanzkurven zulassen. Die Kennlinie 2 in Fig. 4 ist in gleicher Weise an dem Hochfrequenzkreise gewonnen, dessen Abmessungen und Ströme vorher genannt sind; sie ist ebenfalls dadurch entstanden, daß zunächst die Ströme als Funktionen der veränderten Kapazität aufgetragen wurden, $C_{res.}$ war dabei 500 cm; die Feststellung der anderen Kapazitätswerte ist leicht, weil sie bei einem Drehkondensator in einem leicht feststellbaren Verhältnis zur zugehörigen Gradzahl der Einstellscheibe stehen. — Die große Schärfe dieser Resonanzkurve gegenüber der Niederfrequenzkurve braucht nicht weiter erörtert zu werden.

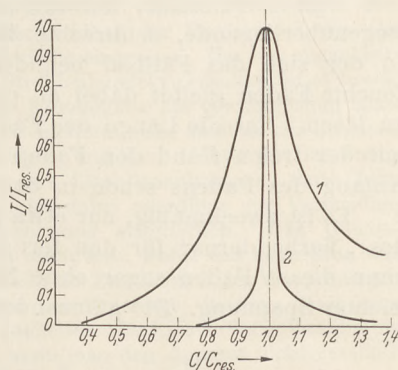


Fig. 4. Vergleichung einer Niederfrequenzresonanzkurve (1) mit einer Hochfrequenzresonanzkurve (2).

Endlich mag noch gesagt sein, daß alle Betrachtungen nur für den stationär gewordenen Zustand gelten, d. h. sobald die Anlaufzustände zeitlich überwunden sind, was bekanntlich außerordentlich rasch geschieht. Die Theorie des Einschwingens und des Abklingens ist schwerer und kann hier nicht behandelt werden.

Herstellung von Kunstseide nach dem Kupferverfahren.

Von R. Scharf in Berlin.

Meine gleichnamige Arbeit in dieser Zeitschrift 49, 119 (1936) bedarf noch einer Ergänzung. In der Zwischenzeit hat sich nämlich herausgestellt, daß das vom Chemikalienhandel gelieferte „Reagenz nach SCHWEITZER zur Unterscheidung von Gespinnstfasern (Kupferoxyd-Ammoniak-Lösung)“ nicht gleichmäßig ausfällt. Man hätte demnach bei jeder neuen Lieferung des Reagens von neuem zu bestimmen, wieviel davon zur Auflösung einer bestimmten Menge Watte erforderlich ist; unter Umständen kann diese Menge so groß werden, daß sich eine gut verspinnbare Lösung nicht mehr erzielen läßt. Ich arbeite daher jetzt folgendermaßen:

In eine 100-g-Pulverflasche werden 30 cm³ Salmiakgeist von 25% NH₃-Gehalt ($D = 0,910$) eingefüllt, dazu werden 0,7 g Kupferhydroxyd hinzugesetzt. Das von mir

¹ Vgl. hierüber diese Zeitschr. 46, 125 (1933).

verwendete Kupferhydroxyd habe ich von Schering-Kahlbaum bezogen; der Glühverlust dieses Präparates betrug 22,2%, während sich für die Formel $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ein Glühverlust von 18,5% ergibt. Bei dem Ansatz mit einem neuen Präparat ist unter Umständen der neue Glühverlust entsprechend in Anrechnung zu bringen.

Die angegebene Menge Kupferhydroxyd löst sich nur zum Teil in Salmiakgeist auf; trotzdem wird jetzt schon die Watte zu der Aufschlämmung hinzugesetzt und die Flasche mit einem Kork verschlossen. In dem Maße, wie die Zellulose das Kupfer aus der Lösung bindet, kann neues Kupferhydroxyd in Lösung gehen. Die Lösung wird des öfteren vorsichtig, d. h. so, daß keine Luftblasen eingeschlossen werden, geschüttelt, bis nach etwa $\frac{1}{2}$ bis 1 Stunde die Lösung gleichmäßig geworden ist; sie kann sofort versponnen werden.

Beim Spinnen unter Streckung des Fadens lassen sich mehrere Meter lange Fäden, die frei von Knötchen sind, erhalten, wenn man den von der Düse kommenden Faden aus dem Bade sofort herauszieht. Man führt ihn dazu erst im Bade bis an die gegenüberliegende, senkrechte Wand der Glasschale (Kristallisier- oder Petrischale), in der sich das Fällbad befindet, und an dieser Wand senkrecht nach oben. Der feuchte Faden gleitet dabei an der senkrechten Glaswand entlang, ohne sich von ihr zu lösen. Hat die Länge des Fadens die Spannweite des Armes erreicht, so faßt man mit der freien Hand den Faden dicht an der Schale von neuem, während man den Anfang des Fadens schon in das bereitstehende Spülwasser gleiten läßt.

Es ist zweckmäßig, nur etwa 2 bis 3 m lange Enden zu ziehen, da sonst die Gefahr des „Verhedderns“ für den fertigen Faden zu groß wird. Nach dem zweiten Spülen kann dieser Faden sogar ohne Nachbehandlung getrocknet werden, am besten unter leichter Spannung. Die glänzenden Fäden haben ein schönes, gleichmäßiges Aussehen.

Für die Praxis.

Einfache Versuche zum Nachweise des Propellerzuges. Von Dr. Marta Niemöller in Perleberg. — Das Modell eines Propellers (der Propeller als eine in Umdrehung versetzte gekrümmte Fläche aufgefaßt) wird aus Karton hergestellt. Man überträgt Fig. 1 in vierfacher Vergrößerung auf Karton von etwa 1 mm Dicke und schneidet sie aus. Die schraffierten Teile werden dann mit einem Messer oder Lineal so gekrümmt, daß die Wölbung an beiden Flügeln nach derselben Seite liegt. Der Propeller wird auf einem Glasröhrchen von etwa 2 cm Länge befestigt, das durch die Mitte m hindurchgeht. Mit Hilfe dieses Glasröhrchens kann er auf einer längeren Stricknadel als Achse gleiten. Die Stricknadel wird durch Korken, die man an den Enden befestigt, in waagerechter Richtung zwischen zwei Stativen festgeklemmt. Nun richtet man den Luftstrom eines Föhngerätes auf das obere Drittel des oberen Blattes des senkrecht gestellten Propellers. Dieser wird in Umdrehung versetzt und weicht dadurch nach der gekrümmten Seite hin aus. Folgt man mit dem Föhn dieser Bewegung, indem man seine Öffnung parallel zur Achse bewegt, worauf der Propeller gleitet, so verschiebt sich dieser auf der Achse bis ans Ende. Versucht man durch entgegengesetzte Bewegung des Föhns den Propeller zurückzubringen, so gelingt das nicht.

Fig. 1.
Propeller.

Fig. 2.
Propeller auf
Winkelhebel.

Noch in anderer Weise läßt sich die Wirkung des Propellers zeigen, wenn man ihn fest auf dem kürzeren Arm einer zum Winkelhebel gebogenen Stricknadel anbringt (siehe Fig. 2). Das Ende des längeren Armes des Winkelhebels wird (am besten durch Klemmschrauben) an einer zur Ebene des Winkelhebels senkrechten Achse befestigt, so daß er um diese Achse in seiner eigenen Ebene pendelnde Bewegungen ausführen kann. Nun richtet man den Luftstrom eines Windkanals auf das obere Blatt des senkrecht gestellten Propellers, hält aber die Stricknadel so lange fest, bis der Propeller

in Umdrehung versetzt ist. Läßt man jetzt los, so wird der Propeller nach der gekrümmten Seite hin bewegt, d. h. gehoben. Bei geeigneter Stärke des Luftstromes führt er pendelnde Bewegungen um die Achse aus.

Berichte.

I. Apparate und Versuche.

Herstellung eines optischen Gitters. Von W. BURSTYN in Berlin-Wilmersdorf.

Mit den durch Teilmaschine hergestellten optischen Gittern läßt sich das nachstehend beschriebene Gitter freilich auch nicht annähernd vergleichen. Aber dafür ist das Verfahren einfach und lehrreich.

Als Fläche dient eine Glasplatte, die mit einer dünnen, durchsichtigen Gelatineschicht überzogen ist, z. B. eine unbelichtete, ausfixierte photographische Platte. Zweckmäßig härtet man die Schicht mit Formalin; sie muß aber wieder sorgfältig getrocknet werden. Etwas weniger brauchbar ist eine nicht zu dünne Zelluloidfolie.

Als Werkzeug benutzt man einen Glassplitter, den man aus einer etwa 1 mm dicken Glasplatte bricht. Er kann 10—20 mm lang und 5 mm breit sein. An einem Ende soll die Bruchlinie etwas konvex und glatt sein.

Diese Stelle dient als Schaber, indem man das Glasstück zwischen den Fingern hält und, ein wenig nach vorn geneigt, mit sanftem Druck und schnell über die Schicht führt. Dabei gerät das Glas in Schwingungen, so daß auf der Schicht feine Riefen erzeugt werden. Man kann es leicht dahin bringen, daß der dabei entstehende Ton an der oberen Grenze der Hörbarkeit liegt und das entstehende Gitter 20—50 Striche auf ein Millimeter aufweist. Die Breite beträgt allerdings nur einige Millimeter, die Länge eines einigermaßen gleichmäßigen Gitters 1 oder mehrere Zentimeter. Das Spektrum beobachtet man, indem man das Gitter vor die Augen hält und eine mindestens 1 m entfernte, punktförmige Lichtquelle (Taschenlampenbirne) anblickt. Die Glasschneide ist nach 2—3 Kratzern unbrauchbar.

Um gerade Striche zu erhalten, führt man die Finger (nicht den Glassplitter) an einem dicken Lineal entlang. Hat man erst einige Übung, so bedecke man die Gelatine mit Schmieröl, wodurch die Striche sauberer werden und sich noch feiner machen lassen. Das Gitter ist erst zu benutzen, nachdem man das Öl sorgfältig mit Benzin entfernt hat.

Es ist wahrscheinlich möglich, das Verfahren wesentlich zu verfeinern, indem man die Kratzgeschwindigkeit genau konstant hält und den Glassplitter in Gummi einspannt oder mit erzwungenen akustischen Schwingungen arbeitet. Aber auch in der beschriebenen Weise wird das Gitter überraschend regelmäßig.

Fluoreszenzversuche im ultravioletten Licht. Von Dr. W. SEEGER in Krems a. d. D. (Bundesoberrealschule).

Fluoreszenzversuche im ultravioletten Licht können, was nicht allgemein bekannt sein dürfte,

mit einfachsten Hilfsmitteln ausgeführt werden. Vor allem braucht man dazu keine Quarzoptik; gewöhnliches Glas ist für langwelliges Ultraviolett in weitgehendem Maße durchlässig.

Die von mir benutzte Versuchsanordnung besteht aus einer Kohlenbogenlampe und einem Schwarzfilter UGI der Firma SCHOTT und Genossen, Jena, wobei ein Plättchen 4×4 cm zum Preise von 2,50 RM vollkommen genügt. Das Schwarzfilter wird an der Vorderwand des Gehäuses lichtdicht eingesetzt. Um ein angenähert paralleles Strahlenbündel zu erhalten, ist es zweckmäßig, eine Sammellinse aus gewöhnlichem Glase mit etwa 10 cm Brennweite dicht an das Schwarzglas anzufügen und den Lichtbogen in Brennweite von der Linse anzubringen. Gute Luftzirkulation ist dabei allerdings zur Vermeidung einer Überhitzung erforderlich. Das Gehäuse kann oben offen sein, wobei das nach oben austretende Licht die Deutlichkeit der Versuchsergebnisse kaum beeinträchtigt; ja man kann sogar im unverdunkelten oder halbverdunkelten Zimmer arbeiten, wenn man den Apparat nicht gerade in die Nähe der Fenster stellt.

Da das Schwarzfilter für Rot in geringem Maße durchlässig ist, kann, worauf M. HAITINGER in Wien zuerst hinwies, als Sammellinse ein mit sehr verdünnter Kupfervitriollösung gefüllter Rundkolben nach Art der Schusterkugel an Stelle der Glaslinse verwendet werden. Die roten Strahlen werden dadurch absorbiert, und die Fluoreszenzfarbe ist nicht durch beigemengtes Rot beeinträchtigt. Für Schulversuche halte ich jedoch diese Abänderung nicht für erforderlich.

Verwendet man an Stelle der Kohleelektroden solche aus Eisen (8 mm dick), so ist das ausgestrahlte Licht noch reicher an U-V-Strahlen; nur ist darauf zu achten, daß dann Gleichstrom verwendet werden muß (5 A, 60 V).

Zur Vorführung der Fluoreszenzerscheinungen eignen sich besonders gut folgende Stoffe, wobei gleich die Fluoreszenzfarbe angegeben sei.

Salicylsaures Natrium	blauviolett
Rubin	glühend rot
Kalomel (HgCl)	orange
Uranylsalz und Uranglas	grüngelb
Wolle, mit Rhodamin gefärbt	rot
Wolle, mit Fluorescein gefärbt	hellgelb
Fluoresceinlösung	hellgelb
Gelbe Vaseline auf Filtrierpapier	hellblau
Olivöl auf Filtrierpapier	schwach bläulich
Chininhydrosulfat, gelöst	hellblau
Milch	grüngelb
Harnschrift auf Papier	hell
Zähne	blendend weiß

Knochen (Beinknöpfe)	bläulichweiß
Flußspat	violett
Anthracen	grüngelb
Chlorophyll in Alkohol	blutrot

Über die mannigfaltigen Anwendungen der Fluoreszenzanalyse unterrichtet das Werk: DANCKWORT, Lumineszenzanalyse im filtrierten ultravioletten Lichte.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Tiefste Temperaturen und absoluter Nullpunkt.
Bericht von Dr. H. STEPS in Jena.

In letzter Zeit sind von den verschiedensten Seiten Vorstöße in das Gebiet der tiefsten Temperaturen unternommen worden, über die im folgenden berichtet werden soll. Die Erzeugung tiefer und tiefster Temperaturen ist eine Aufgabe, die für den Physiker von allergrößter Bedeutung ist. Man kann heute fast von einem Kampf um den absoluten Nullpunkt sprechen, der in der physikalischen Wissenschaft entbrannt ist. Es handelt sich dabei aber nicht etwa um eine Aufstellung von Rekorden zur Erreichung immer noch tieferer Temperaturen. Dem Wissenschaftler geht es hier um weit mehr. Er verspricht sich, dadurch Aufschluß über mannigfache Erscheinungen der Molekülstruktur und weitere Aufklärungen über die Eigenschaften und das Verhalten der Atome bei tiefen Temperaturen zu erhalten. Wenn auch die Erreichung des absoluten Nullpunktes nach dem dritten (NERNSTschen) Hauptsatz der Thermodynamik unmöglich ist, so versucht man mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln, ihm möglichst nahe zu kommen.

Über die verschiedenen neueren Verfahren zur Erzeugung tiefer Temperaturen soll nun eingehend gesprochen werden; den Betrachtungen sei ein kurzer geschichtlicher Abriß über ältere Methoden vorangestellt.

I. Geschichtliches. Mechanisches Verfahren.

Die auffallend einfachen Gesetzmäßigkeiten über die Ausdehnung von Gasen bei Änderungen der Temperatur führten W. THOMSON (Lord KELVIN) 1849 zur Einführung einer „absoluten“ Temperaturskala, deren Nullpunkt bei $t = -273,2^{\circ}\text{C}$ gelegen ist und deren Zählung sich aus der Celsiusangabe t durch die einfache Beziehung

$$T = 273,2^{\circ} + t \quad (1)$$

ergibt.

Diese absolute Temperatur T wird vielfach zu Ehren von KELVIN in Grad Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) angegeben. Es ist also

$$0^{\circ}\text{K} = -273,2^{\circ}\text{C}. \quad (2)$$

Die Erzeugung niedriger Temperaturen durch Kältemischungen sei in diesem Zusammenhange kurz erwähnt. Weiter stellt auch der Vorgang der Wärmeentziehung durch Verdampfung ein bequemes Mittel zur Erzeugung niedriger Temperaturen dar (CARRESche Eismaschine). Ein gänzlich anderes Verfahren beruht auf der Ausnutzung des JOULE-THOMSON-Effektes, der besagt, daß reale komprimierte Gase bei der Ausdehnung ohne äußere Arbeitsleistung eine Temperaturänderung zeigen [vgl. diese Zeitschr. 49, 82 (1936)]. Aus der Theorie folgt, daß bei einer

bestimmten Temperatur dieser Effekt Null wird; diesseits und jenseits dieser „Inversionstemperatur“ besitzt er jedoch entgegengesetztes Vorzeichen. Wie JOULE und THOMSON selbst feststellten, haben Luft und Sauerstoff bei gewöhnlicher Temperatur einen negativen Effekt, während Wasserstoff sich bei Ausdehnung erwärmte. Erst erheblich später gelang es dann auch nachzuweisen, daß bei Wasserstoff ein ebensolcher negativer Effekt auftritt, sobald unterhalb der Inversionstemperatur $-80,5^{\circ}\text{C}$ gearbeitet wird. J. LINDE verwendete die auf dem JOULE-THOMSON-Effekt beruhende Abkühlung von Gasen technisch zur Verflüssigung der Luft, indem er außerdem das Gegenstromprinzip dazu benutzte, die bei den einzelnen Expansionen erfolgende Temperaturerniedrigung gewissermaßen zu vervielfältigen. Mit Hilfe des LINDESchen Verfahrens ist es dann weiter gelungen, Wasserstoff und schließlich auch Helium zu verflüssigen und damit zu tiefen Temperaturen zu gelangen. Flüssiger Wasserstoff besitzt die Temperatur $T = 20^{\circ}\text{K}$, Helium nur 4°K . Die Verflüssigung des Heliums gelang KAMERLINGH-ONNES im Jahre 1908 durch Expansion des komprimierten Gases, das zuvor durch flüssigen Wasserstoff vorgekühlt war. In der Technik geht man heute allgemein so vor, daß zunächst stufenweise Luft (Siedepunkt 80°) verflüssigt wird, dann mit siedender Luft vorgekühlter Wasserstoff (20°) und schließlich durch siedenden Wasserstoff vorgekühltes Helium ($4,3^{\circ}$). Durch ein neueres von KAPITZA¹ angegebenes Verfahren wird die wegen ihrer Explosionsgefahr unbeliebte Wasserstoff-Zwischenstufe vermieden und die Heliumentspannung in einem besonders geformten Behälter vorgenommen. Der Ausgangspunkt der Temperatur bei diesem Verfahren liegt bei 65° ; diese Temperatur wird durch unter vermindertem Druck siedende Luft erzeugt. Das so vorgekühlte verdichtete Helium läßt KAPITZA äußere Arbeit leisten und dann von 10° aus, ehe es flüssig wird, durch gewöhnliche Entspannung mit innerer Arbeit (JOULE-THOMSON-Effekt) sich verflüssigen. Die Heliumverflüssigung beginnt bei diesem Verfahren schon nach bedeutend kürzerer Betriebsdauer der Anlage, ein großer Vorteil gegenüber den bisherigen Verfahren. Allerdings werden bei diesem neuen Verfahren erhebliche Ansprüche an die verwendeten Werkstoffe gestellt, und es bleibt vorläufig noch abzuwarten, wie sich die ersten bisher gebauten Anlagen bewähren, und wie groß der Gewinn gegenüber den alten Verfahren ist.

Um die Siedetemperaturen des Heliums zu unterschreiten, war es naheliegend, den Siededruck

¹ P. KAPITZA: Proc. Roy. Soc., Lond. 147, 189 (1934).

zu erniedrigen; diese Möglichkeit ist beim Helium um so erfolgreicher, als es unterhalb einer Temperatur, bei der man den Tripelpunkt (d. i. der Punkt, an dem die drei Phasen im Gleichgewicht sind) erwarten sollte ($2,19^{\circ}$), nicht erstarrt, sondern unsetzung in eine andere flüssige Phase übergeht. So gelang es, nicht nur durch Verminderung des Siededruckes auf 3 mm Hg mittels einfacher Pumpen auf $1,5^{\circ}$ zu kommen, sondern KEESOM¹ konnte mit einem besonderen, nach Angaben von GAEDE² gebauten Pumpenansatz von 400 Litern Saugleistung je Sekunde annähernd $0,7^{\circ}$ durch Druckerniedrigung auf $3 \cdot 10^{-3}$ mm Hg erreichen. Größere Fortschritte wird man auf diesem Weg aber nicht mehr zu erwarten haben. Man könnte vielleicht noch an eine Verbesserung der Versuchsanordnung denken. Jedoch stellen die Apparaturen von KEESOM in technischer Hinsicht bereits das denkbar Höchste an Präzision dar. Etwa andere Gase als Helium zu verwenden, bei denen die Anziehungskräfte zwischen den Molekülen noch geringer sind, ist aber auch nicht möglich.

Eine grundsätzliche Schwierigkeit für die Erzeugung tiefer Temperaturen besteht in der Gültigkeit des NERNSTschen Wärmesatzes, der die Unerreichbarkeit des absoluten Nullpunktes ausspricht. Tatsächlich werden im allgemeinen schon bei Heliumtemperaturen alle kälteerzeugenden Vorgänge unwirksam, abgesehen von zwei Ausnahmen, worauf sich die Verfahren gründen, mit denen es gelingt, noch weit tiefere Temperaturen zu erzeugen.

II. Das magnetokalorische Verfahren.

a) Theoretische Grundlagen des Verfahrens. Eine magnetokalorische Temperaturerniedrigung ist auf folgende Weise möglich: Ein paramagnetischer Körper wird möglichst hoch magnetisiert, und zwar isotherm; die dabei etwa entstehende Wärme wird mit einem geeigneten Kühlmittel abgeführt. Danach wird die Verbindung mit dem Kühlmittel unterbrochen und der Körper plötzlich adiabatisch dem Einflusse des starken Magnetfeldes entzogen. Bei geeigneter Wahl des paramagnetischen Körpers kann dann eine Abkühlung eintreten. Die Temperaturerniedrigung ist so zu erklären, daß durch das Aufheben der äußeren Richtkräfte des starken Magnetfeldes unter den Elementarmagneten im Innern des paramagnetischen Körpers eine höhere Unordnung entsteht, die, thermodynamisch gesprochen, einer Entropievermehrung entspricht. Diese Entropievermehrung muß bei einem adiabatischen Vorgang durch eine Entropieverminderung aus thermischer Ursache ausgeglichen werden. Bei Stoffen, deren Entropie und deren spezifische Wärme entsprechend einem Gesetz von DEBYE mit der dritten Potenz der absoluten Temperatur steigen, äußert sich diese Temperaturverminderung in einem Absinken der Temperatur. Bei gewöhnlichen Temperaturen ist die ganze Erscheinung viel zu klein,

als daß ihr irgendeine Bedeutung zukommt. Etwas günstiger liegen die Verhältnisse bei ferromagnetischen Stoffen, wie experimentell nachgewiesen wurde. Sobald aber zu tieferen Temperaturen übergegangen wird, eignen sich die paramagnetischen Körper in besonderem Maße dazu.

Schon 1922 hat MEISSNER¹ darauf hingewiesen, daß ein paramagnetischer Körper sich in einem Magnetfeld $\mathfrak{H}$ bei einer Feldstärkenänderung $d\mathfrak{H}$ um

$$dT = \frac{T \mathfrak{H} \left[\frac{\partial(v\chi)}{\partial T} \right]_{p, \mathfrak{H}} d\mathfrak{H}}{C_p \cdot \mathfrak{H}} \quad (3)$$

abkühlt.

($\mathfrak{H}$ magnetische Feldstärke in Gauß; $\chi = \frac{\mu - 1}{4\pi}$ magnetische Suszeptibilität je Kubikzentimeter; μ magnetische Permeabilität je Kubikzentimeter; v Volumen in Kubikzentimetern; C_p spezifische Wärme pro Mol in cal/Mol; T absolute Temperatur.)

Eine entsprechende Formel wurde später auch von GIAUQUE² abgeleitet.

Soll nach der Formel (3) der Ausdruck $\frac{dT}{T}$ möglichst groß werden, so kommt es darauf an, daß $\frac{\partial(v\chi)}{\partial T}$ möglichst groß und C_p möglichst klein wird. Bei Zimmertemperaturen ist die Änderung klein, weil einmal der Zähler in dem Ausdruck verhältnismäßig klein und der Nenner noch groß ist. Anders ist es jedoch bei tiefen Temperaturen; dort nimmt bei abnehmender Temperatur entsprechend dem DEBYEschen Gesetz C_p mit der dritten Potenz von T um viele Größenordnungen ab. Was die Größe $\frac{\partial(v\chi)}{\partial T}$ anbelangt, so hatte man früher gefunden, daß die Suszeptibilität χ im allgemeinen bei tiefen Temperaturen entsprechend einem Gesetz von CURIE-WEISS nach

$$\chi = \frac{C}{T + D} \quad (C \text{ und } D \text{ konstant}) \quad (4)$$

konstant wird. Solche Stoffe, die dann diesem Gesetze gehorchen, sind von bestimmten Temperaturen $T \ll D$ ab für derartige Untersuchungen ungeeignet. Bei Gadoliniumsulfat dagegen hatten WOLTJER und KAMERLINGH ONNES³ bis herab zu $1,3^{\circ}$ ein Anwachsen der Suszeptibilität gefunden. Diese Substanz folgt damit dem CURIE-LANGEVINschen Gesetz $\chi = \frac{\mu - 1}{4\pi} = \frac{\text{const}}{T}$. Dies war dann auch der Grund, warum DEBYE⁴ und auch GIAUQUE² etwas später das Gadoliniumsulfat als geeignete Substanz für die Erzeugung tiefer Temperaturen nach dem magnetokalorischen Verfahren bezeichneten. Für die Größe C_p dieser Substanz ergaben dann Messungen von anderen Autoren einen Abfall entsprechend dem DEBYEschen T^3 -Gesetz,

¹ W. MEISSNER: Z. VDI 65, 845, 876 (1922).

² W. F. GIAUQUE: J. Amer. chem. Soc. 49, 1864, 1870 (1927).

³ W. R. WOLTJER u. H. KAMERLINGH ONNES: Commun. phys. Lab. Univ. Leiden 167c (1923).

⁴ P. DEBYE: Ann. Physik 81, 1154 (1926).

¹ W. H. KEESOM: Commun. phys. Lab. Univ. Leiden 219a.

² W. GAEDE: Z. VDI 79, 795 (1935).

so daß also das Gadoliniumsulfat auf Grund der vorangehenden Überlegungen (obige Formel 3) zur Erzeugung tiefster Temperaturen als denkbar gut erschien. In der Tat sind, wie im nächsten Abschnitt ausführlich behandelt werden soll, Versuche zur Erzeugung tiefer Temperaturen mit dieser Substanz angestellt worden. Späterhin stellte sich jedoch heraus, nach Messungen von KÜRTI¹ sowie auch von GIAUQUE und DOUGALL², daß die spezifische Wärme des Gadoliniumsulfates bei noch tieferen Temperaturen wieder stark ansteigt, so daß es also bei diesen Temperaturen nicht mehr besonders geeignet ist.

Es fragt sich deshalb, welche anderen Stoffe für diese Untersuchungen in Betracht kommen. Theoretisch und auch experimentell zeigt sich, daß das CURIE-LANGEVINSche Gesetz $\chi = \frac{\text{const}}{T}$

am ehesten bei tiefen Temperaturen erhalten bleibt, wenn es sich um sog. verdünnte magnetische Lösungen handelt, bei denen die einzelnen magnetischen Atome verhältnismäßig weit voneinander entfernt sind. Damit ist ihre gegenseitige Beeinflussung sehr gering. Die paramagnetischen Salze stellen im allgemeinen solche verdünnten magnetischen Lösungen dar, bei denen die Metallionen verhältnismäßig großen Abstand voneinander haben. Solche paramagnetischen Ionen kommen an zwei Stellen des periodischen Systems vor, bei den Elementen Ti bis Cu und bei den Metallen der seltenen Erden.

Von den seltenen Erden scheidet das Gadoliniumsulfat wegen der starken Anomalie der spezifischen Wärme bei tiefen Temperaturen aus. Es erhebt sich die Frage, welche anderen paramagnetischen Salze dann geeigneter sind. Nach quantentheoretischen Betrachtungen von KRAMERS³ scheint zu erwarten zu sein, daß für diejenigen Ionen der seltenen Erden, die eine gerade Anzahl Elektronen besitzen, die Suszeptibilität in tieferen Temperaturen temperaturunabhängig wird, dagegen nicht bei Ionen mit ungeradzahligem Elektronenzahlen. Dies wurde durch Untersuchungen von DE HAAS und seinen Mitarbeitern an zwei Substanzen, einmal mit gerader Elektronenzahl ($\text{Pr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8 \text{ H}_2\text{O}$), ein anderes Mal mit ungerader Elektronenzahl ($\text{Nd}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8 \text{ H}_2\text{O}$) bestätigt. Es stellte sich dann später heraus, daß es aber auch Stoffe gibt, für die das KRAMERSche Gesetz anscheinend nicht gilt, so für das kristallwasserfreie $\text{Pr}_2(\text{SO}_4)_3$. Vielleicht ist es aber auch bei dieser Substanz so, daß das Konstantwerden der Suszeptibilität, wie es die KRAMERSche Theorie verlangt, erst bei noch tieferen Temperaturen eintritt, als gemessen wurden.

b) Durchführung des magnetokalorischen Verfahrens. Das magnetokalorische Verfahren wurde etwa gleichzeitig in Berkeley (USA.) von GIAUQUE und McDUGALL² und in Leiden von

DE HAAS und seinen Mitarbeitern¹ durchgeführt, wengleich auch in der Ausführung selbst wesentliche Unterschiede bestehen. GIAUQUE und DOUGALL benutzten als Substanz Gadoliniumsulfat $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8 \text{ H}_2\text{O}$, das einem möglichst gleichmäßigen (homogenen) Magnetfeld ausgesetzt wurde. Die Gleichförmigkeit des Magnetfeldes erzielten die genannten Autoren, indem sie eine eisenfreie Zylinderspule benutzten, die bei sehr hohen Feldstärken keine wesentlich größere Energie als ein Elektromagnet mit Eisenkern verlangt. Die Spule ist mit blankem Kupferdraht (des besseren Wärmeüberganges wegen) bewickelt und von außen durch eine Art Paraffinöl, das einen Hohlzylinder durchfließt, gekühlt. Die Spule lieferte bei 200 V und 500 A die Feldstärke 8000 Gauß. Das Salz wurde als Patrone in ein Glasrohr gepreßt und mittels eines Fadens in einem Messingrohr aufgehängt, so daß es entweder durch Drehen einer Stellschraube auf den Boden eines Gefäßes gelassen oder aber um einige Millimeter gehoben werden konnte. Dadurch tritt das Salz entweder in Wärmeaustausch mit flüssigem Helium, das sich in einem gläsernen Mantelgefäß befindet, oder es ist isoliert, wenn das Messingrohr luftleer gepumpt ist. Als Schutz gegen Wärmestrahlung — die Umgebung ist um rund 300° wärmer als die Substanz — befindet sich in einem weiteren äußeren Rohr flüssiger Wasserstoff und in einem anderen flüssiger Stickstoff. Zunächst wurde der Stickstoff eingefüllt, weiter der flüssige Wasserstoff und das Helium. Sodann wurde das Magnetfeld eingeschaltet, und das auf dem Boden auf sitzende Salz konnte seine Magnetisierungswärme an das He-Bad abgeben. Hat das Salz die Badtemperatur (z. B. 1,5° bei 4 mm Hg) angenommen, so wird es vom Boden abgehoben und das Magnetfeld abgeschaltet. Dann tritt eine starke Temperaturerniedrigung ein. Die Amerikaner erreichten mit dieser Versuchsanordnung die Temperatur 0,242° und stellten fest, daß die spezifische Wärme des Gadoliniumsulfates unterhalb 1° wieder ansteigt. Derartige Anomalien des Verlaufes der spezifischen Wärme sind ursächlich mit der Möglichkeit magnetokalorischer Kälteerzeugung verknüpft und verhindern in Übereinstimmung mit dem NERNSTSchen Wärmesatz die Annäherung an den absoluten Nullpunkt. Ein Salz eignet sich deshalb um so mehr für dieses Verfahren, je tiefer der Punkt liegt, an dem wieder das plötzliche Ansteigen der spezifischen Wärme beginnt.

Bei den Untersuchungen, die DE HAAS und seine Mitarbeiter¹ durchführten, befand sich die Substanz als feines Pulver in einem dünnwandigen Glasröhrchen, das seinerseits wieder an einem dünnen Glasröhrchen aufgehängt war. Das Glasröhrchen mit der Substanz ist von einem weiteren Glasrohr umgeben, das zunächst möglichst hoch evakuiert und sodann bei Zimmertemperatur mit

¹ N. KÜRTI: Z. physik. Chem. **20**, 305 (1933).

² W. F. GIAUQUE u. D. P. DOUGALL: Physic. Rev. **43**, 768 (1933); **44**, 235 (1933).

³ H. A. KRAMERS: Comm. un. physic. Lab. Univ. Leiden Suppl. 68 c. Leipziger Vorträge 1933, S. 43.

¹ W. DE HAAS, E. C. WIERSMA u. H. A. KRAMERS: Physica **1**, 1 (1933); J. Amer. chem. Soc. **57**, 1175 (1933); Physica **13**, 175 (1933); Nature, Lond. **132**, 372, 719 (1933); Naturwiss. **21**, 467, 732 (1933).

Helium von etwa $1,5 \cdot 10^{-4}$ mm Druck gefüllt wurde. Bei ihren letzten Versuchen wurde von den genannten Forschern dem Helium außerdem noch Wasserstoff hinzugefügt. Das Vakuumglas befand sich zwischen den Polen eines großen Magneten. Dieser lieferte am Orte der zu magnetisierenden Substanz ein Feld von nahezu 30000 Gauß, das 4 bis 5 Stunden aufrechterhalten werden mußte, bis die isolierte Kapsel die Temperatur des äußeren Bades angenommen hatte. Danach wurde zur Erzielung des Temperatureffektes das Magnetfeld rasch auf 2 Kilogauß erniedrigt. Für die Temperaturabhängigkeit der Suszeptibilität der von ihnen verwendeten Substanzen ergab sich nach einigen Messungen der Forscher Gültigkeit des CURIESchen Gesetzes. Die Erfüllung dieses Gesetzes entscheidet neben der Erfüllung des T³-Gesetzes der spezifischen Wärme ja erst die Brauchbarkeit einer Substanz für derartige Versuche zur Erzielung tiefer Temperaturen.

Für ihre ersten Versuche wählten DE HAAS und Mitarbeiter Ceriumfluorid und konnten, von der Temperatur 1,2° ausgehend, mit einer bis ins kleinste fein durchdachten Versuchsanordnung eine Abkühlung auf 0,27°, etwas später dann sogar auf 0,13° erzielen. Mit anderen Stoffen, die nach theoretischen Überlegungen zu brauchbaren Ergebnissen führen sollten, waren ihnen weitere Erfolge beschieden. Die Ergebnisse ihrer Untersuchungen seien in Tabellenform hier wiedergegeben:

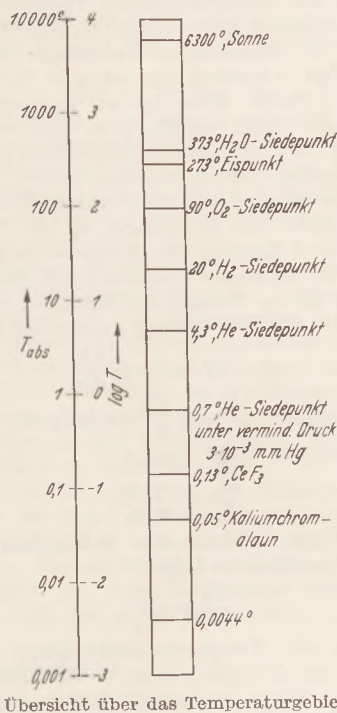
Substanz	Gewicht der Probe in mg	Feldstärke in Gauß	Tiefste Temperatur
CeF ₃	50	27600	0,27
	90	27600	0,19
	505	27600	0,13
Dysprosium-äthylsulfat	68,2	19500	0,15
		19500	0,12
Ce-Äthylsulfat	183	27600	0,105
		27600	0,085
Kaliumchromalaun	336,7	19500	0,05

Für die Versuche wurden, wie aus der Tabelle zu ersehen ist, nur verhältnismäßig geringe Stoffmengen verwendet. DE HAAS und seine Mitarbeiter hofften, daß es gerade mit Hilfe des Kaliumchromalauns möglich sein würde, zu noch tieferen Temperaturen bei weiterer Verbesserung des Verfahrens zu gelangen. Diese Substanz hat neben dem Vorzug ihrer Billigkeit ein großes magnetisches Moment, so daß nur verhältnismäßig geringe Feldstärken zur Sättigung notwendig sind. Außerdem kristallisiert das Kaliumchromalaun regulär, so daß es gleichgültig ist, wie die Kristallachse im Magnetfelde steht.

Bei weiteren Untersuchungen wurden dann von DE HAAS und seinen Mitarbeitern¹ auch paramagnetische Gase verwendet, und zwar bei ganz verschiedenen Ausgangsfeldstärken. Es zeigte

sich, daß für $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24 \text{ H}_2\text{O}$ die Temperaturerniedrigung durch die adiabatische Entmagnetisierung klein wird, für $\text{Ce}(\text{C}_2\text{H}_5\text{SO}_4)_3 \cdot 9 \text{ H}_2\text{O}$ praktisch gleich Null ist, dagegen bedeutend für $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24 \text{ H}_2\text{O} + 14,4 \text{ K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24 \text{ H}_2\text{O}$. Es gelang ihnen, mit diesem Gas in einem Magnetfeld, das von 24075 Gauß auf 1,05 Gauß geschwächt wurde (das Erdfeld war durch entsprechende Spulen kompensiert), die bisher tiefste Temperatur 0,0044 K zu erreichen.

Aus den vorstehenden Darlegungen ist zu ersehen, daß bei den oftmals mit großem Aufwand



durchgeführten systematischen Untersuchungen die erzielten Fortschritte der Temperaturerniedrigung manches Mal nur klein gewesen sind. Es bleibt aber dabei zu berücksichtigen, daß in diesem Gebiete der tiefen Temperaturen eine Temperaturerniedrigung bei 1° um 0,5° erheblich bedeutungsvoller ist als die gleiche bei Zimmertemperatur. Es empfiehlt sich, um dem wahren Sachverhalt gerecht zu werden, nicht die absolute Temperaturenderung, sondern die relative $\frac{dT}{T} = d(\log T)$ in der zuletzt von PLANCK¹ vorgeschlagenen logarithmischen T-Skala zu betrachten. In dieser ist der Unterschied zwischen der Sonnen- und der Erdtemperatur etwa ebenso groß wie die in den letzten Jahren durchgeführte Temperaturerniedrigung von 0,7° auf 0,005°. Eine solche Temperaturskala hat etwa das Aussehen, wie die obige Figur zeigt.

Von höchstem Interesse ist bei diesem ganzen Fragegebiet die Temperaturmessung selbst, über

¹ W. J. DE HAAS u. E. C. WIERSMA: Physica 2, 335 bis 340 (1935). Naturwiss. 23, 180 (1935).

¹ M. PLANCK: Forschg. Ing.-Wes. 4, 262 (1933).

die bisher noch gar nichts gesagt worden ist. Die normalerweise angewendeten Mittel versagen unter 1°. Es sind deshalb andere Verfahren anzuwenden. Die Amerikaner gingen bei ihren Untersuchungen so vor, daß um die paramagnetische Substanz eine Spule gelegt wurde, deren Enden mit einem ballistischen Galvanometer verbunden sind. Die Kurve der ballistischen Ausschläge beim Ausschalten eines bestimmten Feldes ist in Abhängigkeit von der Temperatur experimentell so weit ermittelt, als die Temperaturmessung mit Hilfe des Dampfdruckes des flüssigen Heliums möglich ist. Unterhalb dieser Temperatur wird die Temperatur dann durch Extrapolation der Kurve der ballistischen Ausschläge bestimmt, wobei aber vermutlich eine zu hohe Temperatur geschätzt wurde. Diese Art der Temperaturmessung wurde zuerst von WOLTJER und ONNES¹ angegeben. DE HAAS und seine Mitarbeiter bedienten sich derselben Extrapolationsmethode, aus der Änderung der Suszeptibilität auf die Temperatur zu schließen. Nur bestimmten sie die Suszeptibilität durch Messung der in einem inhomogenen Feld auf die Substanz wirkenden Kraft. Bezeichnet man mit M die Molzahl der Substanz, so ergibt sich die auf diese in Richtung x ausgeübte Kraft zu

$$K = M \cdot v \cdot \chi \cdot \mathfrak{H} \frac{d\mathfrak{H}}{dx}. \quad (5)$$

Bei konstantem $\mathfrak{H}$ und $\frac{d\mathfrak{H}}{dx}$ ist bei zwei verschiedenen Temperaturen 1 und 2

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{v_1 \cdot \chi_1}{v_2 \chi_2}. \quad (6)$$

Gehorcht die Substanz dem CURIESchen Gesetz $v \cdot \chi = T = \text{const.}$, so folgt

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{K_1}{K_2}. \quad (7)$$

Wenn die Temperaturabhängigkeit von χ etwas anders als vorliegend ist, so läßt sich in entsprechender Weise aus dem Verhältnis der Kräfte das Verhältnis der Temperaturen ermitteln. DE HAAS bestimmte die Kräfte durch Wägung, indem er die Kapsel mit der Substanz entsprechend aufhängte. Unmittelbar nach der starken Verminderung des Magnetfeldes ergab sich für die Kraft ein Maximalwert, der der tiefsten erreichten Temperatur entsprach. Wenn auch diese Extrapolationsmethoden ohne Frage starke Unsicherheiten enthalten, so werden sie doch weiter benutzt werden müssen, solange es keine besseren gibt, die an ihre Stelle treten können.

III. Das Kompressionsverfahren.

Das magnetokalorische Verfahren zur Erzeugung tiefer Temperaturen mit paramagnetischen Salzen hat insofern einen Nachteil, als der Temperatureausgleich in den betreffenden Stoffen durch Strahlung, Konvektion und zum Teil auch durch Wärmeleitung wegen der tiefen Temperaturen fortfällt. MEISSNER² suchte nach einer Möglichkeit,

flüssiges Helium weiter abzukühlen, um darin Meßvorrichtungen abkühlen zu können und größere Kälteleistungen als beim magnetischen Verfahren zu erhalten. Er fand eine grundsätzliche Möglichkeit in der Kompression von Helium, das sich bei einer Druckänderung dp nach dem 2. Hauptsatz um

$$dT = T \left(\frac{dv}{dT} \right)_p \frac{dp}{C_p} \quad (8)$$

abkühlt oder erwärmt. Da unterhalb 2,19° (Tripelpunkt des Heliums) der Ausdruck $\frac{dv}{dT}$ negativ ist, tritt damit eine Temperaturniedrigung ein. MEISSNER stellte sich mit seinen Überlegungen in starken Gegensatz zu F. SIMON¹, der vorgeschlagen hat, durch Ausdehnung von flüssigem komprimiertem Helium tiefste Temperaturen zu erzielen. Die praktische Durchführung dieser Überlegungen ist bisher leider noch an der Werkstofffrage gescheitert. Immerhin besteht begründete Aussicht, daß auch auf diesem Weg in Kürze versucht werden wird, zu tiefen Temperaturen zu gelangen und damit dem absoluten Nullpunkt weiter näher zu rücken.

Schorgan und Luftfahrt. Bericht von ERNST HEINSIUS in Berlin.

In der Zeitschrift „Der Deutsche Militärarzt“ [1, 207, H. 5 (1936)] behandelt K. VELHAGEN jun. das in der Überschrift bezeichnete Thema. Er gibt zunächst eine gedrängte Übersicht über die Leistungen des menschlichen Auges beim Fliegen. Die Leistungen der menschlichen Organe beim Fliegen zergliedern sich in aktive und passive Betätigungen. Zur aktiven Seite gehören die Tätigkeiten der Organe, die erforderlich sind, um das Luftfahrzeug zu führen, während auf der passiven Seite die Fähigkeiten zum Ertragen der mit der Fluggeschwindigkeit und dem Höhenwechsel zusammenhängenden Einflüsse stehen.

Da es nicht möglich sein soll, ein Flugzeug länger als einige Minuten blind zu steuern, ist das Sehorgan zweifellos für den Flugzeugführer das wichtigste Organ, das nicht nur zum Landen, zur Orientierung und zum Erkennen entgegenkommender Flugzeuge, sondern auch zur Kontrolle der Hilfsapparate, die im Flugzeug angebracht sind, erforderlich ist. Die Anforderungen an die optischen Funktionen des Auges werden im einzelnen besprochen. Es ist selbstverständlich, daß der Flieger in erster Linie ein gutes zentrales Sehvermögen (mit Brillenkorrektur 1,0 = 5/5) braucht. Da beim Fliegen aber nicht nur die richtige Abschätzung der Entfernung, sondern gerade auch die räumliche Vorstellung eine große Rolle spielt, muß der Anfänger im Fliegen ferner über ein gutes stereoskopisches Sehen verfügen, das an das Vorhandensein zweier brauchbarer Augen gebunden ist, wenn auch zugegeben werden muß, daß ein besonders geschickter und erfahrener Flieger später vielleicht ohne das stereoskopische

¹ W. R. WOLTJER u. K. ONNES: Comm. phys. Lab. Univ. Leiden 167c, (1923).

² W. MEISSNER: Z. Physik 81, 824, 832 (1933).

¹ F. SIMON: Erg. exakte Naturwiss. 9, 261 (1930).

Sehen auskommen kann. Das körperliche stereoskopische Sehen, das unter anderem von normaler Stellung und Tätigkeit der Augenmuskeln abhängig ist, und die richtige Entfernungsschätzung unter verschiedensten Beleuchtungsverhältnissen sind psychologische Vorgänge, die durch Übung erheblich geschult werden können. „Der Sinn für die Bodenform, der mit dem körperlichen Sehen zusammenhängt, aber in besonderem Maße auch noch die Bewertung von Licht und Schatten, Scheingröße, Farbe, Perspektive usw. in sich schließt, wird mit der Zeit der Flugpraxis immer größer.“

Farbentüchtigkeit ist zum Flugzeugführen an sich nicht erforderlich, jedoch sind die Flugmaschinen (ähnlich wie die Wasserfahrzeuge) durch grünes Licht rechts, rotes Licht links und weißes Licht am Heck gekennzeichnet; auf den Flugplätzen wird bei Dunkelheit die Landebahn durch bestimmt angeordnete grüne und rote Lichter angezeigt; die meisten Signale bestehen aus farbigen Lichtern. Da die Erkennung aller dieser Lichter für eine reibungslose Abwicklung des Flugverkehrs unumgänglich ist, können Farbenuntüchtige, bei denen stets die Gefahr der Farbverwechslung besteht, zum Flugdienst nicht zugelassen werden.

Das Gesichtsfeld darf keine Einschränkungen haben. Die Anpassung des Auges an die Beleuchtungsverhältnisse (Hell- und Dunkeladaptation) muß normal sein, da beim Landen in der Dämmerung Dunst- und Bodennebel vorkommen kann, der das Flugfeld verdunkelt, während darüber durch die helle Wolkendecke grelles Licht herrscht; aber auch die Verwendung von Scheinwerfern und Leuchtsignalen kann einen jähen Wechsel von Hell und Dunkel verursachen, so daß Nachtblinde in unangenehme Situationen geraten können.

Außerordentliche Anforderungen werden beim Hochleistungs- und Kunstflug an den Blutkreislauf des ganzen Körpers und auch des Auges gestellt. Die durch plötzliche erhebliche Beschleunigung oder veränderte Körperlage (Rückenflug) bedingten Unregelmäßigkeiten im Blutkreislauf können Farbenercheinungen (Rotsehen) oder gar vorübergehend völliges Aussetzen der Sehfunktionen hervorrufen. Beim Höhenflug in sauerstoffarmer Atmosphäre tritt eine Herabsetzung des Lichtsinns und bei vielen Menschen auch eine Beeinträchtigung des Farbensehens auf; die Lichtsinnstörung äußert sich in einem gleichsam grauen Schleier, der alle Dinge zu überziehen scheint.

Beim Flug über die Wolken und in Richtung auf die Sonne ist der Flieger zeitweise starker Blendung ausgesetzt, so daß ringförmige Gesichtsfeldausfälle (Ringskotome) beim Flug ohne Sonnenbrille auftreten können. Beim Höhenflug und bei Überanstrengung können sich allgemeine Ermüdungserscheinungen einstellen, die allgemein den Muskeltonus herabsetzen, so daß vorher nicht bemerkte Stellungsanomalien der Augenmuskeln (Heterophorien) manifest werden und sich durch Doppelbilder störend bemerkbar machen. Schließlich können im offenen Flugzeuge Luftzug und Kälte erhebliche, die Funktionen beeinträchtigende Reizerscheinungen an den Augen hervorrufen, so daß im allgemeinen geschlossene Schutzbrillen zu empfehlen sind.

Die Anforderungen an das Sehorgan eines Fliegers, die in der Luftverkehrsordnung niedergelegt sind, sind je nach der Flugzeugklasse verschieden. Die amtlichen Vorschriften und die Möglichkeit zu ihrer Abänderung werden im zweiten Teile der Arbeit besprochen.

3. Geschichte und Erkenntnislehre.

Karl Scheel †. Von E. LAMLA in Berlin-Charlottenburg.

Am 8. November 1936 ist der Geheime Regierungsrat Prof. Dr. KARL SCHEEL im Alter von 70 Jahren nach kurzem Leiden sanft entschlafen. Mit ihm ist ein Mann dahingegangen, dessen Name mit der modernen Organisation der physikalischen Berichterstattung und der physikalischen Literatur eng verknüpft ist.

KARL SCHEEL wurde am 10. März 1866 in Rostock geboren. Nach Absolvierung des Gymnasiums seiner Vaterstadt studierte er in Rostock und in Berlin: HELMHOLTZ, KUNDT, MATTHIESSEN, KÖNIG gehörten zu seinen Lehrern. 1890 promovierte er in Rostock mit der Arbeit: „Die Ausdehnung des Wassers mit der Temperatur“. Die Dissertation zeichnete sich, wie auch alle späteren Arbeiten, durch Sorgfalt und gewissenhafte Genauigkeit aus und „dürfte den älteren Bestimmungen gegenüber einen wesentlichen Fortschritt bedeuten“, wie es in einer Besprechung in den „Fortschritten der Physik“ von 1890 heißt. Sie führt zugleich in das Gebiet, dem SCHEEL im wesentlichen treu geblieben ist: die Untersuchung der thermischen Ausdehnung.

Noch im selben Jahre 1890 trat SCHEEL in die Normal-Eichungskommission, ein Jahr später in die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Charlottenburg ein. Der Reichsanstalt hat er dann auch weiterhin angehört, erst als Hilfsarbeiter, dann (seit 1904) als Mitglied in der Abteilung „Wärme und Druck“, bis er infolge Erreichens der Altersgrenze 1931 aus dem Dienst scheiden mußte.

SCHEEL hat eine sehr reiche literarische Tätigkeit entfaltet; jedes Jahr erschien eine Reihe Arbeiten von ihm. Ihre Themen hingen in den ersten Jahren eng mit der Aufgabe zusammen, die HELMHOLTZ der Wärmeabteilung der Reichsanstalt gestellt hatte: Wiederholung der Messungen von REGNAULT und Herstellung einer Temperaturskala. SCHEELs Arbeiten behandeln die thermische Ausdehnung fester und tropfbar flüssiger Körper, vor allem des Wassers, des Quecksilbers, verschiedener Gläser, des Quarzes, des Platins und anderer Metalle. Andere Mitglieder der Reichsanstalt bearbeiteten verwandte Themen. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse geben die 1919 von HOLBORN, SCHEEL und HENNING herausgegebenen „Wärmemetabellen“. Ihren wesentlichen

Niederschlag und zugleich ihren krönenden Abschluß haben die hierher gehörigen Arbeiten der Reichsanstalt, an denen SCHEEL wesentlichen Anteil hatte, bekanntlich in dem Reichsgesetz über die Temperaturskala und die Wärmeeinheit vom 7. August 1924 gefunden.

Abgesehen von gelegentlichen kleineren Arbeiten (z. B. über die Änderung der Schwere mit der Höhe auf dem Grundstück der Reichsanstalt oder über die Längenänderung von Mauerwerk mit der Zeit) bewegten sich die weiteren wissenschaftlichen Arbeiten SCHEELS hauptsächlich auf drei Gebieten: er untersuchte Dichte und Spannkraft des Wasserdampfes, dann (zum Teil in Zusammenarbeit mit W. HEUSE) die Methoden zur Messung sehr kleiner Drucke und schließlich (wiederum teilweise zusammen mit W. HEUSE) die spezifischen Wärmen von Helium und einigen zweiatomigen Gasen zwischen $+20^{\circ}$ und -180° . Die zuletzt genannte Arbeit hat besondere Bedeutung gewonnen. Ihre Ergebnisse in Bezug auf den Wasserstoff boten — in Übereinstimmung und zusammen mit den Messungen anderer Autoren — den Theoretikern eine harte Nuß; denn sie wollten sich der Theorie nicht einfügen, bis schließlich die Aufklärung gelang: der gewöhnliche Wasserstoff ist ein Gemisch aus $\frac{3}{4}$ Orthowasserstoff und $\frac{1}{4}$ Parawasserstoff. Für die beiden Modifikationen der Wasserstoffmolekel zeigen die Rotationswärmen einen völlig verschiedenen Temperaturverlauf; für die Mischung im angegebenen Verhältnis stimmen dann Rechnung und Beobachtung überein.

Man würde indes die Bedeutung SCHEELS für die Physik überhaupt und insbesondere für die deutsche physikalische Forschung völlig falsch einschätzen, wenn man sie allein oder auch nur in erster Linie nach seinen wissenschaftlichen Arbeiten beurteilen wollte. Seine Hauptbedeutung und seine eigentliche und große Aufgabe lag auf organisatorischem Gebiet, und man kann wohl sagen, daß nicht nur der hohe Stand, den die physikalische Berichterstattung heute in Deutschland hat, sondern auch noch manches andere zum guten Teil SCHEELS Verdienst ist.

1900 übernahm SCHEEL die Redaktion der „Fortschritte der Physik“, nachdem er sie zuvor ein Jahr lang gemeinsam mit dem bis dahin als Herausgeber tätigen RICHARD BÖRNSTEIN bearbeitet hatte. Zugleich wurde er Herausgeber der „Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft“. Mit Ablauf des Jahres 1919 stellten die „Fortschritte“ ihr Erscheinen ein; zur selben Zeit verschwanden auch das „Halbmonatliche Literaturverzeichnis“ und die „Beiblätter zu den Annalen der Physik“. An ihre Stelle traten mit dem 1. Januar 1920 die „Physikalischen Berichte“ unter der Redaktion von KARL SCHEEL. Als ihre Aufgabe wurde im ersten Heft angegeben, „in halbmonatlich auszugebenden Heften über die gesamte physikalische und physikalisch-technische Literatur vollständig und schnell zu berichten und dabei nach Möglichkeit die gesamte physikalische Weltliteratur zu erfassen“. Welche Bedeutung diese „Berichte“ schnell erreicht und

behalten haben, das weiß jeder, der auf physikalischem Gebiet arbeitet; sie sind einfach nicht mehr wegzudenken.

Zu Anfang des Jahres 1920 erschien auch der 1. Band der neu gegründeten, ebenfalls von KARL SCHEEL redigierten „Zeitschrift für Physik“, die heute jedem Physiker im Inland und im Ausland aufs beste bekannt ist. Im Todesmonat des Herausgebers war bereits der 103. Band im Erscheinen.

Neben seiner redaktionellen Tätigkeit, neben den wissenschaftlichen Untersuchungen und neben den ihm durch sein Amt gestellten praktischen Aufgaben (Aufsicht über die Thermometereichung u. a.) hat SCHEEL eine große Reihe zusammenfassender Arbeiten, Berichte und Vorträge veröffentlicht. Auch seine „Grundlagen der praktischen Metronomie“ (1911) sind hier zu nennen. Auf die „Wärmetabellen“ wurde schon oben hingewiesen. Und damit kommen wir zu dem dritten Gebiet, auf dem sich SCHEEL hervorragend betätigt hat, nämlich als Herausgeber von Sammelwerken. 1903 erschienen, von ihm bearbeitet, die „Vorlesungen über Experimentalphysik“ seines Lehrers AUGUST KUNDT. Seit 1923 hat er, zusammen mit anderen Physikern, das uns allen gut bekannte „Lehrbuch der Praktischen Physik“ von FRIEDRICH KOHLRAUSCH bearbeitet. An der Herstellung der „Physikalisch-Chemischen Tabellen“ von LANDOLT und BÖRNSTEIN hat er sich schon seit der 2. Auflage (1894) beteiligt. Die letzte (5.) Auflage (1923—1935), die zusammen mit den Ergänzungsteilen 8 stattliche Bände umfaßt, ist von SCHEEL zusammen mit W. ROTH herausgegeben worden. Ferner hat SCHEEL zusammen mit A. BERLINER das „Physikalische Handwörterbuch“ (1924; 2. Auflage 1932), zusammen mit W. EITEL und M. PIRANI die „Glas-technischen Tabellen, Physikalische und chemische Konstante der Gläser“ (1932) und vor allem zusammen mit H. GEIGER das „Handbuch der Physik“ (1926—1929) herausgegeben, dessen 24 Bände jedem Physiker wohl bekannt sind. (Die letzten 3 Bände sind 1933 in 2. Auflage in je 2 Teilbänden erschienen.) Aus SCHEELS eigener Feder stammen die Abschnitte über die spezifische Wärme (experimenteller Teil), über die physikalische Literatur und über Raummessung und spezifisches Gewicht.

SCHEEL hat auch an den Arbeiten und Veröffentlichungen des AEF (Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen) regen Anteil genommen. Starkes Interesse zeigte er stets auch für alle Fragen, die mit dem Physikunterricht an der höheren Schule zusammenhängen.

Was jeden, der SCHEEL persönlich kannte, immer wieder mit Bewunderung erfüllte, war die ungeheure Arbeitskraft dieses Mannes und weiter die Pünktlichkeit und Genauigkeit seiner Arbeit. Dabei war er der Heiterkeit und der Freude durchaus nicht abgeneigt. Im Gegenteil: wenn nach einer physikalischen Sitzung oder einem Vortrag ein kleinerer Kreis noch beim Glase beisammen saß, so war SCHEEL dabei. Dann war er ein liebenswürdiger Gesellschafter und ein

amüsanten Erzähler. Und beim Erzählen konnte ein Temperament hervorbrechen, das man zunächst gar nicht erwartet hatte, und es konnte hinter den Brillengläsern gar mächtig blitzen und funkeln.

Es hat SCHEEL nicht an äußeren Ehren gefehlt: er besaß die Silberne Leibniz-Medaille; er war von der Technischen Hochschule in Stuttgart zum Dr. Ing. E. h. promoviert worden; er war Ehrenmitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, deren Geschäftsführer er lange Zeit gewesen war, und der Deutschen Gesellschaft für Technische Physik. Das schönste Denkmal aber hat er sich selbst gesetzt durch die Gründung der „Physikalischen Berichte“ und der „Zeitschrift für Physik“ und durch die Herausgabe der oben genannten Sammelwerke. Dieses Denkmal wird fortbestehen und nicht nur ihm selbst zur Ehre gereichen, sondern allen Physikern Nutzen und Vorteil bringen und zur Weltgeltung der deutschen physikalischen Forschung und der deutschen Organisationskraft beitragen helfen.

Die Alchemie des Ko Hung. Von R. WINDERLICH in Oldenburg i. O.

TENNEY L. DAVIS (Cambridge, Massachusetts) bemüht sich seit einigen Jahren, die Annahme zu begründen, die Rev. JOSEPH EDKINS im Jahre 1855 vorgetragen hatte, daß die Alchemie in China entstanden und durch die Araber über Persien nach Europa gekommen sei. Nach DAVIS enthalten die mittelalterlichen Schriften alchemistischen Inhalts Bestandteile, die nicht aus der alexandrischen Überlieferung stammen, vielmehr auf China als Herkunftsland weisen. Als Beleg hat DAVIS eine Arbeit in Aussicht gestellt, die zeigen soll, daß im Speculum Alchimiae des ROGER BACON ein alchemistischer Vorgang beschrieben ist, der völlig mit dem übereinstimmt, was PO-YANG im zweiten Jahrhundert unserer Zeitrechnung in China geschrieben hat. Von dem chinesischen Wort Nu-Cha für Salmiak vermutet DAVIS, daß es möglicherweise die Wurzel der persischen Nušādir sei; das ist ein Zusammenhang, der bei einem so viel gebrauchten und von den Alchemisten gepriesenen Stoff keineswegs belanglos ist. Den arabischen Ausdruck jinn bringt DAVIS mit dem chinesischen Hsien zusammen, das einen unsterblichen, mit übernatürlichen Kräften begabten Geist bedeutet.

Über die vielen möglichen Fragen der Zusammenhänge zwischen chinesischer Alchemie und persischer, arabischer, griechischer, lateinischer kann erst dann eine fruchtbare Aussprache stattfinden, wenn eine hinreichende Zahl echter chinesischer Schriften übersetzt und gründlich untersucht ist. Vor wenigen Jahren hat DAVIS dankenswerterweise eine Abhandlung des Vaters der chinesischen Alchemie, des WEI PO-YANG, aus dem Jahre 142 n. Chr. durch LU-CH'ANG WU übersetzen lassen¹. Er hat dazu selbst eine ausführliche Einleitung und weitgehende Erläuterungen

geschrieben. Jetzt hat er aus dem Hauptwerk des vielgerühmten KO HUNG die beiden für die Alchemie wichtigsten Kapitel durch Dr. WU übersetzen lassen¹. 50 Bücher oder Kapitel des großen Werkes, das zwischen 317 und 321 n. Chr. erschien, handeln von Politik und Verwaltung, 20 beschäftigen sich mit den Unsterblichen und mit Alchemie, Zauberei, Geisterbeschwören u. dgl. Das Kapitel über die Goldmedizin handelt vorwiegend von der Bereitung und den Eigenschaften der Unsterblichkeitspillen, das Kapitel über das Gelbe und das Weiße von der Metallverwandlung; Gelb bedeutet hier Gold, Weiß bedeutet Silber. Die Übersetzungen des Dr. WU sind die ersten in einer europäischen Sprache. Zur besseren Übersicht hat WU die Kapitel in Paragraphen eingeteilt und mit fortlaufenden Nummern versehen; außerdem hat er dem Leser das Studium durch einen Anhang erleichtert, in dem eine kurze Übersicht über den Inhalt der einzelnen Paragraphen gegeben ist. DAVIS hat eine ausführliche, mit Bildern geschmückte Einleitung beigezeichnet.

KO HUNG wurde um 281 in Chiang-ning-fu in der Provinz Kiangsu geboren. Er stammte aus einer armen Familie und arbeitete sich mit Zähigkeit, Eifer und Gründlichkeit zu einem vielseitigen Gelehrten empor. Er wurde ein Anhänger und eifriger Verteidiger der taoistischen Lehren. Im Jahre 326 schickte ihn der Kaiser YÜAN-TI auf seine Bitte nach Kou-lou, weil er dort leicht Zinnober aus Cochinchina erhalten konnte, den er notwendig für seine Arbeiten brauchte. KO HUNG unterbrach jedoch seine Reise in der Nähe von Kanton und zog sich in das Lo-Fu-Gebirge zurück, wo er in Beschaulichkeit und Ruhe arbeitete und schrieb. Dort starb er 361 eines sanften Todes.

Die Lehre vom Tao steht vielleicht in einem ursächlichen Zusammenhange mit der Alchemie, obgleich es möglich ist, daß beide unabhängig voneinander entstanden. Der Tao oder Weg sollte durch beschauliche Ruhe in strenger Selbstzucht erreicht werden. Alle, die ihn erstrebten, aber daran verzweifelten, ihn wirklich zu erreichen, weil sie nicht die erforderliche vollkommene Selbstbeherrschung

into English by LU-CH'ANG WU with an Introduction and Notes by TENNEY L. DAVIS. „Isis“ 18 (1932), 210—289.

¹ An ancient Chinese alchemical classic. KO HUNG on the Gold Medicine and on the Yellow and the White. The fourth and sixteenth chapters of PAO-P'U-TZU. Translated from the Chinese by LU-CH'ANG WU with an Introduction, etc. by TENNEY L. DAVIS. „Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences.“ Vol. 70, Nr 6, December 1935, p. 221—284. — Hierzu die Aufsätze im J. chem. Educat. 11, 517—520 (1934); 13, 103—105 (1936), 215—218.

Dr. LU-CH'ANG WU ist am 30. 1. 36 in Kanton an Typhus gestorben. Er las an der Sun Yatsen Universität in Kanton allgemeine Chemie, Geschichte der Chemie, biologische Chemie und Nahrungsmitteluntersuchung. Er war am 20. 11. 04 in Kaiping (Kwangtung) als Sohn des Präsidenten der Kao-Min Universität TING-SAN WU geboren.

¹ An ancient Chinese treatise on alchemy entitled Ts'an T'ung Ch'i, written by WEI PO-YANG about 142 A.D., now translated from the Chinese

aufbrachten, versuchten durch äußere, durch physikalisch-chemische Mittel zum Ziel zu gelangen: durch tiefes Atmen, durch Enthaltensamkeit und durch den Gebrauch der Unsterblichkeitsmedizinen. Wer den Tao erreicht hatte, wurde zum Hsien, zu einem übernatürlichen Wesen, begabt mit ewiger Jugend, mit unermeßlichen Wunderkräften, fähig durch Feuer und Wasser ohne Schaden unverletzt hindurchzugehen, weite Strecken in einem Augenblick zu durchheilen, die eigene Gestalt willkürlich zu verwandeln u. dgl. mehr. „Die wunderbaren Kräfte des Hsien gleichen so sehr denen der jinn in den arabischen Nächten, daß man sich verwundert fragt, ob nicht das arabische Wort jinn von dem chinesischen Hsien abgeleitet werden kann.“ (DAVIS, S. 224.)

Der Tao scheint der Hauptgedanke gewesen zu sein, um den sich die chinesische Alchemie drehte. Ihre Jünger wünschten eine Unsterblichkeitspille zu bereiten, die wiederholt mit der Goldmedizin oder mit dem künstlich erzeugten Edelmetall gleichgesetzt wurde, wie die vorliegende Übersetzung an mehreren Stellen erkennen läßt. Ko HUNG nennt 9 verschiedene große Medizinen, die alle Unsterblichkeit verleihen sollen. Bei 4 von ihnen wird ausdrücklich angegeben, daß sie Quecksilber oder Kupfer oder Blei in Gold verwandeln. „Die erste Medizin heißt Tan Hua (Heilblumen) Die Arznei, die durch 36 Tage dauerndes Erhitzen gewonnen wird, verleiht dem, der sie genießt, in 7 Tagen Unsterblichkeit. Wenn die Arznei mit schwarzem Fett gemischt und in einer heißen Flamme erhitzt wird, dann verwandelt sie sich rasch in gelbes Gold. Das gleiche Ergebnis kann man auch erhalten, wenn man 240 liangs (Unzen) mit 100 catties¹ Quecksilber erhitzt. Wenn es nicht gleich gelingt, wenn das gelbe Gold nicht gleich erscheint, muß das Erhitzen wiederholt werden, alsdann wird man sicherlich Erfolg haben“ (240). „Die siebente Medizin wird Jou Tan (mildes Heilmittel) genannt. Wer eine Messerspitze voll davon ißt, wird in hundert Tagen unsterblich. Der Genuß zusammen mit Ch'ueh P'en Chih (mit einer unvollkommenen Kesselbrühe) ist so stark wirkend, daß ein alter Mann von neunzig Jahren seine Zeugungskraft wiederbekommt. Wenn sie mit Chin Kung (Blei?) erhitzt wird, liefert sie gelbes Gold“ (241). Außer den 9 großen Medizinen nennt Ko HUNG noch 34 andere, „deren Wirksamkeit nicht geringer ist“ (249). Besonders bemerkenswert ist eine unter ihnen, von der gesagt wird: „Schwerer, die mit dieser Arznei bestrichen sind, haben die Macht, Feinde in einem Abstand von zehntausend Meilen niederzustrecken. Durch Essen und Trinken aus Gefäßen, die aus diesem Heilmittel gefertigt sind, wird man die Unsterblichkeit erreichen“ (250). Nach diesen Worten scheint die Medizin ein fester Stoff zu sein, vielleicht das künstliche Gold selbst.

Warum werden Arbeiten, die zu solchen Wundermitteln führen, nicht überall von Hoch und Niedrig mit Feuereifer betrieben? „Die

Kenner der Verfahren sind gewöhnlich zu arm, um die Mittel für die Herstellung zu beschaffen. Die Reichen wiederum wissen nichts von den Verfahren. Sie wollen nicht an die Kunst glauben, wenn sie zufällig Kunde von ihr bekommen“ (262). Reiche scheuen den hohen Einsatz für einen unsicheren Gewinn. Die mannigfachen Rohstoffe müssen in riesigem Ausmaß für sehr teures Geld beschafft werden. „Wie beim Gären kleiner Mengen Reis kein Wein gebildet wird, genau so sind geringe Rohstoffmengen nicht imstande, die Medizin zu liefern“ (251). Ko HUNG selber hat sich die nötigen Rohstoffe nicht beschaffen können (257) und deshalb auch kein Gold oder Silber selbst gemacht. Er kann nur Überliefertes berichten und bringt gutgläubig eine lange Liste der Vorgänger, die göttliche Bücher von Hand zu Hand weiterreichten (235). Obgleich selbst nicht erfolgreich, ist Ko HUNG fest überzeugt, daß die Metalle sich umwandeln und künstlich umgewandelt werden können: wenn draußen in der Natur sich tausend Dinge wandeln, warum sollte es unmöglich sein, Metalle umzuwandeln?

Welcher Art die Rohstoffe sind, das erfährt man leider nicht, denn alle Namen dafür (z. B. S. 244) sind unübersetzbar, ihre Bedeutung ist vorläufig nicht zu ermitteln. Nur Tan Sha ist offensichtlich Zinnober. Pflanzenstoffe werden als ungeeignet bezeichnet, weil sie beim Erhitzen zu Asche verbrennen. Auch die Verfahren sind sehr schwierig und zeitraubend. Je häufiger und sorgfältiger die Vorgänge wiederholt werden, um so besser wird das Erzeugnis. Die Feuer müssen Tag und Nacht in gleichbleibender Stärke gehalten werden. Vorgeschiedene Zeiten sind peinlich genau innezuhalten. Opfer und heilige Gebräuche dürfen nicht vergessen werden. Außerdem muß man sich von jedem Übel fernhalten und störende Einflüsse abwehren.

Zu alledem kommt die gleiche Geheimnistuerei, wie sie anderwärts üblich war: „Lao-tzu übergab das Geheimnis an Yüan Chün Er beschwor ihn, das Geheimnis wohl zu hüten in einer steinernen Kammer eines besonderen Gebäudes am Ufer eines ostwärts fließenden Stromes am Abhang eines berühmten Berges“ (249, 250). Das Geheimnis darf nicht in Büchern gedruckt werden, und die Arbeiten sind in entlegenen heiligen Bergen in Einsamkeit auszuführen.

In dem Kapitel vom Gelben und Weißen wird gesagt, daß die Jünger des Tao „Gold machen, nicht um reich zu werden, sondern um durch seinen Genuß Hsien zu werden“ (260). Zwar sind die natürlich vorkommenden Edelmetalle für diesen Zweck ebenfalls geeignet, aber die Tao-shih sind alle arm; deshalb bleibt ihnen nichts anderes übrig, als zu versuchen, die Metalle herzustellen. „Das Gold, das durch erfolgreiche Zusammensetzung gewonnen wird, ist innen und außen von gleich guter Beschaffenheit. Es muß hundert Proben aushalten, ohne sich irgendwie zu verändern“ (261). Täuschende Nachahmungen werden ausdrücklich zurückgewiesen, z. B. ein Kupferüberzug auf Eisen oder Eiweiß auf Silber, was eine dünne Schicht Schwefelsilber von goldähnlicher Farbe hervorrufen soll.

¹ catty ist ein altes chinesisches und ostindisches Gewicht, das ungefähr 750 g entspricht.

T. L. DAVIS betont „die grundsätzliche Verschiedenheit der Ziele chinesischer Alchemisten, die wirkliches, echtes Gold und Silber künstlich machen wollten, von den Zielen der alexandrinischen und byzantinischen Chemiker, die unedle Metalle zu färben trachteten“ (222). Als wesentlich hebt er ferner die Tatsache hervor, daß der Wunsch, unsterblich zu werden, der für die Chinesen im Vordergrund steht, sonst in den alchemistischen Lehren keine Rolle spielt. Nach DAVIS fand der Begriff des Hsien bei den abendländischen Alchemisten wahrscheinlich keinen Widerhall, weil „die Lehre Mohameds und das Christentum ohnehin eine Unsterblichkeit versprachen. Sie suchten nach einem Elixier für ein langes Leben, aber nicht nach einer Unsterblichkeitsmedizin, nach Mitteln, um die besten natürlichen Kräfte, aber nicht übernatürliche zu erlangen“ (222).

Solche wesentlichen Unterschiede sprechen im Gegensatz zu DAVIS' Annahme viel mehr für eine völlige Unabhängigkeit der arabischen und abendländischen Alchemie von der chinesischen. Unsterblichkeit ersehnte auch der Held des alten Gilgamesch-Epos auf der abenteuerlichen Fahrt zu seinem Urahn Utnapischtim. Der Wunsch nach ewigem Leben war also dem Zweistromlande nicht fremd. Wenn er trotzdem nicht von dort in die alchemistischen Lehren der Perser und Araber übergegangen ist, so kann man nur schließen, daß die Quellen dieser Alchemie ihn nicht enthielten. Nach Gold andererseits haben auch solche Völker verlangt, bei denen niemals etwas wie Alchemie entwickelt worden ist. Will man Zusammenhänge und Abhängigkeiten aufzeigen, dann genügen hierfür nicht Wünsche und Gedanken, die fast allgegenwärtig sind. Es genügt auch nicht ein mehr oder minder deutlicher Gleichklang einzelner Worte, der rein zufällig sein kann. Ob Nu-Cha tatsächlich mit Nušadir zusammengehört, das müssen Philologen nachprüfen. Beide Worte könnten ja aus einer gemeinsamen Quelle geschöpft sein.

Wir bedürfen noch vieler Übersetzungen und Untersuchungen, wie DAVIS und WU sie boten.

5. Technik und mechanische Praxis.

Vogelflug und Technik des Fliegens. I. Von KONRAD LORENZ in Altenberg.

Einleitung. Meine Beobachtungen über das Fliegen der Vögel begannen, als ich meinen ersten freifliegenden Vogel, eine Dohle, aus dem Käfig ließ. Sie sind ein Nebenprodukt von Tierhaltungen, die eigentlich zu ganz anderen Zwecken, vornehmlich zum Studium der Instinkthandlungen, angestellt wurden. Für diese Untersuchungen, bei denen die Haltung der Tiere in einem möglichst natürlichen Lebensraum von der größten Bedeutung war, erwies sich die Freiflieggewöhnung zahmer Vögel, ihre Beobachtung in völlig natürlicher Umgebung, als ein äußerst zweckdienliches Verfahren. Dabei konnte ich nicht umhin, gewisse Tatsachen über den Flug, über die Fliegetechnik der Vögel festzustellen, und der Freude am Beobachten entsprang schließlich eine längere Arbeit über den Vogelflug, die

Max Wien 70 Jahre alt.

Am 25. Dezember 1936 feierte der Jenaer Physiker MAX WIEN seinen 70. Geburtstag. Der Jubilar ist gebürtiger Königsberger. Nach längerer Tätigkeit in Würzburg, Aachen und Danzig kam er 1910 als Ordinarius an die Universität Jena, der er bis zu seiner Emeritierung 1935 angehört hat. MAX WIENS Name ist mit der Entwicklung der drahtlosen Telegraphie aufs engste verknüpft. 1897 erschien in „Wiedemanns Annalen“ seine wichtige Arbeit: „Über die Rückwirkung eines resonierenden Systems“, die auch heute noch für das Studium der Koppelschwingungen grundlegend ist. Von 1902 ab wandte WIEN seine Theorie, die zunächst für mechanische und akustische Probleme aufgestellt worden war, auf elektromagnetische Schwingungen an, und zwar mit großem Erfolg. Er gab für die Praxis der drahtlosen Telegraphie viele und wichtige Verbesserungen an, entwickelte verschiedene Meßmethoden und erfand insbesondere die erste, praktisch wirklich brauchbare Methode der Stoß-erregung durch Löschfunkenstrecken. Im Zusammenhange mit den Schwingungsforschungen untersuchte er auch die physiologische Hörempfindlichkeit des menschlichen Ohres als Funktion der Tonfrequenz. 1922 begannen die Arbeiten MAX WIENS und seiner Schüler über die Leitfähigkeit und die Dielektrizitätskonstante von Elektrolyten bei Hochfrequenz und unter dem Einfluß sehr starker elektrischer Felder (Feldstärken bis zu 250000 V/cm) und über verwandte Aufgaben, Arbeiten, die zu sehr wichtigen Ergebnissen geführt haben und bis in die neueste Zeit hinein fortgesetzt worden sind.

Schon diese kurzen Angaben zeigen, daß MAX WIEN auf ein an wissenschaftlichen Erfolgen sehr reiches Leben zurückblicken kann. Auch unsere Zeitschrift beglückwünscht den Jubilar zu seinem 70. Geburtstag auf das herzlichste und hofft, daß ihm seine Rüstigkeit und seine Schaffenskraft noch recht lange erhalten bleiben werden.

E. Lamla.

ich im Jahre 1933 im Journal für Ornithologie veröffentlicht habe. Ich will nun versuchen, an dieser Stelle in möglichst gedrängter Form das Wesentliche und vor allem das vielleicht für den Flieger und den Flugschüler Wichtigste aus der früheren Arbeit in einer Reihe von Berichten wiederzugeben.

Die Haltung zahmer freifliegender Vögel zum Studium ihrer Flugbewegungen ist ganz und gar nichts Neues; schon OTTO LILIENTHAL hat zu diesem Zwecke junge Hausstörche aufgezogen und freifliegend gehalten. Aus ganz bestimmten Gründen kann man am zahmen freifliegenden Vogel Dinge feststellen, die einem am wildlebenden entgehen, zumindest an ihm nie auffallen würden. An erster Stelle möchte ich hier den Umstand nennen, der mich zuerst, und zwar sogleich beim Freilassen meiner ersten freifliegenden Dohle, auf die Problematik des Vogelfluges aufmerksam

gemacht hat. Beim zahmen freifliegenden Vogel sehen wir ungemein häufig Unvollkommenheiten der Flugbewegungen, die dem Beobachter merkwürdigerweise die Analyse mechanischer Zusammenhänge erleichtern. Wie man an einem Neuling in der Radfahrkunst die Bewegungen des Gleichgewichthaltens um so besser sieht, je verzweifelter er um das Gleichgewicht zu kämpfen hat, während man bei dem Meister des Fahr- oder Motorrades schlechterdings nichts davon zu sehen bekommt, weil ihre Ausschläge zu klein sind, so kann man auch an den Flugbewegungen des schlecht fliegenden, eben erst in Freiheit gesetzten Gefangenschaftsvogels sehr viele Einzelheiten der Bewegungen des Steuerns und Gleichgewichthaltens unmittelbar wahrnehmen, die an seinem wildlebenden Artgenossen durchaus unmerkbar sind. Es gibt aber noch weitere, sehr naheliegende Umstände, die die Beobachtung des zahmen freifliegenden Vogels zum Studium seiner Flugbewegungen besonders vorteilhaft erscheinen lassen. Man hat den wildlebenden Vogel nie so nahe und so dauernd vor sich, wie den zahmen; man weiß nicht, wohin er eigentlich zu fliegen beabsichtigt, man kann seinen Flug, seine Fliegekunst nicht vor neue, als Versuche auswertbare Aufgaben stellen. Schließlich sei auf die psychologische Beobachtungstatsache hingewiesen, daß man in sehr vielen Fällen einen bestimmten Vorgang wiederholt zu sehen bekommen muß, bevor es einem überhaupt zum Bewußtsein gelangt, daß man einen bestimmten, sich gesetzmäßig wiederholenden Bewegungsablauf vor sich hat, ehe man also dazu angeregt wird, nach den Gesetzmäßigkeiten des Vorganges zu fahnden. Beim zahmen freifliegenden Vogel kann man gar nicht umhin, dasselbe Flugmanöver an derselben Stelle wieder und immer wieder zu beobachten. Man wird geradezu zwangsläufig auf Gesetzmäßigkeiten geführt, an deren Bestehen man bei einer auch nur etwas weniger häufig wiederholten Beobachtung sicherlich vorbeigehen würde. Da es sich hier um ein Grenzgebiet zwischen Biologie und Technik handelt, dürfen dem Biologen etwaige Irrtümer in technisch-physikalischer Hinsicht mit möglichster Milde angerechnet werden.

I. Das Gleiten und der Segelflug.

Die physikalisch einfachste und daher am leichtesten zu analysierende Form des Vogelfluges ist der Gleitflug mit still gehaltenen, d. h. zum mindesten nicht arbeit leistenden Schläge vollführenden Flügeln. Das Gleiten ist die einzige Form des Vogelfluges, die wir mit unseren Segelflugzeugen ziemlich vollkommen nachzuahmen, ja in gewisser Hinsicht sogar zu übertreffen vermögen.

Um die Verhältnisse beim flügel Schlaglosen Gleiten des Vogels möglichst einfach darstellen zu können, wollen wir zunächst die Fiktion aufstellen, daß der Schwerpunkt des Vogels auf einer von vornherein festgelegten Bahn AB (vgl. Figur) dahingleite. In Wirklichkeit ist diese Bahn natürlich eine Funktion von Flächenöffnung, Anstellwinkel usw. Die tragenden Flächen des Vogels bilden mit der Bahn seines Schwerpunktes einen

in der Vertikalprojektion nach vorn und oben offenen Winkel, den „positiven Anstellwinkel“ nach STRESEMANN. Die Kraft, die den Vogel auf seiner Bahn in Fahrt erhält, ist eine Komponente der Schwerkraft, die auf die Bahn AB aufzutragende Komponente SV der Schwerkraft SG . Der durch die Eigenbewegung des Vogels entstehende Fahrtwind drückt auf die Tragfläche des Flügels mit einer Kraft, die in der Richtung SY wirkt und deren Größe der Größe der tragenden Fläche, dem Quadrate der Fluggeschwindigkeit relativ zur Luft und dem Sinus des positiven Anstellwinkels proportional ist. Der den Vogel auf seiner Bahn vorwärtsbewegenden Schwerkraftkomponente SV wirkt außer dem allgemeinen Widerstand des Mittels noch die auf AB aufzutragende Komponente des Flügeldruckes SZ entgegen, die bestrebt ist, den Vogel zum Stillstand zu bringen.

Der gleitende Vogel muß sich auf seiner Bahn mit einer bestimmten Mindestgeschwindigkeit dahinbewegen, um den Fahrtwind und damit die senkrecht auf seine Bahn nach oben und vorn wirkende Komponente des Flügeldruckes¹ aufrecht zu erhalten. Diese Mindestgeschwindigkeit ist umgekehrt proportional der verhältnismäßigen Größe der tragenden Flächen; je größer das Gewicht des Vogels je Flächeneinheit dieser Flächen ist, desto schneller muß er sich durch die Luft bewegen, um ein plötzliches Absinken, ein „Durchfallen“ zu vermeiden. Daraus ergibt sich, daß ganz allgemein Fluggeschwindigkeit und relative Flächengröße bei Vögeln wie bei Flugzeugen in umgekehrtem Verhältnisse zueinander stehen. Nehmen wir bei einem Einzelvogel die Flächengröße zunächst als konstant an und fragen uns, wie der Vogel es anstellt, um beim flügel Schlaglosen Gleiten möglichst langsam an Höhe zu verlieren. Daß ein möglichst langsamer Höhenverlust, eine möglichst geringe Sinkgeschwindigkeit energiesparend und damit biologisch vorteilhaft ist, ist eine Selbstverständlichkeit, die nicht weiter erklärt zu werden braucht. Die Stellungen des Körpers und der tragenden Flächen des Vogels, welche die geringste Sinkgeschwindigkeit bei einer gegebenen Flächenbelastung ergeben, stellen ein schwierig zu errechnendes Kompromiß zwischen mehreren Faktoren dar. Vergrößert der Vogel seinen Anstellwinkel, so vergrößert sich zwar die hebende Komponente des Flügeldruckes, gleichzeitig aber auch seine bremsende Komponente SZ . Der Vogel müßte also bei Vergrößerung des Anstellwinkels seine Bahn AB durch andere Steuer manöver steiler nach abwärts richten, um durch eine entsprechende Vergrößerung der Vortreibenden SV die Bremswirkung wettzumachen. Setzen wir voraus, daß das Kompromiß zwischen diesen Faktoren in der denkbar besten Weise erreicht sei, was bei den einzelnen Vogelarten durch angeborene Körperstellreflexe gesichert sein

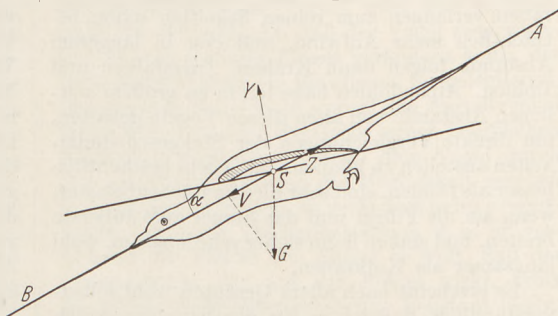
¹ Der Einfachheit halber berücksichtigen wir hier nur den Überdruck auf der Flügelunterseite. In Wirklichkeit ist der Unterdruck auf der Oberseite der wichtigere Faktor.

dürfte, so erscheint die absolute Größe der Absinkgeschwindigkeit als eine Funktion des Stirnwiderstandes. Je kleiner der bremsende Stirnwiderstand ist, desto weniger steil braucht der Vogel seine Bahn AB zu wählen, um die vortreibende Komponente der Schwerkraft auf einer das „Durchfallen“ verhindernden Größe zu erhalten. Da der Stirnwiderstand mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wächst, so werden Vögel mit geringer Flächenbelastung und damit geringer kleinster Gleitgeschwindigkeit weniger steile Gleitbahnen haben und damit im Vergleiche zu gleichgroßen höher flächenbelasteten Formen geringere Sinkgeschwindigkeiten erzielen.

Wenn wir aber Vögel mit sehr verschiedenen absoluten Gewichten miteinander vergleichen, so finden wir, daß sich der Stirnwiderstand auch in anderer Weise auf den Neigungswinkel der Gleitbahn auswirken kann. Wenn wir etwa das Gleiten einer Dohle mit dem eines Storches vergleichen, so finden wir, daß die Dohle eine um ein Mehrfaches kleinere Gleitgeschwindigkeit hat als der große Storch, trotzdem aber rascher an Höhe verliert als jener. Trotz kleinerer Flächenbelastung sinkt sie schneller! Woher kommt das? Die Erklärung liegt darin, daß der kleinere Vogel einen verhältnismäßig größeren Stirnwiderstand findet als der größere, weil die Reibung und mit ihr der Stirnwiderstand in geradem Verhältnis zur Oberflächengröße wächst, die vortreibende Komponente der Schwerkraft aber mit dem Gewicht des Vogels. Es wächst also der Vortrieb mit dem Kubus, die bremsenden Faktoren aber nur mit dem Quadrat. Daraus erklärt sich die Tatsache, daß ein absolut größerer Vogel höher flächenbelastet sein kann als ein kleinerer, ohne deshalb eine größere Absinkgeschwindigkeit haben zu müssen als jener. Er muß zwar, seiner höheren Flächenbelastung wegen, schneller dahingleiten als ein Ring kleinerer Flieger mit niedrigerer Flächenbelastung, verbraucht aber, um seine Geschwindigkeit aufrecht zu erhalten, einen verhältnismäßig geringeren Teil seiner Lageenergie. Er braucht seine Bahn weniger steil herab zu richten, als es der kleinere Vogel tun muß, um bei seinem verhältnismäßig größeren Stirnwiderstand seine kleinste Gleitgeschwindigkeit zu behalten.

Bevor mir diese Dinge klar wurden, setzte ich irrtümlicherweise die kleinste Gleitgeschwindigkeit und die kleinste Absinkgeschwindigkeit proportional und wunderte mich stets, wie es wohl käme, daß die Dohlen trotz ihrer viel geringeren Gleitgeschwindigkeit doch viel stärkeren Aufwind zum reinen Segelflug benötigten als der viel höher flächenbelastete und daher viel schneller gleitende Rabe. Der Unterschied des Stirnwiderstandes und seine Rolle beim Gleiten kam mir bei der Beobachtung der beiden Arten von Rabenvögeln nicht zum Bewußtsein. Als ich aber später freifliegende Raben und Störche gleichzeitig hielt und die Vögel beider Arten ihre wundervollen, nur aus Freude am Fliegen ausgeführten Hoch- und Segelflugspiele gleichzeitig und im gemischten Schwarm

ausführten, wurde es mir klar, daß der Storch zwar viel schneller einhergleitet als der Rabe, aber auf einer um so viel weniger geneigten Bahn, daß er trotz der schnelleren Vorwärtsbewegung in der Zeiteinheit weniger an Höhe verliert als der kleinere Vogel. Daß die absolute Größe für eine absolut kleine Absinkgeschwindigkeit maßgebend ist, geht in eindeutiger Weise auch aus der Tatsache hervor, daß die extrem an Segelflug angepaßten Vögel — man denke etwa an den Lämmergeier, die großen Adler und den Albatros — sämtlich sehr große Tiere sind und umgekehrt die Kleinvögel nie segeln, ja meist nicht einmal richtig mit stillgehaltenen offenen Flügeln gleiten können. Unter Vögeln, die kleiner sind als etwa ein Star, kenne ich ein wirkliches Gleiten nur von Schwalben und Seglern. Bei diesen Aus-



Schema des gleitenden Vogels. AB Bahn des Schwerpunktes; S Schwerpunkt; SV vortreibende Komponente der Schwerkraft; SG Schwerkraft; SF Aufdruck der Flächen; SZ Stirnwiderstand; α Anstellwinkel des Flügels.

[Aus J. Ornithol. 81, 112 (1933).]

nahmen zeigt aber die auf die Spitze getriebene Anpassung an eine mögliche Verringerung des Stirnwiderstandes (man denke an die wundervolle Tropfenform dieser Vögel und an ihr den Luftstrom wirbelfrei ableitendes „Spitzheck“, sowie an ihre spitzigen Flügel), daß der beim Kleinvogel verhältnismäßig sehr große Widerstand des Mittels der bei anderen Formen den Gleitflug verhindernde Faktor ist. Sperlinge, die aus größerer Höhe herabkommen, zeigen gelegentlich ein längeres Gleiten mit still gehaltenen Flügeln; dabei geht aber ihre Bahn sehr steil bergab, fast 45° zum Erdbogen geneigt, und der Anstellwinkel der Flügel ist sehr groß, was ich dann gut sehen kann, wenn Sperlinge vom Dach unseres hochgelegenen Hauses auf die Donauwiesen hinunterfliegen, so daß ich sie von meinem Fenster aus fast genau von hinten zu sehen bekomme. Der Eindruck, der dabei entsteht, ist grundsätzlich von dem verschieden, den ein gleitender Großvogel macht.

Es dürfte praktisch ganz unmöglich sein, die Absinkgeschwindigkeiten verschiedener Vögel beim Gleitfluge genau zu messen, zumindest halte ich es für ausgeschlossen, absolute Werte für diese Geschwindigkeiten zu erhalten. Hingegen lassen sich ziemlich genaue Angaben darüber machen, welche Vögel im Vergleiche zu anderen langsamer absinken, da man sehr wohl beobachten kann, bei welchen Stärken des Aufwindes verschiedenen Arten von Vögeln ein gänzlich flügel Schlagloser

Segelflug möglich wird. Da ich nun durch jahrelange Beobachtung der verschiedensten Vögel auf demselben Gelände die einzelnen Aufwindstellen der Umgebung und ihre Zuordnung zu verschiedenen Windrichtungen aufs genaueste kenne und auch oft Gelegenheit hatte, verschiedene Vogelarten in derselben Aufwärtsströmung gleichzeitig segeln zu sehen, kann ich sehr wohl einige Aussagen darüber machen, welche der von mir freifliegend gehaltenen Vögel die geringste Sinkgeschwindigkeit beim schlaglosen Gleiten haben. Am wenigsten Aufwind brauchte ganz eindeutig der Mäusebussard, der schon bei einem kaum merklichen Windhauch Aufwindstellen findet, an denen er, ohne zu schlagen, oben bleiben kann. Dann kommen die Schwarztörche, die wohl etwas besser segeln als der weiße Verwandte. Kolk-
rablen verlangen zum reinen Segelflug schon beträchtlich mehr Aufwind, und erst in längerem Abstände folgen dann Krähen, Turmfalken und Dohlen. Alpendohlen habe ich in zu großem zeitlichen Abstände von allen diesen Vögeln gehalten, um direkte Vergleichen der Sinkgeschwindigkeiten anstellen zu können. Sie segeln beträchtlich besser als Dohlen, sind sehr niedrig flächenbelastet, wenn sie die Flügel und das Steuer aufs äußerste breiten, und sinken dann sicher sehr langsam, wohl langsamer als Kolk-
rablen.

Es erscheint nach allem Gesagten wohl selbstverständlich, daß ich es für durchaus unmöglich halte, eine scharfe Grenze zwischen solchen Vögeln zu ziehen, die zum Segelflug befähigt sind und solchen, die es nicht sind. Jeder Vogel kann „segeln“, wenn er einen aufwärts gerichteten Luftstrom findet, der schneller steigt, als er selbst bei maximal gebreiteten Flächen in stiller Luft sinken würde. Wenn man weiß, wie langsam und wie wenig steil ein Bussard in stiller Luft gleiten kann, so wundert man sich weiter nicht darüber, daß es ihm leicht fällt, einen Wind zu finden, der längs einer kleinen Bodenwelle schneller und steiler bergauf bläst, als der Vogel sich zur umgebenden Luft nach abwärts bewegt. Ich habe wiederholt gesehen, wie domestizierte Türkenenten, also sehr schwer und plump fliegende Vögel, in örtlichen Aufwinden viele Meter hoch in die Luft geblasen wurden, ehe sie sich entschließen konnten, im Sturzflug wieder herunterzukommen. Eine wirkliche Unmöglichkeit zu segeln besteht nur bei solchen Formen, bei denen eine hohe Absinkgeschwindigkeit so starke Aufwinde voraussetzt, daß zu ihrer Erzeugung Windstärken notwendig wären, bei denen gerade diese „schlecht“ fliegenden Vögel sich nicht mehr in die freie Luft hinauswagen.

Über die Frage, ob Vögel auch die Geschwindigkeitsunterschiede verschiedener waagerechter Luftströmungen zum Energiegewinn und damit zum „dynamischen“ Segelflug benutzen können, kann ich aus eigener Beobachtung nichts aussagen. RAILEIGH hat die Verwendbarkeit der Geschwindigkeitsdifferenzen horizontaler Luftströmungen als Energiequelle rechnerisch erwiesen. EXNER behauptet aber, daß Winde von so hoher Geschwindigkeit, wie sie nach den Berechnungen RAILEIGHs zum dynamischen Segelflug notwendig

wären, von keinem Vogel zum Segeln benutzt würden. Nach AIRY nutzen die Vögel die Geschwindigkeitsdifferenzen waagerechter Strömungen nur indirekt als Energiequellen aus. Zwischen Luftschichten verschiedener Geschwindigkeit entstehen nämlich Wirbelbildungen in Gestalt von Rollen mit horizontaler Achse, die sich zwischen den Schichten so verhalten wie die Rollen eines Rollenlagers zwischen den Lagerschalen. Das heißt, daß diese Wirbelbildungen in der Richtung der schnelleren Luftschicht wandern und dauernd um die halbe Differenz zur langsameren Schicht hinter der schnelleren zurückbleiben. Da so gut wie immer die schneller ziehende Schicht die höhere ist, so herrscht in diesen wandernden Luftrollen stets an ihrer Hinterseite Aufwind, an ihrer Vorderseite Abwind. Die Ausnutzung des Aufwindes an der Hinterseite dieser wandernden Wirbel konnte durch die Beobachtung segelnder Vögel sehr wahrscheinlich gemacht werden. An Stellen, an denen keinerlei durch die Beschaffenheit des Erdbodens bedingte Aufwinde bestehen konnten, zeigte es sich, daß die segelnden Vögel dauernd mit dem Winde wanderten, und zwar ganz deutlich deshalb, weil sie Aufwinden folgten, die mit dem Winde ziehend ihren Ort ständig veränderten. Der „dynamische“ Segelflug nach AIRY erweist sich also bei genauerer Betrachtung eigentlich als statisch.

Eine Erscheinung, die wiederholt zu ganz merkwürdigen Anschauungen Anlaß gab, ist folgende. Bei Ausnutzung eines Aufwindes, der örtlich beschränkt ist und dessen Querschnitt nicht Raum zu einem vollen Kreise bietet, legen Vögel stets ihre Kreise so, daß der luvseitig gelegene Teil des Kreises sich im Aufwinde befindet. Warum die Vögel das tun, ist mir durchaus nicht klar; die Tatsache gilt mir aber durch wiederholte Beobachtung als erwiesen. In weit ausgebreiteten Aufwinden bleiben die Flächen des segelnden Vogels dauernd aufs äußerste gespreizt; bei der Ausnutzung von aufwärts gerichteten Strömungen geringeren Querschnittes sieht man stets, wie der Vogel im luvwärts liegenden Teile seiner Bahn langsamer wird und jedes Quadratzentimeter seiner tragenden Flächen ausbreitet, im Leebogen aber mit weit weniger gebreiteten Flügeln und ebensolchem Steuer dahinzieht. Es ist aber ganz deutlich, daß er das nur tut, um die aufwindlose Strecke möglichst rasch hinter sich zu bringen, und das teilweise „Reffen“ der tragenden Flächen sehen wir bei jeder willkürlichen Beschleunigung des Fluges. Die Geschwindigkeitsverschiedenheiten, die hierbei an dem kreisenden Vogel zu beobachten sind, haben Anlaß zu einer abstrusen Theorie gegeben, die kurz gesagt den kreisenden Vogel als den Flügel einer horizontalen Windmühle betrachtete und vergaß, daß der Vogel nicht wie die Mühle, oder wie der Drachen durch seine Schnur, am Erdboden verankert ist und daher die Luftströmung an sich zum Energiegewinn nicht ausnutzen kann. Schon EXNER hat die Irrtümlichkeit aller derartigen Ansichten erkannt und schrieb bereits 1907: „Wo ist, so muß ich fragen, am Vogel die Schnur des Drachens?

Will man denn durchaus nicht sehen, daß in dieser Schnur das Problem steckt?“ Trotzdem findet man derartige Ansichten noch bis in die jüngste Zeit bei manchen Ornithologen. Deshalb sei hier ausdrücklich versichert, daß der in der eben beschriebenen Weise in wechselnder Geschwindigkeit kreisende Vogel stets einen rein statischen Segelflug ausführt, d. h. einen Aufwind als Energiequelle zur Verfügung hat. Übrigens sei hier auch erwähnt, daß die „nach AIRY“ segelnden Vögel, die also einen wandernden Aufwind zum Segeln benutzen, in den meisten Fällen dieselbe Ungleichheit der Kreisbögen beobachten lassen, indem auch sie bei einem für den vollen Kreis nicht ausreichenden Querschnitt der Aufwärtsströmung den Luvbogen in die Aufwindstelle verlegen.

Ein wirklich echter dynamischer Segelflug ist meines Wissens nur von IDRAC nachgewiesen, und zwar an Albatrossen und anderen sturmvogelartigen Vögeln. Die Art und Weise, wie von diesen Tieren aus der Geschwindigkeitsdifferenz rein horizontaler Strömungen Energie gewonnen wird, möchte ich hier ganz kurz und in einer absichtlich etwas vereinfachten Darstellung schildern. Man stelle sich einmal vor, ein Vogel sitze im Wind auf dem Erdboden, öffne seine Flügel und gebe Höhensteuer. Wofern nun die Windgeschwindigkeit seine kleinste Gleitgeschwindigkeit übertrifft, wird der Vogel steigen, zugleich aber seinem Höhengewinn entsprechend an seiner, von der Erde her mitgenommenen Geschwindigkeit relativ zur Luft verlieren, d. h. er wird in der Luft sozusagen hinter dem vorherigen Sitzpunkte zurückbleiben, also relativ zum Erdboden nach hinten gedrückt werden. Bei einem gegen den Wind gerichteten Steigen gelangt nun der Vogel, oder auch das Segelflugzeug des Menschen, von einer Luftschicht immer in eine schneller dahinstreichende, d. h. es entsteht bei jedem Wechsel von einer Schicht in eine andere ein „relativer Gegenwind“. Deshalb kann das gegen den Wind startende Segelflugzeug oft ganz erstaunlich hoch steigen, ohne daß ein eigentlicher Aufwind vorhanden ist. Wenn wir nun den umgekehrten Vorgang betrachten, nämlich bei einem Vogel, der mit dem Winde fliegend die verschieden schnellen, übereinander gelagerten Luftschichten in absteigender Bahn durchschneidet, so sehen wir, daß hier bei jedem Schichtwechsel neuerdings ein „relativer Gegenwind“ entsteht. Nach IDRAC machen sich nun Albatrosse und verwandte Vögel diese Möglichkeit des Energiegewinnes tatsächlich zunutze. IDRAC konnte sehen, daß diese Tiere in Kreisen, noch öfter aber in Schlangenlinien dahinzogen, die in ihren luvwärts gelegenen Bögen höher lagen und in ihrem leewärts gelegenen Anteil fast die Oberfläche des Meeres berührten. In dieser Weise flogen die Tiere unbegrenzt lange ohne Flügelschlag dahin. Ich möchte die Vermutung aussprechen, daß dieses Verfahren des Energiegewinnes auch bei der Schiefelage der Kreise der oben beschriebenen, in örtlich beschränkten Aufwinden segelnden Vögel eine Rolle spielt, wenn auch wohl keine sehr

beträchtliche. Umgekehrt kommt es mir gerade bei den recht anschaulichen Beschreibungen IDRACS sehr wahrscheinlich vor, daß es einen wirklich rein dynamischen Segelflug nur bei den von diesem Autor untersuchten Hochseefliegern gibt. Übrigens konnte auch IDRAC an Albatrossen sehr häufig ein Ausnutzen der an den Abhängen großer Meereswogen entstehenden Aufwinde feststellen.

Bevor ich den Abschnitt über das Gleiten und Segeln der Vögel abschließe, möchte ich noch eine kurze vergleichende Betrachtung über Vogel und Segelflugzeug anstellen. Das Segelflugzeug ist dem Vogel ganz offensichtlich darin überlegen, daß der relative Stirnwiderstand, die Flächenbelastung und damit die kleinste Sinkgeschwindigkeit so kleine Werte erreichen können, wie sie bei dem absolut kleineren Vogel kaum möglich sein dürften. Dieser Vorteil wird aber dadurch mehr als wettgemacht, daß der Vogel zwei wichtige Faktoren seines Fluges verändern kann, die beim Segelflugzeug ein für allemal festgelegt sind. Der segelnde Vogel kann sowohl den Anstellwinkel seiner Flügel als auch die Größe seiner Tragflächen willkürlich verändern! Wenn dem Vogel durch einen stärkeren Aufwind die Möglichkeit gegeben ist, schneller zu gleiten, so verändert er im wesentlichen nur seine Flächenbelastung, d. h. er verkleinert die Fläche der Flügel so weit, daß der Gesamtdruck, der auf die Flügel wirkt, trotz der Geschwindigkeitsvermehrung konstant bleibt. Beim Flugzeug sind die Flügel in einer bestimmten, dem Anstellwinkel entsprechenden Neigung zur Längsachse fest eingebaut. Jede Vermehrung der Geschwindigkeit bedeutet zwangsläufig eine Vermehrung des Druckes, der auf die Flügel wirkt, denn da die Längsachse des Flugzeuges schon der Schwanztragfläche wegen stets parallel zur Bahn stehen bleiben muß, kann eine Geschwindigkeitsvermehrung, die nicht gleichzeitig ein Steigen des Flugzeuges zur Folge haben soll, nur mit Geben von Tiefensteuer einhergehen. Das Flugzeug drängt sich dann durch die Luft wie ein Keil, dessen obere Fläche durch die Rückenfläche des Flugzeugrumpfes und dessen untere Fläche durch die Unterfläche der Flügel dargestellt wird. Während der Vogel in der glücklichen Lage ist, durch Veränderung von Anstellwinkel und vor allem von Flächengröße den Auftrieb der Flügel stets auf derselben Größe zu erhalten und auch bei der allerhöchsten Geschwindigkeit jeden Überdruck zu vermeiden, der zum unerwünschten Steigen führen würde, kann das Flugzeug bei vermehrter Geschwindigkeit das Steigen nur dadurch vermeiden, daß es sich sozusagen mit dem Rücken gegen den Luftstrom stemmt, wobei natürlich gewaltige Beanspruchungen der Flügel auftreten. Während also auch die am niedrigsten Flächenbelasteten unter allen Vögeln Sturzflüge von beliebiger Geschwindigkeit ausführen können und auch im böigsten Aufwind nie einen höheren Druck unter den Flügeln haben, als ihnen wünschenswert erscheint, ist das zart und leicht gebaute Hochleistungs-Segelflugzeug an eine verhältnismäßig sehr eng begrenzte Fluggeschwindigkeit gebunden, die ohne gefährliche Beanspruchung

der Flügel nicht überschritten werden kann. Was dem vom Menschen gebauten Flugzeug im Vergleiche zum Vogel abgeht, ist die Anpassungsfähigkeit an verschiedene Bedingungen. Der Bussard, der in einen böigen Aufwind oder in einen Gewittersturm gerät, erhöht im Augenblick seine Flächenbelastung um ein Vielfaches, indem er seine Flügel halb einzieht und das Steuer zusammenlegt, wobei in wundervollem Abgestimmtsein der Teile zum Ganzen auch das Profil der Tragflächen sowie ihre Steifigkeit durch das Übereinanderlagern einer größeren Anzahl von Federn auf der Flächeneinheit eine entsprechende Anpassung erfährt. Es wird sozusagen im Augenblick aus einem Hochleistungs-Segelflugzeug ein schneller, starkmotoriger und hoch flächenbelasteter Jagdeindecker, der einen Puff vertragen kann.

Der Gedanke, verkleinerbare Tragflächen zu bauen, ist alt, aber die Schwierigkeit der Einzelheiten der Konstruktion scheint unüberwindlich zu sein. Nun liegt mir der aerodynamisch vielleicht ganz unmögliche Gedanke nahe, daß, wenn auch ein Flugzeug mit veränderlicher Flächenbelastung eine technische Unmöglichkeit bleiben sollte, doch ein Teil der Anpassungsfähigkeit der Vögel an verschiedene Wind- und Fluggeschwindigkeiten durch eine Veränderlichkeit des Anstellwinkels ersetzt werden könnte. Dabei schwebt mir die Möglichkeit vor, ein schwanzloses Flugzeug mit sehr kurzem Rumpf zu bauen, dessen Linienführung es erlaubt, das Flugzeug als ganzes stärker nach vorn zu neigen und so den Anstellwinkel der Flügelflächen zu vermindern, ohne daß ein Überdruck auf der Rückenfläche des Rumpfes entsteht und ohne daß eine übergroße Beanspruchung der Flügel erfolgt, wenn die Flügel nach oben und der Rumpf nach unten streben. Ich weiß natürlich nicht, ob nicht eine solche Konstruktion schon längst versucht worden ist und halte es auch für durchaus wahrscheinlich, daß eben jener Mangel an Kursstetigkeit in der Horizontalen, dem ein solches Flugzeug seine Veränderlichkeit des Anstellwinkels verdanken würde, sich für die Flugeigenschaften als eine solche Verschlechterung auswirken könnte, daß durch sie alle Vorteile wettgemacht würden.

Über Fernmeldetechnik. Von W. JAEKEL in Berlin.

Es ist etwas Merkwürdiges um die Fernmeldetechnik, also um jene Teilgebiete der Elektrotechnik, die man landläufig auch Telegraphie und Telephonie nennt: wohl keiner mag ihre Hilfe im täglichen Leben entbehren, aber auch kaum einer hat Neigung, sich mit ihren Problemen in gleichem Maße zu befassen, wie er es sonst mit technischen und naturwissenschaftlichen Dingen zu tun gewohnt ist. Ein Blick in Zeitungen und Zeitschriften, die ihre Leser in volkstümlicher Weise mit der Technik bekannt machen, trifft viel eher auf einen Aufsatz, der z. B. die gewaltige Steigerung der Geschwindigkeiten bei Flug- und Fahrzeugen, oder Riesenmaschinen, himmelragende Bauten oder weitspannende Brücken behandelt,

als auf eine Arbeit, die der Fernmeldetechnik gewidmet ist. Zu einem Teil beruht das seltsamerweise sicher auf der Entwicklung der Funktechnik, die größte Entfernungen ohne den Ballast der Leitungen überbrückt. Die gewaltigen Fortschritte auf diesem Gebiet lassen in den Augen des oberflächlich Urteilenden unwillkürlich alle die Techniken als rückständig erscheinen, die noch Leitungen gebrauchen. Ferner trägt zu dieser geringen Schätzung bei, daß die meisten nur mit den Auswirkungen der Fernmeldetechnik in Berührung kommen, indem sie z. B. schon morgens in der Zeitung lesen, was sich nachts in fernen Ländern zutrug. Ja, den Rausch der Geschwindigkeit bei Verkehrsmitteln kann jeder selbst erleben, aber der Nachricht sieht man nicht mehr an, welchen Weg sie machte. Dann aber auch fehlt der Fernmeldetechnik das Gigantische, man möchte sagen Heroische, das bei anderen Teilgebieten der Technik unsere Seele mitschwingen läßt. Ein Riesenschiff, das mit allem Luxus in vier Tagen den Ozean überquert oder gar der „Hindenburg“, der es in noch kürzerer Zeit besorgt, ja, das sind Großtaten, die bei jedem einen tiefen Eindruck hinterlassen. Sie wecken irgendwie auch unser eigenes Sehnen in die Ferne und lassen Bewunderung aufkeimen für die Männer, die sie leiten. Aber der schlichte Fernsprecher auf dem Schreibtisch — nun, das ist doch ein guter alter Freund, der keine Geheimnisse mehr vor uns hat! Wenn er sich auch in den letzten Jahren vielfach eine Wählscheibe zugelegt hat, so ist das doch — so meint Herr Jedermann — keine große Sache! Und die Fernschreibmaschine? Nun ja, eine Schreibmaschine mit „Strippe“, aber sonst doch wohl wie die alte brave Schreibmaschine! Und die Kabel, die in Tausenden von Kilometern unser Vaterland durchqueren? Die liegen doch schon lange, wenn auch mal gelegentlich gewiß ein Stückchen ausgewechselt werden muß!

Die Fernmeldetechnik ist eine herbe Schöne, die ihre Reize nur dem ganz offenbart, der sich ihr innig widmet. Man muß einmal in die Laboratorien und Fabriken der Fernmeldetechnik hineinsehen, um zu erkennen, wieviel Scharfsinn und handwerkliche Geschicklichkeit nötig sind, um alle die Meisterwerke entstehen zu lassen, die unsere Sprache und unsere Gedanken über kleine und große Entfernungen tragen. Betrachten wir z. B. einmal unseren Fernsprecher mit der Wählscheibe. Der in eine ihrer Öffnungen hineingesteckte Finger zieht sie auf, und bei ihrem Rücklauf entsteht eine der gewählten Ziffer entsprechende Zahl von Stromunterbrechungen. Das ist gewiß nicht schwierig, und ein geschickter Bastler vermag sicher ein Gerät zu bauen, das das auch kann. Aber die Wählscheibe muß in Tausenden von Stücken mit stets gleichbleibender Genauigkeit gemacht werden, sie soll auch unverständiger Handhabung standhalten und vor allem, sie darf eine gewisse Preisgrenze nicht überschreiten, damit möglichst jeder sich einen Fernsprecher leisten kann. Man sieht es dem kleinen Ding kaum an, daß in ihm eine beinahe dreißigjährige Entwicklungsarbeit steckt. Die neue Form verhält sich

zu ihrer Urahnin, wie sie 1908 beim ersten deutschen Selbstanschlußamt in Hildesheim verwendet wurde, wie ein feiner, kleiner, leise tickender Reise- wecker zu einer klappernden Weckuhr, die man beim Trödler kaufen kann. Damals wog die Wählscheibe über 1 kg, heute ein Viertel davon. In zahlreichen Prüfungen muß sie ihre Gebrauchstüchtigkeit nachweisen, bevor sie dem Teilnehmer überlassen wird. Und eine Wählscheibe arbeitet genau so wie die andere, da sie ja alle mit den gleichen Amtseinrichtungen zusammenwirken. Bei diesen selbst sind ähnliche Fortschritte festzustellen. Die Wähler und Relais, welche die Verbindungen unter den Teilnehmern herstellen, haben sich in drei Jahrzehnten stark verändert. Plumpe und schwere Apparate, denen man förmlich ansieht, wie ein Teil zum anderen gefügt wurde, wandelten sich in kleine Präzisionswerke, die der Konstrukteur mit genialem Schwung sozusagen in einem Wurf schuf. Der letzte Fortschritt ist hier der sog. Motorwähler, bei dem der bewegliche Kontaktarm in der gleichen Zeit einige hundert Kontakte durchläuft, in der er bei dem üblichen Wähler nur hundert bestreicht. Mit so zuverlässigen Wählern, wie sie der Konstrukteur schuf, ist natürlich sehr viel anzufangen. Insbesondere lassen sich Selbstanschlußämter aller Größen zusammenstellen und, was besonders wichtig ist, zu gemeinsamem Wirken verbinden. Wenn auch die meisten Fernsprechteilnehmer an große Ämter angeschlossen sind, so soll man doch die Bedeutung der kleinen und kleinsten Ämter nicht unterschätzen. Auf dem Lande z. B., wo gerade wegen der großen Entfernungen zwischen den einzelnen Ortschaften ein Fernsprecher besonders nötig ist, brachte die Selbstanschlußtechnik größten Segen. Da sich ein ständig besetztes handbedientes Amt nur von einer bestimmten Teilnehmerzahl an lohnt, mußten die Bewohner manches Dorfes auf ständige Fernsprechmöglichkeit verzichten. Jetzt kommt die bescheidene Ansprüche stellende Selbstanschlußzentrale sozusagen zu den Leuten aufs Land und vermittelt Tag und Nacht ihre Gespräche untereinander und zur nächsten Stadt, ja sogar darüber hinaus zur Hauptstadt oder auch wieder in kleine Ortschaften, die ebenfalls in die sog. Netzgruppe einbezogen sind. Durch diese Art der Anordnung ergeben sich vor allem große Ersparnisse in der Leitungsführung, die die Gesamtkosten besonders stark beeinflussen. Auch beim großstädtischen Fernsprechverkehr ist es sehr wichtig, daß man die Teilnehmer auf beliebig viele Selbstanschlußämter verteilen kann. Man kann nämlich ein Amt jeweils dorthin legen, wo eine Anzahl Teilnehmer wohnt, und erhält kurze Teilnehmerleitungen. Lange Teilnehmerleitungen sind dem rechnenden Fernsprechtechniker nämlich ein Greuel, da sie trotz ihrer hohen Kosten nur wenige Minuten am Tage ausgenutzt werden und somit einen so schlechten Wirkungsgrad haben, wie man ihn in der Technik kaum findet.

Noch ein wichtiger Fortschritt der Selbstanschlußtechnik sei erwähnt. Die von der Wählscheibe ausgehenden Impulse können nicht jede

beliebige Entfernung überbrücken, vor allem durch die zum Sprechen dienenden Fernkabel kommen sie nicht hindurch. Um den Arbeitsbereich der Wählscheibe zu erweitern, wendet man den Kunstgriff an, die Gleichstrom-Wählimpulse vor ihrem Eintritt in die Fernkabel in Wechselstrom-Impulse umzuformen. Je nach der für den Wechselstrom gewählten Periodenzahl kann man mit dieser Wechselstromfernwahl einige hundert oder auch tausend und mehr Kilometer überbrücken, soweit überhaupt Sprache durch Kabel übertragen werden kann. Die Reichsbahn macht in ihrem eigenen, sich über ganz Deutschland erstreckenden Fernsprechnetz bereits seit langem Gebrauch von diesem technischen Fortschritt. Grundsätzlich kann also jede mit Fernsprechananschluß versehene Dienststelle jede andere ohne Eingreifen einer Vermittlungsperson selbst bei noch so großer Entfernung erreichen. Was das für die Abwicklung des Verkehrs auf den Schienen ausmacht, bedarf wohl keiner Erläuterung.

Ungeahnte Möglichkeiten ergeben sich aus diesen und den anderen zahlreichen Fortschritten auf dem Gebiete des Fernsprechwesens. Es ist jetzt nur noch eine Frage der zur Verfügung stehenden Leitungen, wie lange das Herstellen einer Fernverbindung dauert. Da sich nicht erst mehrere Vermittlungsstellen untereinander verständigen müssen, kann der Platz, der die Gesprächsanmeldungen entgegennimmt, auch gleich unmittelbar in der fernen Stadt oder Netzgruppe den gewünschten Teilnehmer wählen. Überläßt man dem Teilnehmer selbst das Wählen, wofür allerdings das Vorhandensein genügend vieler Verbindungsleitungen Voraussetzung ist, so verschwinden die Wartezeiten sogar vollständig. Es braucht wohl nicht besonders erwähnt zu werden, daß sich bei dieser Art des Fernsprechverkehrs auch die Verstärker selbsttätig in den Sprechweg einschalten. Sogar die Gebühren werden selbsttätig erfaßt, und zwar mittels der sog. Zeitzonenzähler, die Zeit und Entfernungen selbsttätig berücksichtigen. Schon vor mehreren Jahren, Ende 1933, fand in Berlin eine Vortragsreihe statt, in der das Weltfernsprechen behandelt wurde, also ein Fernsprechverkehr, der über die Grenzen der Länder und sogar über die Meere hinweggreift. In technischer Hinsicht kann die Aufgabe als gelöst angesehen werden, obschon die wirtschaftlichen und sonstigen Hindernisse noch ihrer Beseitigung harren. Das Weltfernsprechnetz könnte nach den dort gemachten Ausführungen¹ folgendermaßen aussehen. Die einzelnen Teilnehmer sind an kleinere Ämter herangeführt und diese Ämter wieder an größere angeschlossen. Es wurde bereits auseinandergesetzt, daß der Verbindungsverkehr innerhalb dieser Netzgruppe selbsttätig vor sich geht. Im Mittelpunkt der Netzgruppe liegt das Endfernamt. Eine wirtschaftlich zusammenhängende Gruppe von solchen Endfernämtern wird zusammengefaßt und das wichtigste

¹ Vgl. auch LANGER: Studien über Aufgaben der Fernsprechtechnik. München 1936.

Endfernamt dieser Gruppe zum Hauptfernamt der Gruppe gemacht, das dann Verteilerfernamt genannt wird. Eine Gruppe von Verteilerfernamt kann man nun wieder zu einem höheren Gebilde zusammenfassen und das wichtigste Verteilerfernamt dieser Gruppe zum Hauptfernamt erheben, das dann Durchgangsfernamt genannt wird. Während die Fläche, die eine Gruppe von Endfernamt enthält, etwa den Radius 140 km hat, kommt im Durchgangsfernamt der Verkehr aus einer Fläche von etwa 700 km Radius zusammen. Die Durchgangsfernamt werden wieder zu mehreren zusammengefaßt und das wichtigste zum Weltfernamt gemacht, das dann einen Radius von etwa 3500 km beherrscht. Die Weltfernamt sind dann wieder unter sich zum Weltfernnetz zusammengefaßt. Es ist das Gute an diesem System, daß es nach und nach ausgebaut werden kann, ohne daß der Sprechverkehr auch nur für kurze Zeit unterbrochen wird. In zahlreichen Ländern stehen auf jeden Fall schon jetzt Vorschläge für die Umgestaltung des Fernleitungsnetzes zur Diskussion und sind auch schon zu einem Teil verwirklicht. So sieht z. B. der Plan für die Schweiz 66 Netzgruppen mit je einem Endfernamt vor. Sie sind in 8 Verteilerfernamt zusammengefaßt und diese zu 3 Durchgangsfernamt in Zürich, Lugano und Lausanne. Wenn die Pläne erst vollständig verwirklicht sind, soll jeder Teilnehmer jeden anderen durch Fernwahl erreichen können. Holland könnte 19 Netzgruppen mit Endfernamt erhalten sowie 5 Verteilerfernamt und ein Durchgangsfernamt in Amsterdam. Österreich soll 36 Netzgruppen, 6 Verteilerfernamt und als Durchgangsfernamt Wien erhalten. Der Plan für Deutschland sieht 650 Netzgruppen mit dem mittleren Radius 15 km vor. Sie sind zu 55 Verteilerfernamt und diese zu 15 Durchgangsfernamt vereinigt. Sie liegen — immer an Hand des Planes aufgezeigt — in Düsseldorf, Köln, Dortmund, Frankfurt, Stuttgart, München, Nürnberg, Leipzig, Dresden, Breslau, Königsberg, Stettin, Berlin, Hamburg und Hannover. Wie die Leitungen zu führen sind, richtet sich nach den jeweiligen Verhältnissen. In der Netzgruppe sind die Unterämter vorwiegend sternförmig zusammengefaßt. Auch die Verteilerfernamt zeigen diesen Aufbau, während bei den größeren Einheiten auch noch Querverbindungen eingesetzt werden, wo es nötig ist.

Die Entwicklung des anderen wichtigen Teiltriebes der Fernmeldetechnik, der Telegraphie, ist in großen Zügen etwa folgendermaßen verlaufen. Die Entwicklung in den ersten Jahren mußte zunächst einmal eine gewisse Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit zu erreichen suchen. In diese Zeit fällt etwa die Erfindung des Zeigertelegraphen von WERNER SIEMENS im Jahre 1847. Es ist bekannt, daß diese Erfindung die unmittelbare Veranlassung zur Gründung des Hauses Siemens & Halske war. Parallel mit der Verbesserung der Apparate zum Telegraphieren ging die Entwicklung geeigneter Leitungen. Auch hier wirkte WERNER SIEMENS bahnbrechend, indem er die

Guttaperchapresse erfand, mit der sich Leitungen nahtlos umpressen und dadurch tadellos isolieren ließen. Die nächste Stufe der Entwicklung strebte an, die mit ungeheuren Kosten verlegten Kabel möglichst gut auszunutzen. Es wurde also die Telegraphiergeschwindigkeit erhöht. Vielfach wurde die Betätigung der Apparate von Hand durch mechanische Einrichtungen ersetzt. Hervorzuheben ist hier vor allem die Erfindung des Lochstreifensenders durch WERNER SIEMENS. Dieses im Prinzip auch heute noch benutzte Verfahren besteht darin, daß man in einen Papierstreifen die Zeichen einstanzt und mit diesem Streifen den Telegraphen steuert. Den Streifen kann man selbstverständlich in mehreren Stücken vorbereiten lassen, so daß man viele Zeichen in kürzester Zeit durchgeben kann. Als Höhepunkt dieser Entwicklungsstufe ist die Erfindung des Siemens-Schnelltelegraphen im Jahre 1902 zu nennen, der in seiner ersten Ausführung bis zu 2000 Zeichen je Minute leistete. Diese Leistung war für den praktischen Betrieb zu hoch, so daß eine Umkonstruktion nötig wurde. Der neue Siemens-Schnelltelegraph, der 1912 zum ersten Male eingesetzt wurde, leistet bis zu 1000 Buchstaben je Minute und wurde in schneller Folge in fast allen europäischen und vielen überseeischen Ländern eingeführt.

Aber alle technischen Fortschritte vermochten auf die Dauer den Rückgang des Telegrammverkehrs nicht aufzuhalten. Einige Zahlen mögen das beweisen. 1889 wurden rund 26 Millionen Telegramme befördert, 1899 45 Millionen, 1909 53 Millionen, 1919 90 Millionen. Dann kommt ein schnelles Absinken auf 40 Millionen (1929) und 26 Millionen (1932). Die Ursache für den Rückgang liegt hauptsächlich in den gewaltigen Fortschritten der Fernsprechtechnik, die heute jede Entfernung mit größter Sicherheit überbrückt und dem Teilnehmer in seiner Wohnung und in seinem Büro ein einfach zu bedienendes Verständigungsmittel zur Verfügung stellt. So etwas konnte die Telegraphie nicht, denn ihre Apparate erfordern bisher trotz aller Fortschritte ein geübtes Bedienungspersonal. Erst im Jahre 1928 wurde in Gestalt der Fernschreibmaschine ein Telegraphenapparat in Betrieb genommen, der von jedermann bedient werden kann. Die ersten Fernschreibmaschinen wurden in den Telegraphenämtern der Reichspost erprobt. Bald aber wurden sie auch zur allgemeinen Benutzung freigegeben. Zunächst (1930) richteten sich die Siemens-Werke ein ausgedehntes Versuchs-Fernschreibnetz ein, an das die Technischen Büros in Berlin, Hamburg, Essen, Leipzig und Nürnberg angeschlossen wurden. Wenn der Zweck dieses Netzes zunächst auch nur die betriebsmäßige Erprobung der Apparate und Vermittlungseinrichtungen war, so wurde es doch schon sehr bald auch wirtschaftlich ausgenutzt. Im Oktober 1933 wurden auf Grund der guten Erfahrungen von der Reichspost die ersten öffentlichen Selbstanschluß-Fernschreibvermittlungsstellen in Berlin und Hamburg in Betrieb genommen und zur allgemeinen Benutzung freigegeben. Als Beweis für die Notwendigkeit des

Fernschreibbetriebes sei angeführt, daß die ursprünglich für 20 Teilnehmer bemessene Anlage in Berlin schon vier Wochen nach ihrer Einschaltung erweitert werden mußte. Den nächsten Schritt — die Entwicklung kann hier nur in großen Zügen dargelegt werden — bildete die Errichtung eines internationalen Fernschreib-Teilnehmerverkehrs zwischen Deutschland, Holland und der Schweiz, der 1934 in Betrieb kam. Im gleichen Jahr (Mai 1934) wurde von Siemens & Halske zusammen mit der Reichspost eine ausgedehnte Versuchsanlage aus Anlaß einer in Prag stattfindenden Tagung des „Zwischenstaatlichen beratenden Ausschusses für Telegraphie“ (CCJT) eingerichtet, an die Berlin, Prag, Wien, Budapest, Kopenhagen, s'Gravenhage, Brüssel, Paris, Bern, Mailand und Rom angeschlossen waren. Die Verbindungen wurden hier zum größten Teil durch Selbstanschluß-Vermittlungseinrichtungen hergestellt. Gegenwärtig gibt es im Fernschreibverkehr drei verschiedene Möglichkeiten: Fernschreib-Dauerverbindungen; sie benutzen von der Post ständig gemietete Leitungen. Solche Verbindungen bestehen z. B. innerhalb der Siemens-Firmen zwischen Berlin—Hannover, Hannover—Hamburg, Hannover—Essen, Berlin—Leipzig und Leipzig—Nürnberg. Eine Abart sind die Fernschreib-Stunden-Verbindungen, für die von der Reichspost für bestimmte, täglich gleiche und einen Monat im Voraus zu bestimmende Stunden Verbindungs-

wege zur Verfügung gestellt werden. Ferner gibt es als wichtigste Art Anschlüsse an das deutsche Fernschreibnetz, dessen Selbstanschluß-Zentralen sich in Berlin, Hamburg, Bremen, Magdeburg, Essen, Dortmund, Düsseldorf, Köln, München, Nürnberg und Kiel befinden. Der Betrieb gestaltet sich so, daß man ähnlich wie beim Selbstanschlußbetrieb im Ortsverkehr den gewünschten Teilnehmer wählt und der Zeitdauer entsprechend von der Reichspost mit den Gebühren belastet wird. An das Netz können auch sog. Fernteilnehmer angeschlossen werden. So sind z. B. Firmen in Cuxhaven an Hamburg und Firmen in Leipzig und Dresden an Berlin angeschlossen. Auch nach Zürich erstreckt sich ein Arm des Fernschreibnetzes. Als dritte Art wäre der Telefon-Fernschreibbetrieb zu nennen, der sich über Fernsprechleitungen abwickeln läßt. Dazu ist nur nötig, die Gleichstrom-Impulse des Fernschreibsenders in Wechselstrom-Tonfrequenz-Impulse umzuwandeln. Diese Art wird z. B. in Holland viel benutzt.

Für diese neue Art der Telegraphie läßt sich eine ähnliche Prognose stellen wie für den Fernsprechkverkehr. In immer stärkerem Maße wird sich die Fernschreibmaschine auch im internationalen Verkehr einführen und damit neue Brücken zwischen den Völkern schlagen. Die Technik ist bereit, am Frieden mitzuarbeiten und ein wahrhaft goldenes Zeitalter begründen zu helfen.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Zur Psychologie des produktiven Denkens.
VON KARL DUNCKER. VII u. 135 Seiten mit 27 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1935. Preis RM 9,60.

Der Verfasser der vorliegenden Arbeit ist Schüler von WOLFGANG KÖHLER und von MAX WERTHEIMER und Vertreter der Gestalttheorie. Das behandelte Thema ist für jeden, nicht nur für den Psychologen interessant. Für den Naturwissenschaftler besonders sympathisch ist die klare Umreißung und Beschränkung der zu behandelnden Aufgabe. „Das Komplizierte, schwer Zugängliche an einfachen, handlichen Formen zu studieren, ist die Methode der experimentellen Wissenschaft“, so heißt es in der Einleitung. Freilich fährt der Verfasser mit vollem Recht fort: „Bei dieser Vereinfachung gerade das Wesentliche draußen zu lassen, ist ihre notorische Gefahr. Die experimentelle Psychologie ist dieser Gefahr vor allen anderen Wissenschaften ausgesetzt.“

Der erste Teil des Buches behandelt die Struktur und die Dynamik von Lösungsprozessen, der zweite Einsicht, Lernen und einfaches Finden, der dritte die Gebundenheit des Denkmaterials. Der Verfasser will nicht etwa eine umfassende und allgemeine Darstellung der Gesetze des produktiven Denkens überhaupt geben; er beschränkt das Thema in ganz bewußter, scharfer Weise. Einmal werden nur praktisch-technische und mathematische Denkaufgaben untersucht. Sodann wird im allgemeinen der Ausgangspunkt

und das Ziel vorgegeben; zu finden bleibt der Weg. Die Versuchsperson erhält den Auftrag, bei der Lösung der Aufgabe „laut zu denken“, also nicht den Auftrag zur Selbstbeobachtung, sondern lediglich den, alle Einfälle, und seien sie auch noch so töricht und flüchtig, sofort laut bekannt zu geben.

Besonders eingehend hat der Verfasser die „Bestrahlungsaufgabe“ untersucht; sie lautet: Gesucht wird ein Verfahren, um einen Menschen von einer inoperablen Magengeschwulst zu befreien mit Hilfe von Strahlen, die bei genügender Intensität organisches Gewebe zerstören, unter Vermeidung einer Mitzerstörung der umliegenden gesunden Körperpartien. Die Versuche mit dieser Aufgabe und mit verschiedenen anderen, insbesondere mathematischen, werden ausführlich analysiert.

Worin besteht nun das Finden der Lösung? In erster Linie in der Variation irgend eines kritischen Situationselementes, hervorgerufen durch das Bestreben, geeignete Situationselemente sub specie des Zieles zu betrachten. Zur Situationsanalyse, die als Konfliktanalyse (Warum geht es eigentlich nicht?) und als Materialanalyse (Was kann ich brauchen?) auftreten kann, kommt die Zielanalyse hinzu (Was will ich eigentlich?). Bei solchen Analysen verändert sich auch die psychologische Gesamtstruktur der Situation, und „es ist sehr wahrscheinlich, daß die tiefsten Unterschiede zwischen verschiedenen Individuen be-

züglich dessen, was man Denkfähigkeit, Intelligenz nennt, in Unterschieden der Leichtigkeit solcher Umstrukturierungen begründet sind“ (S. 56).

Ein wesentlicher Begriff ist der der Einsichtlichkeit. „Eine Verknüpfung zweier Gegebenheiten a und b heißt total einsichtlich, wenn unmittelbar aus a entnommen werden kann, daß, wenn a, dann auch b und genau b gilt“ (S. 56). Diese „Einsichtlichkeit“ spielt z. B. eine Rolle bei der Gegenüberstellung des „organischen“ und des „mechanischen“ Beweises in der Mathematik. Hieran schließen sich (im mittleren Hauptteil des Buches) Erörterungen über die Möglichkeit und die Bedeutung echter synthetischer Einsichten mit kritischen Auseinandersetzungen gegenüber Hume, Kant und der neueren Axiomatik an.

Sehr interessant sind auch (im dritten Teil) die Auseinandersetzungen über die funktionale Gebundenheit dinglicher und mathematischer Lösungselemente. (Wovon hängt es ab, ob und in welchem Maße heterogene funktionale Gebundenheit eines Objekts die Findung dieses Objektes erschwert? Beispiel: Der Stock als eigentlicher Stock und als Ast am Baum.)

Die sehr gehaltvolle und interessante Arbeit von DUNCKER verdient weitgehendes Interesse über die Kreise der Fachpsychologen hinaus. Insbesondere kann gerade der Lehrer nicht nur manche ihn beschäftigende Frage unter neuem Aspekt sehen, manche Aufgabe durch DUNCKERS Versuche und Analysen geklärt finden, sondern auch vielerlei unmittelbare Anregung für seinen Unterricht empfangen. *E. Lamla.*

Narrenspiegel der Statistik. Die Umrisse eines statistischen Weltbildes. Von ERNST WAGEMANN. VIII, 255 Seiten mit 29 Diagrammen im Text. Hamburg: Hanseatische Verlagsanstalt 1935. Preis kart. RM 6,80; geb. RM 7,80.

Der Verfasser des vorliegenden Buches, der Präsident des Instituts für Konjunkturforschung, beherrscht nicht nur die Materie in theoretischer und in praktischer Hinsicht auf das gründlichste; er versteht es auch, den Stoff in gefälliger, anregender, geistreicher, oft recht witziger Form darzubieten. Schon die Überschriften der drei Hauptteile geben in ihrer Form einen Vorgeschmack des Stiles; sie lauten „Kunst und Kummer des Zählens“; „Wege und Irrwege des statistischen Vergleichs“; „Verfahren und Verfahrenes der Schätzung“.

Jeder kennt den Satz von der Lügenhaftigkeit, die sich von der Notlüge über die gemeine Lüge bis zur Statistik steigere (die häufige Wiederholung dieses Satzes ist, wie der Verfasser angibt, eine Veranlassung für die Abfassung des Buches gewesen); dem stellt der Verfasser das Wort gegenüber: „Die Statistik ist ein Spiegel; hüte sich hineinzuschauen, vor nicht reinen Herzens ist.“ Gegen Vertrauensmißbrauch ist niemand geschützt; ich erinnere an die Täuschung von Kunstwissenschaftlern durch Gemäldefälscher, an die Irreführung namhafter Naturwissenschaftler etwa bei medizinischen Untersuchungen und an allerlei andere grobe Betrugsfälle. Hier kommt nun als gra-

vierendes Moment hinzu, daß das Gebiet der Statistik die Machtsphären von Politik und Wirtschaft eng berührt, und daß einflußreiche Kreise oft ein wesentliches Interesse an bestimmten Ergebnissen haben. Doch das wird aus der Betrachtung ausgeschieden; Betrug kann nicht durch Belehrung gebannt werden. Wir setzen voraus, daß die Bearbeiter der Statistik „reinen Herzens“ und vertrauenswürdig sind. Das Buch zeigt uns, wie viele und wie verborgene Fußangeln und Wolfsgruben auch dieser „Reinen“ harren, und wie schwer sie zu umgehen sind; es hat die Aufgabe, „ein System der statistischen Begriffsverfälschungen, Widersprüche und Trugschlüsse zu entwickeln“.

Sehr weit und umfassend ist das Gebiet der Statistik: „Keines der uns umgebenden Objekte ist vor ihrer Neugier sicher. Sie sucht sie alle in ihr Netz, in den Bereich der empirischen Zahl, zu ziehen. Wenn es der Statistik in den Sinn kommt, so zählt sie die Fische im Wasser, die Vögel und Insekten in der Luft und alles, was auf Erden krecht. Sie zählt die Menschen und ihre Handlungen, ihre Erzeugnisse und — wenn es sein muß — ihre Exkremente. Sie zählt die Verbrechen ebenso wie die Hochzeitsfeiern, den Tod und seine Ursachen, die Geburt und ihre Mißbildungen, die Erbmerkmale der Pflanzen und die Kreuzungsergebnisse der Tierzüchtung, die Brenndauer der Glühbirnen und die Lichtempfindlichkeit photographischer Platten.“

Im Gegensatz zur Mathematik, der „Wissenschaft der reinen Zahl“, ist die Statistik die Wissenschaft der empirischen Zahl. Das bedeutet nicht nur, daß sie die von ihr behandelten Größen der Erfahrung entnimmt, sondern vor allem auch folgendes: es genügt nicht, daß bei den vorzunehmenden Operationen die mathematischen und logischen Gesetze erfüllt sind; es kommt vielmehr vor allem darauf an zu prüfen, ob die mit den aufgestellten Zahlen vorgenommenen Operationen und Verknüpfungen auch inhaltlich, sachlich berechtigt sind. Das erscheint selbstverständlich, fast trivial; die Erfahrung lehrt aber, daß gerade hier der Teufel lauert, während der formal-mathematische Apparat äußerst einfach ist und sich meist auf die vier Grundrechenarten beschränkt.

Das Material der Statistik gliedert sich in „statistische Massen“. „Wir können die statistische Masse definieren als die Gesamtheit der statistischen Einheiten, die unter einen Begriff fallen.“ Die statistische Masse ist „der zahlenmäßige Inhalt eines empirischen Begriffs“. Das Herbeischaffen der statistischen Grundelemente ist Sache der Erhebungstechnik. Man muß im Buche selbst nachlesen, welche großen Fehlermöglichkeiten schon hier bei diesem ersten Schritt vorliegen, teils infolge von Mißverständnissen, Unklarheiten und sachlichen Schwierigkeiten, teils auch infolge absichtlich falscher Angaben (z. B. verringerte sich in den Jahren 1914–1918 die Anbaufläche in Deutschland von Jahr zu Jahr und war noch 1925 nach der Betriebszählung, die den einzelnen Landwirt befragt, um rund 1000000 ha kleiner als nach den katasteramtlichen Feststellungen). Ist die Erhebung beendet, so folgt die Bildung der statisti-

schen Masse; es muß der passende Ausdruck für sie gefunden werden (Summe, Mittelwert usw.), und auch hier liegen viele Schwierigkeiten.

Dann kommt der zweite, wichtigere und schwierigere Schritt: der statistische Vergleich, die Deutung und Verknüpfung statistischer Massen. Der Verfasser setzt das in Analogie zum Urteilen in der Logik. Hierher gehören daher auch die Irrtümer, die den logischen Falschurteilen und Irrtümern entsprechen. Verfasser belegt das mit sehr reizvollen Beispielen und gibt ein ganzes „Sündenregister“ der Statistik. Wie es in den anderen Wissenschaften darauf ankommt, zu Schlußfolgerungen über Tatbestände zu gelangen, die nicht direkt gemessen worden sind, so ist hier die „Schätzung“ (und damit in gewissem Umfang eine Prognose) das Ziel. Unter Schätzung versteht man „die Bestimmung einer Größe auf Grund von Schlußfolgerungen zahlenmäßiger Art statt durch direkte Feststellungen, wie sie im Messen und Zählen bestehen“. Hierzu dienen die Repräsentation (Darstellung der Gesamtmenge durch eine untergeordnete Teilmenge), die Inklusion, ihre Umkehrung (Schluß vom Ganzen auf einen Teil), und endlich die Substitution (Vertretung einer Menge durch eine gleichgeordnete). Es ist im Rahmen eines kurzen Referates nicht möglich, auf die verschiedenen hier möglichen Irrwege auch nur hinzuweisen, die vom Verfasser mit guten, zum Teil auch geschichtlich bedeutsamen Beispielen belegt werden (Volkseinkommen und Reparationen; Statistik im U-Boot-Krieg u. v. a.).

In den Schlußbetrachtungen geht Verfasser ein auf das Verhältnis der Gesetze, denen die statistischen Massen gehorchen, zu den Gesetzen, die für das einzelne Grundelement gelten, und auf jene merkwürdige Tatsache, daß wir Massen verschiedenartigster Herkunft nach gleichen Regeln behandeln können. Er zeigt an einem zeitgenössischen Zitat, welches Aufsehen es im 18. Jahrhundert erregte, als man zuerst große bevölkerungsstatistische Zusammenhänge erkannte (Sterblichkeitsuntersuchungen). Er kommt dann weiter auf die Probleme der Kausalität und der Willensfreiheit und gibt dabei auch allerlei Ausblicke auf die moderne Physik. Dazu ist allerdings zu sagen, daß die Entwicklung der Physik noch so im Fluß ist, daß sie zu diesen Fragen nicht mehr als Anregungen beisteuern kann.

Alles in allem liegt ein Buch vor, das allgemeines Interesse verdient. Ich möchte es nicht nur den Lesern dieser Zeitschrift, sondern auch den Kollegen aller anderen Fakultäten auf das wärmste empfehlen; denn es gibt in gefälliger und doch klarer Form einen wirklich tiefen Einblick in die Aufgaben und die Schwierigkeiten der Statistik. Dem Naturwissenschaftler zeigt es überdies, daß die mit dem Wort „Statistik“ verbundenen Begriffe in der Physik und in den Sozialwissenschaften eine Reihe Unterschiede aufweisen, die wohl beachtet werden müssen. Dagegen tauchen in der Biologie und vor allem in der Anthropologie (worauf der Verfasser nicht eingeht) Probleme auf, die mit den im Buche behandelten stärker

verwandt sind als die physikalischen. Ein Buch, das wie das vorliegende zugleich so unterhaltend wie belehrend und anregend wirkt, wird niemand ohne Genuß und Gewinn aus der Hand legen.

E. Lamla.

Die Sterne. Monatsschrift über alle Gebiete der Himmelskunde. Herausgegeben von Dr. HERMANN BRÜCK und Dr. ROLF MÜLLER. 16. Jahrgang, Doppelheft 4/5. Leipzig: Johann Ambrosius Barth. Halbjährlich RM 5,— zuzüglich RM 0,40 Porto.

Die Zeitschrift will auch nach Lösung vom „Bund der Sternfreunde“ einem weiteren Leserkreise, namentlich ersten Freunden und systematisch arbeitenden Liebhabern der Astronomie dienen. Das vorliegende Heft bringt unter anderem von NÖLKE-Bremen den ersten Teil einer kritischen Darstellung über die Entwicklung der Monde; UHINK-Potsdam berichtet über die Schwankungen des Ganges von Quarzuhren des geodätischen Instituts in Potsdam, die wahrscheinlich nur scheinbar sind und durch Schwankungen der Rotationsgeschwindigkeit der Erde hervorgerufen werden; KOHLSCHÜTTER versucht, Ursache und Gesetzmäßigkeit von Präzession und Nutation elementar darzustellen. Den Benutzern kleinerer Instrumente wird gedient durch: NIKLITSCHKE-Wien. Ein einfaches photographisches Sonnenfernrohr; ROLF MÜLLER, Die Nordpolarfolge; SPANGENBERG, Die Venus während der unteren Konjunktion. Beiträge dieser Art dürften dem gesteckten Ziel entsprechen, und sie können zum Teil nutzbringend im Unterricht verwandt werden. J.

Grimshels Lehrbuch der Physik zum Gebrauch beim Unterricht, neben akademischen Vorlesungen und zum Selbststudium. Erster Band: Mechanik, Wärmelehre, Akustik. 9. Aufl. 1936. Vollständig neu bearbeitet von Prof. Dr. R. TOMASCHKE. VII und 674 Seiten. Mit 740 Abbildungen. Formatgr. 8°. Preis geb. RM 19,80.

Die neue Auflage des „Grimshel“ zeigt wieder eine Reihe Verbesserungen. Der Text ist fast überall knapper geworden, ohne daß dadurch die Verständlichkeit oder die dargebotene Stoffmenge geringer geworden wäre. Die kürzere Darstellung ist zum Teil die Folge einer neuen Stoffgruppierung, durch die gleichzeitig der innere Zusammenhang der einzelnen Gebiete enger geworden ist. Die erzielte Raumersparnis wurde dazu benutzt, einige Gebiete etwas ausführlicher darzustellen, bei denen neuere Fortschritte und erhöhtes Interesse eine größere Ausführlichkeit erwünscht erscheinen ließen. So wurde die Akustik fast um die Hälfte ihres bisherigen Umfanges vermehrt, und die Abschnitte über die Strömung der Flüssigkeiten und Gase und die Grundlage des Fliegens wurden fast ganz neu geschrieben. Sehr zu begrüßen ist, daß hierbei auf die physikalischen Tatsachen bedeutend stärker eingegangen ist, als es in Darstellungen der Flugphysik sonst oft der Fall ist. Neu ist ferner ein Abschnitt über die Ballistik, und neu geschrieben wurde die Behandlung der Drehbewegungen.

Die Ausstattung des Buches ist wie immer vorzüglich; einige der älteren Bilder wurden durch bessere ersetzt und eine ganze Anzahl neuer ist hinzugekommen.

Eine besondere Empfehlung erübrigt sich wohl; das Buch ist jedem Physiker schon von der Studienzeit her bekannt und dem Physiklehrer zu einem fast unentbehrlichen Nachschlagewerk geworden. In der neuen Auflage hat der Bearbeiter es verstanden, das Werk unter vollster Wahrung aller Vorzüge, die den „Grimsehl“ so beliebt gemacht haben, den Fortschritten der Wissenschaft anzupassen und es zu einem im besten Sinne „modernen“ Buch zu machen. *J. Rademacher.*

Die mathematischen Hilfsmittel des Physikers. Von ERWIN MADELUNG. Unter Mitarbeit von KARL BOEHLE und SIEGFRIED FLÜGGE. Band IV der Sammlung: Die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften, herausgegeben von R. COURANT. Dritte vermehrte und verbesserte Auflage. XIII, 381 Seiten mit 25 Abbildungen im Text. Berlin: Julius Springer 1936. Preis geh. RM 27,—; geb. RM 28,80.

Die erste Auflage des Buches ist 1922 erschienen [vgl. diese Zeitschrift 36, 211 (1923)]. Seit dieser Zeit ist der mathematische Apparat, den der Physiker nötig hat, besonders unter dem Einflusse der Wellenmechanik beträchtlich größer geworden. Diesem Umstande trägt die neue Auflage Rechnung; außerdem sind verschiedene Teile des Buches ergänzt und auch auf ihre mathematische Exaktheit hin (unter Mitarbeit eines Mathematikers) durchgesehen worden. Der Umfang des Buches ist dabei gegenüber der ersten Auflage etwa um die Hälfte angewachsen. Im ersten (mathematischen) Teil werden behandelt: Differential- und Integralrechnung, Reihen und Reihenentwicklung, Funktionen, Algebra, Transformationen, Vektoranalysis, spezielle Koordinatensysteme, Gruppentheorie (einschließlich Darstellungstheorie), Differential- und Integralgleichungen, Variationsrechnung, Wahrscheinlichkeitsrechnung. Der physikalische Teil ist gegliedert in Mechanik, Elektrodynamik (mit Optik), Relativitätstheorie, Quantentheorie, Thermodynamik, statistische Methoden. Ein Anhang bringt als erwünschte Zugabe Beispiele und Anwendungen; ein Literaturverzeichnis macht den Schluß.

Der Wert des Buches ist durch die Neubearbeitung noch wesentlich gesteigert worden. Das Buch ist kein Lehrbuch, aber doch auch durchaus weit mehr als eine bloße Formelsammlung; es orientiert in gut verständlicher Weise über alle Gebiete. Man findet in jedem Abschnitt die wichtigen Definitionen und Formeln und dazu einen zwar kurzen, aber klaren und ausreichenden verbindenden Text. Dazu kommt die außerordentlich große Reichhaltigkeit, so daß man das Buch ohne Einschränkung als ein vorzügliches Hilfsmittel für den Physiker bezeichnen kann. *E. Lamla.*

Die Welt des Lichtes. Von Sir WILLIAM BRAGG. Aus dem Englischen übersetzt von GÜNTHER

NAGELSCHMIDT. VII, 222 Seiten mit 110 Abbildungen im Text und 26 Tafeln. Braunschweig: F. Vieweg & Sohn 1935. Preis geh. RM 5,—; geb. RM 6,60.

Das Buch ist in folgende Abschnitte gegliedert: „Was ist Licht“? „Auge und Sehen“; „Farbe“; „Die Entstehung der Farben“; „Die Farben des Himmels“; „Die Polarisation des Lichtes“; „Das Licht der Sonne und der Sterne“; „Die Röntgenstrahlen“; „Welle und Korpuskel“. Will man es gerecht beurteilen, so muß man den Satz aus dem Vorwort beachten: „Der Titel dieses Buches ist der gleiche wie der einer Reihe von Vorlesungen, die ich Weihnachten 1931 in der Royal Institution gehalten habe. Solche Vorträge werden alljährlich seit mehr als 100 Jahren für eine Hörschaft veranstaltet, die hauptsächlich der Jugend entstammt...“. Für Jugendliche ist der Text geschrieben: schlicht, klar, eindringlich ist der Vortrag (nicht dichterisch beschwingt, wie etwa in den Büchern von EDDINGTON oder JEANS); er zeigt, daß der Verfasser nicht nur ein großer Forscher, sondern auch ein guter Lehrer ist. Alles Mathematische ist vollkommen vermieden, quantitative Angaben werden nicht gemacht; die Versuche werden anschaulich beschrieben und durch gute Abbildungen erläutert (die beiden farbigen Tafeln sind freilich sehr wenig überzeugend). Das Buch ist als Einführung für Nichtphysiker und vor allem auch für ältere Schüler recht gut geeignet, zumal bei dem für die Ausstattung recht billigen Preis.

Freilich ist gerade zu dem letzten Satz noch eine Anmerkung zu machen. Der Text ist für englische Jugend geschrieben; so erklärt es sich wohl, daß bei geschichtlichen Angaben die englischen Forscher stark bevorzugt werden. Nicht, als ob deutsche Namen überhaupt nicht erwähnt würden; aber es bleiben z. B. bei der Spektralanalyse BUNSEN und KIRCHHOFF ungenannt, ebenso HEINRICH HERTZ bei der Besprechung der Gleichheit von Licht und elektrischen Wellen, HALLWACHS und LENARD beim Photoeffekt, PLANCK (und ebenso übrigens auch DE BROGLIE) beim Kapitel „Welle und Korpuskel“. Der Übersetzer hätte hier eingreifen sollen. *E. Lamla.*

Einführung in die Elektrizitätslehre. Von R. W. POHL. Vierte, großenteils neu verfaßte Auflage. VIII, 268 Seiten mit 497 Abbildungen im Text. Berlin: Julius Springer 1935. Preis geb. RM 13,80.

Das allen Physiklehrern wohlbekannte Buch von POHL ist 1927 in erster Auflage erschienen; 1935, also nur 8 Jahre später, liegt bereits die vierte vor. Ein glänzenderes objektives Zeugnis für den Wert des Buches kann es kaum geben. Die erste Auflage ist in dieser Zeitschrift [41, 53 (1928)] ausführlich, die dritte [44, 229 (1931)] kurz besprochen worden. Die jetzige Auflage ist völlig neu bearbeitet worden. Vieles ist neu hinzugekommen (besonders in den Kapiteln über Materie im elektrischen und im magnetischen Feld sowie im Kapitel über Radioaktivität); dafür ist

aber anderes gekürzt oder gestrichen worden, so daß — eine besonders erfreuliche Tatsache! — der Gesamtumfang im wesentlichen unverändert geblieben ist. Die Reihenfolge ist: statisches elektrisches Feld, Verknüpfung von Magnetfeld und Strom, die beiden Formen des Induktionsversuches, die Untersuchung der Leitungsvorgänge, die elektrischen Wellen, das Relativitätsprinzip. Die Benutzung moderner technischer Hilfsmittel, auch schon im Anfang, ist nur eine zeitsparende Äußerlichkeit. „Ich habe ja auch die Gesänge Homers aus einem gedruckten Text gelernt und nicht nach dem festlichen Vortrag eines Rhapsoden.“

Es ist allgemein bekannt, welchen starken Einfluß das POHLSche Buch auf den Physikunterricht an höheren Schulen und auf die Schullehrbücher gehabt hat und weiter hat, und daß das Buch für den Physiklehrer eine Fundgrube von Anregungen ist. Das zuletzt Gesagte gilt auch von der neuen Auflage in vollem Maße. Der Leser findet eine Fülle neuer hübscher Versuche und Anordnungen (man vergleiche z. B. die Kapitel über elektrische Leitung, über elektrische Felder in der Grenzschicht u. v. a.). Und obwohl eine Empfehlung des Buches ja eigentlich einem Transport von Eulen nach Athen gleichkommt, möchte ich doch jedem Physiklehrer, dem angehenden wie dem im Amt befindlichen, das Studium der POHLSchen Elektrizitätslehre dringend ans Herz legen.

E. Lamla.

Elektrische Messungen. Von Oberingenieur WERNER SKIRL. Siemens-Handbuch, 6. Band, 2. Auflage. 802 Seiten, 711 Abbildungen, 15 Tafeln. Berlin u. Leipzig: Walter de Gruyter & Co. 1936. Preis in Leinen geb. RM 15,—.

Der weitaus überwiegende Teil der Meßtechnik auf allen Gebieten bedient sich elektrotechnischer Methoden. Infolgedessen findet das vorliegende Werk einen sehr großen Leser- und Interessentenkreis. Aus der Praxis für die Praxis geschrieben, ist die Behandlungsart des Stoffes eine derartige, daß der Leser für jeden Einzelfall alles für ihn Wissenswerte in unmittelbar anwendbarer Form findet. Das ist sehr zu begrüßen.

Der Inhalt ist so umfassend, daß es sich erübrigt, die Inhalte der einzelnen Kapitel aufzuzählen. Es wird schlechthin alles ausführlich und bis ins einzelne gehend besprochen, was in der Stark- und Schwachstromtechnik gemessen werden kann und muß. Dabei ist vielleicht das Kapitel über die Oszillographen für Schwingungsmessungen ein wenig stiefmütterlich weggekommen. Etwas ausführlichere Hinweise auf die Anwendungsmöglichkeiten dieser Geräte bei der Aufzeichnung mechanischer Schwingungen und Druckschwankungsvorgänge wären wünschenswert. Die sehr wichtige BRAUNsche Röhre als Kathodenstrahlloszillograph ist auch reichlich kurz gestreift und nicht in allen Ausführungsarten und in Bezug auf alle Anwendungsmöglichkeiten geschildert. Es sei hier z. B. hingewiesen auf ihre Verwendung als Indikator für Kolbenkraftmaschinen in Verbindung mit Kristallelementen,

wobei der Kathodenstrahl durch die elektrische Ladung von Kondensatorplatten gesteuert wird. Diese Hinweise mögen nur als Wunsch für eine Neuausgabe gewertet werden; denn im übrigen ist der Stoff sehr erschöpfend und gründlich behandelt worden.

Die Ausstattung des Werkes ist gut, die Zeichnungen und Abbildungen sind sehr klar und leicht verständlich.

Das Werk ist für jeden wissenschaftlich und auf dem Versuchsstand arbeitenden Ingenieur und Physiker kaum entbehrlich, um so mehr, als auch akustische und optische Messungen behandelt werden.

Holm.

Atomtheorie. Von ARTHUR HAAS. Dritte, völlig umgearbeitete und wesentlich vermehrte Auflage. VIII, 292 Seiten mit 81 Abbildungen im Text und auf 5 Tafeln. Berlin u. Leipzig: W. de Gruyter 1936. Preis geh. RM 8,50; geb. RM 10,—.

Die zweite Auflage des Buches ist 1929 erschienen und in dieser Zeitschrift [43, 183 (1930)] ausführlich besprochen worden. Die vorliegende dritte Auflage „enthält zahlreiche neue Abschnitte, in denen vor allem die großen Fortschritte der Kernphysik behandelt werden, daneben aber auch die mannigfachen neuen Erkenntnisse auf den Gebieten der Korpuskularstrahlung, der Spektroskopie und der Struktur der Atomhüllen“. Das Buch behandelt in 7 Kapiteln Elektronen, Atome und Lichtquanten; Grundlagen der Atommechanik; Spektren der Atome; Röntgenstrahlen; Atomkerne (hierher gehören auch die Ausführungen über Positronen, Neutronen, Kernzertrümmerung, künstliche Radioaktivität, GAMOWsche Theorie, kosmische Strahlung); Molekeln; Wechselwirkung zwischen Licht und Materie. Ein Anhang gibt eine kurze Zusammenfassung des Inhalts der einzelnen Kapitel und Paragraphen.

Das über die zweite Auflage Gesagte gilt auch hier: der Text ist klar, anschaulich und leicht verständlich; besondere Anerkennung verdient das große Geschick, mit dem der Verfasser auch das Theoretische darlegt, obwohl er dabei die mathematische Formelsprache äußerst sparsam benutzt und meist fast ganz vermeidet. Die Figuren und besonders die 5 Tafeln mit Reproduktionen von Originalaufnahmen verschiedener Autoren sind ausgezeichnet. Alles in allem liegt ein Buch vor, das trefflich als erste Einführung in das Gebiet dienen kann, und von dem man mit dem Verfasser nur wünschen kann, daß es nicht bloß von Physikern benutzt wird, „sondern auch von Laien, die sich etwas eingehender mit der Atomtheorie zu beschäftigen wünschen“.

E. Lamla.

Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaften. Zwei Vorträge von WERNER HEISENBERG. 45 Seiten. Leipzig: S. Hirzel 1935. Preis geh. RM 2,—.

Das Heftchen enthält zwei Vorträge. Den ersten, „Wandlungen der Grundlagen der exakten Naturwissenschaft in jüngster Zeit“, hat der Verfasser 1934 vor der Gesellschaft Deutscher Natur-

forscher und Ärzte gehalten. Er schildert hier die neue Einstellung zu den Grundlagen der Physik, die die Relativitätstheorie und vor allem die Quantentheorie herbeigeführt hat. Die Störung, die mit jeder Beobachtung verbunden ist, enthält einen „prinzipiell unkontrollierbaren Teil“; hieraus ergibt sich das Auftreten von Zusammenhängen statistischen Charakters. Die hierdurch bedingte Wandlung der Auffassung ist nach Ansicht des Verfassers keine vorübergehende Krise, sondern eine endgültige Wandlung.

Der zweite Vortrag, „Zur Geschichte der physikalischen Naturerklärung“, gehalten 1932 vor der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, zeigt auf, wie seit den Tagen der griechischen Naturphilosophen bis auf unsere Zeit die Physik immer mehr den mathematisch-formalen Kern eines Vorgangs herausgeschält hat unter Verzicht darauf, die Phänomene unserm Denken unmittelbar lebendig zu machen.

E. Lamla.

Die Naturwissenschaft auf neuen Bahnen. (New pathways in science.) Von A. S. EDDINGTON. Aus dem Englischen übersetzt von WILHELM WESTPHAL. VII und 319 Seiten mit 4 Tafeln. Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn 1935. Preis geh. RM 10,—; geb. RM 12,—.

Ein eigenartiges, sehr inhaltreiches, sehr anregendes und geistreiches Buch liegt hier vor, über das sich schwer mit wenigen Worten berichten läßt. Es enthält den Inhalt von Gastvorlesungen, die EDDINGTON 1934 an der Cornell-Universität gehalten hat, mit einigen Ergänzungen. Es ist für einen größeren Kreis, nicht nur für Fachleute bestimmt, und ein solches Buch muß „so gehalten sein, daß es exakte Gedanken in nicht exakter Sprache vermittelt“ (S. 265).

Es ist in 14 Kapitel geteilt. Die ersten 6 davon (Naturwissenschaft und Erfahrung; Die Mitwirkenden; Das Ende der Welt; Der Niedergang des Determinismus; Indeterminismus und Quantentheorie; Wahrscheinlichkeit) behandeln hauptsächlich erkenntnistheoretische Probleme. „Der wahrnehmende Teil meines Geistes erzählt mir eine Geschichte von einer mich umgebenden Welt.“ Sie handelt von Farben, Klängen, Gerüchen usw.; aber die Physik hat gezeigt, daß man auf diesen „Geschichtenerzähler“ kein zu großes Vertrauen setzen darf. Die Frage ist, wie man das „Kryptogramm“ der Natur entziffern kann, dessen Spuren wir in den Beobachtungen vor uns haben. Gegenstand des Forschens ist die Struktur (S. 15). Jede Vorstellung, die ich vom Existieren habe, ist von meiner eigenen Existenz abgeleitet, und man kann sagen: „Die Außenwelt, wie sie („Irrtum vorbehalten“) in der Physik beschrieben wird, die gibt es wirklich“ (S. 24). Das Problem des Determinismus wird auch in den beiden Schlußkapiteln (Kritiken und Kontroversen; Ausklang) von neuem beleuchtet und behandelt. Immer wieder betont der Verfasser in verschiedener Form: „Es wird nicht behauptet, daß der Determinismus widerlegt ist. Was wir behaupten, ist, daß die Physik sich nicht mehr auf den Determinismus gründet“ (S. 69). Darin wird man dem Ver-

fasser durchaus zustimmen können; denn tatsächlich gründet sich die gegenwärtige Quantenmechanik nicht auf den Determinismus. Sehr fein und treffend wird das Verhältnis von Relativitätstheorie und Quantenmechanik geschildert.

In den folgenden 4 Kapiteln (Der Bau der Sterne; Inneratomare Energie; Kosmische Wolken und Nebel; Die Expansion des Weltalls) behandelt der Verfasser astronomische Fragen. Er bespricht den Wärmehaushalt des Sternes und die Rolle, die der Wasserstoff und das Neutron (das „Isotop von Nichts“) dabei spielen, zeigt die überragende Bedeutung der inneratomaren Energie für den Wärmehaushalt (Kernumwandlungen), kommt dann zu den Wolken und Nebeln und schließlich zu einem Hauptproblem der modernen Astronomie, der Expansion des Weltalls. Hier, wo oft schon auf spärlichem Beobachtungsmaterial eine Hypothese aufgebaut werden muß, betont der Verfasser: „Beobachtung und Theorie fahren immer am besten, wenn sie vereint auftreten.“ Er geht freilich noch weiter. Dem „gesunden Grundsatz“, daß man kein übergroßes Vertrauen auf eine Theorie setzen soll, solange sie nicht durch die Erfahrung bestätigt ist, stellt er den anderen „gesunden Grundsatz“ gegenüber, „daß man kein übergroßes Vertrauen auf Beobachtungsergebnisse setzen soll, solange sie nicht durch die Theorie bestätigt worden sind“ (S. 200).

Das nächste Kapitel (Die Naturkonstanten) enthält interessante und geistreiche Gedanken und Spekulationen des Verfassers über die (vom Verfasser behauptete) Möglichkeit, aus den Konstanten e (Elementarquantum), m und M (Massen von Elektron und Proton), h (PLANCKSche Konstante), c (Lichtgeschwindigkeit), G und λ (allgemeine Gravitations- und kosmische Konstante) jede andere Konstante zu berechnen, die sich in den Naturerscheinungen zu erkennen gibt. Ob das richtig ist, ob sich also aus der (bisher freilich noch nicht eigentlich vollzogenen) Verknüpfung von Relativitätstheorie und heutiger Quantenmechanik alle Naturerscheinungen werden erklären lassen, muß der Zukunft überlassen bleiben.

Das 12. Kapitel bringt eine anschauliche Einführung in die Begriffe der Gruppentheorie, die ich für ausgezeichnet halte.

Zum Schluß werden die erkenntnistheoretischen Betrachtungen noch einmal aufgenommen und durch Ausblicke auf das Religiöse und überhaupt das Seelische erweitert. Auch diese Kapitel sind höchst lesenswert. Verfasser weist hin auf „die tiefe Kluft, die unser Verständnis für die verwickeltste Form anorganischer Materie von unserem Verständnis für die einfachste Form des Lebendigen trennt“; er sieht ein Hauptmerkmal des Menschen darin, daß er ein Geschöpf ist, „dem es darauf ankommt, daß das, was es denkt und glaubt, auch wahr ist“ (S. 298); und er zeigt, „daß gewisse Schwierigkeiten, die einer Versöhnung der Religion mit der Physik entgegenstanden, beseitigt sind“ (S. 291).

Der kurzen Übersicht, die die überreiche Fülle des Inhalts nur ahnen läßt, sei noch hinzugefügt,

daß das Buch, wie alle Schriften EDDINGTONS, in glänzendem Stile geschrieben ist: geistreich, sprühend, anschaulich. Der Verfasser, der ja zugleich auch ein Wissenschaftler von höchstem Rang ist, ist ein Meister der Kunst, schwierige Gedankengänge und Zusammenhänge in einfacher, klarer, bildhafter Sprache darzustellen. Immer ist die Lektüre dabei spannend und interessant. Als Beispiel für den amüsanten Teil gebe ich zum Schluß ein „Rezept zur Zubereitung von Milchstraßen“ (S. 195): „Man nehme etwa 10000 Millionen Sterne und verteile sie so, daß das Licht im Durchschnitt 4 bis 5 Jahre braucht, um von dem einen bis zum nächsten zu kommen. Dann mische man etwa die gleiche Menge Materie in Gestalt eines diffusen Gases unter die Sterne, rolle das Ganze flach aus und versetze es in seiner eigenen Ebene in Drehung.“

Ich glaube, das Buch bedarf keiner Empfehlung. Die Übersetzung ist von W. WESTPHAL in vorzüglicher Weise besorgt worden. E. Lamla.

Molekülspektren und ihre Anwendungen auf chemische Probleme. Von H. SPONER. Band I: Tabellen, 154 Seiten. Band II: Text, 506 Seiten, 87 Abbildungen. (Band XV und XVI der Monographiensammlung „Struktur und Eigenschaften der Materie“, herausgegeben von F. HUND und H. MARK). Berlin: Julius Springer 1935 und 1936. Preis geh. RM 16,— und RM 36,—, geb. RM 17,60 und RM 37,80.

Unsere heutigen Anschauungen vom Atom- und Molekülbau sind entscheidend durch die Untersuchungen der Atom- und Molekülspektren beeinflusst worden; auch bei der Behandlung vieler chemischen Probleme hat sich die Verwendung spektroskopischer Ergebnisse als nützlich erwiesen. In diesem Buch ist daher eine Darstellung der Molekülspektren unter diesem Gesichtspunkte versucht worden.

Im Band II wird nach einer kurzen Einführung in die Atomspektren nach der alten Quantentheorie und in die Quantenmechanik die Theorie der Molekülspektren behandelt, die etwa die Hälfte des Bandes umfaßt. In den weiteren Kapiteln, die mehr den praktischen Anwendungen gewidmet sind, wird die Bestimmung chemisch wichtiger Größen (Dissoziationsarbeit, spezifische Wärme usw.) aus Bandenspektren besprochen, weiterhin folgen Kapitel über chemische Bindung und Wertigkeit, Molekülanregung durch Stöße, photochemische Reaktionen.

Der Band I umfaßt die Tabellen, nach denen es möglich ist, sich schnell und vollständig über bereits bearbeitete Spektren zu orientieren. Folgende vier Gruppen sind unterschieden: 1. Konstanten für Spektren zweiatomiger Moleküle, 2. Daten für Ultrarot- und Ramanspektren mehratomiger Moleküle, 3. Daten für Elektronenspektren mehratomiger Moleküle, 4. Daten für Elektronenstoßprozesse in Molekülen. Scharf.

Die quantitative organische Mikroanalyse. Von FRITZ PREGL. 4. neubearbeitete und erweiterte Auf-

lage von Dr. HUBERT ROTH. XIII und 328 Seiten mit 72 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1935. Preis RM 24,—; geb. RM 26,—.

Die organische Mikroanalyse ist in den letzten 25 Jahren von ihrem Begründer PREGL und nach seinem Tode von seinen Schülern und Mitarbeitern mit erstaunlicher Gründlichkeit und zu größter Zuverlässigkeit ausgebaut worden. Die großen Fortschritte, die auf dem Gebiete der Ferment-, Vitamin- und Hormonforschung gemacht worden sind, wären ohne die organische Mikroelementaranalyse nicht möglich gewesen. Bei diesen Mikroanalysen handelt es sich ja bekanntlich oft um die Zusammensetzung verschwindend geringer Stoffmengen. Die Tatsache, daß jetzt mit Hilfe der mikrochemischen Waage von KUHLMANN oder von BUNGE Elementaranalysen mit Substanzen bis zu 2 mg herab noch mit einer Wägenauigkeit von 2 γ einfach und sicher ausgeführt werden können, hat der chemischen Forschung neue Antriebe verliehen und geradezu eine neue Epoche der chemischen Elementaranalyse eingeleitet.

Genaue Anweisungen über den Bau, die Aufstellung und die Handhabung der mikrochemischen Waage leiten daher die Schrift ein, die im übrigen in drei Abschnitte zerfällt und unter A. die Bestimmung der Elemente, unter B. die der generellen Gruppen und unter C. die der physikalischen Konstanten beschreibt. Die Elemente werden in den meisten Fällen in der gleichen Weise bestimmt wie bei der makrochemischen Elementaranalyse. So schließt sich die Kohlenstoffwasserstoffbestimmung ganz eng an die Makromethoden an; die Mikro-DUMAS- und KJELDAHL-Methoden erfordern in den Einzelheiten zahlreiche Abänderungen, die den veränderten Verhältnissen in Bezug auf Stoffmengen und Mikrogerätschaften Rechnung tragen. Die Halogene und der Schwefel können nach der CARIUSSCHEN Methode im Bombenrohr bestimmt werden; doch hat sich in besonderen Fällen die Verbrennung der Substanz im PREGLSCHEN Perlen- oder Spiralarohr mit Platinkatalysator als zuverlässiger erwiesen.

Für die Ermittlung der Konstitution winziger Stoffmengen sind zahlreiche gebräuchliche Verfahren für die besonderen Mikrozwecke umgestaltet und ebenso viele neu ausgearbeitet worden, welche die quantitative Bestimmung von charakteristischen Atomgruppen gestatten. Dahin gehören z. B. Methoden zur Ermittlung des Mikroäquivalents (Carboxylgruppen), des aktiven Wasserstoffs, der primären Aminogruppen, der Methoxyl- und Äthoxyl-, der Acetylgruppen und der Doppelbindungszahl durch katalytische Mikrohydrierung. Zu jedem dieser Verfahren werden die geschichtlichen und experimentellen Grundlagen, die erforderliche Apparatur, die Reagenzien, die Ausführung und Berechnung der Analysen beschrieben.

Im letzten Abschnitte, der die Beschreibung der Mikromethoden zur Bestimmung der physikalischen Konstanten zum Gegenstande hat, erregen die Molekulargewichtsbestimmungen nach

der Methode der Schmelzpunktniedrigung (RAST) und nach der osmotischen Methode (BARGER) sowie die Bestimmung der Absorptionsspektren mit Hilfe des lichtelektrischen Spektralphotometers von R. W. POHL das besondere Interesse des Lesers. — Von dem Buche, das als praktische Anleitung zur Ausführung der mikrochemischen Elementaranalyse zu betrachten ist, liegt trotz des naturgemäß noch kleinen Benutzerkreises bereits eine 4. Auflage vor. Daraus darf wohl der Schluß gezogen werden, daß die bahnbrechenden PREGLschen Arbeiten, die „den größten Fortschritt auf dem Gebiet der organischen Elementaranalyse seit J. v. LIEBIGS Zeiten darstellen“, auch über den Kreis der praktischen Benutzer hinaus stärkstem Interesse begegnen.

Dm.

Erdöl. Von KARL KREJCI-GRAF, Berlin-Lichterfelde. Band 28 der Sammlung „Verständliche Wissenschaft“. VIII und 164 Seiten. Mit 30 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1936. Preis geb. RM 4,80.

Die kleine Schrift ist hauptsächlich der Entstehung des Erdöls und seiner Lagerstätten gewidmet und behandelt das Vorkommen, das Aufsuchen, die Gewinnung und Verarbeitung des Erdöls nur kurz nebenher. Es ist dem Verfasser darum zu tun, an Stelle der veralteten und vielfach noch wirren Vorstellungen über Entstehung und Lagerstätten des Erdöls, die bis weit in die Kreise der Erdölfachleute hinein festzustellen sind, die Ansichten zu verbreiten, die auf den neuesten Erkenntnissen der Seenkunde, der Hydrobiologie und der Geochemie fußen.

Die Erläuterung der geologischen Zusammenhänge der Erdölverteilung in der Erdkruste, der Ablagerungsbedingungen der Gesteinsschichten nach Gesteinsart und Ablagerungsform nach dem Bestand an pflanzlichen und tierischen Resten, sowie die Beschreibung der Beziehungen zwischen den Ablagerungsbedingungen der Gesteinsschichten und ihrer Erdölführung begründen die Feststellung, daß das Erdöl in die Schichten eingewandert ist, als diese ihre heutige übereinanderlagerung bereits erreicht hatten. Eingehend werden die Gesetze besprochen, nach denen auf Grund der neueren Forschungen (POTONIÉ, WASMUND, THIENEMANN) sich organische Substanz in heutigen Seen und Meeren ablagerst, anreichert und erhält. Es wird die Übereinstimmung dieser Ablagerungen mit denen gezeigt, in denen wir erdölverwandte Stoffe in versteinertem Zustande finden. Die beiden Haupttypen organischer Ablagerungen in stehenden Gewässern sind die stickstoffarme, aus sauerstoffhaltigem Wasser abgesetzte Gytija und der in sauerstoff-

freiem Wasser entstandene stickstoffreichere Faulschlamm.

Sowohl aus dem charakteristischen Metallgehalt des Erdöls wie vor allem aus der Zusammensetzung der Stoffe, die mit dem Erdöl in seinem Begleitwasser verbunden sind, wird der Schluß gezogen, daß das Erdöl ein Erzeugnis aus dem Faulschlamm einer früheren Meeresbucht darstellt. Die organischen Begleitstoffe wie Hormone, Sterine, Porphyrine u. a. beweisen, daß eine anorganische Entstehung des Erdöls nicht in Frage kommt. Die jungtertiären Ablagerungen am Kaukasus, denen das Erdöl von Baku seine Entstehung verdankt, werden als Faulwasserablagerungen eines einst größeren Schwarzen Meeres angesehen. Die heute fortdauernde Faulschlammabildung im Schwarzen Meere bildet die lückenlose Beweiskette von den heutigen zu den jungtertiären Ablagerungen und von diesen zum Erdöl.

Die kleine Schrift zeichnet sich durch geschickte methodische Behandlung des Stoffes und durch fließende und anschauliche Darstellung aus. Sie erscheint auch äußerlich in einer ansprechenden Form, so daß sie den Fachlehrern der Chemie und Biologie an höheren Schulen bestens empfohlen werden kann.

Dm.

Carl Wilhelm Scheele. Von OTTO ZEKERT. Gedenkschrift zum 150. Todestage. 57 Seiten. Mit 1 Bildnis C. W. SCHEELES. Wien: Julius Springer 1936. Preis RM 2,70.

Die kleine Gedenkschrift stellt den Inhalt eines Vortrages dar, den der Verfasser im April 1936 in Wien und im Mai in Stralsund gehalten hat. Es wird ein kurzer Bericht über SCHEELES Leben und Persönlichkeit gegeben, sowie über seine bedeutendsten wissenschaftlichen Arbeiten an der Hand des umfassenderen Werkes von ZEKERT über Leben und Werke SCHEELES (Mittenwald: Arthur Nemayer 1934). Die Schrift läßt in sehr geschickter Darstellung das Leben dieses schlichten und einfachen Mannes an uns vorüberziehen und zeigt uns, wie ein genialer Forscher unbeirrt seine Wege geht und Entdeckung an Entdeckung reiht, die Wissenschaft selbst dann noch bereichernd, wenn er einmal auf irrigen Vorstellungen weiterbaut. Glänzende Berufungen, wie die durch Friedrich den Großen, lehnte SCHEELE ab, „denn weder Belohnung noch die Hoffnung, auf fremdem Boden mehr geehrt zu werden, sind hinreichend starke Verlockungen für einen Mann, der es sich als den größten Gewinn anrechnet, seine Pflicht zu tun und sich zu bescheiden“. Dieses Lebensbild eines echten deutschen Forschers — er war ja in Pommern geboren, wenn er auch in Schweden wirkte — wird auch für reifere Schüler ein wertvoller Lesestoff sein.

Dm.