

Zur Bestimmung der Gravitationskonstante.

Von Th. Wulf in Valkenburg.

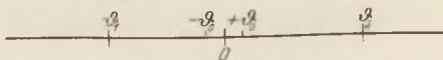
Vor einigen Jahren habe ich in dieser Zeitschrift (35, 153; 1922) ein Gerät angegeben zur Bestimmung des Wertes der allgemeinen Massenanziehung. Durch Umkehrung der Anziehungsrichtung im gleichen Takt mit den Eigenschwingungen des Torsionspendels wurden die Ausschläge vergrößert bis zu einem Grenzwert, aus welchem dann die Größe der Anziehung durch einfache Multiplikation erhalten werden konnte. Es wurde mir mit Recht entgegengehalten, daß zwar die Schlußrechnung sehr einfach, aber die Beobachtung bis zum Erreichen des Grenzwertes ebenso mühsam wie zeitraubend sei. Wenn man nun auch diese Arbeit dadurch wesentlich verkürzen kann, daß man dem Pendel von vornherein durch Anstoßen einen Ausschlag gibt, der dem Grenzwert möglichst nahe kommt, so bin ich doch dem Gedanken nachgegangen, auch die vorhergehenden Beobachtungen, die bisher ganz unbenutzt blieben, zur Ermittlung der Anziehung auszunutzen.

Wollte man aber, von dem Ausschlag Null angefangen, die Umkehrpunkte beobachten, so würde die Beobachtung nicht viel leichter werden, denn es dauert gerade so lange, das Pendel ganz zur Ruhe zu bringen, wie den Grenzwert des Ausschlags zu erreichen.

Es wurde daher die Aufgabe so gestellt, daß man bei irgendeinem Bewegungszustand des Torsionspendels an das Gerät herantritt, durch Umlagen der schweren Kugeln die Ausschläge vergrößert und aus den so erhaltenen Ausschlägen die Größe der Anziehung berechnen soll.

Es handelt sich also zunächst um eine kleine mathematische Aufgabe: nach welcher Formel kann man aus irgendwelchen Umkehrpunkten des Torsionspendels den Winkel finden zwischen der natürlichen Lage des Pendels (Nullage = vollständige Freiheit von Torsion) und der durch die Anziehung veränderten Gleichgewichtslage (rücktreibende Kraft der Torsion und Massenanziehung halten einander das Gleichgewicht)?

Es seien alle Werte ϑ von der Nullage des Pendels aus gezählt. Und es sei ϑ_0 der gesuchte Winkel, zwischen der Nullage und der Gleichgewichtslage. Je nach der Lage der ablenkenden Kugeln ist ϑ_0 positiv oder negativ. Ferner sei irgendein Umkehrpunkt ϑ_1 . Spätestens von diesem Augenblick an seien die ablenkenden Kugeln so gelegt, daß die Gleichgewichtslage sich bei $+\vartheta_0$ (siehe die Figur) befindet. Die Entfernung des Umkehrpunktes von der Gleichgewichtslage ist also $\vartheta_1 + \vartheta_0$. Das Pendel schwingt dann über ϑ_0 hinaus und kommt bis ϑ_2 . Die Entfernung von $+\vartheta_0$ ist dann $\vartheta_2 - \vartheta_0$. Zwischen diesen beiden Ausschlägen von der Gleichgewichtslage aus besteht das Verhältnis, das wir als Dämpfung bezeichnen. Es hat sich gezeigt, daß sein Wert für alle Ausschläge sehr nahe unverändert bleibt. Ist dieser Wert k , so haben wir also



$$\frac{\vartheta_1 + \vartheta_0}{\vartheta_2 - \vartheta_0} = k \quad \dots \dots \dots (1)$$

Aus dieser Grundgleichung allein ergibt sich alles andere. Zunächst ist es nicht bequem, die Ausschläge von Null aus zu zählen, da die Nullage nur schwer genau zu ermitteln ist; sicherer wäre es, wenn man sogleich aus den Umkehrpunkten das Gesuchte finden könnte. Das ist leicht möglich. Wir schreiben Gl. (1) so:

$$k \vartheta_2 = \vartheta_1 + \vartheta_0 (1 + k). \text{ Dasselbe gilt für alle folgenden } \vartheta_3, \vartheta_4 \dots$$

$$k \vartheta_3 = \vartheta_2 + \vartheta_0 (1 + k). \text{ Zusammengezählt gibt das}$$

$$k(\vartheta_2 + \vartheta_3) = \vartheta_1 + \vartheta_2 + 2\vartheta_0(1 + k).$$

$\vartheta_1 + \vartheta_2$ ist aber die ganze Strecke von einem Umkehrpunkt bis zum folgenden, ebenso $\vartheta_2 + \vartheta_3 \dots$. Wir setzen $\vartheta_1 + \vartheta_2 = a_1$; $\vartheta_2 + \vartheta_3 = a_2$; $\vartheta_p + \vartheta_{p+1} = a_p$ und haben also

$$\left. \begin{aligned} ka_2 &= a_1 + 2\vartheta_0(1 + k). \text{ Dasselbe für alle folgenden } a_3, a_4 \dots \\ ka_3 &= a_2 + 2\vartheta_0(1 + k) \\ \vdots & \\ ka_{p+1} &= a_p + 2\vartheta_0(1 + k) \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

Wenn daher durch Beobachtung von irgend drei aufeinanderfolgenden Umkehrpunkten zwei Werte a_p und a_{p+1} bekannt sind, und wenn außerdem das Dämpfungsverhältnis k bestimmt ist, so kann man daraus ϑ_0 finden. Es ergibt sich

$$\vartheta_0 = \frac{ka_{p+1} - a_p}{2(1 + k)} \dots \dots \dots (3)$$

Man könnte die Aufgabe damit als gelöst betrachten. Physikalisch leidet diese Lösung aber an dem Umstand, daß man den Wert ϑ_0 erhält als Unterschied zwischen zwei nicht sehr verschiedenen Größen. Viel sicherer wird die Messung, wenn man nicht zwei aufeinanderfolgende, sondern zwei weiter voneinander abstehende Ausschläge benutzt. Wir erweitern daher unsere mathematische Aufgabe zunächst noch dahin, daß nicht zwei aufeinanderfolgende, sondern zwei beliebig weit voneinander abstehende Ausschläge a_p und a_{p+n} benutzt werden sollen, um ϑ_0 zu finden.

Zur Lösung lassen wir in den beiden ersten Gl. (2) a_2 verschwinden; wir erhalten dann $k^2 a_3 = a_1 + 2\vartheta_0(1 + k)(1 + k)$.

Benutzen wir diese Gleichung und die folgende der Gl. (2), so verschwindet auch a_3 , und das können wir beliebig fortsetzen. Wir erhalten

$$k^3 a_4 = a_1 + 2\vartheta_0(1 + k)(1 + k + k^2).$$

Allgemein können wir die zweite der Gl. (2) mit k multiplizieren, die dritte mit k^2 usw., die folgenden mit $k^3, \dots, k^n \dots$. Wenn man dann, irgendwo angefangen, eine beliebige Zahl der Gl. (2) addiert, so fallen immer die Zwischenwerte von a fort, und es bleibt nur eine Gleichung zwischen dem ersten und letzten der a -Werte, nämlich

$$k^n a_{1+n} = a_1 + 2\vartheta_0(1 + k)(1 + k^2 + k + \dots + k^{n-1}) = a_1 + 2\vartheta_0 \frac{k+1}{k-1} (k^n - 1).$$

Da aber der erste Wert a_1 auch schon ein ganz beliebiger war, werden wir dafür allgemeiner a_p setzen dürfen, und erhalten daher

$$k^n a_{p+n} - a_p = 2\vartheta_0 \frac{k+1}{k-1} (k^n - 1) \dots \dots \dots (4)$$

Man kann sich leicht überzeugen, daß diese Gleichung für den Fall des Grenzwertes, wo $a_{p+n} = a_p$ ist, in die frühere $\vartheta_0 = \vartheta = \frac{k-1}{k+1}$ übergeht. Und wenn man $n = 1$ nimmt, geht sie über in die obige Gl. (3).

Weiter sieht man, daß, solange nur Wertepaare a_{p+n} und a_p verwendet werden, die alle um dieselbe Anzahl Schwingungen (nämlich n) voneinander abstehen, rechts in Gl. (4) eine Konstante steht; es müssen also auch die Ausdrücke der linken Seite von p vollständig unabhängig sein.

Daraus ergibt sich folgendes Beobachtungsverfahren. Man beobachtet die aufeinanderfolgenden Ausschläge in größerer Zahl, etwa a_1 bis a_{21} , also 20 Werte. Vereinigt man dann den ersten a_1 mit dem elften a_{11} , so ist n der obigen Gleichung gleich 10,

ebenso wenn man a_2 mit a_{12} , a_3 mit a_{13} . . . vereinigt. Man erhält so aus den 20 Beobachtungen 10 Werte von $(k^{10} a_{p+10} - a_p)$, die nach (4) alle einander gleich sein müssen. Man nimmt also das Mittel, berechnet dann aus der Dämpfung k den Faktor von ϑ_0 in der Gl. (4) und findet so einen Wert von ϑ_0 , bei dem so viele unabhängige Beobachtungen verwertet sind, als nur möglich ist.

Als Beispiel sei eine ganz kleine Beobachtungsreihe aus 9 Umkehrpunkten, also 8 Werten a , hier mitgeteilt. In der ersten Spalte der Tafel stehen die beobachteten 9 Umkehrpunkte (bei jeder Umkehr wurden die Kugeln auf die andere Seite verschoben). Daraus ergeben sich die 8 Doppelausschläge a , die in der zweiten Spalte stehen, einfach durch Subtraktion. Wenn nun hier alle Beobachtungen gleichmäßig verwertet werden sollen, so muß man den Wert a_1 mit a_5 , a_2 mit a_6 . . . vereinigen.

Dann ist in der obigen Formel $n = 4$, und wir haben zuerst zu bilden k^4 . Es war gefunden in der üblichen Weise $k = 1,02427$, daraus rechnet man $k^4 = 1,10067$. Mit dieser Zahl sind die vier letzten Werte a_5, a_6, a_7, a_8 zu erweitern. Dadurch erhält man die Zahlen der folgenden Spalte, also $k^4 a_{p+4}$.

Werden davon nun die zugehörigen vier ersten Werte a_p abgezogen, so erhält man die Werte der vierten Spalte mit der Überschrift $k^4 a_{p+4} - a_p$. Diese Zahlen müssen nach der Formel (4) alle einander gleich sein. Man sieht, daß das wirklich der Fall ist. So weit sie von einander abweichen, haben wir es mit Ungenauigkeiten des Verfahrens zu tun. Wir bilden von diesen Werten das Mittel und erhalten 68,33.

Schließlich ist noch aus k und k^4 der Faktor von ϑ_0 in Gl. (4) zu bilden, nämlich

$$\frac{2}{k-1} (k^4 - 1) = 2 \frac{2,02427}{0,02427} 0,10067 = 16,77.$$

Daraus erhalten wir

$$\vartheta_0 = 68,33/16,77 = 4,069.$$

Da aber alle Werte durch die Spiegelung verdoppelt sind, ist der wahre Ausschlag des Pendels gleich der Hälfte dieses Betrages, also 2,035 mm, da die Ausschläge auch in mm gemessen waren.

Wenn man zu Beginn der Beobachtung schon große Ausschläge vorfindet, so kann man die Massenanziehung auch benutzen, um die Ausschläge zu verkleinern, und in der Verringerung der Ausschläge muß ebenso die Wirkung der Massenanziehung zur Geltung kommen, wie bei der Vergrößerung. Die Kugeln liegen dann nur immer auf der anderen Seite, so daß das Pendel sich immer von den nahen Kugeln fortbewegt. In diesem Fall hat man die Grundgleichung (1) nur wenig zu ändern in

$$\frac{\vartheta_1 - \vartheta_0}{\vartheta_2 + \vartheta_0} = k.$$

Dann ergeben sich die Gl. (2) zu

$$ka_2 = a_1 - 2\vartheta_0(1+k) \text{ und die folgenden.}$$

Die Gleichungen werden ganz dieselben wie im ersten Fall, wenn man nur ϑ_0 negativ nimmt. Es ergibt sich schließlich auch ganz dasselbe Schlußresultat, das jedoch einen negativen Wert hat, weil jetzt der erste Wert der Gl. (4) kleiner ist als der zweite.

Noch etwas darf bemerkt werden. Wenn man ϑ_0 durch den Grenzwert bestimmen will, wie bisher, so war es zweckmäßig, die Dämpfung künstlich zu vergrößern; es wurde dazu eine Flüssigkeitsdämpfung vorgesehen. Diese Vergrößerung der Dämpfung

Tabelle.

Umkehrpunkte	a	$k^4 a_{p+4}$	$k^4 a_{p+4} - a_p$
200,7	168,3		
369,0	180,0		
189,0	192,2		
381,2	203,2		
178,0	215,0	236,64	68,34
393,0	226,0	248,75	68,75
167,0	236,3	260,09	67,89
403,3	246,7	271,54	68,34
156,6			
			Mittel 68,33

ist nach dem neuen Verfahren nicht mehr von Nutzen. Man wird daher die Flüssigkeit aus dem Gefäß fortlassen, und bei neu anzufertigenden Geräten wird man auch die Blechscheibe und das Gefäß für die Flüssigkeit gar nicht mehr anbringen. Ebenso fällt die bisher angebrachte Vorrichtung zum leisen Anstoßen des Pendels nunmehr als unnötig fort.

Die neueren Beobachtungsmethoden des Kristallwachstums.

Von E. Herlinger in Berlin-Charlottenburg.

Übersicht.

Nach einer kurzen Erörterung darüber, daß experimentell und theoretisch eine unmittelbare Verfolgung der Entstehung von Kristallen nicht möglich ist, werden die im Verlauf der neueren Forschung von Bedeutung gewordenen Beobachtungsmethoden des Kristallwachstums im Gasraum als Sublimat und in Lösungen beschrieben. Die Züchtung von Kristallen aus Schmelzen wird kurz dargestellt. Über unmittelbar aus den Versuchen zu gewinnende theoretische Ergebnisse wird berichtet.

Es sind in den letzten 20 Jahren zahlreiche Untersuchungen über die Entstehung und das Wachstum der Kristalle durchgeführt worden. Im nachstehenden sollen einige der wichtigsten Fortschritte dargestellt werden. Eine erschöpfende Übersicht würde infolge ihres Umfanges dem Fernstehenden das Eindringen in dieses reizvolle Forschungsgebiet sehr erschweren. Somit bleibt nur der Ausweg, die grundsätzlichen Überlegungen und Arbeitsweisen kurz zu kennzeichnen. Durch eine der Arbeit beigelegte Literaturübersicht soll ein weiteres Eindringen in den Stoff ermöglicht werden. Die Literaturangaben wurden unter dem Gesichtspunkt ausgewählt, daß die einzelnen Arbeiten auch für den nicht auf dem Fachgebiet Arbeitenden erreichbar sein müssen.

Die Grundfragen des Kristallwachstums.

Die Probleme des Kristallwachstums lassen sich auf zwei Grundfragen zurückführen:

1. Wie entsteht ein Kristall?
2. Wie wächst ein Kristall?

Die Umgebung des Kristallgitters spielt bei seiner Entstehung und seinem Wachstum eine entscheidende Rolle. Forschungsmethoden und Umfang der Erkenntnisse gingen verschiedene Wege, je nachdem es sich um das

Kristallisieren aus einer Schmelze,
aus einer Lösung oder
im Gasraum als Sublimat

handelte.

In allen drei Fällen ist derzeit eine beobachtende Untersuchung der Kristallentstehung nicht möglich. Das Kennzeichen des kristallisierten Zustandes ist die geometrisch gesetzmäßige Anordnung der Atome bzw. Ionen oder Moleküle im Gitter. Diese Ordnung der Bauelemente zu einem Gitter bei der Entstehung eines Kristalles müßte nachweisbar gemacht werden. Eine solche räumliche Struktur eines festen Stoffes kann röntgenographisch (28) erwiesen werden, wenn in den drei Kristallachsenrichtungen mindestens etwa 10 Gitterebenen vorhanden sind. Wenn also der Kristall bereits $\sim 10^3$ Atome besitzt, wird er erst der Beobachtung zugänglich. Andere Nachweismethoden als die röntgenographische von einer ähnlichen Empfindlichkeit sind zur Zeit noch unbekannt. Damit scheidet die experimentelle Verfolgung der ersten Grundfrage aus.

So wie es dem Versuch nicht möglich ist, in die Vorgänge unmittelbar bei der Kristallentstehung einzudringen, ist es bisher nicht zu erreichen gewesen, Beobachtungen über die Anlagerung eines einzelnen Bausteines an ein Kristallgitter vorzunehmen. Doch gibt es eine Reihe Erfahrungen, die hierüber einige wichtige Tatsachen zu vermitteln imstande sind.

Eine theoretische Durchdringung des Problems der Bildung eines Gitters oder des einzelnen Anlagerungsaktes ist ebenfalls noch nicht gelungen. Die Kristallkeime, aus denen sich die stabilen, makroskopisch sichtbaren Kristalle bilden,

bestehen bereits aus sehr vielen Atomen (Ionen, Molekeln). Ein mechanisches Modell, wie ein solcher Keim mit ungefähr 10^3 bis 10^5 Bausteinen (je nach dem Chemismus des Kristalles und dem Bildungsmedium zwischen diesen Größenordnungen schwankend) entstehen kann, ist unvorstellbar, und ebenso versagen vorläufig auch alle anderen Erklärungsversuche. Die Bildungsursachen eines Kristalles liegen also auch für den Theoretiker noch vollständig im Dunkeln.

Desgleichen versagen einfache mechanische Modelle bei einer vollständigen Beschreibung des Anlagerungsvorgangs eines einzelnen Bausteins an ein Kristallgitter. Die Atomphysik hat gezeigt, daß sowohl Atome als auch Moleküle bei den Abständen, die sie im und am Kristallgitter haben (10^{-8} cm), infolge ihrer Elektronenhüllen stets elektrostatische Feldwirkungen aufeinander ausüben. Nähert sich ein Baustein aus dem Gasraum einer Kristallfläche, so wird seine Bahn unmittelbar vor dem Gitter sehr verwickelt. Würden die Gitterladungen starr an ihre Lage gebunden sein, so würde das herankommende Teilchen durch einen Stoßvorgang allein nie an die für ihn vorbestimmte Gitterstelle gelangen.

Da im Ruhezustand das Gitter elektrostatisch im Gleichgewicht ist, muß die für das anzulagernde Teilchen bestimmte Stelle sich vorher so verhalten, als ob sie genau entgegengesetzt aufgeladen wäre wie der Baustein (sehr vereinfachte Modellannahme). Innerhalb der Gitterdimensionen machen sich neben dieser Ladung bei der Bausteinannäherung, wie schon bemerkt, noch die der Nachbarschaft bemerklich, so daß der Vorgang zu einem Mehrkörperproblem wird. Bei der vorliegenden Gestalt dieses Problems ist ein unmittelbares Eindringen des Bausteins in seine Gitterstelle ausgeschlossen. Verwickelter werden die realen Verhältnisse noch dadurch, daß neben der Temperaturbewegung auch eine teilweise Mitführung der Nachbarladungen bei dem Auftreffen des Teilchens anzunehmen ist, die zu einer vollkommenen Unübersichtlichkeit über die theoretischen Möglichkeiten führen. Aus den später beschriebenen makroskopisch verfolgbaren Prozessen muß man vermuten, daß der eigentliche Anlagerungsvorgang eines Kristallbausteins ein Quantenprozeß ist. Nähere Aussagen sind indessen nicht zu gewinnen.

Auf der ganzen Linie muß man demnach Verzicht leisten, wenn man an die Behandlung des ersten Grundproblems der eigentlichen Kristallentstehung herangegangen ist. Ebenso ist eine feinbauliche Behandlung des unmittelbaren Anlagerungsvorganges eines Bausteines an ein Kristallgitter vorläufig recht aussichtslos. Günstiger liegen die Verhältnisse, wenn man auf eine Behandlung der eigentlichen Bildungsmechanismen Verzicht leistet. Läßt man zunächst offen, wie die Anlagerung eines Bausteines im einzelnen zustande kommt, und stellt nur die Fragen nach den Faktoren, von denen sie abhängen kann, so wird sowohl die experimentelle als auch die theoretische Untersuchung erfolgreich.

Experimentell zugänglich ist die Messung des Wachstums einer ganzen Kristallfläche. Man kann mit Hilfe von Dickenmessern die Dickenzunahme eines Kristalles in seinen verschiedenen Richtungen verfolgen. Ebenso kann man am Goniometer aus der Güte der Flächenreflexe den Schluß ziehen, ob eine bestimmte Fläche nachweislich wächst oder sich löst.

In Fig. 1 ist schematisch dargestellt, wie im Prinzip mit Hilfe eines Dickenmessers der Wachstumsverlauf verfolgt wird. In der Richtung (100) — $(\bar{1}00)$ wird bei Beginn der Messung eine Dicke d_1 gemessen; im Verlauf der Untersuchung findet man die Werte d_2 und d_3 . In den Richtungen (010) — $(0\bar{1}0)$ und $(\bar{1}10)$ — $(1\bar{1}0)$ werden als Meßwerte die Dicken d_1' , d_2' und d_3' , sowie d_1'' , d_2'' und d_3'' gefunden. Demnach

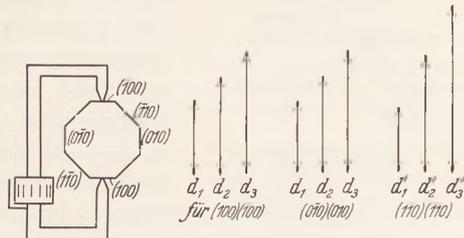


Fig. 1. Flächenwachstum und geometrische Verschiebungsgeschwindigkeit d .

gibt die unmittelbare Dickenmessung des wachsenden Kristalls an, mit welcher Geschwindigkeit in der Normalen zu den Flächen der Kristall wächst. Die unmittelbaren Meßdaten sind die geometrischen Verschiebungsgeschwindigkeiten der einzelnen Flächen in Richtung ihrer Normalen.

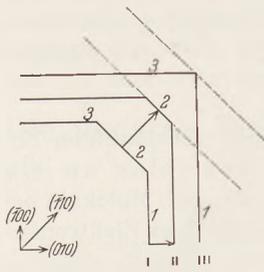


Fig. 2. Flächenwachstum und geometrische Verschiebungsgeschwindigkeit.

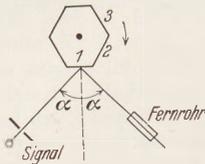


Fig. 3. Wirkungsweise eines Goniometers.

In Fig. 2 ist dies für die Beobachtungen am Kristall der Fig. 1 abgeleitet. Aus dem dort angegebenen Verlauf der Dickenmessungen folgt, daß die Fläche (110) eine doppelt so große Verschiebungsgeschwindigkeit hat wie die gleich schnell ihre Oberfläche verschiebenden Flächen (100) und (110). Zu Anfang der Messungen im Stadium I sind alle drei Flächen wohl ausgebildet. Im Stadium II haben die drei Flächen ihre Front verschieden schnell vorgeschoben, und die Fläche (110) = 2 hat an Ausdehnung im Gegensatz zu den anderen Flächen erheblich abgenommen. Im Stadium III ist sie verschwunden zugunsten der mit der halben Verschiebungsgeschwindigkeit wachsenden beiden anderen Flächen. Ihr virtueller Ort ist durch Punktierung angegeben.



Fig. 4a. Geometrie der Ätzgrübchen.

Die Fragen, deren Beantwortung durch Experimente erwartet werden kann, gehen bei Messungen der Verschiebungsgeschwindigkeiten dahin, ob diese für bestimmte Flächen Konstanten sind oder nicht. Hängt der Wert der Konstanten ab von Gittereigenschaften oder auch von Eigenschaften des Mediums sowie der einzelnen Kristallisationsbedingungen?

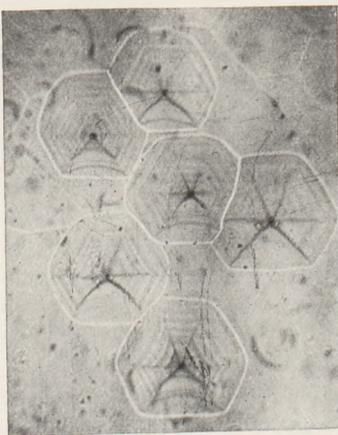


Fig. 4b. Ätzgruben auf (111) von Flußspat. [Entnommen aus G. MENZLER, Ztschr. f. Krist. 75 (1930) 145]. Vergr. 100.

Neben diesen Verschiebungsgeschwindigkeitsmessungen sind noch die goniometrischen Beobachtungen aufschlußreich. Das Prinzip einer goniometrischen Messung ist in der Fig. 3 wiedergegeben. Ein von einer Lichtquelle beleuchtetes Signal wird auf die Kristallfläche projiziert, von dort reflektiert und gelangt in den Strahlengang eines mit einem Fadenkreuz ausgestatteten Beobachtungsfernrohrs. Das Vorhandensein einer Kristallfläche wird immer dann nachweisbar sein, wenn diese in die Lage der Fläche 1 durch ein entsprechendes Drehen des Kristalls gebracht werden kann, denn dann sind Einfallswinkel und Reflexionswinkel die gleichen wie in der Figur, und das Signal erscheint in dem in seiner Lage unverändert festgehaltenen Beobachtungsfernrohr.

Wird durch Lösungsvorgänge die Fläche zerstört, so bilden sich zunächst sog. Ätzgrübchen. Diese sind anfangs ebenflächig begrenzt (Fig. 4a und b) (29). Da sie nur einen kleinen Flächenwinkel mit der alten Kristallfläche einschließen, bilden sie das Goniometer-

signal fast an der gleichen Stelle im Beobachtungsfernrohr ab wie die alte Fläche, die noch teilweise vorhanden ist (Fig. 5). Die verschiedenen Signale überdecken sich. Man beobachtet eine Verbreiterung und gleichzeitige verschlechterte Deutlichkeit des Signales (Fig. 6). Mit zunehmender Anlösung der Fläche nimmt die Verbreiterung und das Undeutlicherwerden der Signale zu, um schließlich zu einem Ineinanderüberfließen benachbarter Flächensignale zu führen (Fig. 7) (53). J. J. P. VALETON hat gefunden (53), daß Untersättigungen einer Lösung um 0,003% bei Alaunen auf diesem Wege nachgewiesen werden können. Die goniometrische Methode ist auf jeden Fall bedeutend empfindlicher als eine Wägung mit Hilfe gewöhnlicher Wagen (53).

Mit Hilfe der Goniometerreflexe läßt sich auch schon sehr früh die Entstehung einer Kristallfläche nachweisen (32, 44). Es hat sich als experimentell vorteilhaft erwiesen, die Wachstumsversuche in der Weise vorzunehmen, daß man aus einem sorgfältig gezüchteten Kristall eine Kugel herausschleift (32), sie poliert und vorsichtig anlost. Diese Kugeln geben zunächst an keinem Punkt einen Goniometerreflex. In dem Augenblick, in dem sich eine kleine Kristallfläche durch eine Stoffzufuhr aus einer Lösung zu bilden beginnt, beobachtet man deutlich am Goniometer Signalreflexe, die mit zunehmendem Wachstum immer besser werden. Man ist infolgedessen imstande, mit Hilfe des Goniometers die Reihenfolge der Entstehung von Kristallflächen festzulegen und beginnende Auflösungsprozesse zu erkennen.

Neben Dickenmessungen und Goniometerbeobachtungen sind eigentliche Wachstumsmessungen quantitativer Art nur in besonderen Fällen möglich. Qualitative Feststellungen sind indessen sowohl bei Kristallisationen aus dem Gasraum als auch bei solchen aus Lösungen und Schmelzen in der verschiedensten Weise möglich gewesen.

Beobachtungsmethoden des Flächenwachstums.

A. Kristallisationen im Gasraum.

Für die grundsätzlichen Erkenntnisse über den Vorgang des Wachsens einer Kristallfläche sind Versuche wegweisend geworden, die über die Kristallisation von Sublimaten aus dem Gasraum angestellt worden sind. Die ersten Arbeiten auf diesem Gebiet sind von DUNOYER (9), KNUDSEN (21) und WOOD (65, 66) angestellt worden. Später haben sich darum LANGMUIR (24), GROSS (18) und vor allem VOLMER (18, 58, 59, 60) mit seinem Mitarbeiter ESTERMANN (63, 64) u. a. verdient gemacht. Die grundsätzliche Apparatur, die bei solchen Versuchen benutzt wird, ist in ihren schematischen Zügen in Fig. 8 wiedergegeben. Zwei Glaskolben sind miteinander durch eine schmale Glasröhre verbunden. Beide Kolben sind an ein Pumpensystem angeschlossen, so daß dauernd in ihnen während der Versuche ein hohes Vakuum aufrechterhalten werden kann. Im Glaskolben I befindet sich Metall *M*, das durch eine das Glasgefäß umschließende Heizung *H* erhitzt bzw. geschmolzen werden kann. Da sich der Glaskolben unter Hochvakuum befindet, legen die verdampften Atome große Strecken zurück, bevor sie miteinander zusammenstoßen. Das Vakuum des Systems wird so gewählt, daß von der Metalloberfläche durch die verbindende Glasröhre hindurch bis zum Aufstoßen auf die Gegenwand im Glaskolben II nur ein Bruchteil des Weges durchlaufen wird, der nach den Ableitungen der kinetischen Gastheorie im Mittel durchgemessen wird, bevor



Fig. 5. Lage der Signale der ungeätzten Fläche (schwarz) und der Ätzfläche (punktierter Kreis) im Goniometerfernrohr.



Fig. 6. Aussehen der Signale einer ungeätzten und einer geätzten Fläche.

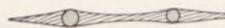


Fig. 7. Ineinanderfließen der Signale bei Anlösen der Flächen.

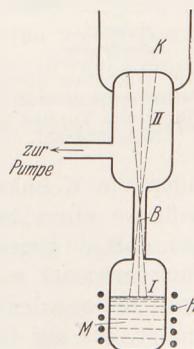


Fig. 8. Prinzipielle Anordnung bei der Molekülstrahlenmethode.

zwei Atome zusammenstoßen. Die Mehrzahl der auf die Wand des Kolbens II gelangenden Atome bzw. Moleküle haben demnach auf ihrem Weg von der Metalloberfläche weg keinen Zusammenstoß mit anderen Teilchen gehabt. In einem solchen Fall spricht man von einem Atom- bzw. Molekülstrahl. Der Winkel, den die einzelnen Molekülstrahlen, welche die Metallfläche verlassen und auf die Glasfläche gelangen, miteinander einschließen, ist bestimmt durch die Länge und die Öffnung der Glasröhre *B*, die als Strahlenblende wirkt. Man kann die Blende so ausbilden, daß man praktisch von einem parallelen Strahlenbündel sprechen darf. Die von der Metalloberfläche abgewendete Seite des Glaskolbens II, worauf die Molekülstrahlen zuerst auftreffen, kann von außen gekühlt werden, wie schematisch durch den Kühler *K* angedeutet wird.

Werden die auftreffenden Atome oder Moleküle an der Wand adsorbiert, so wird sich die Blendenöffnung scharf auf der Glasfläche abbilden. Wird jedoch ein Teil der auftreffenden Partikel von der festen Fläche reflektiert, so wird auch in der Nachbarschaft des Blendenbildes bei einem erneuten Auftreffen der Atome ein Niederschlag ausgebildet werden (Fig. 9). Das Blendenbild wird sich erheblich vergrößern und stark an Schärfe einbüßen, wenn man die sichtbaren Niederschläge verfolgt. Je größer die Zahl der reflektierten Teilchen ist, um so umfangreicher wird der Bezirk der sichtbaren Niederschläge auf der Wand. Man hat

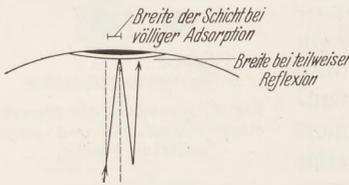


Fig. 9. Nachweis völliger und teilweiser Adsorption mittels der Molekülstrahlmethode.

also mit der Molekülstrahlmethode bei sichtbaren Niederschlägen eine Möglichkeit, die Reflexion bzw. Adsorption der materiellen Strahlen zu untersuchen. Auf diesem Wege wurde bereits von DUNOYER, KNUDSEN und WOOD das Verhalten der Atomstrahlen bzw. Molekülstrahlen von Hg, Cd, Zn, Ag und Cu studiert. Man fand, daß z. B. bei der Temperatur -183° C die auftreffenden Hg-Teilchen praktisch stets von Glaswänden adsorbiert werden, bei der Temperatur der flüssigen Kohlensäure indessen ein beträchtlicher Teil von ihnen reflektiert wird, während noch bei rund 300° C Kupferstrahlen vollständige Adsorption auf einer Glasfläche zeigen. Ersetzt man die Glasfläche, auf die der primäre Strahl auftrifft, durch eine solche aus Metall von der



Fig. 10. Wachstum eines Hg-Kristalles (schematisch) nach GROSS und VOLMER im Molekülstrahl.

Art der Molekülstrahlen, so erhöht sich die Temperatur, bei der noch immer vollständige Adsorption der Strahlen beobachtet werden kann, ganz beträchtlich. Stets wird ein erheblicher Teil der auftreffenden Atome oder Moleküle adsorbiert, verdampft von dort und trifft wieder auf usw., so daß die Molekülstrahlversuche nicht über eine bestimmte Auftreffzeit hinaus ausgedehnt werden dürfen.

Nach diesen ersten Erfahrungen ließen GROSS und VOLMER (18) durch Molekülstrahlen kleine Kristalle weiterwachsen, die sie in den Glaskolben II hineinbrachten.

Standen die Keimkristalle so, daß der auftreffende Molekülstrahl senkrecht auf die Basisfläche eines hexagonalen Hg-Kristalles auftraf, so wuchs der Kristall in der Weise, daß die Basisfläche um ein Vielfaches größer wurde, als auf Grund der Blendenöffnung erwartet werden konnte (Fig. 10). In Richtung des Molekülstrahls blieb der Kristall außerordentlich dünn. Senkrecht zum Molekülstrahl wuchs er aber vielmal schneller, als auf Grund der Blendenöffnung und des bekannten Vakuums mit Hilfe einer Stoffzufuhr vom vorhandenen Hg-Dampf vorstellbar sein konnte. Die Beobachtungen verlangten also zur Erklärung die Annahme, daß die auf die Kristalloberfläche treffenden Teilchen des Molekülstrahles quantitativ adsorbiert werden und sich längs der Adsorptionsschicht wie ein zweidimensionales Gas ausbreiten. VOLMER und ESTERMANN (63, 64) haben diese Annahme durch thermodynamische Überlegungen und kinetische Berechnungen weiter ausgebaut, und von CASSEL (9) ist eingehend das Ver-

halten eines solchen zweidimensionalen Gases untersucht worden. Die Teilchen in der Adsorptionsschicht bewegen sich längs der Schicht außerordentlich rasch und gelangen so häufig in Gebiete vor der Kristalloberfläche, die weit entfernt vom Molekülstrahl sind (Fig. 11). Sie können aber nur selten das Adsorptionsfeld vor der Kristalloberfläche in Richtung senkrecht zur Kristallfläche verlassen. Infolgedessen wächst zum mindesten ein Hg-Kristall in der Weise, daß die auftreffenden Atome zunächst als zweidimensionales Gas in der Adsorptionsschicht sich bewegen, bis sie einmal durch uns unbekannte Umstände an einer Gitterstelle fixiert werden. So wächst allmählich tangential zu der alten Oberfläche eine neue Oberfläche aus. Nach ihrer Vollendung wird wiederum durch ein tangenciales Wachstum eine zweite Fläche gleicher kristallographischer Orientierung ausgebildet usw. Die großen tangentialen Wachstumsgeschwindigkeiten sind wiederum korrelat mit minimalen geometrischen normalen Verschiebungsgeschwindigkeiten, wie wohl nicht weiter eingehend bewiesen werden muß.

VOLMER und ADHIKARI (61, 62) haben auch durch ein anderes Experiment den Beweis zu erbringen versucht, daß in der Adsorptionsschicht tangential vor der Kristallfläche ein umfangreicher Materialtransport mit erheblicher Geschwindigkeit vor sich gehen kann. Benzophenon wird von flüssigem Quecksilber adsorbiert. Sie ließen infolgedessen entfernt von den Endpyramiden eines Benzophenonkristalls auf dessen Oberfläche Hg-Tröpfchen auffallen, die beim Abtropfen jeweils einen bestimmten Betrag der Kristallfläche durch Adsorption ablösten. Es war nun unter dem Mikroskop deutlich zu beobachten, wie auch die Endpyramiden sich verkleinerten, obwohl sie von der Auftreffstelle ganz entfernt waren (Fig. 12). Von VOLMER wurde daraus der Schluß gezogen, daß die einzelne Pyramidenfläche tangential abgelöst und so Schicht um Schicht vernichtet wird (Fig. 13).

Das wesentliche Ergebnis der Untersuchungen VOLMERS und seiner Mitarbeiter, daß bei Kristallisationen aus dem Gasraum ein tangenciales Flächenwachstum nachgewiesen werden kann, wird durch neuere theoretische Überlegungen von KOSSEL (22, 23) und STRANSKI (46, 47, 48) für eine Reihe von Fällen des Kristallwachstums sehr wahrscheinlich gemacht. Auf Nebenergebnisse der Molekülstrahlarbeiten kann hier nicht eingegangen werden, doch sei des weiteren noch auf die interessanten Arbeiten von AMINOFF (1, 2) hingewiesen.

B. Kristallwachstum aus wässrigen Lösungen.

Experimentelle Fortschritte und damit wesentliche Aufklärungen sind auch auf dem Gebiete des Flächenwachstums von Kristallen in wässrigen Lösungen erzielt worden. Von ARTEMJEW (3), POPPE (34), SCHNORR (35, 36), SPANGENBERG (44), dessen Mitarbeitern GILLE (15) und NEUHAUS (32), sowie VALETON (53) ist hier die moderne Methodik ausgearbeitet worden. Die Versuche wurden vorzugsweise an polierten und angelösten Kugeln von Alaunen und Steinsalz vorgenommen. Vor der Berechnung des Gitterpotentials des Steinsalzes durch MADELUNG (25) zog man aus technischen Gründen als Versuchsmaterial die Alaune vor. (Sie kristallisieren sauberer und weniger schnell.) Die neuesten Arbeiten bevorzugen wegen der theoretischen Fragen Steinsalz, zumal man gelernt hat, auch hier den Kristallisationsvorgang einwandfrei durchzuführen.



Fig. 11. Die Beweglichkeit eines Atoms parallel und senkrecht zur Kristallfläche in der Adsorptionsschicht.

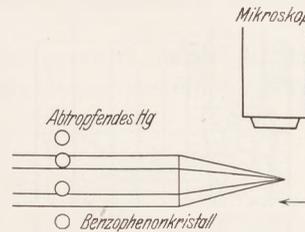


Fig. 12. Beobachtung des Auflösens eines Benzophenonkristalls nach VOLMER und ADHIKARI.

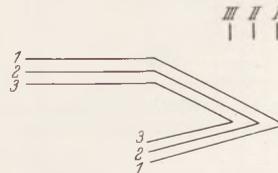


Fig. 13. Deutung des Experiments von VOLMER und ADHIKARI (Fig. 12) als schichtweise Ablösung der Oberflächen 1, 2, 3.

Von VALETON (53) ist eine Apparatur entwickelt worden, die auf Gedanken und Modellen von KRÜGER und FINKE aufbaut. Ihr Prinzip beruht darauf, daß man bei einer Temperatur T_1 eine übersättigte Lösung herstellt, diese auf die Temperatur T_2 , die ein wenig niedriger als T_1 ist, abkühlt und in die abgekühlte Lösung die Wachstumskugel einhängt. Je geringer die Temperaturdifferenz $T_1 - T_2$ gewählt werden kann, um so langsamer wird sich der Wachstumsprozeß vollziehen, um so besser wird das Flächenwachstum verfolgt werden können.

In Fig. 14 ist das Wesentliche der von VALETON ausgebildeten Apparatur dargestellt. Zwei Thermostaten T_1 und T_2 sorgen dafür, daß in dem Versuchsgefäß in seinen beiden Hälften L und W dauernd die Temperaturen T_1 und T_2 eingehalten werden können. T_1 ist ein wenig größer als T_2 . Die beiden Hälften des Versuchsgefäßes sind miteinander durch zwei Röhren E und A verbunden, die durch die Wände des Thermostaten hindurchgehen. In die Gefäßhälfte L wird ein Säckchen aus Müllergaze eingehängt, in dem sich feingekörnt (große Oberfläche des Aufzulösenden!) ein großer Vorrat Alaun oder Steinsalz (je nachdem, mit welchem Stoff man die Wachstumsversuche vornimmt) befindet. Durch Auflösung dieses Vorrates sättigt sich die in dem Gefäß befindliche Lösung. Da sowohl die Löslichkeit von Alaun als auch die von Steinsalz mit Temperaturzunahme wächst, wird die Gefäßhälfte L auf einer höheren Temperatur erhalten als W ; bei einem umgekehrten Verhalten der Löslichkeit muß L auf niedrigerer Temperatur erhalten werden als W . Im Gefäß W befindet sich ein durch eine Turbine oder einen Motor angetriebenes Flügelrad, das für einen schnellen Durchtrieb innerhalb der Lösung sorgt. Die frisch gesättigte Lösung im Gefäß L gelangt so über das Einlaßrohr E in das Wachstumsgefäß W , in dem sich im unteren Teil der Wachstumskörper K befindet.

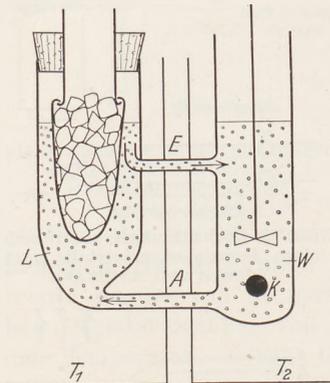


Fig. 14. Kristallzüchtungsapparat nach VALETON (schematisch).

Durch die Temperaturerniedrigung im Gefäß W gegenüber L wird die Lösung übersättigt und gibt infolgedessen Stoff an K ab. Diese Stoffzufuhr kann durch die Temperaturdifferenz $T_1 - T_2$ geregelt werden. Nach Abgabe des Nährstoffes an K ist die Lösung gesättigt für eine Temperatur T_2 , also untersättigt für die Temperatur T_1 im Lösungsgefäß L , in das sie durch das Auslaßrohr A wieder zurückströmt. Infolgedessen löst sie nunmehr in L einen entsprechenden Betrag von dem Vorrat im Säckchen auf. Sie erwärmt sich auf die Temperatur T und gelangt erneut über E nach W , gibt dort wiederum Nährstoff an K ab und sorgt so dauernd für eine konstante Zuführung an Nährstoff. Dementsprechend wächst der Wachstumskörper.

Die Zuverlässigkeit der Versuche hängt davon ab, daß die Thermostaten T_1 und T_2 für eine hinreichende Temperaturkonstanz sorgen, die beiden Röhren E und A keinen Anlaß zu unkontrollierbaren Störungen dadurch geben, daß sie einen zu großen Weg im thermostatlosen Raum zwischen T_1 und T_2 zurücklegen, und daß vor allem die Temperaturdifferenz $T_1 - T_2$ sehr klein gemacht werden kann.

In der Tabelle 1 ist auf Grund der Versuche von VALETON (53) zusammengestellt, mit welchem Erfolg die beschriebene Apparatur zu arbeiten imstande war. VALETON gelang mit dieser Versuchsanordnung der Nachweis (durch Kontrolle der Goniometersignale), daß entweder alle Kristallflächen gleichzeitig wachsen oder sich gleichzeitig lösen. Die denkbare Möglichkeit, daß ein Teil der Flächen wächst auf Kosten anderer sich auflösender Flächen, konnte nicht aufgefunden werden.

Für noch genauere Untersuchungen des Flächenwachstums ist von A. NEUHAUS (32) eine andere Apparatur entwickelt worden, deren Schema in der Fig. 15 unter Weglassung unwesentlicher Einzelheiten dargestellt ist.

Tabelle 1. Kristallisationsversuche nach I. I. P. VALETON (Lit. 53, S. 29—31).

Alaun, Durchmesser 16 mm; Flächen (111), (100), (110).	
Temperaturdifferenz	Gewichtsänderung pro Stunde in mgr
+ 0,010°	+ 11
- 0,063°	+ 0,5
Alaun, Durchmesser 15 mm; Flächen (111), (100), (110).	
Temperaturdifferenz	Gewichtsänderung pro Stunde in mgr
- 0,074°	+ 1,1
- 0,103°	- 1,6
- 0,097°	- 1,2
- 0,097°	- 1,2
- 0,067°	+ 0,7

$$T_2 = 32,90^\circ \text{ C}$$

Temperaturkonstanz innerhalb $\pm 0,002^\circ$

Das Prinzip der Versuchsanordnung ist durch folgende Überlegung gekennzeichnet:

Kann man in einem Thermostaten die Nährlösung temperaturkonstant halten, so wird durch den Gasraum die Menge der verdunstenden Nährlösung bestimmt. Sorgt man dafür, daß durch eine kontrollierte Luftzufuhr und -abfuhr die Menge der eindunstenden Nährlösung reguliert werden kann, so hat man ein Mittel in der Hand, die Übersättigung einer Lösung durch den Verdunstungsgrad zu regeln und kann auf diesem Weg das Wachstum einer Versuchskugel sehr genau leiten.

Die Anordnung der Apparatur war dadurch vorgezeichnet. Das eigentliche Versuchsgefäß *W* befindet sich mit seinem größten Teil, auf jeden Fall aber so weit, als in ihm Nährlösung vorhanden ist, in einem Wasserthermostaten T_W . Mit seinem oberen Teil ragt *W* in einen Luftthermostaten T_L . Durch die Rohre *E* und *A* wird aus einem Gasometer eine genau dosierte Menge absolut trockener und gereinigter Luft durch den Gasraum im Versuchsgefäß hindurchgesaugt, die eine genau bestimmbare Menge der Nährlösung zur Verdunstung bringt. Die verdunstete Nährlösung wird durch das Rohr *A* zusammen mit der eingesaugten Luft abgeführt und in den üblichen Meßvorrichtungen gemessen bzw. absorbiert. Um sicher zu gehen, sind die Wege der Röhren *E* und *A* im Luftthermostaten hinreichend lang, um die Versuchstemperatur in *W* zu sichern. Sowohl die Nährlösung als auch das Wasser im Thermostaten und die Luft des oberen Thermostaten werden andauernd rasch durchgerührt.

Die Temperaturkonstanz kann bei diesem NEUHAUSSchen Kristallisationsverfahren sehr genau eingehalten werden. Da das Fortschreiten des Flächenwachstums nicht wie bei VALETON von der genauen Einhaltung einer bestimmten Temperaturdifferenz $T_1 - T_2$ abhängt, sondern durch die einfach und zuverlässig zu kontrollierende Luftregulierung im Gasraum über der Nährlösung bestimmt ist, kann die Anlagerungsgeschwindigkeit an eine Kristallfläche am Versuchskörper *K* außerordentlich klein gehalten werden. In der Tabelle 2 sind die diesbezüglichen Daten aus einer Arbeit von NEUHAUS entnommen. Die Fig. 16a und b zeigen die verschiedenen Stadien eines Versuchskörpers während eines solchen Wachstumsprozesses (entnommen einer Arbeit von A. NEUHAUS).

Durch diese Versuchsanordnung gelang es K. SPANGENBERG (44), A. NEUHAUS (32) und bereits mit einer etwas einfacheren Anordnung F. GILLE und SPANGENBERG (15), eine Reihe von Eigentümlichkeiten des Kristallwachstums aufzuklären.

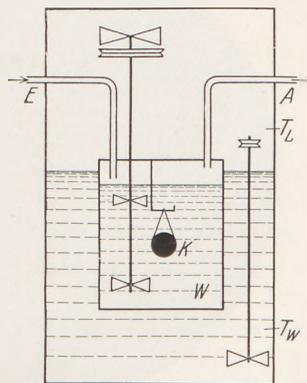


Fig. 15. Kristallzüchtungsapparat nach NEUHAUS (schematisch).

Tabelle 2. Kristallwachstum in einem Kristallisationsapparat von A. NEUHAUS (Lit. 32, S. 38).

Die durch die Apparatur pro Tag gelangende Luftmenge beträgt 21,4 l.

Gemessene geometrische Verschiebungsgeschwindigkeiten pro Tag in μ	Flächen	Versuchskristall Nr. (Steinsalz)
0	(100)	IV
32,9	(111)	IV
43,4	(210)	IV
98,6	(110)	IV
0	(100)	III
34,3	(111)	III
47,7	(210)	III

Die formale Kinetik des Wachstums, wie sie von JOHNSEN (19) und GROSS (17) entwickelt worden ist, machte von der Annahme Gebrauch, daß die geometrische

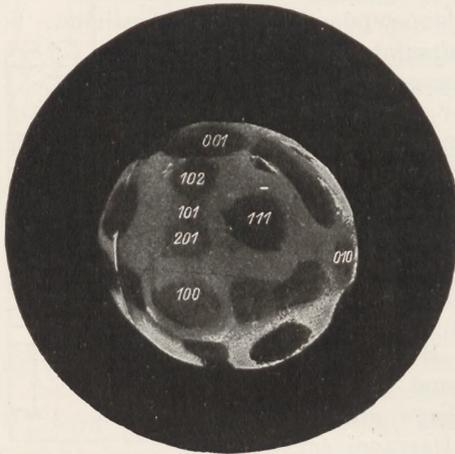


Fig. 16a.

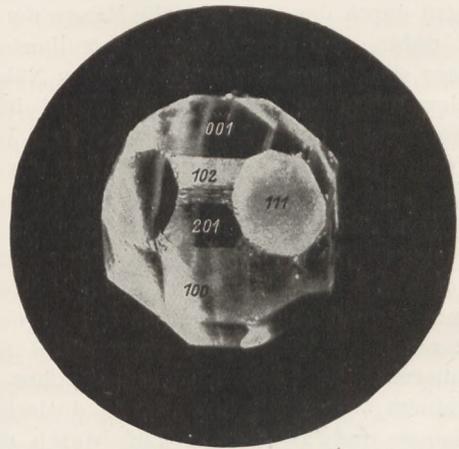


Fig. 16b.

Fig. 16a und b. Wachstumskugeln von Steinsalz. Entnommen einer Arbeit von NEUHAUS (siehe Literaturverzeichnis).

Verschiebungsgeschwindigkeit für eine jede Flächenart eine Konstante ist, deren Absolutwert außer von den Flächeneigenschaften, vom Medium, der Temperatur und den speziellen Wachstumsbedingungen im Medium abhängt. Während eines Wachstums einer bestimmten Fläche sollte ihre geometrische Verschiebungsgeschwindigkeit konstant und unabhängig von den vorhandenen Nachbarflächen bleiben.

Es ist dies nur eine erste Näherung an die realen Verhältnisse. SPANGENBERG und seine Mitarbeiter konnten einwandfrei zeigen, daß die geometrischen Verschiebungsgeschwindigkeiten während des Wachstumsvorganges keine Konstanten sind. Die geometrische Verschiebungsgeschwindigkeit einer Fläche zeigt sich abhängig von der Nachbarschaft dieser Fläche. Verfolgt man z. B. das Wachstum einer Oktaederfläche an Steinsalz, so ist es nicht gleichgültig, ob diese während des Wachstums an Würfelflächen angrenzt, die während des Kristallisierens verschwinden. Solange die Würfelflächen noch vorhanden sind, ist ein deutlicher Unterschied in der Verschiebungsgeschwindigkeit zu erkennen gegenüber den Werten nach dem Verschwinden dieser Nachbarflächen.

Nur in dem Falle des Verfolgens eines Wachstumsvorganges, bei dem alle Flächen erhalten bleiben, konnte eine Annäherung an die idealen Verhältnisse, wie sie von JOHNSEN und GROSS in Betracht gezogen werden, erkannt werden. Doch auch dann

scheint über größere Zeiträume die Konstanz der geometrischen Verschiebungsgeschwindigkeit fraglich zu sein. Eine gesetzmäßige Beziehung zur Konzentration der Nährlösung konnte nicht aufgefunden werden. Die sicher bestehenden Abhängigkeiten zwischen der Konzentration der Nährlösung und den Konzentrationen der Bausteine der einzelnen Flächen konnte durch Experimente nicht erkannt werden.

Aus dem Verlauf der Beobachtungen glaubt auch SPANGENBERG (44) vermuten zu dürfen, daß beim Steinsalz die einzelnen Kristallflächen tangential auswachsen und dann von neuen Flächen überlagert werden. Er hält die VOLMERSCHEN Anschauungen für nicht unmöglich.

Von KOSSEL (23) wird auf Grund theoretischer Überlegungen (ebenso von STRANSKI) (46) geschlossen, daß Rhombendodekaederflächen am Steinsalz instabil sein müssen. Beobachtet man solche Flächen, so müssen sie durch zahlreiche Flächen anderer kristallographischer Orientierung vorgetäuscht sein. Wie das möglich ist, zeigt das Schema der Fig. 17. Die makroskopisch sichtbare Oberfläche löst sich feinbaulich auf in zahlreiche anders orientierte Flächen, wenn man in die Feindimensionen übergeht. Im Bild sind alle diese Flächen Würfflächen, die mit ihren Graten eine Rhombendodekaederfläche vortäuschen. Eine solche „Pseudofläche“ muß infolge ihres Aufbaues rauh sein und darf keine deutlichen Goniometersignale geben. In der Tat zeigen die von A. NEUHAUS dargestellten Rhombendodekaederflächen am Steinsalz die gewünschten Effekte an. Sie scheinen wirklich solche Pseudoflächen zu sein.

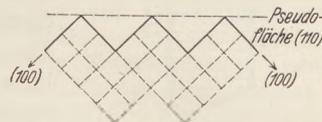


Fig. 17. Vermutliche Struktur der Fläche (110) am Steinsalz.

Mannigfache weitere Ergebnisse spezieller Art sind in den Arbeiten SPANGENBERGS, seiner Mitarbeiter und VALETONS enthalten. Vor allem kann man aus ihnen auch ersehen, daß Kristallwachstum und Kristallösung keine einfachen Umkehrungen desselben Prozesses sind, wie z. B. NERNST (31) oder NOYES noch angenommen hatten. Es ist dies auch nicht gut vorstellbar, denn beim Kristallisieren geht die Materie in eine geometrisch gesetzmäßige Ordnung über, die sie beim Lösen verliert. Frühere Betrachtungen von F. HABER¹⁾ haben gerade auch auf diesen Ordnungsvorgang beim Kristallisieren hingewiesen. Auf diese wichtigen Arbeiten sowie auf die ersten zum Teil bahnbrechenden, nunmehr aber veralteten Arbeiten von G. TAMMANN kann ich leider nur verweisen. Der verfügbare Raum gestattet nicht, auf sie einzugehen. Ebenso sei auf die wesentliche Versuchsergebnisse bietenden Arbeiten von J. TRAUBE (5, 51, 52) und seinen Mitarbeitern aufmerksam gemacht.

C. Kristallisieren aus dem Schmelzfluß.

Das unmittelbare Beobachten des Kristallwachstums in einer Schmelze ist an und für sich nur bei durchsichtigen Kristallen möglich. G. TAMMANN (49, 50) und seine Schüler haben an organischen Schmelzen, Salol, Betol, Piperin u. a. die ersten Beobachtungen durchgeführt. Von R. NACKEN (30) ist in Kapillarröhrchen das Wachsen solcher Substanzen eingehender verfolgt worden. Bei diesen Arbeiten mißt man die sichtbare lineare Verschiebung der Kristallgrenze unter der Annahme, daß in dem betreffenden Röhrchen nur ein Kristall oder wenige, nahezu gleich orientierte Kristalle enthalten sind. Man gewinnt auf diesem Wege lineare Wachstumsgeschwindigkeiten, die in einem späten Wachstumsstadium, wenn keine neuen Flächenbildungen mehr zu erwarten sind, proportionale Größen sein können zu den geometrischen Verschiebungsgeschwindigkeiten, die im Vorangehenden definiert worden sind. Da unbedingt während des Wachstums die Kapillarkräfte bzw. die Wandinflüsse eine große, aber noch unübersehbare Rolle spielen und auch die sonstigen Versuchsbedingungen nicht die erforderliche Reinheit der Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit gewähr-

¹ HABER, F.: Chem. Ber. 55.

leisten, können diese Versuche für eine Aufklärung des feineren Wachstumsmechanismus leider nicht verwertet werden.

In späterer Zeit ist von CZOCHRALSKI (10) für die Züchtung von Einkristallen eine Modifikation dieser Methodik mit großem Erfolg ausgearbeitet worden.

CZOCHRALSKI benutzte für die Herstellung von Einkristallen (d. h. solchen Kristallen, die zuverlässig keine Aggregate aus mehreren Kristallen sind, sondern nur ein einziger Kristall), eine Vorrichtung, wie sie durch die schematische Fig. 18 wiedergegeben ist. An einem Faden 1 hängt ein kleiner Impfkristall 2, der zum Weiterwachsen durch Kristallisieren der Schmelze 3 gebracht werden soll. 2 berührt die Schmelze 3, die durch eine regulierte Erwärmung mittels des elektrischen Widerstandsofens 5 im Gefäß 4 gerade auf Schmelztemperatur gehalten wird. Entsprechend der Zunahme des Kristallisationsvorgangs wird nun der Kristall 2 mittels des Fadens 1 in der Pfeilrichtung hochgezogen. Er bleibt dauernd ein Einkristall, wenn man durch Versuche eine passende Zuggeschwindigkeit ausfindig gemacht hat. Auf diesem Wege lassen sich aus beliebigen Metallschmelzen Einkristalle von vielen Zentimetern Länge in der Zugrichtung gewinnen.

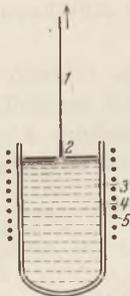


Fig. 18.
Kristallzüchtungsvorrichtung nach CZOCHRALSKI-(TAMMANN), schematisch.

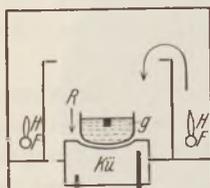


Fig. 19.
Kristallzüchtungsvorrichtung nach STÖBER, schematisch.

Von F. STÖBER (45) wird für die Herstellung von Salzeinkristallen aus Schmelzen die in der Fig. 19 schematisch gezeichnete Vorrichtung angegeben. Die Schmelze befindet sich in einem Gefäß *G*, das auf einem Kühler *Ku* aufsitzt. Erwärmt wird das Gefäß *G* durch einen Heißluft-Abgasstrom, der von oben durch eine Kaminvorrichtung kommt. Die eigentliche Heizung *H* befindet sich außerhalb des Zugkamins in Form zahlreicher Gasflammen *F*. Durch diese Anordnung wird bezweckt, daß das Kristallisationsgefäß einem Temperaturgefälle ausgesetzt ist, das seine Maximaltemperatur in der Nähe der Schmelzdecke und seine Minimaltemperatur am Boden des Gefäßes hat. Bringt man einen kleinen Kristall auf die Oberfläche der Schmelze, oder läßt man die natürliche Keimbildung wirken, so werden

die Kristalle in der Richtung *R* von der Oberfläche nach dem Boden der Schmelze zu wachsen.

Mit Ausnahme der Arbeiten der TAMMANNschen Schule und denen von NACKEN sind Wachstumsstudien bei Kristallisationen aus der Schmelze mit einigem Erfolg nicht mehr vorgenommen worden.

Zusammenfassung.

Wenn man auch die unmittelbare Entstehung eines Kristalles der Beobachtung nicht zugänglich machen kann, so kann man insbesondere durch Versuche, wie sie von GROSS, VOLMER und deren Mitarbeitern an Kristallisationen im Gasraum und von VALETON, SPANGENBERG und ihren Mitarbeitern an Lösungen vorgenommen wurden, doch weitreichende Einblicke in die Vorgänge bei der Bildung von Kristallflächen gewinnen. Das Experiment führt zu der Auffassung, daß Netzebene um Netzebene tangential auswächst und dann von einer neuen gleichorientierten Netzebene überschichtet wird. Das Wachstum einer Kristallfläche ist nicht unabhängig von dem der Nachbarflächen. Die Beziehungen zwischen der Konzentration der Nachbarschaft an Nährstoff und der Verteilung der Bausteine in der wachsenden Fläche lassen sich experimentell nicht verfolgen.

Die beschriebenen Beobachtungsmethoden haben die Theorie reich befruchtet. Von KOSSEL (22, 23) und STRANSKI (46, 47, 48) sind neben VOLMER für das Wachstum heteropolarer Kristalle Anschauungen entwickelt worden, die den Anfang einer exakten Theorie des Kristallwachstums bilden dürften. SPANGENBERG (44) und früher

VALETON (53 bis 57) haben auf Grund ihrer Beobachtungen ebenfalls wichtige theoretische Erkenntnisse beisteuern können. Da diese theoretischen Arbeiten über den Rahmen der vorliegenden Darstellung hinausgreifen würden, möge ein Hinweis auf sie genügen.

Literaturverzeichnis.

Die für eine erste Einführung besonders geeigneten Arbeiten sind durch ein vorgesetztes * gekennzeichnet.

1. G. AMINOFF, Z. kristallogr. Mineral. **61**, 373 (1925). — 2. G. AMINOFF, Z. kristallogr. Mineral. **65**, 23, 632 (1927). — 3. D. N. ARTEMJEW, Z. kristallogr. Mineral. **48**, 425. — 4. F. BECKE, Neues Jahrb. Mineral. geol. Palaeont. **1**, 6 (1895). — 5. W. v. BEHREN u. J. TRAUBE, Z. physik. Chem. **146**, 1 (1930). — 6. M. BORN, Atomtheorie des festen Zustandes. Leipzig 1923. — 7. H. BRANDES, Z. physik. Chem. **126**, 196 (1927). — 8. P. W. BRIDGMAN, Proc. amer. Acad. Arts Sci. **60**, 305 (1925). — *9. CASSEL, Erg. exakt. Naturwiss. **6**, 104 (1927). — *10. J. CZOCHRALSKI, Z. physik. Chem. **92**, 219 (1918). — 11. P. P. EWALD, Handbuch der Physik (GEIGER-SCHEEL), Bd. 24, S. 191. — *12. H. FREUNDLICH, Kapillarchemie I. Leipzig 1930. — 13. G. FRIEDEL, Bull. Soc. franç. Minéral. **48**, 6 (1925). — 14. G. FRIEDEL, Bull. Soc. franç. Minéral. **49**, 1 (1926). — 15. F. GILLE u. K. SPANGENBERG, Z. kristallogr. Mineral. **65**, 204 (1927). — 16. E. v. GOMPERZ, Z. Physik **8**, 184 (1922). — 17. R. GROSS, Abh. math.-phys. Kl. sächs. Ges. Wiss. Leipzig **35**, 135 (1918). — *18. R. GROSS u. M. VOLMER, Z. Physik **5**, 188 (1921). — *19. A. JOHNSEN, Vortr. 82. Vers. Naturforscher u. Ärzte (Wachstum und Auflösen der Kristalle). Leipzig 1910. — 20. A. JOHNSEN, Zbl. Mineral., Geol. Palaeont. **1917**, 87. — 21. KNUDSEN, Ann. Physik. **50**, 472 (1916). — 22. W. KOSSEL, Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. **1927**, 135. — *23. W. KOSSEL, In Leipziger Vorträge 1928, S. 1. — 24. I. LANGMUIR, Proc. nat. Acad. Sci. U.S.A. **3**, 251 (1917). — 25. E. MADELUNG, Physik. Z. **19**, 524 (1918). — 26. R. MARC, Z. Elektrochem. **15**, 679 (1909). — 27. R. MARC, Z. physik. Chem. **79**, 71 (1912). — 28. H. MARK, Die Verwendung der Röntgenstrahlen in Chemie und Technik. Leipzig 1926. — 29. G. MENZER, Z. kristallogr. Mineral. **75**, 143 (1930). — 30. R. NACKEN, Neues Jahrb. Mineral., Geol. Palaeont. B.B. **2**, 141 (1915). — 31. W. NERNST, Theoretische Chemie 1926, S. 790. — *32. A. NEUHAUS, Z. kristallogr. Mineral. **68**, 15 (1928). — 33. P. NIGGLI, Lehrbuch der Mineralogie, 2. Aufl., Bd. 1. Berlin 1924. — 34. W. POPPE, Neues Jahrb. Mineral., Geol. Palaeont. B.B. **38**, 363 (1915). — 35. W. SCHNORR, Z. kristallogr. Mineral. **54**, 289 (1915). — 36. W. SCHNORR, Z. kristallogr. Mineral. **68**, 1 (1928). — 37. A. SMEKAL, Forschungen und Fortschritte, Nov. 1929. — 38. K. SPANGENBERG, Z. kristallogr. Mineral. **59**, 375, 383, 437 (1923—24). — 39. K. SPANGENBERG, Z. kristallogr. Mineral. **61**, 189 (1925). — 40. K. SPANGENBERG, Z. kristallogr. Mineral. **63**, 151 (1926). — 41. K. SPANGENBERG, Z. kristallogr. Mineral. **65**, 204 (1927). — 42. K. SPANGENBERG, Zbl. Mineral., Geol. Palaeont. Abt. A. **1925**, 338. — 43. K. SPANGENBERG, Zbl. Mineral., Geol. Palaeont. Abt. A. **1927**, 392. — *44. K. SPANGENBERG, Neues Jahrb. Mineral., Geol. Palaeont. B.Bd. Abt. A. **57** II, 1197 (1928). — 45. F. STÖBER, Z. kristallogr. Mineral. **61**, 299 (1925). — *46. I. N. STRANSKI, Z. physik. Chem. **136**, 259 (1928). — 47. I. N. STRANSKI, Z. physik. Chem. **142** A, 453 (1929). — *48. I. N. STRANSKI, Z. physik. Chem. **B 11** (4), 342 (1931). — 49. G. TAMMANN, Kristallisieren und Schmelzen. Leipzig 1903. — *50. G. TAMMANN, Aggregatzustände. Leipzig 1922. — 51. J. TRAUBE, Z. Elektrochem. **35**, 626 (1919). — 52. J. TRAUBE u. D. JACOBY, Z. anorg. u. allg. Chem. **170**, 85 (1928). — *53. J. J. P. VALETON, Kristallform und Löslichkeit. Ber. d. Math.-phys. Kl. sächs. Ges. Wiss. Leipzig **67**, 1 (1915). — 54. J. J. P. VALETON, Physik. Z. **21**, 606 (1920). — 55. J. J. P. VALETON, Z. kristallogr. Mineral. **59**, 135 (1923). — 56. J. J. P. VALETON, Z. kristallogr. Mineral. **59**, 335 (1923). — 57. J. J. P. VALETON, Z. kristallogr. Mineral. **60**, 1 (1924). — 58. M. VOLMER, Z. Physik **5**, 31 (1921). — 59. M. VOLMER, Z. Physik **9**, 193 (1922). — 60. M. VOLMER, Z. physik. Chem. **102**, 267 (1922). — *61. M. VOLMER u. G. ADHIKARI, Z. Physik **35**, 170, 722 (1925). — 62. M. VOLMER u. G. ADHIKARI, Z. physik. Chem. **119**, 46 (1926). — *63. M. VOLMER u. ESTERMANN, Z. Physik. **7**, 13 (1921). — 64. M. VOLMER u. ESTERMANN, Z. physik. Chem. **99**, 383 (1921). — *65. R. W. WOOD, Philosophic. Mag. (6) **30**, 300 (1915). — 66. R. W. WOOD, Philosophic. Mag. (6) **32**, 364 (1916).

Kleine Mitteilungen.

Schullampen.

Von Dr. W. Volkmann in Berlin-Steglitz.

(Mitteilung der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht, Berlin.)

Nach längeren Verhandlungen und zahlreichen vergleichenden Versuchen hat die Staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht gemeinsam mit der Osram G. m. b. H. 10 Lämpchen als „Schullampen“ teils aus Vorhandenem ausgewählt, teils neu gestaltet. Die Angaben über Form und Strombedarf dieser Lampen sind auf Schulmerkbblatt 5 vereinigt.

Bisher waren die Schulbedürfnisse von den Glühlampenfabriken nicht als eine Richtlinie bei der Entwicklung von Lampenformen behandelt worden. Sieht man den Einzelfall an, so scheint auch keine Notwendigkeit hierfür zu bestehen, denn stets läßt sich unter den listenmäßigen Lampen mehr als eine angeben, womit der gewünschte Schulversuch ausgeführt werden kann. Nun läßt sich aber die Lampe nicht ohne Zubehör verwenden. Sie muß in einem Lampengehäuse sitzen, das nur in bestimmter Richtung Licht hinausläßt und zu dem übrigen Gerät, insbesondere den Linsenfassungen, paßt. Eine Ersatzlampe muß also nicht nur in optischen Eigenschaften, sondern auch in ihrer Form stimmen. Für einige Versuche kommt es gerade auf die Form des Leuchtkörpers der Lampe an. Ferner werden alle genauen Beschreibungen optischer Versuche entwertet, wenn bald nach ihrer Veröffentlichung die darin benutzten Lampen aus dem Handel verschwinden.

Die kleinen Glühlampen sind heute schon so gut, daß die Schule auf weitere geringe Verbesserungen weniger Wert legt, als auf die Erhaltung erprobter Formen, denen das übrige Gerät angepaßt ist. Im Schulmerkblatt 5 wird diese Erkenntnis auch von Seiten der Hersteller gewürdigt.

Von den 10 Lampen sind einige für die Unterrichtsversuche des Lehrers, einige für die Schülerübungen bestimmt. Im folgenden soll die Verwendungsweise angegeben und die Auswahl begründet werden.

Die Lämpchen für die Schülerversuche haben durchweg das kleine Gewinde der Taschenlampen und die Lampenspannung 4 Volt. Es ist daher mit einer zweckmäßigen Fassung auszukommen, und es können nicht durch falsche Wahl unter verschiedenen Spannungen Schäden entstehen.

Das Lämpchen 4 Volt 0,3 Amp stimmt mit der normalisierten Lampe F_1 für Fahrraddynamo überein. Bei den Versuchen zur Linsenoptik wird oft der kleine Kreis abgebildet, den die Lampe in der Wendelachse zeigt. In anderen Fällen wird die größere Lichtstärke quer zu dieser Richtung benutzt. Man kann mit dieser Lampe im Schülerübungsversuch für Linsenoptik, objektive Spektren, Wiedervereinigung der Farben, Interferenz und Beugung auskommen, ohne das Zimmer völlig zu verdunkeln. Der geringe Stromverbrauch ermöglicht es, mit einer bescheidenen Sammlerbatterie viele Plätze zu versorgen. Allenfalls genügt auch je eine Taschenlampenbatterie.

Dasselbe Lämpchen mit mattweißem Überzug dient als Lichtquelle für Kern- und Halbschatten, als heller Hintergrund für Lupenbeobachtung und — dicht unter das Präparat gebracht — als Mikroskopbeleuchtung.

Das Lämpchen 4 Volt 5 Watt ist gasgefüllt und dem vorigen an Helligkeit und — was wichtiger ist — an Leuchtdichte sehr überlegen. Wo der größere Strombedarf keine Schwierigkeiten verursacht, z. B. im Wechselstromnetz, wird man für viele Versuche diese Lampe der vorigen vorziehen.

Diese drei Lämpchen kann man auch im Vortragsversuch benutzen, wenn man etwa 5,5 Volt anwendet. Die Helligkeit wird dadurch sehr gesteigert; die Lebensdauer nimmt freilich ab. Bei dem niedrigen Preise der Lämpchen ist diese schärfere Beanspruchung im Einzelversuch durchaus noch gerechtfertigt. Über die Verwendung des Klingeltransformators für diesen Zweck vgl. Schul-Merkblatt 3.

Lämpchen 4 Volt 0,04 Amp stimmt überein mit der Rücklichtlampe für Fahrräder. Bewegt man das mit Wechselstrom gespeiste Lämpchen vor einem photographischen Apparat und macht eine Momentaufnahme, so erhält man so viele Lichtpünktchen auf der Platte, als Stromwechsel während der Aufnahmedauer erfolgt sind. Der Verschluß kann auf diese Weise geprüft werden. (Ähnliche Zeitmessungen in der Physik.)

Für die Biologie dient Lämpchen 4 Volt 4 Watt mit mattweißem Überzug als Mikroskopbeleuchtung noch aus $\frac{3}{4}$ m Abstand. Das Gewinde ist 14 mm. Mit diesem Gewinde gibt es Kleinbeleuchtungslämpchen für 4 Volt, 5 bis 15 Watt, die als Platzbeleuchtung beim Präparieren dienen können. Da es auf ihre genaue Form nicht

ankommt, sind sie im Merkblatt nicht aufgeführt. Die sehr bedenkliche Zuführung von Netzstrom zu den Arbeitsplätzen der Schüler kann also auch hier vermieden werden.

Photographische Gelegenheitsarbeiten auf den Schülerplätzen können recht gut mit dem Lämpchen 3,5 Volt 0,3 Amp rot ausgeführt werden, das 4 Volt verträgt; mit Taschenlampenbatterie dient diese Lampe als Reisebehelf. Als Dunkelkammerausrüstung nimmt man Lampen für Netzspannung.

Für den Bildwurf in Physik, Chemie, Biologie dient die Lampe 12 Volt 100 Watt nach Anleitung von Schul-Merkblatt 1. Wird die große Tiefenschärfe, die mit dieser kleinen Lampe möglich ist, nicht gebraucht, so kann man die Bildhelligkeit verdoppeln durch Einfügen einer Meniskuslinse zwischen Lampe und Beleuchtungslinse. Bei dem mäßigen Preise der Lampe ist auch ihre Verwendung an 14 Volt möglich und bei sehr hellem Wetter besser als Abdunkelung eines zweiten Fensters. Der in der Wendelachse sichtbare Kreis ist eine vorzügliche Lichtquelle für Versuche über Linsenfehler.

Für objektive Spektre, Interferenz, Beugung und Polarisation ist das Lämpchen 6 Volt 25 Watt vorzüglich geeignet. Sein niedriger Preis rechtfertigt die Anwendung von 8 Volt bei diesen Versuchen und bei der objektiven Mikroskopie. Anleitung zu den Versuchen in Heft 12 der Mitteilungen der Preußischen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht (Quelle & Meyer, Leipzig, 1930).

Die Polsuchlampe ist eine Glimmlampe für Netzspannung. Sie dient zum Feststellen der Pole bei Gleichstrom und, indem man sie bewegt, zum Nachweis des Polwechsels bei Wechselstrom, ferner als Lichtquelle für ein Linienspektrum und für Interferenzstreifen dünner Blättchen. Zahlreiche andere Verwendungen sind bei FR. SCHRÖTER: Die Glimmlampe, ein vielseitiges Werkzeug des Elektrikers (Hachmeister und Thal, Leipzig 1928) angegeben. Da die Lampe nur 4 Watt verbraucht, kann man sie im Notfall mit Anodenbatterie benutzen. Noch geringer ist der Stromverbrauch der Signalglimmlampe, deren kräftiges Licht zwischen den Scheiben sogar ein bescheidenes objektives Linienspektrum ermöglicht. Sie ist zu weiteren optischen Versuchen und zum Anzeigen LECHERScher Drahtwellen geeignet.

Die Lampen sind bei den Fabrikanten physikalischer Schulapparate erhältlich. Diese liefern auch Gehäuse dazu, die zu den Stativen, Linsenfassungen und sonstigen Geräten der betreffenden Werkstatt passen.

Für die optischen Versuche mit obigen Lampen sind Anleitungen gegeben in des Verfassers Büchern: Praxis der Linsenoptik, 2. Aufl., Berlin, Gebr. Borntraeger, 1929; Linsenoptik in der Schule, Berlin, Springer, 1927. (Die dort noch empfohlene Punktlichtlampe benutze ich nicht mehr, sondern Glühlampe 12 Volt 100 Watt.) Die elektrische Schulausrüstung, Anhang (Heft 12 der Mitteilungen der Hauptstelle, Quelle & Meyer, Leipzig, 1930), ferner in den Anleitungen von Leppin & Masche, Berlin SO 16, Engel Ufer 27 zu seinem Optik-Kasten und von Eduard Liesegang, Düsseldorf, Volmerswerther Str. 21 zum Quantprojektor.

Den Transformator für 2 bis 20 Volt beschreibt Schulmerkblatt 3. Die Schulmerkblätter sind von der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht unentgeltlich (5 Pfg. Portokosten sind mitzusenden) erhältlich.

Einfache Demonstration der elektrischen Koppelungsschwingungen.

Von Walter Möller in Altona (Oberrealschule).

Über das Thema „Resonanz zweier elektrischer Schwingungskreise“ ist in dieser Zeitschrift schon öfter gesprochen worden. Um daher Wiederholungen zu vermeiden, sei auf folgende Arbeiten hingewiesen: Die Verwendung des technischen Wechselstroms zu Resonanzversuchen. Von E. HENSEL, Jahrg. 1926, S. 21. Praktische Versuche mit dem Wellenmesser. Von FR. MOELLER, Jahrg. 1926, S. 213. Eine neue Apparatur zur Demonstration elektrischer Schwingungserscheinungen. Von H. E. HOLLMANN, Jahrg. 1926, S. 265. Über selbstgefertigte Geräte zur Demonstration elektrischer

Schwingungen usw. Von W. MÖLLER, Jahrg. 1923, S. 17 und Jahrg 1925 S. 22. Auch in der im Auftrage der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht von FR. MOELLER herausgegebenen Schrift über „Versuche zur Untersuchung von Schwingungskreisen mit dem Wellenmesser“ sind eine große Zahl von Resonanzversuchen zu finden, die für den Unterricht außerordentlich brauchbar und wirkungsvoll sind. FR. MOELLER behandelt u. a. auch die Frage der Koppelungsschwingungen, die er mit dem Wellenmesser nachweist und zugleich der Größe nach bestimmt.

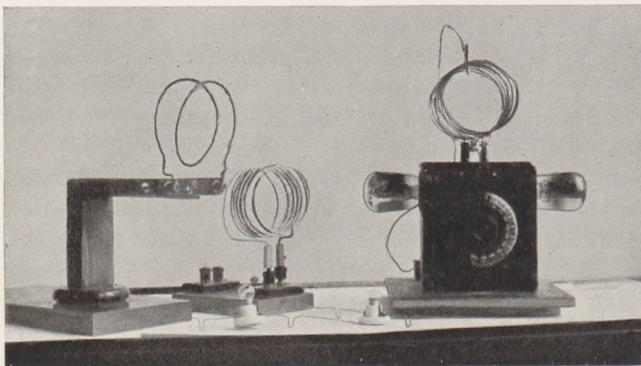


Fig. 1.

Wenn es nicht auf die quantitative Erfassung der beiden Koppelungswellen ankommt, sondern wenn es genügt, sie qualitativ nachzuweisen, so ist auch mit einfachen Mitteln auszukommen. Ich habe für diese Zwecke eine Apparatur gebaut, die ich häufig im Unterricht mit Erfolg benutzen konnte. Sie ist auch als Vorbereitung auf die messenden Versuche mit dem Gerät nach FR. MOELLER sehr gut brauchbar.

Als Schwingungserzeuger habe ich irgend einen Kurzwellensender z. B. in der Dreipunkt- oder der Gegentaktschaltung verwandt. Als Senderöhre diente mir die Lautsprecherröhre R.E. 134 von Telefunken, die mit etwa 200 Volt Anodengleichspannung für Laboratoriumszwecke sehr gut geeignete Sendeleistungen abgibt. Auch die Röhrentypen Valvo L. 413 und Valvo L.R. 4100 haben sich bei meinen Versuchen durchaus bewährt.

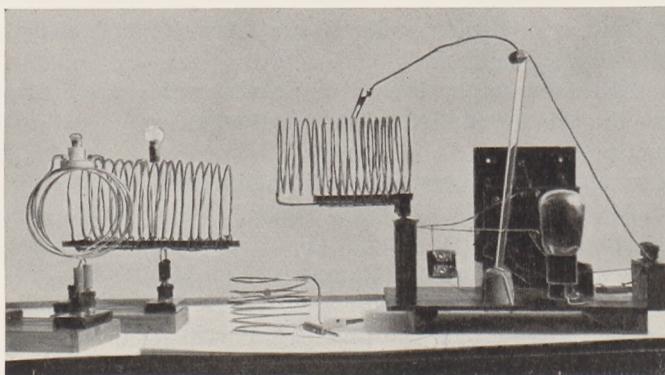


Fig. 2.

Fig. 1 zeigt den Dreipunktssender und Fig. 2¹ den Gegentaktsender. Für diejenigen, die noch über keine Senderschaltung verfügen, sei die Gegentaktschaltung empfohlen. Sie ist in dem oben genannten Aufsatz von HOLL-

MANN ausführlich beschrieben. Gegenüber der Dreipunktschaltung hat sie den Vorzug, daß die Sendeintensität infolge der Verwendung von zwei Röhren den doppelten Wert besitzt. Außerdem arbeitet die Gegentaktschaltung sehr konstant. Auch bei länger dauernden Versuchen von sogar mehreren Stunden sind keine Schwankungen in der ausgestrahlten Frequenz zu bemerken. Zur Abstimmung des Oszillatorkreises habe ich einen Drehkondensator von 100 cm und gelegentlich auch einen von 250 cm Maximalkapazität gebraucht. Als Induktivität benutzte ich freitragend gewickelte Spulen von 7 cm Durchmesser mit 5 bis 15 Windungen, versilberten Kupferdraht von ungefähr 2 mm² Stärke.

Der Drehkondensator, die Röhrensockel und die anderen Schaltelemente mit Ausnahme der Spulen sind unmittelbar auf dem Grundbrett montiert. Über diesen Teilen

¹ Die in Fig. 2 zugleich abgebildeten Glühlampen und der Spulenträger zur Linken dienen für den Paralleldrahtversuch nach LECHER.

stehen auf einer Brücke die Spulen. Ihre Enden tragen Bananenstecker, die in die auf der Brücke angebrachten Steckbuchsen passen, damit die Spulen leicht gegeneinander ausgewechselt werden können.

Einige der Spulen, die in den mit dem Sender gekoppelten Empfangskreisen benutzt werden sollen, sind in der Mitte aufgeschnitten und dort kleine Glühlampenfassungen für die bekannten 1,5; 2,5 und 3,5 Volt Osramglühlampen eingesetzt. Sie sind links in Fig. 1 gezeigt. Die Erklärung für den Zweck dieser Maßnahme folgt weiter unten. Vergl. Versuch 4.

Zunächst soll der einfache Resonanzversuch ausgeführt werden.

Versuch 1. Parallel zu einer Empfangsspule wird ein Drehkondensator geschaltet (etwa 500 cm Maximalkapazität). Sender- und Empfangskreis werden in ungefähr 40 cm Entfernung so aufgestellt, daß ihre Spulen auf derselben Achse liegen. Durch langsames Variieren der Kapazität wird der Empfangskreis auf Resonanz eingestellt. Die Glühlampe leuchtet. Durch weitere vorsichtige Annäherung wird die Empfangsspule tiefer in das magnetische Wechselfeld des Senders eingetaucht. Die Glühlampe leuchtet bald so stark, daß für ihren Glühfaden die Gefahr des Durchbrennens besteht.

Bei hinreichend loser Koppelung, also bei entsprechend weitem Spulenabstand, ist die Abstimmsschärfe außerordentlich groß. Das Aufleuchten der Indikatorlampe tritt nur bei einer bestimmten Drehkondensatorstellung ein. Die Resonanzkurve ist also sehr spitz.

Versuch 2. In dem ersten Versuch waren beide Kreise auf die gleiche Frequenz eingestellt. Nur weil diese Resonanzbedingung erfüllt war, konnte der Sender noch in so verhältnismäßig großer Entfernung den Empfänger zum Mitschwingen anregen.

Verstimmen wir den Empfangskreis, so können wir dennoch die Indikatorlampe zum Aufleuchten bringen, wenn wir nur die Koppelung mit dem Sender fest genug einstellen. In diesem Falle sind jedoch die auf der Empfangsseite auftretenden Wechselströme keine Resonanzschwingungen mehr, sondern sie sind durch das kräftige magnetische Wechselfeld des Senders erzwungen. Sie folgen daher auch nicht mehr der Eigenfrequenz des Empfangskreises, sondern der Senderfrequenz.

Solche durch feste Koppelung erzwungenen Schwingungen treten auch in jedem einfachen Drahtkreis aus einer einzigen Windung ohne Kondensator auf. Wir brauchen nur einen solchen Kreis etwa vom Durchmesser der Senderspulen über eine Glühlampe kurz zu schließen und haben damit die einfachste Sonde konstruiert, mit der wir z. B. die Frage experimentell beantworten können, ob ein Sender in Tätigkeit ist, ob also eine Schwingkreisspule von Wechselströmen durchflutet wird oder nicht.

Bei hinreichend fester Koppelung zwingt der Sender dieser Sonde so starke Wechselströme auf, daß die Indikatorlampe in heller Weißglut strahlt.

Während mit dem ersten Versuch zugleich das Prinzip der Resonanztransformation erklärt werden kann, ist bei dem zweiten an die Wirkung des gewöhnlichen Transformators zu erinnern, wo ja auch infolge der festen Koppelung die Ströme auf der nicht abgestimmten Sekundärseite durch das starke magnetische Wechselfeld der Primärseite erzwungen werden.

Versuch 3. Wir erweitern nunmehr die Versuchsanordnung nach Fig. 3 und schalten auf dem Wege vom Spulenende zum Drehkondensator eine zweite Glühlampe G_2 ein, die der ersten G_1 kongruent ist. Durch das Hinzufügen des zweiten Glühfadens ist die Dämpfung im Resonator stark vergrößert worden. Dies zeigt sich einmal in der Abnahme der Abstimmsschärfe. Wir erhalten auf einem viel größeren Bereich des Drehkondensators das Aufleuchten beider Glühlampen.

Aus diesem Versuch folgt das Resultat, daß in einem guten abstimmsscharfen Empfangsgerät die OHMSchen Widerstände in den Schwingungskreisen möglichst klein

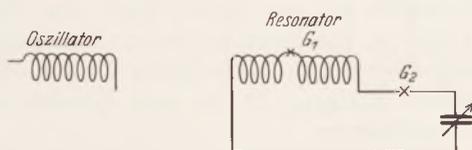


Fig. 3.

gehalten werden müssen. Das Ergebnis gewinnt eine große praktische Bedeutung für alle diejenigen Schüler, die sich selbst mit der Herstellung von Rundfunkempfängern beschäftigen.

Die Dämpfungszunahme im Resonatorkreis verursacht neben der Verringerung der Abstimmstärke noch eine weitere Folgeerscheinung. Wenn wir die bei diesem Versuch im Resonator auftretenden Stromstärken mit den entsprechenden Werten des Versuches 1 vergleichen, sie z. B. oberflächlich nach der Lichtentwicklung der Glühfäden beurteilen, so zeigt sich, daß sie bei gleichen Koppelungsgraden nicht mehr so große Intensitäten annimmt. Wir können den mit zwei Glühfäden ausgerüsteten Empfänger ohne Bedenken fester mit dem Sender koppeln. Es besteht für die Glühfäden keine Gefahr, daß sie durchbrennen.

Das Vergrößern des OHMSchen Widerstandes in der Empfangsströmbahn bedingt ein starkes Abflachen der Resonanzkurve.

Versuch 4. Die Anordnung des Versuches 3 läßt sich noch in einer ganz anderen Richtung ausbeuten. Solange wir mit den größeren Kapazitätswerten der Drehkondensatoren arbeiten, zeigt sich, daß beide Glühlampen G_1 und G_2 in der Resonanzstellung dieselbe Lichtstärke entwickeln. Dieses Ergebnis werden wir so lange behalten, wie die angewandten Drehkondensatorkapazitäten größer als die verteilte Kapazität auf den Spulen sind. Das Experiment zeigt, daß sobald diese Bedingung erfüllt ist, die Stromstärke in der Spulenmitte denselben Wert wie an ihrem Ende hat. Der Strom hat in allen Teilen der durchflossenen Bahn im Zeitelement dt die gleiche Stärke. Er ist also quasistationär. Sein Wert ist durch den jeweiligen Ladungsstrom

$$J = C \frac{dV}{dt}$$

gegeben.

Ganz anders wird das Versuchsergebnis, wenn wir mit den Minimumwerten der Drehkondensatoren arbeiten, so daß jetzt die verteilte Spulenkapazität überwiegt. Wir wählen für diese Experimente daher aus unserem Vorrat zweckmäßig die Spulen mit größerer Eigenkapazität, also diejenigen von 15 Windungen heraus.

Stellen wir jetzt bei loser Koppelung auf Resonanz ein, so leuchtet die Lampe G_1 in der Spulenmitte bedeutend heller als die am Kondensatorpol liegende G_2 ¹.

Unter der Bedingung, daß die Kapazität des Drehkondensators kleiner als die verteilte Spulenkapazität ist, bleibt die Stromstärke nicht mehr quasistationär, sondern nimmt in der Mitte der Spule ein deutliches Maximum an. Die Größe J ist außer von der Zeit t noch von dem Ort abhängig geworden, wo sie in dem Leitergebilde gemessen wird.

Die theoretisch ziemlich komplizierten Verhältnisse lassen sich durch diesen Versuch an der verschiedenen Lichtentwicklung der beiden Glühlampen sehr anschaulich demonstrieren.

Versuch 5. Der mit den beiden Glühlampen G_1 und G_2 in der Schaltung der Fig. 3 ausgerüstete Empfänger wird bei möglichst loser Koppelung auf Resonanz eingestellt. Wie bereits erwähnt, ist die Abstimmstärke infolge der OHMSchen Widerstände der zwei Glühfäden nicht allzu groß, und die Resonanzkurve ist abgeflacht. Nähern wir bei vorhandener Resonanz die Empfangsspule langsam dem Sender, so ist folgendes zu beobachten. Zunächst wird die Helligkeit der Lampen größer. Wir steigern darauf die Koppelungsfestigkeit weiter und tauchen endlich die Resonatorspule so tief wie möglich in das magnetische Wechselfeld des Senders ein. Dabei erhalten wir die auffallende Tatsache, daß der anfänglichen Zunahme der Glühfadenlichtstärke bald eine Abnahme sogar bis zum völligen Erlöschen bei unmittelbar benachbarter Spulen-

¹ Ich habe bei meinen Arbeiten gefunden, daß die im Handel käuflichen Osramlampen nicht immer kongruent sind. Man tut gut, sich aus einem größeren Vorrat zwei gleiche herauszusuchen und sie in einem Gleichstrom sorgfältig durchzuprobieren.

stellung folgt. Trotz des größten Koppelungsgrades hat die Stromstärke im Resonator so geringe Werte angenommen, daß sie nicht mehr für die Glühtemperatur der Fäden ausreichen. Wir sind von dem Resonanzmaximum des einwelligen Systems bei loser Koppelung durch die Vergrößerung des Koppelungsgrades in den Sattel der zweiwelligen Koppelungskurve gekommen. Auf jeder Seite dieses Sattels liegt je ein Resonanzmaximum. Um diese Besonderheiten, die sich nur bei enger Koppelung zweier Schwingungskreise zeigen, genau zu untersuchen, arbeiten wir im

Versuch 6 mit zwei Resonanzkreisen, deren Induktivitäten und Kapazitäten so dimensioniert sind, daß sie auf die Schwingungen des Oszillators abgestimmt werden können. Beide Kreise sind wieder mit Indikatorlampen ausgerüstet, wobei es jetzt gleichgültig ist, ob diese in der Spulenmitte oder auf dem Wege vom Spulenende zum Drehkondensator eingefügt werden. Die Empfangskreise seien mit E_1 und E_2 und der Schwingkreis des Senders mit S_1 bezeichnet.

Wir koppeln zunächst den einen der Resonatoren lose und induktiv mit dem Sender und stimmen ihn auf Resonanz ab, so daß seine Indikatorlampe G aufleuchtet. Alsdann wiederholen wir in einem zweiten Experiment die Abstimmung des zweiten

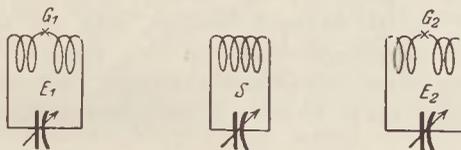


Fig. 4.

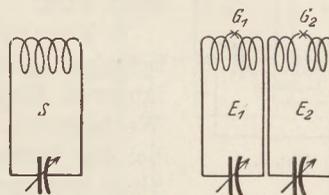


Fig. 5.

Resonators auf dieselbe Senderfrequenz. Eine nochmalige Kontrolle unserer Einstellung kann z. B. in der Anordnung der Fig. 4 erfolgen, wo auf jeder Seite des Senders je ein Resonator aufgestellt ist. Der Sender regt in dieser Aufstellung gleichzeitig beide Empfangskreise zum Mitschwingen an, so daß in jedem die Indikatorlampe aufleuchtet. Wird aber die Versuchsanordnung der Fig. 4 in die der Fig. 5 abgeändert, wo jetzt die beiden Resonatorkreise fest miteinander gekoppelt sind, so ist bei derselben Einstellung der Drehkondensatoren der Sender nicht mehr imstande, in beiden Empfangskreisen oder auch nur in einem die Glühlampe zum Leuchten zu bringen.

Daß diese eigentümliche Erscheinung nur eine Folge der festen Koppelung der Kreise E_1 und E_2 ist, weist man sehr einfach dadurch nach, daß man den Resonator E_2 wieder entfernt. Sofort zeigt die Glühlampe G_1 die Resonanz an.

Durch die fest angezogene Koppelung zwischen E_1 und E_2 hat sich die Resonanzlage verschoben. Das System der beiden eng miteinander verbundenen Kreise besitzt nicht mehr eine einzige Welle, auf die es resonanzfähig ist, sondern deren zwei. Die eine dieser beiden sogenannten Koppelungswellen ist größer und die andere kleiner als die jedes einzelnen Schwingungskreises. Man spricht demnach von einer größeren und einer kleineren Koppelungswelle.

Der Nachweis, daß das System $E_1 E_2$ seine Resonanzfähigkeit auf eine größere Welle hinübergewechselt hat, wird dadurch erbracht, daß man die anregende Schwingung auf eine größere Welle einstellt, also den Drehkondensator des Senderkreises S_1 nach der Richtung der größeren Kapazität variiert. Man erhält dann sehr bald das gleichzeitige Aufleuchten der beiden Indikatorlampen. Die größere Koppelungswelle ist damit experimentell nachgewiesen.

Aber nicht nur auf dieser längeren Welle ist das eng verbundene System $E_1 E_2$ resonanzfähig, sondern auch auf einer kürzeren, welche unterhalb der einfachen Resonanzwelle liegt. Diese kleinere Koppelwelle ist allerdings etwas schwieriger zu erkennen, da ihr magnetisches Feld im Vergleich zu dem der längeren Koppelungswelle schwächer ist. Auf diese Schwierigkeit macht auch FR. MOELLER in seiner eingangs erwähnten Schrift aufmerksam. Geht man aber mit dem anregenden Kreis

näher an das System $E_1 E_2$ heran, so kann man auch bei sorgfältig abgewogenem Koppelungsgrad das zur kleinen Koppelungswelle gehörige Resonanzmaximum durch das gleichzeitige Aufleuchten der Indikatorlampen sehr gut nachweisen. Es zeigt sich sehr scharf bei einer unterhalb des einfachen Resonanzkapazitätswertes liegenden Drehkondensatorstellung.

Die beiden Koppelwellen liegen um so weiter auseinander, je größer der Koppelungsgrad ist. Auch dieser funktionale Zusammenhang läßt sich mit der Versuchsanordnung sehr leicht zeigen.

Eine willkommene Kontrolle dieser Versuche, insbesondere eine Prüfung der Behauptung, daß die Zweiwelligkeit des Systems $E_1 E_2$ nur als Folge des engen Koppelungsgrades auftritt, ist für beide Koppelwellen immer dadurch gegeben, daß man in den zwei entsprechenden Resonanzstellungen die Koppelung lockert. Sobald der Kreis E_2 von E_1 entfernt wird, erlischt die Indikatorlampe und kommt erst dann wieder zum Aufleuchten, wenn der Senderkreis auf die Frequenz der einfachen Resonanz eingestellt wird.

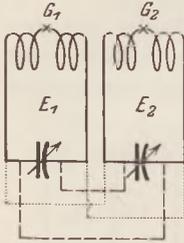


Fig. 6.

Versuch 7. Die Zweiwelligkeit der eng induktiv gekoppelten Schwingungskreise E_1 und E_2 ist dadurch bedingt, daß bei der längeren Koppelwelle beide Empfangskreise von den induzierten Wechselströmen in gleichem Sinne durchlaufen werden, während bei der kürzeren diese Ströme beide Bahnen in entgegengesetztem Sinne durchpulsen.

Auch diese Behauptung läßt sich experimentell prüfen. Die Spulen L_1 und L_2 (vergl. Fig. 6) seien in beiden Kreisen gleichsinnig gewickelt und ihre linken Enden mit den Statoren, ihre rechten Enden mit den Rotoren der Drehkondensatoren verbunden. Der Senderkreis wird auf die längere Koppelwelle eingestellt. Sollen nun die Spulen L_1 und L_2 von den induzierten Wechselströmen gleichsinnig durchlaufen werden, so werden z. B. in einem bestimmten Zeitelement dt beide Statoren gleichzeitig positiv aufgeladen, während die Rotoren gleichzeitig negatives Potential erhalten. Zwischen

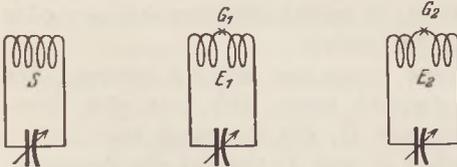


Fig. 7.

den Statoren und ebenso zwischen den beiden Rotoren besteht in diesem Falle kein Spannungsunterschied. Infolgedessen kann eine leitende Verbindung zwischen ihnen die Schwingungen in beiden Kreisen nicht stören.

Durchfließen dagegen die Wechselströme die Spulen L_1 und L_2 in entgegengesetztem Sinne, so werden auch die feststehenden

Plattensätze der beiden Drehkondensatoren auf entgegengesetztes Potential aufgeladen. Das Entsprechende gilt von den drehbaren Plattensätzen. In diesem Falle hat dann der Stator des einen Kreises dieselbe Spannung wie der Rotor des anderen. Man kann also jetzt den Stator des einen Kondensators mit dem Rotor des anderen leitend verbinden, ohne daß dadurch die Schwingungen vernichtet werden. Diese Überlegungen sind in der Tat leicht durch das Experiment zu bestätigen.

Werden, wie in der Fig. 6 durch die punktierte Linie angedeutet, die Statoren und die Rotoren unter sich verbunden, so läßt sich nur die längere Koppelwelle erregen. Bei der anderen Verbindung von Stator und Rotor, wie in Fig. 6 durch die gestrichelten Linien gezeigt, ist nur die kleinere Koppelwelle zu erhalten.

Versuch 8. In den bisher behandelten Versuchen ist die Abstimmung zweier Schwingungskreise durch das Aufleuchten der Indikatorlampen nachgewiesen worden. Es gibt noch einen anderen Weg, der sich mit demselben Gerät ebenfalls beschreiben läßt. Versuchsaufbau nach Fig. 7.

Der Resonator E_1 ist lose mit dem Sender gekoppelt und auf Resonanz mit der Senderfrequenz eingestellt. Seine Glühlampe G_1 leuchtet. Soll nun der Kreis E_2

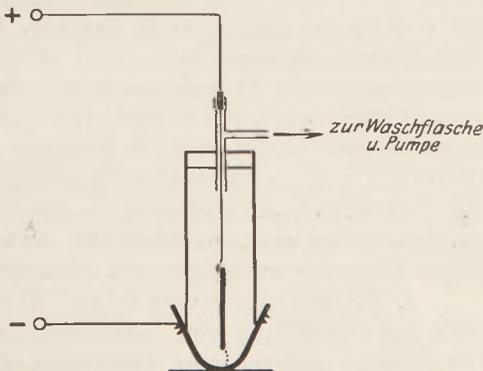
auf dieselbe Frequenz abgestimmt werden, so kann es auch in der Weise geschehen, daß man E_2 wiederum lose mit E_1 koppelt.

Sobald der Kreis E_2 auf Resonanz steht, entzieht er dem Schwingkreis E_1 soviel Energie, daß dessen Indikatorlampe G_1 erlischt. Auch diese Einstellung nach der Methode der Energieabsorption ist bei loser Koppelung außerordentlich scharf¹.

Für die Praxis.

Versuche mit dem elektrischen Tiegelofen. Von Dr. P. Pudsehies in Erfurt.

Daß der elektrische Schmelzofen in der Experimentalchemie einer vielseitigen Verwendung fähig ist, geht aus einer Reihe von Veröffentlichungen wie u. a. von R. FISCHER in der Zeitschrift „Aus der Natur“ (1913, S. 408)² hervor. Neuerdings ist durch die Firma Franz Hugerhoff, Leipzig, der Schmelzofen von FISCHER in verbesserter Form hergestellt worden, wobei vor allen Dingen für eine leichtere Beweglichkeit der in den Tiegel tauchenden Elektrode gesorgt worden ist. Freilich wird der erhöhte Preis die Anschaffung des Tiegelofens nicht allen Schulen ermöglichen. Die meisten in Frage kommenden Experimente lassen sich jedoch sehr wohl mit vereinfachtem Gerät ausführen, das auch gestattet, Verbesserungen und Ergänzungen der mit dem Tiegelofen ausführbaren Versuche vorzunehmen. Die bereits beschriebenen sowie die hier folgenden Versuchsangaben lassen den Tiegelofen in der Form verwenden, daß ein Graphittiegel von etwa 8 cm Höhe und 5 cm Durchmesser mehrfach mit 2 mm starkem Kupferdraht umschlungen und mit einer Gleich- oder Wechselstromquelle verbunden wird. Als Unterlage für den Tiegel dient eine Asbestplatte. In den Tiegel taucht eine Kohlenelektrode ein, die mit dickem Kupferdraht einige Male umwickelt ist und durch eine isolierte Stativklemme auf und ab bewegt werden kann. Da ein Graphittiegel 80 Rpf. kostet, so hat die geschilderte Einrichtung den Vorzug, außerordentlich preiswert zu sein.



1. Zur Darstellung der Luftsalpetersäure und deren Nachweis empfiehlt es sich, einen Gasglühlichtzylinder von oben in das Innere des Tiegels einzusetzen. Das obere Ende des Zylinders ist mit einem einfach durchbohrten Kork abgeschlossen, durch den ein T-Rohr führt, wie die beigelegte Figur zeigt. Der Kupferdraht der Kohlenelektrode geht in senkrechter Richtung durch das T-Rohr hindurch, in dessen oberem Ende durch ein Stückchen Gummischlauch die Abdichtung erreicht wird, wobei gleichzeitig die Elektrode durch Heben und Senken des Kupferdrahts in ihrer Beweglichkeit nicht beeinträchtigt wird. An das freie Ende des T-Rohres wird eine Waschflasche angeschlossen, in der sich Diphenylaminlösung befindet. Die Waschflasche selbst wird mit einer Wasserstrahlluftpumpe verbunden. Schaltet man einen Strom von 3 bis 8 Amp. ein, so daß ein schöner Lichtbogen entsteht, so genügen wenige Minuten des Saugens durch die Luftpumpe, um die intensive Blaufärbung des Diphenylamins hervorzurufen, wodurch der Nachweis der Salpetersäurebildung erbracht ist. Durch die geschilderte einfache Vorrichtung wird ein fast vollkommenes Absaugen des durch den Lichtbogen gebildeten NO und damit eine eindrucksvollere Wirkung

¹ Eine für diese Versuche geeignete Apparatur ist zu beziehen durch die Firma: Werkstätten für Feinmechanik von Peter Stenzel, Hamburg 23, Wandsbeker Chaussee 151.

² Vgl. auch den elektrischen Ofen nach W. FRANK, Fig. 486 in ARENDT-DOERMER, Technik der Experimentellen Chemie, 5. Aufl. 1925.

des Versuchs gewährleistet. Auch ist der Geruch des durch die Wasserstrahlpumpe angesaugten NO auf größere Entfernung wahrnehmbar. Die Experimentier- und Lehrbücher der Chemie empfehlen zur Ausführung dieses Versuches im allgemeinen eine vierfach tubulierte Kugel, die abgesehen von ihrem höheren Anschaffungspreis noch den Nachteil aufweist, daß sie durch den Lichtbogen in kürzester Zeit ungleichmäßig erwärmt wird und infolgedessen leicht springt, ganz besonders dann, wenn für diesen Versuch leichtschmelzende und sprühende Eisenelektroden Verwendung finden. Demgegenüber läßt sich der Versuch in dem Graphittiegel mit der geschilderten Abänderung beliebig lange ohne Zwischenfälle ausdehnen.

2. Bildung von SO_2 aus Gips. Die technische und wirtschaftliche Bedeutung dieses chemischen Vorganges ist bekannt wie die Möglichkeit seiner Nachahmung im elektrischen Tiegelofen, in welchem ein Gemisch von 3 Gewichtsteilen Gips und einem Gewichtsteil Sand dem Lichtbogen ausgesetzt werden. Stülpt man den Zylinder wie im vorhergehenden Versuch darüber, so läßt sich das entstehende SO_2 durch die Wasserstrahlluftpumpe fast quantitativ absaugen und in einer zwischengeschalteten Waschflasche mit Bariumchlorid ohne weiteres identifizieren.

3. Der elektrothermische Nachweis des Phosphors. Der Boden des Graphittiegels wird mit einer geringen Menge eines Gemisches von 5 Gewichtsteilen $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 3,5 Gewichtsteilen Kohlepulver und 3 Gewichtsteilen SiO_2 bedeckt und der Glaszylinder mit Elektrode in den Tiegel gesenkt. Sobald der Lichtbogen erzeugt ist, beobachtet man, nachdem die orangefarbene Calciumfärbung verschwunden ist, das grüne Licht des verbrennenden Phosphordampfes.

4. Darstellung von Glas. In sehr einfacher Weise kann der Lichtbogenofen auch zur Herstellung von Glasflüssen benutzt werden, wobei zweckmäßigerweise der Glaszylinder entfernt wird. Man trägt, nachdem der Lichtbogen gebildet ist, in kleinen Portionen ein Gemisch von gleichen Teilen Sand, Soda und Kalkspat in den Tiegel ein, wobei man durch vorsichtiges Hinzufügen des Gemisches in die unmittelbare Nähe des Lichtbogens dessen Abreißen tunlichst vermeidet. Erhöht man die Stromstärke, so erscheint in kurzer Zeit am Grunde des Tiegels eine Schmelze, die nach dem Erkalten sich als Glas erweist. Ein geringfügiger Zusatz von Kobaltsalz zu Beginn des Versuchs läßt schönes blaues Kobaltglas entstehen.

Berichte.

3. Geschichte und Erkenntnislehre.

Die Geschichte des Michelson-Versuches und seine Bedeutung für die moderne Physik¹. Von OSKAR MATHIAS in Graz.

A. Einleitung.

1. Die Konferenz am Mount Wilson.

Im Februar des Jahres 1927 hat am Mount-Wilson-Observatorium in Kalifornien eine illustre Konferenz getagt. Den Gegenstand der Beratungen bildeten neue Ausführungen und die Theorie jenes berühmten Versuches, den A. A. MICHELSON vor etwa einem halben Jahrhundert zur Feststellung der Bewegung der Erde relativ zum Äther erdacht hatte. Ein glücklicher Zufall hatte es gefügt, daß die hervorragendsten Forscher, die auf diesem Gebiete tätig waren, an der Ver-

sammlung teilnehmen konnten. MICHELSON selbst war anwesend und eröffnete die Berichte mit einer Schilderung seiner ersten Versuche und ihrer Vorgeschichte. Sodann gab H. A. LORENTZ, der schon im Jahre 1886 einen Einwand gegen die damalige Theorie des Experimentes erhoben hatte, einen kurzen Abriss der Theorie des Versuches. D. C. MILLER berichtete ausführlich über seine experimentellen Arbeiten, deren im Gegensatz zu den früheren Versuchen positives Ergebnis ja den Anlaß zu allen neuen Wiederholungen des Versuches gegeben hatte. Zu diesen Wiederholungen gehört insbesondere die schöne und interessante Arbeit von R. J. KENNEDY, über welche dieser berichtete. E. R. HEDRICK gab sodann einen Abriss seiner Theorie des Versuches, zu der PAUL S. EPSTEIN eine ergänzende Abhandlung geschrieben hatte. Letzterer gab schließlich einen kurzen Bericht über einige Experimente, die dem MICHELSON-Versuch verwandt sind und an verschiedenen Orten ausgeführt wurden.

¹ Nach Vorträgen, die der Verfasser im Sommerhalbjahr 1930 in den „Physikalischen Besprechungen“ der Grazer Universität gehalten hat.

2. Berühmtheit und Bedeutung des Versuches.

Der Versuch von MICHELSON, der in neuerer Zeit auch häufig nach MICHELSON und MORLEY, dem einstigen Mitarbeiter MICHELSONS, benannt wird, ist ohne Zweifel einer der berühmtesten in der ganzen Physik. Dies verdankt er vor allem der Relativitätstheorie und deren umfangreicher Literatur. Es wird später noch eingehend dargelegt, wie das unerwartete Ergebnis des Versuches den Anlaß zur Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie gegeben hatte. Hier wollen wir uns zunächst nur ganz allgemein überlegen, was der Versuch eigentlich unternimmt.

Das Schema des Experimentes ist allgemein bekannt. Ein Strahlenbüschel wird an einer Glasplatte gespalten; die beiden Teile bewegen sich nun in zueinander senkrechten Richtungen, werden von zwei auf diesen Richtungen normalen Spiegeln in sich reflektiert und gelangen so zur Interferenz. Die Interferenzfiguren werden in einem Fernrohr beobachtet, das auf die Ebenen der beiden Spiegel eingestellt ist. Die Glasplatte und die Spiegel sind auf einer möglichst starren Grundplatte aufmontiert. Mit dieser Anordnung soll nun eine eventuelle Verschiebung der Interferenzfransen beobachtet werden, die bei Lageänderungen des ganzen Apparates infolge der Bewegung der Erde einträte.

Der Versuch unternimmt es also, eine Beziehung zwischen Licht und bewegtem, starrem Körper (dem System der Spiegel und der Grundplatte) aufzufinden, oder anders ausgedrückt, eine Beziehung zwischen elektromagnetischem Feld und bewegter Materie. Diese beiden Begriffe gehören aber zu den grundlegendsten der heutigen Physik, und es ist unmittelbar klar, daß die Kenntnis ihrer Beziehungen zueinander von ganz fundamentaler Bedeutung für die Physik sein muß. Die Berühmtheit des Versuches hat also ihre volle, tiefe Berechtigung und ist keineswegs bloß in seiner historischen Rolle begründet. Immerhin ist es aus mehreren Gründen interessant, die geschichtliche Entwicklung seiner Fragestellung zu verfolgen.

B. Die historische Entwicklung der Optik.

3. Zweck dieser geschichtlichen Darstellung.

Die Betrachtung eines Problems im Rahmen seiner Geschichte hat mancherlei Vorteile und darf keineswegs bloß als alte Mode aufgefaßt werden. Durch eine solche Betrachtung wird erstens eine bessere Einsicht in die einzelnen Gedankengänge vermittelt, zumal manche Fragestellung ohne Kenntnis ihrer Geschichte überhaupt unverständlich bliebe. Zweitens lernt man aus dem Studium der Entwicklung einer Wissenschaft auch für die Gegenwart, und man lernt insbesondere die modernen Bestrebungen und Theorien richtiger einschätzen. Schließlich, und dies sei nicht der geringste Grund, ist es ein wahrer ästhetischer Genuß, die Entwicklung im Großen zu verfolgen und zu erkennen, wie die einzelnen

zufälligen Entdeckungen die Richtung der Entwicklungslinie bestimmten, während der sich daran anschließende Ausbau oder Umbau der Theorie fast zwangsläufig vor sich gehen mußte.

4. Die physikalischen Theorien in Abhängigkeit vom Erkenntnisstande ihrer Entstehungszeit.

Eine Theorie des Lichtes in physikalischem Sinne besitzen wir erst seit dem Ende des 17. Jahrhunderts. Denn die aus dem Altertum überlieferten Ansichten über das Wesen des Lichtes, an die man sich auch noch im Mittelalter hielt, waren nur philosophische Spekulationen, bei welchen die Erfahrungsgrundlage nahezu gänzlich fehlte. Es war vor allem die im Jahre 1675 von OLAF RÖMER gemachte Entdeckung, daß sich das Licht mit endlicher, wenn auch überaus großer Geschwindigkeit fortpflanzt, welche den Anstoß zur Aufstellung von zwei Theorien gab.

Was heißt das eigentlich: eine „physikalische Theorie“, eine „Erklärung“ einer Naturerscheinung? Wir können immer nur mit dem uns Bekannten und Vertrauten an das Unbekannte und zu Erforschende herantreten und trachten, dieses auf jene vertrauten Tatsachen durch irgendeine Verknüpfung zurückzuführen. Vor Jahrtausenden, als die Menschheit noch ihre Kindheit erlebte, waren auch ihre Ansichten über die unbelebte Natur durchaus kindlich. Die bekannten und vertrauten Tatsachen, mit denen man den Erscheinungen gegenüberstand, waren bloß die eigenen seelischen Regungen sowie die Erfahrungen am eigenen Leibe. So war auch die Einstellung der Natur gegenüber eine durchaus anthropomorphe. Beispiele hierfür liefert jede Mythologie in Menge, und es soll nur erwähnt werden, daß die Chinesen die Gezeiten den „Pulsschlag der Erde“ nannten, daß die Gestirne als Götter verehrt und Naturereignisse als Willensakte göttlicher Wesen gedeutet wurden.

Im Laufe der Zeiten aber erweiterte sich der Horizont der naiven Menschen. Besonders bei den Handwerksarbeiten, die auch auf der primitivsten Kulturstufe notwendig sind, wurden Erfahrungen gesammelt über die Eigenschaften der Materie und über die räumlichen Beziehungen der Körper zueinander, die „Lagerungsbeziehungen“, wie EINSTEIN sie nennt. Auf der Grundlage dieser nunmehr alltäglichen Erfahrungswelt konnte der erste abstrakte Bau menschlicher Wissenschaft entstehen, die elementare Geometrie. Je mehr diese Erfahrungen Eigentum der Menschheit wurden und ihr sozusagen in Fleisch und Blut übergingen, desto naheliegender war die Anwendung der neuen geometrischen, kinematischen und mechanischen Methoden auf die übrigen Naturerscheinungen. Der Erfolg dieser neuen Methoden war ungeheuer, zumal gegenüber der alten anthropomorphen Naturauffassung, die bei der Wesensfremdheit der zueinander in Beziehung gesetzten Gebiete begreiflicherweise nicht viel geleistet hatte. Dieser Erfolg führte schließlich im weiteren Verlauf der Entwicklung unserer Wissenschaft dazu,

daß man in diesen neuen Methoden den einzig richtigen und gangbaren Weg sah, der zu einer Erklärung und Beschreibung der Naturerscheinungen führen kann. Dieses Dogma von der mechanischen Naturauffassung kommt besonders klar in einem Absatz der „Abhandlung über das Licht“ von CHR. HUYGENS¹ zum Ausdruck, der hier wörtlich zitiert werden soll.

„Man wird nicht zweifeln können, daß das Licht in der Bewegung einer gewissen Materie besteht. Denn betrachtet man seine Erzeugung, so findet man, daß hier auf der Erde hauptsächlich das Feuer und die Flamme dasselbe erzeugen, welche ohne Zweifel in rascher Bewegung befindliche Körper enthalten, da sie ja zahlreiche andere sehr feste Körper auflösen und schmelzen; oder betrachtet man seine Wirkungen, so sieht man, daß das, etwa durch Hohlspiegel, gesammelte Licht die Kraft hat, wie das Feuer zu erhitzen, d. h. die Teile der Körper zu trennen; dies deutet sicherlich auf Bewegung hin, wenigstens in der wahren Philosophie, in welcher man die Ursache aller natürlichen Wirkungen auf mechanische Gründe zurückführt. Dies muß man meiner Ansicht nach tun, oder völlig auf jede Hoffnung verzichten, jemals in der Physik etwas zu begreifen.“

5. Undulations- und Emissionstheorie. Der Äther.

Was für mechanische Bilder standen nun jener Zeit für die Lichtausbreitung zur Verfügung? Man wußte, daß sich das Licht mit endlicher Geschwindigkeit von der Lichtquelle nach allen Seiten ausbreitet. Das legte die Analogie mit der Ausbreitung des Schalles nahe, von dem man damals bereits wußte, daß er durch die Luft von Teilchen zu Teilchen fortgepflanzt wird, ohne daß die Teilchen dabei eine dauernd fortschreitende Bewegung besitzen. Für diese Vorstellung wieder war die Beobachtung der Ausbreitung von Wellen in einem ruhigen Wasser Spiegel die anschauliche Grundlage.

Eine zweite mechanische Deutung war nur noch möglich durch die Annahme, daß winzige Partikeln von der Lichtquelle nach allen Seiten ausgeschleudert werden, eine Ansicht, die schon aus dem Altertum stammte und mit den alten Atomtheorien in engem Zusammenhang steht.

Tatsächlich gehen die ersten beiden Lichttheorien von diesen Bildern aus. HUYGENS veröffentlichte im Jahre 1690 seine Undulationstheorie, NEWTON 1704 die Emissionstheorie, und beide sind vom geschichtlichen Standpunkt aus ungemein interessant.

Bei HUYGENS sind die Vorstellungen überaus anschaulich. Die Analogie mit der Schallausbreitung verlangt die Annahme eines Mediums, das der Luft entspricht. Dieses Medium nennt HUYGENS den „Äther“ und nimmt an, daß er atomistisch aufgebaut ist und aus winzigen, einander berührenden, elastischen Kugeln besteht, die eine Bewegung durch Stoß nach allen Richtungen fortpflanzen. Diese Vorstellung lag

ihm nahe, da er sich ja viel mit den Gesetzen des Stoßes beschäftigt hatte. Die wichtigste Folgerung seiner Anschauungen bildet das sog. HUYGENSSCHE Prinzip von den Elementarwellen. HUYGENS denkt sich nämlich jeden Punkt der Fläche, bis zu der die Störung im Äther bereits gelangt ist, als neues Stoßzentrum mit von ihm ausgehenden Kugelwellen, deren Einhüllende die neue Wellenfront darstellt. Es ist bekannt, von welcher Fruchtbarkeit dieses Prinzip, namentlich in seiner weiteren Entwicklung, für die Optik gewesen ist. Mit seiner Hilfe erklärte HUYGENS die Erscheinungen der Reflexion, Brechung und Doppelbrechung. Es muß aber ausdrücklich bemerkt werden, daß ihm die Vorstellung der Interferenz noch fremd war, ebenso wie der Gedanke an eine Periodizität der Wellen. Deswegen gab seine Wellentheorie noch keine Erklärung für die Farben.

Im Gegensatz hierzu ist die Emissionstheorie von NEWTON, der von dem zweiten mechanischen Bilde ausgeht, sehr abstrakt. Seinem Grundsatz „hypotheses non fingo“ entsprechend bemüht sich NEWTON, wenigstens in seinen Hauptwerken, die Einführung jeder Hypothese nach Möglichkeit zu vermeiden. Diese seine Einstellung war wohl in den Erfolgen seiner Gravitationstheorie begründet, für die er ja kein anschauliches Bild geben konnte, obwohl ihm der Gedanke an eine unvermittelte Fernkraft nicht annehmbar erschien. Daß trotz des Fehlens aller mechanischen Bilder für diese Kraft das rein mathematische Gesetz und seine analytische Verwertung für die Erfolge der Himmelsmechanik NEWTONS hinreichend waren, zeigte ihm deutlich, daß mit einem solchen mathematischen Ausdruck etwas Wesentliches getroffen war, das spezieller Hypothesen nicht mehr bedurfte. Diese Einstellung, die wir als Phänomenalismus bezeichnen können, macht NEWTON zum frühen Vorläufer einer neuen geistigen Richtung, auf die wir im folgenden noch mehrfach zurückkommen werden. Trotzdem darf es nicht wundernehmen, daß NEWTON, den Anschauungen seiner Zeit entsprechend, vielfach rückfällig wird und diesem strengen Standpunkt nicht immer treu bleibt.

Um die Erscheinungen am NEWTONSchen Farbengläse zu erklären, schreibt NEWTON den von seiner Theorie angenommenen Lichtteilchen periodische „Anwandlungen“ („fits“) zu leichter Reflexion oder leichter Transmission zu, die beim Passieren einer optischen Diskontinuitätsfläche ausgelöst werden und deren Periode von der Farbe des Lichtes abhängt. Über die Art dieser Anwandlungen wird keinerlei Hypothese eingeführt, so daß auch diese Beschreibung eine mathematisch formale bleibt. Durch die Verknüpfung periodischer Vorgänge mit den Farben der einzelnen Lichtarten gibt die NEWTONSche Vorstellung eine Farbentheorie und ist darin der HUYGENSSchen überlegen. Diese wieder hatte den Vorteil größter Anschaulichkeit und lieferte eine ungezwungene Erklärung für die Reflexion und Brechung des Lichtes.

Die folgende Entwicklung der Optik zeigt uns die Rivalität der beiden Theorien. Infolge der

¹ OSTWALDS Klassiker Nr. 20, S. 10.

Autorität NEWTONS gewann aber die Emissionstheorie immer mehr Anhänger, wenn auch der Wellentheorie begeisterte Freunde niemals fehlten.

6. BRADLEY, EULER, YOUNG, MALUS.

Im Jahre 1727 entdeckte BRADLEY, als er sich bemühte, die Parallaxe eines Fixsternes zu messen, die Aberration. Er deutete auch die Erscheinungen richtig, welche Deutung vom Standpunkt der Emissionstheorie NEWTONS nicht schwer fiel. Das Gleichnis der fallenden Regentropfen in der bewegten Röhre gab hierfür ein anschauliches und leicht verständliches Bild. Nicht so einfach war es für die Wellentheorie, diese Erscheinung zu erklären, und es ist dies erst in viel späterer Zeit gelungen. Deshalb hat die Entdeckung von BRADLEY nur die Emissionstheorie weiter gefördert.

Ein bedeutender Fortschritt auf der anderen Seite wurde erst erzielt, als EULER, ein begeisterter Anhänger der Wellentheorie, im Jahre 1760 die Wellen als periodische Vorgänge betrachtete und die Farben mit den Schwingungszahlen in Zusammenhang setzte, sie also in Analogie zu den Tonhöhen beim Schall stellte. Dadurch wurde der oben erwähnte Nachteil der HUYGENSSCHEN Theorie, daß sie ursprünglich keine Theorie der Farben lieferte, beseitigt.

Ein weiterer sehr wichtiger Fortschritt der Undulationstheorie wurde vom englischen Arzt YOUNG dadurch erreicht, daß er das Interferenzprinzip in die Wellentheorie einführt (1802). Danach ist der Bewegungszustand eines Ätherteilchens, das von zwei oder mehreren Wellenzügen getroffen wird, bestimmt durch die einfache Superposition jener Bewegungen, die es infolge der einzelnen Wellenzüge allein ausführen würde. Mit Hilfe dieses Prinzips konnte YOUNG die Farbringe am NEWTONSchen Farbengläse nun auch vom Standpunkt der Wellentheorie aus erklären.

Die nächste wichtige Entdeckung war eine zufällige. MALUS entdeckte im Jahre 1808 die Polarisation des reflektierten Lichtes. Auch diese Erscheinung konnte, wie die Aberration, leicht vom Standpunkt der NEWTONSchen Theorie erklärt werden; man brauchte dazu nur den Lichtteilchen eine gewisse „Seitlichkeit“ und „Ordnung“ beim Vorgang der Reflexion oder Brechung zuzuschreiben. Die Wellentheorie konnte aber in ihrer damaligen Form noch keine Erklärung dafür bieten; es bedurfte erst der kühnen Umgestaltung ihrer Züge durch FRESNEL.

7. Abschluß der ersten Entwicklungs- epoche durch die Arbeiten von FRESNEL. Der Mitführungskoeffizient.

FRESNEL stand ganz auf dem Boden der Wellentheorie und war der erste, der die Wellenlängen einzelner Farben des Spektrums bestimmte (1816). Er hielt sich ähnlich wie HUYGENS durchaus an anschauliche Bilder, und seine Leistung liegt vor allem in der Kühnheit ihrer Konzeption, indem er dem Äther Eigenschaften zukommen ließ, die den Erfahrungen an gewöhnlicher Materie gänzlich widersprachen.

Die erste große Leistung FRESNELS war die Vereinigung des YOUNGSchen Interferenzprinzips mit der alten Vorstellung von den Elementarwellen bei HUYGENS. Dieses neue HUYGENS-YOUNG-FRESNELSche Prinzip von der Interferenz der Elementarwellen nimmt also an, daß von jedem Punkt der Wellenfront Elementarwellen ausgehen und der Zustand im Medium zu einer späteren Zeit durch die Interferenz aller dieser Wellen bestimmt ist. Mit Hilfe dieses Prinzips berechnete FRESNEL im Jahre 1818 die Intensitätsverteilung bei einfachen Beugungserscheinungen, und die Übereinstimmung dieser Rechnungen mit der Erfahrung war der erste große Erfolg, der bald von andern gefolgt, der Wellentheorie zum Siege verhelfen sollte.

Um die Polarisation zu erklären, nahm FRESNEL, da bei longitudinalen Wellen eine Seitlichkeit nicht auftreten kann, an, daß das Licht aus transversalen Schwingungen besteht. Da solche in einer Flüssigkeit nicht möglich sind, mußte er also weiter annehmen, daß sich der Äther wie ein vollkommen elastischer fester Körper verhalte. Auf dieser Grundlage, nämlich der Vorstellung eines elastischen Äthers mit transversalen Wellen und mit Hilfe des neuen Interferenzprinzips konnte FRESNEL fast die ganze damalige Optik aufbauen und wurde damit der Schöpfer der ersten elastischen Lichttheorie.

Natürlich mußte nun die Frage auftauchen: Wie verhält sich der Äther zu den Körpern? Nimmt jeder feste oder flüssige Körper den in ihm enthaltenen Äther mit oder nicht? Um die Aberration zu erklären, muß man annehmen, daß der Äther durch die Körper ungehindert hindurch kann, was sofort einleuchtet, wenn man an das Gleichnis der fallenden Regentropfen denkt, das nur dann völlig der Aberration entspricht, wenn die Luft vom bewegten Rohr nicht mitgeführt wird, da sonst die Regentropfen von der bewegten Luft im Rohre aus ihrer ursprünglichen Bahn abgelenkt würden. Wegen des Brechungsgesetzes aber muß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in durchsichtigen Körpern kleiner sein als im leeren Raum und daher, dem elastischen Äthermodell entsprechend, das Medium in ihnen dichter als im leeren Raum. Damit keine Verdichtungen entstehen an Stellen, wo sich einst ein Körper befunden hat, muß dieser also das Plus an Äthermaterie gegenüber dem leeren Raum mitführen.

Es erhebt sich nun die wichtige Frage, an welchen Teil des Äthers sich das Licht beim Durchgange durch einen Körper eigentlich halte, an den mitgeführten Dichteüberschuß oder an den „ruhenden“ Teil, der gerade das Volumen des Körpers erfüllt? FRESNELS Lösung ist eine einfach mechanische; er nimmt an, daß sich das Licht an den Schwerpunkt dieser beiden Äthermassen halte, sich also im System dieses Schwerpunktes ausbreite. Unter dieser Annahme berechnet er den berühmten Mitführungskoeffizienten $\rho = 1 - \frac{1}{n^2}$, wobei n der Brechungsindex des bewegten Körpers ist. ρ ist

dabei jener Faktor, mit dem die Geschwindigkeit des Körpers gegen den Äther multipliziert werden muß, um die Geschwindigkeit des Schwerpunktes der Ätherteile im Äthersystem zu erhalten und damit die Bewegung jenes Bezugssystems, in welchem sich das Licht ausbreitet. Diese auf dem mechanischen Modell beruhende, spekulative Vorhersage FRESNELS sollte erst viel später durch den berühmten Röhrenversuch FIZEAUS in glänzender Weise bestätigt werden.

8. FIZEAUS Röhrenversuch.

Um die Richtigkeit der FRESNELSchen Behauptung über das Verhalten des Lichtes in bewegten Körpern zu prüfen, führte FIZEAU im Jahre 1851 einen genialen Versuch aus. Er schickte zwei kohärente und parallel gemachte Lichtbündel durch zwei parallele enge Röhren, durch die Wasser oder Luft mit großer Geschwindigkeit hindurchgepreßt werden konnte. Nach dem Austritt der Strahlen wurden sie so gebrochen und reflektiert, daß das erste Bündel den Weg des zweiten, aber in entgegengesetzter Richtung durchlief und ebenso das zweite den Weg des ersten. Nach ihrem zweiten Austritt aus den Röhren gelangten sie zur Interferenz. Die beiden Röhren sind so miteinander verbunden, daß das Wasser oder die Luft in dem einen in entgegengesetzter Richtung strömt, wie im andern. Wird der Äther vom Wasser ganz oder teilweise mitgeführt, dann muß bei bewegtem Wasser eine Verschiebung der Interferenzfransen gegenüber ihrer Lage bei ruhendem Wasser eintreten. FIZEAU konnte diese Verschiebung messen und es zeigte sich, daß sie mit dem nach FRESNEL berechneten Wert durchaus befriedigend übereinstimmte. Bei Luft zeigte sich, ebenfalls in Übereinstimmung mit FRESNEL, keine meßbare Fransenschiebung, weil hier der Mitführungskoeffizient ungemein klein ist. Dieser Versuch von FIZEAU wurde später (1886) von MICHELSON und MORLEY mit verfeinerten Hilfsmitteln wiederholt und ergab wieder das für uns hier besonders wichtige Resultat, daß der Äther von bewegter Luft nicht merklich mitgeführt wird. Dieses Ergebnis steht auch mit den bei der Aberration gemachten Erfahrungen im Einklang.

9. Schwierigkeiten der FRESNELSchen Theorie.

Gerade der weitgehende Ausbau der elastischen Wellentheorie führte zu mannigfachen Schwierigkeiten und Inkonsistenzen des mechanischen Bildes. In einem festen elastischen Körper muß neben der transversalen auch eine longitudinale Welle auftreten; eine ihr entsprechende Erscheinung ist aber in der Optik nie beobachtet worden. Wegen der Transversalität der Wellen muß der Äther als starrer Körper gedacht werden; wegen der ungestörten Planetenbewegung aber müßte er sich wie eine ideale Flüssigkeit verhalten. Weiter fehlte eine Dispersionstheorie gänzlich, denn da die Geschwindigkeit des Lichtes in einem Medium und damit sein Brechungsexponent durch die Dichte des Äthers in ihm völlig bestimmt ist, so

hätte jede Farbe ihren eigenen Äther verlangt, da ja der Brechungsexponent von der Farbe abhängt.

Man hat vielfach versucht, dieser Schwierigkeiten Herr zu werden. Aber die Annahmen, die dazu nötig waren, machten das Äthermodell immer komplizierter und unerfreulicher und brachten oft noch weitere Schwierigkeiten mit sich. Eine neue Epoche trat erst mit den Arbeiten von MAXWELL ein.

10. Die elektromagnetische Lichttheorie MAXWELLS.

Die Idee eines möglichen Zusammenhanges zwischen Licht und Elektrizität ist schon ziemlich alt. Auch FARADAY suchte nach Beziehungen zwischen Licht, Elektrizität und Magnetismus. Seinen unermüdlichen und genialen Versuchen verdanken wir die Entdeckung der magnetischen Drehung der Polarisationssebene (1846). Ihm lag die Idee eines solchen Zusammenhanges nahe, da er, ganz von der Vorstellung einer „Nahewirkung“ aller Erscheinungen durchdrungen, den Sitz der elektrischen und magnetischen Kräfte in das Zwischenmedium verlegte, oder, da diese Kräfte auch durch den von Materie leeren Raum wirken, in ein Medium in diesem. Bei dem damaligen Stand der Optik lag es nahe, in diesem Medium den optischen Äther zu erblicken und nach einem Zusammenhang zwischen den elektrischen und optischen Erscheinungen zu suchen. Allein von der Seite der mechanischen Optik her war die Brücke nicht zu schlagen. Erst von der voll entwickelten Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen aus konnte dieser bedeutende Fortschritt in der Vereinfachung des Weltbildes erzielt werden.

Ein weiterer eindrucksvoller Hinweis auf die engen Beziehungen zwischen den beiden Gebieten wurde von experimenteller Seite durch die Messungen von KOHLRAUSCH und WEBER geliefert, die im Jahre 1856 fanden, daß das Verhältnis c der beiden Einheiten der Elektrizitätsmenge im elektromagnetischen und elektrostatischen Maßsystem dem Zahlenwert der Lichtgeschwindigkeit nahekommt; spätere genauere Messungen zeigten die völlige Übereinstimmung dieser beiden Größen. In der MAXWELLSchen Theorie des elektromagnetischen Feldes spielt diese Verhältniszahl c eine wichtige Rolle. MAXWELL kam durch das Resultat von KOHLRAUSCH und WEBER im Jahre 1862 auf die Idee, es könnte das Licht elektromagnetischer Natur sein. Es gelang ihm auch, aus seinen Grundgleichungen des elektromagnetischen Feldes die Wellengleichung für elektromagnetische Schwingungen abzuleiten, und es zeigte sich, daß die Geschwindigkeit dieser Wellen tatsächlich der Verhältniszahl c gleich ist.

Durch die Arbeiten von MAXWELL wurde nun der Äther zum Träger auch der elektromagnetischen Erscheinungen. Aber dieses Äthermodell ist schon viel farbloser als bei FRESNEL. Es schwingt nicht mehr ein Ätherteilchen, sondern es ändern sich periodisch die elektrische und die magnetische Feldstärke an einem bestimmten Ort, also gewisse Zustandsgrößen. MAXWELL selbst

bedient sich vielfach noch ganz anschaulicher Bilder, die aber nicht mehr wie früher alle in den Rahmen eines einzigen Modells passen. Namentlich in der Darstellung und Weiterentwicklung der MAXWELLSchen Theorie durch HERTZ tritt ihr mathematisch-formaler Charakter deutlich zutage.

Der größte Teil der Resultate der elastischen Lichttheorien ließ sich glatt in die neue Theorie übertragen. Das lag daran, daß die auf Grundlage der elastischen Modelle erhaltenen Formeln mit den Ergebnissen der Erfahrung übereinstimmen. Auch diese Einsicht zeigte wieder, daß solche mathematische Beziehungen zwischen Meßresultaten das Wesentliche der Naturbeschreibung ausmachen, gewissermaßen die festen Konturen abgeben, während die anschauliche und bildliche Interpretation der unwesentlichen und subjektiven Färbung entspricht. Für HERTZ ist die MAXWELLSche Theorie der Inbegriff der MAXWELLSchen Gleichungen, ein Standpunkt, der ganz dem strengen Phänomenalismus entspricht.

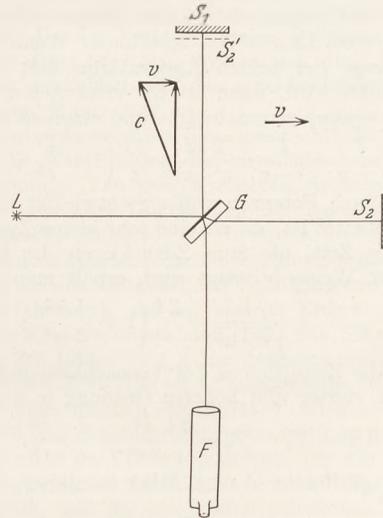
Bei der wichtigen Rolle, die der Äther als Träger der elektromagnetischen und damit auch der optischen Erscheinungen spielte, mußte nun neuerdings die Frage nach seinem Bewegungszustand relativ zur Erde auftauchen. Schon von der elastischen Lichttheorie FRESNELS aus ist die Lösung dieser Aufgabe versucht worden. Es hatte sich aber gezeigt, daß wegen der gegen die Geschwindigkeit der materiellen Körper, selbst der Planeten, überaus großen Lichtgeschwindigkeit ein merklicher Effekt einer Bewegung gegen den Äther nicht beobachtet werden konnte. Bei manchen optischen Erscheinungen (z. B. Aberration, Dopplereffekt u. a.) hängt der beobachtete Effekt von der ersten Potenz des Verhältnisses v/c ab, wobei v die Relativgeschwindigkeit zweier Körper, c die Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Man nennt solche Erscheinungen deshalb auch von der „ersten Ordnung“. Obwohl bei der Relativgeschwindigkeit der Erde um die Sonne v etwa den Wert 30 km/sek besitzt und damit das Verhältnis $v/c = 10^{-4}$ wird und einen durchaus meßbaren Betrag erreicht, so sind doch die Versuche erster Ordnung zur Feststellung jenes Bezugssystems, in welchem der Äther ruht, nicht geeignet. Denn die Rechnung mit Berücksichtigung des FRESNELSchen Mitführungskoeffizienten zeigt, daß bei diesen Versuchen der Effekt der Bewegung, wenigstens bis auf Größen erster Ordnung in v/c , nur von der Relativgeschwindigkeit der bewegten Körper, nicht aber von ihrer absoluten Geschwindigkeit im Äthersystem abhängt. So war man im Laufe der Zeit zu der Überzeugung gekommen, daß man durch solche Versuche den Bewegungszustand des Äthers nicht erforschen könne.

MAXWELL wies in einem Brief an TODD darauf hin, daß es vielleicht durch Beobachtung von Effekten zweiter Ordnung möglich wäre, die Frage nach dem Ruhssystem des Äthers zu entscheiden. Da aber die Größenordnung dieser Effekte bei der Erdbewegung 10^{-8} ist, hielt er sie für zu klein, um sie mit der damals erreichbaren Meßgenauigkeit zu beobachten.

II. MICHELSONS Idee zum entscheidenden Ätherversuch.

Die obigen Bemerkungen MAXWELLS brachten im Jahre 1880 MICHELSON auf die Idee, die Messung jener Effekte zweiter Ordnung mit Hilfe von Interferenzerscheinungen zu versuchen. Es gelang ihm auch, einen geeigneten Apparat zu ersinnen, nämlich das berühmte Interferometer, das sich in der Folgezeit noch für viele andere Messungen als ungemein feines und brauchbares Instrument erwiesen hat.

Die Figur zeigt eine Skizze des Apparates. Das von der Lichtquelle L kommende Licht wird an der durchsichtig versilberten Glasplatte G gespalten. Ein Teil des Bündels wandert zum



Spiegel S_1 , der andere zum Spiegel S_2 , und beide werden in sich reflektiert, so daß sie wieder zu G kommen, wo der erste Strahl die Glasplatte durchsetzt, der zweite reflektiert wird und beide so zur Interferenz gelangen. Das Interferenzmuster wird im Fernrohr F beobachtet. Alle Teile des Apparates sind auf einer starren Grundplatte fest angebracht. Infolge der Reflexion an G scheint das von S_2 reflektierte Licht von dem Spiegelbild S'_2 des Spiegels S_2 herzukommen. Wird das Fernrohr auf S_1 fokussiert, dann sieht man die Interferenzfiguren, die der gegenseitigen Lage der Ebenen S_1 und S'_2 entsprechen, ganz analog der Erscheinung am NEWTONSchen Farbenglase bei Betrachtung der Luftschicht zwischen den beiden Gläsern mit bloßem Auge.

Bewegt sich nun der ganze Apparat mit der Geschwindigkeit v durch den Äther, in welchem die Lichtgeschwindigkeit gleich c sei, so wird von dem Bezugssystem des Apparates aus betrachtet ein „Ätherwind“ mit der Geschwindigkeit v etwa in der Richtung des Pfeiles in der Figur wehen. Dadurch wird die Geschwindigkeit der beiden Strahlen in diesem Bezugssystem geändert. Als anschauliches Bild wird für diese Verhältnisse oft die Bewegung eines Bootes in einem breiten Strome herangezogen. Die Glasplatte und die

Spiegel seien durch in den Grund eingerammte Pfähle markiert, die Geschwindigkeit des Bootes im Strome sei c , die des Stromes gegen die Pfähle v . Dann ist sofort klar, daß die Geschwindigkeit des Bootes von G nach S_2 gleich $c + v$ sein wird, da die Geschwindigkeit des Stromes sich zu der des Bootes im Wasser addiert; und analog wird für den Rückweg von S_2 nach G die Geschwindigkeit $c - v$ sein. Ferner muß das Boot, um von G nach S_1 zu gelangen, wegen der Abtrift schräg gegen den Strom aufkreuzen. Wie aus dem kleinen Dreieck in der Figur links oben ersichtlich ist, wird deshalb die Geschwindigkeit in transversaler Richtung über Grund gleich $\sqrt{c^2 - v^2}$ sein, und zwar für den Hin- und Rückweg. Daraus läßt sich nun leicht der Zeitunterschied für die beiden Wege und damit die Phasendifferenz der entsprechenden Lichtwellen berechnen. Wenn mit l die Länge der beiden Apparatarme $GS_1 = GS_2$ bezeichnet wird, dann ist die erste Zeit T_1 für die Bewegung stromabwärts und stromaufwärts:

$$T_1 = \frac{l}{c+v} + \frac{l}{c-v} = \frac{2lc}{c^2 - v^2} = \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{v^2}{c^2} + \dots \right),$$

wobei nach Potenzen von v/c entwickelt wurde, was gestattet ist, da v/c eine sehr kleine Zahl ist. Für die Zeit, die zum Zurücklegen des transversalen Weges benötigt wird, erhält man:

$$T_2 = \frac{l}{\sqrt{c^2 - v^2}} + \frac{l}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \dots \right),$$

daher die Zeitdifferenz bei Vernachlässigung der Glieder vierter und höherer Ordnung in v/c :

$$\Delta T = T_1 - T_2 = \frac{2l}{c} \frac{v^2}{2c^2} = \frac{l}{c} \frac{v^2}{c^2}.$$

Die Wegdifferenz Δs im Äther ist daher:

$$\Delta s = c \cdot \Delta T = l \frac{v^2}{c^2},$$

und die Phasendifferenz gegenüber dem ruhenden Äther:

$$\Delta \varphi = \frac{l}{\lambda} \frac{v^2}{c^2},$$

wo λ die Wellenlänge des verwendeten Lichtes bedeutet.

Wird der ganze Apparat um 90° gedreht, dann vertauschen die beiden Apparatarme ihre Rolle, und die Verschiebung der Fransen hat die entgegengesetzte Richtung. Es müßte also durch Drehung des ganzen Apparates und Beobachtung der Verschiebung der Interferenzfransen möglich sein, die Bewegung der Erde relativ zum Äther zu bestimmen. Der Effekt wäre, wie die letzte Formel zeigt, von der zweiten Ordnung in v/c .

Hier muß bemerkt werden, daß diese elementare Theorie des Versuches nicht einwandfrei ist. Wir hätten statt der Strahlen eigentlich Wellenfronten zu betrachten und zu berücksichtigen, daß die Spiegel im Äther bewegt sind, die Reflexion also an bewegten Spiegeln stattfindet. Es zeigen aber strenge Überlegungen von LORENTZ, daß mit der hier erforderlichen Genauigkeit, d. h. bis auf einschließlich Glieder zweiter Ordnung in v/c , die elementare Theorie richtig ist. Darauf und auf die Abhängigkeit des Ätherwindes von der

Erdbewegung soll in einem späteren Aufsatz eingegangen werden.

12. Widerspruch der Versuchsergebnisse von FIZEAU und MICHELSON.

Die ersten Ausführungen des Versuches durch MICHELSON in Potsdam (1881) und durch MICHELSON und MORLEY in Cleveland (1887) gaben ein völlig negatives Resultat, obwohl die Genauigkeit der Beobachtungen in Cleveland noch $1/20$ des zu erwartenden Effektes zu messen ermöglicht hätte; es zeigte sich bei der Drehung des Apparates nicht die geringste Streifenverschiebung. Die Strahlenwege verliefen dabei ganz in Luft.

Das unerwartete Resultat des MICHELSON-Versuches, vom Standpunkt der alten Äthertheorie gedeutet, zeigt demnach, daß kein Ätherwind vorhanden ist, daß also die Luft den Äther vollkommen mitführt. Dies steht in direktem, krassem Widerspruch zum Ergebnis des Versuches von FIZEAU (s. Nr. 8), der gezeigt hatte, daß die Luft den Äther nicht merklich mitzuführen vermag. Damit kam zu den alten Schwierigkeiten der Äthertheorie, von denen oben die Rede war (Nr. 9), diese neue und katastrophale. Lange hat diese Unstimmigkeit das stolze Gebäude der klassischen Optik entstellt, und erst das gänzliche Aufgeben der alten Methode hat den Widerspruch gelöst.

13. Die Elektronentheorie von LORENTZ. Ortszeit und LORENTZ-Kontraktion.

Die elektromagnetische Lichttheorie MAXWELLS bezieht sich nur auf die Erscheinungen im Vakuum und gibt keine Rechenschaft von den Vorgängen in Körpern, insbesondere also auch keine Dispersionstheorie. LORENTZ ist es gelungen, diesen Mangel durch seine Elektronentheorie zu beheben, deren Grundidee in der Verbindung der MAXWELLSchen Feldgleichungen mit den atomistischen Trägern der elektrischen Ladungen, den Ionen oder Elektronen, liegt. Jedes Ion trägt sein Feld mit sich und wirkt durch dieses auf die anderen Ionen. Der Äther wird dabei als absolut ruhend vorausgesetzt, und der Mechanismus der Lichtausbreitung in optischen Medien wird so gedacht, daß die ankommende elektromagnetische Schwingung die Elektronen des Körpers erfaßt und zum Mitschwingen anregt; diese letzteren Schwingungen verändern das Feld und damit die ursprüngliche Welle, so daß auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit geändert wird, und zwar verschieden, je nach der Frequenz der einfallenden Welle. Mit Hilfe dieser Vorstellungen gelang es LORENTZ, den FRESNELSchen Mitführungskoeffizienten ohne Mitführung des Äthers abzuleiten.

Der Versuch, die Erscheinungen der Optik in bewegten Körpern durch die Elektronentheorie zu erklären, führte aber auf erhebliche Schwierigkeiten. Die Unabhängigkeit der Ergebnisse der Versuche erster Ordnung sowie des MICHELSON-Versuches von der Absolutbewegung der Körper gegen den Äther führte zu der immer klarer werdenden Idee von der Invarianz der Naturgesetze gegen gleichförmige Translationen, zumal

in der Mechanik schon ein lehrreiches Beispiel für eine solche vorlag. LORENTZ konnte aber die Invarianz der elektromagnetischen Grundgleichungen, und zwar nur bis auf Glieder der ersten Ordnung in v/c , nur dadurch erreichen, daß er auch die Zeit beim Übergang vom Äthersystem gegen ein gleichförmig und geradlinig bewegtes System mittransformierte und die sog. „Ortszeit“ einführte. Bedient sich der Beobachter im bewegten System dieser Ortszeit, dann verlaufen sämtliche Versuche erster Ordnung für ihn so, wie für einen im Äther ruhenden Beobachter. Die Erklärung des MICHELSON-Experimentes erforderte überdies die Einführung einer neuen Hypothese, nämlich der berühmten Kontraktions-Hypothese von LORENTZ und FITZGERALD. Danach soll jeder sich durch den Äther bewegende Körper eine Verkürzung in der Bewegungsrichtung erfahren, die gerade so groß ist, daß sie den Wegunterschied der Lichtstrahlen beim MICHELSON-Versuch ausgleicht. LORENTZ versuchte auch, diese Hypothese durch die Elektronentheorie zu rechtfertigen: Da die Bausteine der Atome elektrische Partikeln und die Molekularkräfte letzten Endes elektrische Kräfte sind, müssen diese sich bei Bewegungen durch den Äther ändern, und es muß infolgedessen die Gleichgewichtslage der Teilchen gegeneinander eine andere sein als bei Ruhe gegen den Äther. Trotz dieser Begründung waren die Ortszeit und die LORENTZ-Kontraktion eigens eingeführte Hypothesen und die durch sie erreichte Invarianz der elektromagnetischen Grundgleichungen nur unvollkommen.

14. Die Relativitätstheorie EINSTEINS.

Aus diesen Schwierigkeiten konnte nur ein radikaler Wechsel in der ganzen Einstellung heraus Helfen. Es ist das Verdienst von A. EINSTEIN, durch die Entwicklung seiner speziellen Relativitätstheorie im Jahre 1905 diese Arbeit geleistet zu haben.

EINSTEIN geht von zwei Prinzipien aus, die durch die Erfahrung nahe gelegt werden, nämlich von dem Prinzip der vollkommenen Invarianz der Naturgesetze gegen gleichförmige Translationen und von dem Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Aber erst durch eine ungemein scharfsinnige und tiefgehende Kritik der kinematischen Grundbegriffe wird die Verträglichkeit dieser Prinzipien erwiesen, und auf dieser Grundlage werden die Schwierigkeiten, die sich den alten Theorien in den Weg stellten, überwunden. Im nächsten Aufsatz soll darauf und auf die

Stellung des MICHELSON-Versuches in der Relativitätstheorie ausführlich eingegangen werden. Hier soll nur noch erwähnt werden, daß die spezielle Theorie zur Entwicklung der allgemeinen Relativitätstheorie im Jahre 1915 geführt hat und damit zu einer völligen Umgestaltung des physikalischen Weltbildes. Diese Theorie bedeutet einen vollen Sieg der mathematisch-formalen Naturauffassung.

15. Schlußbetrachtungen zu der historischen Entwicklung.

Fassen wir nun die beiden leitenden Gedanken unserer historischen Übersicht zusammen. Sie zeigt uns erstens, wie die mechanische Theorie des Lichtes zum Äthermodell führte und damit zur Frage nach dem Bewegungszustand des Äthers. Da die Versuche erster Ordnung keine Entscheidung brachten, spitzte sich diese Fragestellung schließlich auf den entscheidenden Versuch von MICHELSON zu.

Zweitens zeigt uns diese geschichtliche Übersicht die Entwicklung der physikalischen Weltanschauung. Von den primitiven Anfängen gelangte man zum Dogma von der mechanischen Naturbeschreibung wie bei HUYGENS, und zu ganz bestimmten geometrischen Vorstellungen über den Raum, die aus weitgehenden Verallgemeinerungen der Erfahrungen auf der starren Erde und mit starren Körpern entstanden sind. Die Schwierigkeiten des Bildes vom Äther drängten schließlich die Frage auf, ob eine solche mechanische Deutung denn immer möglich sein müsse? Auch nach der Entwicklung der elektromagnetischen Lichttheorie hat es nicht an Versuchen gefehlt, für den Äther ein mechanisches Modell zu ersinnen. Es zeigte sich aber, daß für einen kontinuierlichen Äther ein solches nicht möglich ist und für einen atomistisch aufgebauten das Modell ein so komplizierter Mechanismus wird, daß es bei den relativ einfachen Feldgleichungen keinen anschaulichen Nutzen bieten kann. Schließlich hat man sich an die neue mathematische formale Beschreibung gewöhnt.

So hat sich gerade in der Optik eine neue, freiere Methode der Physik entwickelt, die in der Relativitätstheorie ihre bedeutendste Auswirkung gefunden hat und schließlich dazu führte, daß wir heute den mathematischen Modellen, wie etwa dem Atommodell von HEISENBERG oder der sphärischen Welt EINSTEINS, die gleiche Berechtigung zuerkennen, wie den alten mechanischen, anschaulichen Bildern, zumal jene viel allgemeinere Hilfsmittel zur Verfügung stellen.

4. Unterricht und Methode.

Heinrich Böttger zum Andenken.

Am 26. März 1931 ist HEINRICH BÖTTGER aus dem Leben geschieden, ein Mann, der große Verdienste um den naturwissenschaftlichen Unterricht an unseren Schulen hat.

HEINRICH BÖTTGER wurde am 25. Juni 1855 zu Mihla im Großherzogtum Sachsen-Weimar geboren. Er erwarb das Reifezeugnis im März

1873 auf dem Großherzoglichen Realgymnasium in Eisenach und studierte darauf in Jena und Leipzig Mathematik und Naturwissenschaften. Am 18. Juli 1876 wurde er auf Grund einer Arbeit, die er bei dem bekannten Professor der Physik an der Universität Jena HERMANN SCHÄFFER angefertigt hatte, summa cum laude zum Dr. phil. promoviert, und im Juli 1877 bestand er vor der

Wissenschaftlichen Prüfungskommission derselben Hochschule das Examen pro facultate docendi; er erhielt Lehrbefähigungen in Chemie, Physik, Mathematik und später auch noch in Mineralogie, Zoologie und Botanik. Von Michaelis 1877 an war er als Probekandidat am Realgymnasium in Eisenach und von Ostern 1879 ab als wissenschaftlicher Hilfslehrer an der damaligen Dorotheenstädtischen Realschule zu Berlin, dem heutigen Dorotheenstädtischen Realgymnasium, tätig, wo er Michaelis 1879 als ordentlicher Lehrer angestellt wurde. An dieser Anstalt wirkte er ohne Unterbrechung, bis er am 31. März 1921 in den Ruhestand versetzt wurde.

Während seiner Tätigkeit durch 41½ Jahre am Dorotheenstädtischen Realgymnasium hat HEINRICH BÖTTGER einen starken Einfluß auf die Verbreitung der chemischen Wissenschaft und auf die Entwicklung der Experimentierkunst in der Chemie ausgeübt. Er begeisterte nicht nur seine Schüler für die Naturwissenschaften, vor allem für die Chemie, sondern er führte während der langen Zeit auch eine große Zahl von jungen Kollegen in die Praxis des Unterrichts ein. Dabei hatte er das Glück und die große Freude, in seiner Arbeit durch bedeutende Fachkollegen, wie BERNHARD SCHWALBE, ROBERT LÜPKE, HEINRICH BOHN und HERMANN HAHN angeregt und unterstützt zu werden. BÖTTGER war bei seiner Arbeit im Laboratorium unermüdlich. Lange vor Beginn der ersten Unterrichtsstunde, auch unter widrigen Umständen in der Kriegs- und Nachkriegszeit, war er zur Stelle und fast immer fand man ihn auch abends noch in der Schule. Der neue Übraum in der Georgenstraße, wie er ihn im Musterverzeichnis von Einrichtungen und Lehrmitteln für den chemischen Unterricht beschrieben hat, ist nach seinen Angaben eingerichtet worden. Von seinen Schülern verlangte BÖTTGER größte Gewissenhaftigkeit; dabei beschränkte er sich im Unterricht nicht nur auf sein Fachgebiet, sondern zog in einer gerade für heutige Verhältnisse ganz modernen Art Querverbindungen zu anderen Fächern, vor allem auch zum Deutschen und zu den Fremdsprachen.

Neben seiner gewissenhaften Arbeit in der Schule war BÖTTGER aber noch durch andere umfangreiche Beschäftigungen von allgemeinerer Bedeutung in Anspruch genommen. Er wirkte z. B. als Mitglied verschiedener Prüfungskommissionen; seit dem Frühjahr 1901 war er Mitglied des Wissenschaftlichen Prüfungsamtes in Berlin für die Fächer Chemie und Physik. Von 1899 bis 1930 war er Leiter der Experimentalkurse in Chemie an der späteren Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Berlin. Während ungefähr 25 Jahren hielt er Experimental-Vorlesungen über Chemie und Physik zur Fortbildung von Lehrern an Volks- und Mittelschulen. In den Fortschritten der Physik berichtete er ständig seit dem Jahrgang 1876 in den Abschnitten: Dichte, Thermochemie, Elektrochemie, elektromotorische Kraft u. a. Von seiner bewundernswerten Arbeitskraft zeugen ferner folgende Veröffentlichungen: Über naturwissenschaftliche Exkursionen, Pro-

grammabhandlung des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums Ostern 1897. — Deutsche Ausgabe von A. DITHE, *Traité de Chimie*. — SCHÖDLERS Buch der Natur: Teil Chemie, Teil Physik (zwei Bände), Teil Astronomie. — Reichsdeutsche Ausgabe von KRAUS, Grundriß der Chemie und Physik. — Bearbeitung der 15. und 16. Auflage von RÜDORFF-LÜPKE, Grundriß der Chemie (große Ausgabe). Seit 1897 bis 1930 war BÖTTGER Mitarbeiter der Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht; hier veröffentlichte er zuweilen seine Versuchsanordnungen oder berichtete in dem Abschnitt „Forschungen und Ergebnisse“ über Fortschritte in der Wissenschaft oder Technik. Als er im Jahre 1921 in den Ruhestand versetzt wurde, war es ihm eine besondere Freude, daß er noch bis zu seinem 73. Lebensjahre im Hofmannhaus bei der Deutschen Chemischen Gesellschaft arbeiten konnte, wo er zur Mitarbeit an einzelnen Bänden der 8. Auflage von GMELINS Handbuch der Anorganischen Chemie herangezogen wurde.

HEINRICH BÖTTGER war ein Meister im Experimentieren. Seine Versuchsanordnungen waren stets so beschaffen, daß sie einem großen Zuhörerkreise gut sichtbar waren und auch die Bedeutung jedes einzelnen Teiles klar hervorbrachten. Peinlich genau ausgerichteter, gefälliger Aufbau, gut durchdachte und erprobte Mengenverhältnisse zwischen den reagierenden Stoffen und bewundernswerte Sicherheit beim Experimentieren waren für ihn selbstverständlich. Er gab sich im Unterricht und in den Übungskursen nicht eher zufrieden, als bis die Schüler oder Kollegen sich die gleiche sorgfältige Arbeitsweise zu eigen gemacht hatten, die er selbst anwendete. In seinen Vorlesungen begleitete er die Experimente durch einen klaren und ruhigen Vortrag, worin auch die geringste Kleinigkeit nicht vergessen wurde und der Humor oft zu seinem Rechte kam.

Dieses Bild eines Lehrers von seltener Begabung wird jedem in der Erinnerung bleiben, der die Freude hatte, bei ihm zu lernen oder ihn bei seiner Arbeit zu beobachten. Die Bedeutung HEINRICH BÖTTGERS für die Schule liegt darin, daß er als einer der ersten nach einer Zeit der chemischen Versuche mit einfachsten Mitteln die oben gekennzeichnete Art des Experimentierens in die Schulen eingeführt hat. Trotzdem ist er außerhalb Berlins nur wenig bekannt geworden, da er bescheiden zurücktrat und seine Erfahrungen nur ungenügend veröffentlichte. Das Hauptgewicht seiner Wirksamkeit ruhte in dem persönlichen Unterricht während einer Spanne von mehr als 40 Jahren. Seinen Schülern bleibt HEINRICH BÖTTGER unvergeßlich. O. Gall.

Raumlehre, analytische Geometrie, Trigonometrie, Arithmetik und Algebra im mathematischen Unterricht.

Die Didaktik des mathematischen Unterrichtes von A. ROHRBERG, deren erster Band vor Jahresfrist erschien, wird durch den soeben er-

schienenen zweiten Band¹ weitergeführt und abgeschlossen.

Der planimetrische Anfangsunterricht befolgt zumeist die euklidische Arbeitsweise. Diese „statische“ Methode ist mit der Praxis des Arbeitsunterrichtes nicht vereinbar. Wir brauchen eine „dynamische“ Methode, die sich auf Erfahrung, Beobachtung, Experiment stützt, also weniger abstrakt vorgeht, das Erfassen der Probleme und das Fragenstellen in den Vordergrund rückt, eine gewisse Findigkeit zu entwickeln sucht und die Lebensnähe und praktische Notwendigkeit dieser mathematischen Disziplin erkennen läßt.

Eine dynamische Methode würde den motorischen Betätigungstrieb des Kindes in Rechnung stellen und der Übung mit dem Handwerkszeug erhöhte Beachtung zuwenden. Die Grundkonstruktionen, die für den Quartaner keines Beweises bedürfen, sind: das Teilen einer Strecke, eines Winkels mit dem Zirkel nach Augenmaß; Übertragen eines Winkels (Zirkel); Errichten der Senkrechten, Fällen des Lotes, Ziehen der Parallelen (Zeichendreiecke).

Das Dreieck steht im Mittelpunkt der Betrachtung. Die Übungen im Winkelmessen führen zu dem Satze über die Winkelsumme im Dreieck. Zum ersten Male liegt das Bedürfnis nach einem mathematischen Beweise vor. Wichtiger als die Formulierung der Kongruenzsätze sind zunächst die Konstruktionen. Als Anwendungsgebiet wird neben Feldmessung und Höhenmessung die Nautik empfohlen. Nautische Aufgaben für Quarta: Doppelpfeilung, Kreuzpfeilung, Pfeilung mit Winkelmessung.

Das allgemeine Viereck interessiert nur insoweit, als es bei schwierigeren Konstruktionsaufgaben (z. B. doppeltes Vorwärtsabschneiden) benötigt wird.

Die Kreiswinkel können allgemein behandelt werden (Lage des Scheitels 1. im Zentrum, 2. auf dem Kreise, 3. innerhalb oder außerhalb des Kreises). In der Didaktik finden wir eine systematisch gegliederte Zusammenstellung und Diskussion der sich ergebenden Sätze. Die Kreiswinkelsätze führen zu geometrischen Orten (Halbkreis, Kreisbogen mit gegebenem Peripheriewinkel), die für reine Konstruktionsaufgaben ebenso wichtig sind wie für praktische Anwendungen (Ortsbestimmung eines Schiffes aus drei festen Punkten, Rückwärtseinschneiden).

Um π zu berechnen, wähle man auf der Mittelstufe entweder den experimentellen Weg oder das (die Flächenberechnung auf der Oberstufe vorbereitende) Verfahren, bei dem ein Quadrat in Trapeze zerlegt wird. Eine wenig bekannte An-

¹ Didaktik des mathematischen Unterrichtes. 2. Teil: Raumlehre, analytische Geometrie, Trigonometrie, Arithmetik und Algebra. Vorlesungen an der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Von A. ROHRBERG. 300 Seiten, 177 Abbildungen. Berlin und München 1931, Verlag R. Oldenbourg. Preis geb. RM 8.50.

wendung der Kreislehre ist das Kurvenabstecken in der Feldmeßkunst.

Der Satz des Pythagoras wird zweckmäßig in der Weise behandelt, daß eine einzige Drehung die Flächengleichheit eines Kathetenquadrates mit dem zugehörigen Teilrechteck erkennen läßt. Die gleichen Überlegungen liefern dann den allgemeinen pythagoreischen Lehrsatz.

Der Strahlensatz bietet eine Fülle konstruktiver wie praktischer Auswertungsmöglichkeiten (Storchschnabel, Problem der Papiernormung).

Von den Richtlinien werden schon für die Mittelklassen Übungen im Feldmessen (Lagemessungen), später auch im Nivellieren (Höhenmessungen) vorgeschrieben. Das Abstecken von Geraden mit dem Fluchtstabe kann man schon in Quarta vornehmen lassen. Zur Winkelmessung brauchen wir Kreuzscheibe oder Theodolit, zum Nivellieren außer den Nivellierlatten ein einfaches Nivellierinstrument. Die einfachste Aufgabe für den Schulunterricht ist die Aufmessung eines Grundstückes nach rechtwinkligen Koordinaten und die Ermittlung seiner Fläche.

Die zeichnerische Darstellung der räumlichen Gebilde ist als stereometrische Vorarbeit von großem Werte und muß schon früh einsetzen. Bei Zeichenübungen (Errichten der Senkrechten, Fällen des Lotes) sollte von Anfang an ausschließlich die exakte Methode des Reißbrettzeichners betrieben werden.

In der Projektionslehre ist der Herausarbeitung der Begriffe Neigungswinkel, Falllinie, Höhenlinie besondere Sorgfalt zuzuwenden. An das Fallen und Streichen eines Flözes knüpfen gute Übungsaufgaben an. Die Behandlung der Zentralperspektive kann man auf die Erörterung von Fluchtpunkt, Distanzpunkt, Horizont beschränken, um mehr Zeit für die Betrachtung geeigneter Bilder zu gewinnen.

Die Geometrie auf der Oberstufe läßt sich nach den Methoden der projektiven Geometrie behandeln. Dies hat den Vorzug, daß die sonst zusammenhanglos auftretenden Sätze sich in ein System einordnen lassen. Einführend wäre die perspektive Lage der Grundgebilde zu betrachten. Danach wird zunächst das einfache Teilungsverhältnis untersucht. Der Strahlensatz bringt die Erkenntnis, daß die einfachen Teilungsverhältnisse auf den schneidenden Parallelen dieselben sind. Der Fall, wo die schneidenden Geraden nicht parallel sind, führt zur Definition des Doppelverhältnisses. Das Doppelverhältnis bleibt bei den Operationen des Projizierens und Schneidens unverändert (Invariante). Das harmonische Doppelverhältnis setzt den Schüler instand, einen „Wurf“ von vier harmonischen Punkten und Strahlen zu konstruieren.

Die projektiven Punktreihen und Strahlenbüschel, die durch die Konstanz des Doppelverhältnisses definiert sind, und die perspektiven Gebilde, die außerdem noch die besondere Eigenschaft der Lage haben, müssen sicher erfaßt sein, ehe man an die Konstruktion projektiver Punktreihen und Strahlenbüschel herangeht. Die pro-

jektiven Gebilde führen dann zu den Kegelschnitten und den Sätzen von PASCAL und BRIANCHON.

Bei der elementargeometrischen Behandlung der Kegelschnitte sind vornehmlich die gemeinsamen Eigenschaften der Kegelschnitte zu entwickeln. Ein Experiment läßt die Besonderheiten der Kegelschnitte gut erkennen. Ein Drahtkreis, senkrecht zu einem Tisch, wird von einer punktförmigen Lichtquelle auf die Tischebene projiziert. Je nachdem die Lichtquelle höher, ebenso hoch oder tiefer als der höchste Kreispunkt liegt, erhalten wir als Projektionsgebilde eine Ellipse, Parabel oder Hyperbel.

Merkwürdig wenig Beachtung haben bisher die Kartenprojektionen im mathematischen Unterricht gefunden. In der Didaktik wird dieses Gebiet ausführlich erörtert. Besonders die Mercatorprojektion findet eine ihrer wissenschaftlichen und praktischen Bedeutung entsprechende und für Schulzwecke schlechthin erschöpfende Darstellung, soweit das auf so knappem Raume möglich ist.

Die stereometrischen Formeln wie ihre Herleitungen spielen im Unterricht nur eine dienende Rolle, dürfen also keinen zu breiten Raum einnehmen. Der Schwerpunkt der stereometrischen Arbeit liegt in den Aufgaben. Der Verfasser führt eine Reihe wenig bekannter stereometrischer Anwendungen vor: Qualität des gehandelten Getreides; Widerstand eines Leitungsdrahtes; Streckung von Stäben unter Belastung; Veranschaulichung des Planetensystems; Holzausnutzung bei der Fabrikation eines Zeichenbleistiftes; Volumen eines Baumstammes; Inhalt eines gebogenen Rohres; Abteufung eines Schachtes; Querschnitt eines eisernen Trägers.

Bei der Behandlung der analytischen Geometrie müssen wir grundsätzlich solche Beispiele bevorzugen, deren Lösung nur auf analytischem Wege möglich ist.

Eine Anwendung der rechtwinkligen Koordinaten bietet das Arbeitsgebiet des Landmessers. Der einfache Fall der Vermessung eines Grundstückes läßt sich variieren. Durch Veränderung einer Straßenfront erhalten wir zweckvolle Anwendungen der Transformationsgleichungen. Es wäre Gelegenheit, mit den Katasterkoordinaten bekannt zu machen. Die Didaktik gibt Fingerzeige, wie Aufgaben aus der Vermessungspraxis in den Unterricht einzugliedern sind.

Die Gleichungen der geraden Linie setzen uns instand, eine Reihe von Aufgaben zu lösen, die praktisch von Interesse und anders als analytisch nicht zu lösen sind. So z. B. kann von Geländepunkten, deren Koordinaten bekannt sind, Richtung oder Schnittpunkt von Verbindungslinien berechnet werden. Ein gutes Aufgabengebiet ist die Markscheidekunde. Unter Tage kann man die Koordinaten eines Punktes und die Richtung einer Strecke oft nur durch Rechnung ermitteln.

Eine gute Anwendung der Kreisgleichung ist das Kurvenabstecken des Feldmessers. Von den Kegelschnitten nimmt die Parabel eine bevor-

zugte Stellung ein. Beliebt sind die Aufgaben über den parabolischen Brückenträger. „Die Mathematik des sportlichen Wurfes“ findet bei der Jugend Interesse und bietet die Möglichkeit zu Experimenten und Messungen. Die Parabel dient auch als Näherungslösung, z. B. zur Berechnung des Durchhängens einer Hochspannungsleitung. Lehrreich ist es, die Abhängigkeit der Gesamt- und Stückkosten einer Fabrikation von der Stückzahl zu untersuchen.

Bei der analytischen Behandlung der Kegelschnitte muß vor allem der Zusammenhang der Kurven gezeigt werden. Die Tangentengleichungen sollten nur aus der allgemeinen Tangentengleichung $y - y_0 = [y']_0 \cdot (x - x_0)$ hergeleitet werden. In den Scheitel- und Polargleichungen tritt der Zusammenhang der drei Kegelschnitte deutlich hervor. Die allgemeine Gleichung zweiten Grades zu behandeln, hat wenig Wert. Ungleich wertvoller für die mathematische Durchbildung ist die Berechnung geometrischer Örter. Die Durchrechnung einer Ortsbestimmung gliedert sich zweckmäßig in drei Teile. Zunächst werden die Angaben der Aufgabe analytisch formuliert; dann werden alle Unbekannten außer den Koordinaten, die den Ort erzeugen, eliminiert, womit die Aufgabe ihre allgemeine Lösung gefunden hat; der letzte Teil enthält lediglich Umformungen.

Die allgemeine Zahl ist leicht eingeführt, schwieriger die negative Zahl. Um diese zu erklären, kann man systematisch vorgehen, wenn man sich eines Rechenstabes mit gleichförmiger Teilung bedient. Die Zusammenhänge, die wir zeigen wollen, lassen sich auch mittels Stäbchen sichtbar machen. Wenn man die Stäbchen, die die negativen Zahlen darstellen, durch eine bestimmte Farbe kenntlich macht, so kann man mit diesem „Apparat“ in einfachster Weise die Klammerregeln herleiten.

Um den Schüler davon zu überzeugen, daß für die Definitionen $(+) \cdot (-) = (-)$ und $(-)\cdot(-) = (+)$ eine Notwendigkeit besteht, lasse man $(a + b) \cdot (c + d)$ als Rechteck zeichnen und darin die Rechtecke $a \cdot c$, $a \cdot d$, $b \cdot c$, $b \cdot d$ aufsuchen. Dasselbe wird bei den Ausdrücken $(a + b) \cdot (c - d)$ und $(a - b) \cdot (c - d)$ vorgenommen. Sind so die Auflösungsformeln geometrisch verifiziert, dann wird durch Nullsetzen von a und c das Vorzeichen-gesetz in befriedigender Weise glaubhaft gemacht.

Die algebraischen Aufgaben sind bald zu kompliziert (Klammeraufgaben), bald zu leicht (glatte Zahlen). In den Rechnungen des praktischen Lebens sind glatte Zahlen selten. Dem trage die Aufgabe Rechnung.

Im algebraischen Anfangsunterricht ist die verallgemeinerte Bruchrechnung ein wichtiges Kapitel. Das Auflösen von Formelausdrücken (Inhaltsformeln, physikalische Formeln) nach einer der vorkommenden Größen ist eine gute Übung.

Die Proportion ist von höchster Wichtigkeit wegen ihrer vielen Anwendungsmöglichkeiten. Hat man gezeigt, daß proportionale Größen graphisch sich darstellen lassen und dabei die gerade Linie auftritt, so gehe man auf das Interpolieren ein. Der Schüler muß früh mit dem

Interpolieren vertraut werden. Unter den Anwendungen der Proportion interessieren besonders der kaufmännische Kettensatz, die Proportionalwahl, die entgegengesetzte Proportionalität, die kaufmännische Methode der Gewinnberechnung. Anschließend erörtere man die drei in der Kaufmannspraxis üblichen Prozentangaben: Prozent auf Hundert, vom Hundert und im Hundert.

Die Frage, ob der Algorithmus des Wurzelziehens nötig ist, wird verneint. A. ROHRBERG rät, vom Ausziehen der Quadratwurzel ganz abzusehen. Diese mechanische Arbeit wird besser von den hierfür zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln (Rechenmaschine, Tabelle, Rechenstab) geleistet.

In der Vergleichung einer arithmetischen mit einer geometrischen Reihe (MICHAEL STIFEL) liegt eine Möglichkeit, um schnell zu einem Verständnis der Logarithmen, des logarithmischen Rechnens und des Rechenstabes zu gelangen. Nun wird mit der Logarithmentafel bekannt gemacht. Das Interpolieren ist geläufig, so daß die Einführung in das neue Gebiet von unnötigem Ballast befreit ist und das Wesentliche stärker hervortritt. Recht instruktiv ist die Anfertigung einer graphischen Logarithmentafel.

In dem Kapitel über die Gleichung wird mancher gute Wink gegeben. Je nachdem, ob man das formale Rechnen oder die mathematischen Gedankengänge üben will, rechne man mit „wirklichen“ Zahlen oder mit Buchstaben. Die linearen Gleichungen mit mehreren Unbekannten müssen natürliche Vorzeichen haben und werden mit dem Rechenstab gelöst. Die Eliminationsmethode ist der normale Lösungsweg. Die Auflösung der kubischen Gleichung erfolge mit dem Rechenstab (Kombinationsmethode).

Die graphische Darstellung kann schon früh propädeutisch getrieben werden. Allgemein muß zu den graphischen Methoden gesagt werden, daß sie im Unterricht nur da anzuwenden sind, wo sie eine einfachere Lösung ermöglichen. Das Zeichnen graphischer Fahrpläne ist eine gute Vorbereitung für die graphische Lösung linearer Gleichungen mit zwei Unbekannten. Die graphische Behandlung von Gleichungen darf sich nicht darauf beschränken, einige einfache Beispiele durchzuführen. Erst wenn ernstlich mit diesem Verfahren gearbeitet worden ist, lernt der Schüler, wann er es mit Vorteil anwenden kann.

Die arithmetische Reihe ist entbehrlich; um so wichtiger ist die geometrische Reihe. Das Problem der Normung beschäftigt sich mit der Auffindung einer Anzahl geometrischer Reihen von der Beschaffenheit, daß eine Urreihe alle anderen Reihen in sich enthält. Bei der Normung des Intervalles von 1 bis 10 entsteht z. B. die Fünferreihe aus dem Quotienten $\sqrt[5]{10}$. Aus der Vorzugsreihe A der Formatnormung gehen durch Zwischenschaltung (geometrisches Mittel) die Reihen B, C und D hervor.

In der Zinseszinsrechnung spielt der Aufzinsungsfaktor $(1+i)^n$ eine Rolle. Seine Entwicklung nach dem binomischen Satz läßt den Aufzinsungsfaktor bei einfacher Verzinsung $(1+$

$n \cdot i)$ als Näherungswert des Aufzinsungsfaktors bei Zinseszins erkennen und gestattet, die Aufzinsungsfaktoren zu berechnen.

Die numerische Berechnung der Zinseszinsaufgaben sollte stets mit Rechentabelle und abgekürzter Multiplikation (Rechenstab) vorgenommen werden. Die Tabellen der Aufzinsungs- und Abzinsungsfaktoren sind ein notwendiger Bestandteil der „Logarithmentafel“.

A. ROHRBERG macht darauf aufmerksam, daß die Zinseszinsformel $E = A \cdot (1+i)^n$ nur für ganzzahlige n gilt. Die korrigierte Formel lautet:

$$E = A \cdot (1+i)^n \cdot \left(1 + \frac{p \cdot t}{100 \cdot 360}\right).$$

Die Rentenformel sollte außer für vorschüssige und nachschüssige Zahlungen auch für den praktisch vorherrschenden Fall hergeleitet werden, daß die Rente r' zu einem beliebigen (t Tage im voraus liegenden) Zeitpunkt fällig ist. Wird die Rente r' stets auf die (nachschüssige) Normalrente $r = r' \cdot \left(1 + \frac{p \cdot t}{100 \cdot 360}\right)$ bezogen, so braucht nur die eine Formel

$$E = A \cdot q^n + \frac{100r}{p} \cdot (q^n - 1)$$

gelernt zu werden.

Tilgung einer Anleihe, Aufstellung eines Tilgungsplanes, Kostenberechnungen von Anleihen, Reparationszahlungen stellen gute Übungsgebiete dar. Einiges Befremden dürfte es erwecken, wenn A. ROHRBERG auch das Problem der Aufwertung als mathematischen Unterrichtsgegenstand fordert. Die Didaktik gibt von diesem neuartigen Aufgabenkreis auf knappstem Raum eine für unsere Zwecke grundlegende Darstellung.

Die Einführung in die Trigonometrie darf nicht zu lange in der theoretischen Erörterung stecken bleiben, sonst kommt man zu spät zu den Anwendungen. In der U II gehe man zunächst propädeutisch vor. Es wird gefordert, die Trigonometrie ohne Logarithmen zu behandeln. An dieser Stelle wird mit der abgekürzten Multiplikation bekannt gemacht, da erst jetzt ihre praktische Notwendigkeit eingesehen wird. Dazu tritt die abgekürzte Division (Rechenstab und Kreuzverfahren). Wird nun noch die Näherungsformel $(1 \pm \epsilon)^n = 1 \pm n \cdot \epsilon$ hergeleitet, so bietet die logarithmenfreie Durchrechnung keine Schwierigkeit mehr.

Um in die Trigonometrie einzuführen, können wir von den Steigungstafeln einer Bahnstrecke ausgehen und nach dem Steigungswinkel fragen. Ein zeichnerischer Versuch würde ergeben, daß der Steigungswinkel sich gar nicht ablesen läßt; um den Winkel zu messen, reichen die bisherigen Methoden nicht aus. Mit dieser Erkenntnis ist zweierlei gewonnen: 1. die Überzeugung von der Notwendigkeit der Trigonometrie, 2. sind wir auf anschaulichem Wege zur Definition der Tangensfunktion gelangt.

Es folgt der Übergang zu den Funktionen \sin und \cos und die Hinzunahme der trigonometrischen Teilungen des Rechenstabes. Mit den Formeln, die sich aus der Betrachtung des recht-

winkligen Dreiecks ergeben, kann schon eine große Zahl Aufgaben gelöst werden. Zwei wenig beachtete Anwendungen sind der Polygonzug und das Koppeln der Kurse in der Besteckrechnung.

Nun das Kernstück der ebenen Trigonometrie, die Dreiecksberechnung. An trigonometrischen Formeln genügt so viel, als der Zweck, die praktische Verwendbarkeit, verlangt. Ein großer Formelapparat ist nur geeignet, das Interesse lahmzulegen. Zur Bewältigung der Aufgaben des praktischen Lebens genügen wenige Sätze: Sinus- und Cosinussatz, Heronische Dreiecksformel, Tangenssatz. Die Berechnungen sollten sich beschränken auf Seiten, Winkel und Inhalt des Dreiecks.

In U II können Theodolit und Nivellierinstrument dazu dienen, die einfachsten Aufgaben der Landesvermessung rechnerisch zu verfolgen. Hinzu treten Aufgaben aus der Nautik.

Für die trigonometrischen Übungen auf der Oberstufe empfiehlt A. ROHRBERG, die Methoden des Landmessers heranzuziehen. Dies hat den Vorteil, daß bei den Anwendungen der analytischen Geometrie hierauf zurückgegriffen werden kann. Aufgabentypen: Vorwärtsabschneiden, Seitwärtsabschneiden, doppeltes Vorwärtsabschneiden (O II); Rückwärtseinschneiden, HANSENSche Aufgabe (Prima). Aus der Markscheidekunde bieten sich gute Übungsaufgaben dar.

Der Formelapparat der sphärischen Trigonometrie beschränke sich auf die drei einzig notwendigen Sätze: Sinussatz, Cosinussätze. Die nautischen Aufgaben beschäftigen sich damit, die kürzeste Verbindung zweier Orte nach ihrer Länge oder ihren sonstigen Eigentümlichkeiten zu untersuchen. Die in der Schule übliche Berechnungsmethode ist, wenn es sich um längere Strecken handelt, praktisch für den Seemann nicht verwendbar, da er vorteilhafter auf der Loxodrome fährt. Die Berechnung des kürzesten Weges und des Weges auf der Loxodrome sehen wir an einem Beispiele rechnerisch durchgeführt. Eine Genauigkeitsuntersuchung lehrt uns, daß für Aufgaben dieser Art die dreistellige Tafel und der Rechenstab genügen.

Die Frage nach der Möglichkeit, den Schiffsort während der Fahrt zu kontrollieren, führt zu den astronomischen Anwendungen der sphärischen Trigonometrie. Die schulmäßige Unterweisung in der Astronomie kann von der Mathematik in der Weise ausgeführt werden, daß die Koordinatensysteme erklärt und die scheinbaren und wirklichen Bewegungen dargestellt und rechnerisch verfolgt werden. Ehe die wahre Bewegung der Sonne betrachtet wird, ist ihre scheinbare Bewegung zu studieren. Über die Kleinarbeit, die der Unterricht auf diesem Gebiete zu leisten hat, wird mancher gute Rat gegeben (Orientierung nach Sternbildern, drehbare Sternkarte).

‡ Die Sternzeit muß ein sicherer Begriff sein und zu jeder beliebigen Stunde des Jahres angenähert angegeben werden können. Die Didaktik

zeigt, wie solche Umrechnungen vorzunehmen sind, und wie aus dem Sternhimmel eine Ablesung der Zeit möglich ist.

Nun sind wir in der Lage, Aufgaben rechnerisch in Angriff zu nehmen, die mit dem nautischen Dreieck Pol-Zenit-Gestirn ihre Lösung finden: Bestimmung von Sonnenaufgang, Morgenweite, Tageslänge. Diese Grundaufgabe wird auf der Schule zumeist recht unwirksam durchgeführt; fast immer ist in den Aufgaben die Deklination vorgeschrieben, und nur selten stimmt sie mit dem genauen Wert überein, den die Ephemeriden angeben. Der Verfasser zeigt an einem Beispiel (Berechnung des Sonnenunterganges), wie er sich die rechnerische Durchführung der Aufgabe denkt. Eine ungefähre Rechnung dient dem Zweck, einen recht genauen Wert für δ den Ephemeriden zu entnehmen. Die genauere Rechnung arbeitet mit diesem Wert δ und berücksichtigt außerdem die Strahlenbrechung und den Umstand, daß die Sonne erst untergegangen ist, wenn ihr oberer Rand verschwindet. Es wird interessieren zu erfahren, daß man zur Entnahme von δ und e fortan nicht mehr auf die nautischen Jahrbücher angewiesen ist; die Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht wird regelmäßig eine Tabelle für das kommende Jahr bringen, die dann in Sonderdrucken bezogen werden kann.

Mit der besprochenen Grundaufgabe stehen die Untersuchungen über die Dauer der Dämmerung, des Polartages, der Polarnacht in Zusammenhang. Bei den sonstigen Aufgaben ist zu beachten, daß nicht die Berechnung von Stücken verlangt werden darf, die durch Messung bekannt sind. Zweckvoll sind Azimutbestimmungen (Bestimmung der Himmelsrichtung) und Berechnungen des Stundenwinkels (Zeitkontrolle, Längenbestimmung). Unterrichtsziel würde die Ortsbestimmung sein.

Auch dieser Band der Didaktik schließt mit der Wiedergabe einer Anzahl Probeaktionen: Formatnormung; abgestumpfte Doppelpeilung; Rückwärtseinschneiden in der Nautik; Übergang von der Feldmessung zur räumlichen Höhenmessung; Inhaltsberechnung des Kreises; Einführung des Logarithmus; elementare Berechnung der BRIGGSchen Logarithmen.

Die abgeschlossen vorliegende Didaktik und das im engsten Zusammenhang hiermit stehende Werk ROHRBERGS über den Rechenstab sind von einschneidender Bedeutung für unsere Unterrichtspraxis. Die Richtlinien haben unserem Unterricht neue Ziele gesteckt. A. ROHRBERG zeigt die Wege, auf denen wir zu diesem Ziele gelangen können. Verdienstvoll ist die Arbeit von ROHRBERG auch insofern, als er die Gebiete des praktischen Lebens daraufhin durchforscht hat, inwieweit sie im mathematischen Unterricht mit Nutzen verwendet werden können. Damit erfährt unsere mathematische Unterrichtsliteratur eine in doppelter Hinsicht wertvolle Bereicherung.

A. Maaß.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Représentation des lois empiriques par des formules approchées à l'usage des chimistes, des physiciens, des ingénieurs et des statisticiens. Par M. FRÉCHET et R. ROMANN. 302 S. Paris 1930. Librairie de l'enseignement technique Léon Eyrolles.

Das Buch führt die Methoden der elementaren Mathematik vor, nach denen man empirisch gefundene Zusammenhänge zwischen zwei oder mehreren Größen, die nach Beobachtungen zahlenmäßig vorliegen, in eine wenn auch nur angenäherte mathematische Form bringen kann. In der Einleitung wird kurz das Wesen der Funktion ins Gedächtnis zurückgerufen und an die Methoden erinnert, nach denen solch funktionaler Zusammenhang numerisch, bildlich und mathematisch dargestellt werden kann. Im ersten Kapitel werden die Fälle behandelt, bei denen sich die Beziehung angenähert durch eine Konstante oder durch eine Gleichung ersten Grades wiedergeben läßt, was sehr häufig möglich ist. Welche besonderen Prozesse dann gestatten, eine Funktion auf eine solche ersten Grades zurückzuführen, wird im 2. Kapitel gezeigt. Im dritten Kapitel wird zunächst die Methode der kleinsten Quadrate entwickelt und ihre Anwendung auf verschiedene Funktionen gezeigt. Dann wird die Momentenmethode eingeführt. Sie fällt mit der der kleinsten Quadrate zusammen für den Fall, daß eine Annäherung durch ein Polynom möglich ist. Im vierten Kapitel wird die Methode der kleinsten Quadrate angewandt auf angenäherte Darstellung periodischer Funktionen durch eine Summe goniometrischer Funktionen. Zum Schluß sind nochmals die Regeln zusammengestellt. Zahlenmäßig durchgerechnete praktische Beispiele erhöhen das Verständnis. Das Buch hat auch für den Physiklehrer Interesse.

A. Wenzel.

Handbuch der Experimentalphysik. Unter Mitwirkung zahlreicher Fachkollegen herausgegeben von W. WIEN und F. HARMS. Unter Mitarbeit von H. LENZ Band 4; 3. Teil. **Hydro- und Aerodynamik** 3. Teil: **Technische Anwendungen.** Herausgegeben von LUDWIG SCHILLER. 557 Seiten mit 269 Abbildungen. Leipzig 1930. Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. Brosch. RM 53.—; geb. RM 55.—.

Während der erste Teilband der Hydro- und Aeromechanik die Strömungslehre und die allgemeine Versuchstechnik behandeln wird, der zweite den Widerstand und spezielle Fragen — beide sind noch nicht erschienen —, bringt der vorliegende dritte die technischen Anwendungen. Der ganzen Anlage des großzügigen Werkes entsprechend sind hier die einzelnen Teilgebiete gesondert von Fachleuten behandelt. Zunächst werden die Schiffsschleppversuche eingehend von FRITZ HORN bearbeitet. Die theoretischen Grundlagen der Modellversuche für Schiffe, Propeller und Ruder werden entwickelt, dann die Versuche selbst und ihre Fehlerquellen erläutert,

die Versuchsanlagen und Meßeinrichtungen sowie die Modellherstellung behandelt und schließlich die Versuchsergebnisse ausführlich untersucht. Im zweiten Abschnitt gibt R. EMDEN einen Überblick über alles in dieser Beziehung Wissenswerte vom Freiballon, theoretische Grundlagen sowie Fahrtechnisches bezüglich der Einflüsse verschiedener Faktoren. Die Luftschiff-Meßtechnik ist von W. KLEMPERER dargestellt. Aerostatik und Aerodynamik des Luftschiffs werden entwickelt sowie ein Überblick über die Phonomie gegeben und zum Schluß das sehr wichtige Kapitel „Festigkeit“ mit seinen experimentellen Untersuchungen behandelt. Die Welt des Flugzeugs ist dann von L. HOPF unter dem Titel „Flugtechnik und Versuche im Fluge“ bearbeitet. Flugarten, Meßmethoden, Beanspruchungen und Stabilität sowie die Bedingungen der „Korkzieher“ und des „Trudeln“ sind Abschnitte, die jeden stark interessieren müssen, der je einem Schauflug beigewohnt hat. — Nun folgen die Mittel zur Bewegung von Wasser oder Luft bzw. zur Energiegewinnung durch Wasser oder durch Luft. Hier finden wir Kreiselpumpen und Turbinen eingehend, soweit die experimentelle Hydromechanik in Frage kommt, von W. SPANNHAKE geschildert. Die Luftschrauben in ihren beiden Typen, Propeller und Windräder, hat O. FLACHSBART bearbeitet, während W. GAEDE die Luftpumpen behandelt hat. Zunächst sind die Druckpumpen (Kompressoren) entwickelt, dann die Vakuumpumpen und schließlich die Hochvakuumumpen nach Form und Wirkung dargestellt. Den Abschluß des ganzen Bandes bildet das so hochinteressante Gebiet der „Ballistik“, das O. v. EBERHARD bearbeitet hat. Aus dem Inhalt dieses Abschnittes seien nur einige Untertitel kurz genannt, die die Weite des behandelten Gebietes dartun. Verbrennungswärme eines Pulvers, Verbrennungstemperatur, Messung des Maximaldruckes der Pulvergase, Messung des zeitlichen Verlaufs der Verbrennung, Geschossgeschwindigkeit und Gasdruck im Rohr, Wärmebilanz eines Schusses, Messung des Trägheitsmomentes von Geschossen, Messung von größeren Geschosflugzeiten, Einflüsse, Schallmeßerkundung u. a. m. Hier findet auch der Lehrer vielerlei, was die Schüler im Unterricht, obwohl es nur im Vortrag behandelt werden kann, sehr interessiert. Ein Namen- und ein Sachregister beschließen den Band, der seiner ganzen Anlage nach auch ohne Kenntnis der anderen Bände gelesen werden kann. Sein Zuschnitt auf die reine Praxis machen ihn gerade für den Physiklehrer sehr wertvoll, denn er hat hier eine der sonst schwerer zugänglichen Quellen zu diesen weniger allgemein bekannten Gebieten. Aus diesem Buch kann manche Unterrichtsstunde Blut und Leben schöpfen.

A. Wenzel.

Lehrbuch der praktischen Physik. Von F. KOHLRAUSCH. 16., stark vermehrte Auflage, neu bearbeitet von BOTHE, BRODHUN, GIEBE, GRÜN-

EISEN, F. HOFFMANN, SCHEEL und SCHÖNROCK. 860 Seiten mit 395 Abbildungen. Leipzig und Berlin 1930. Verlag B. G. Teubner. Geh. RM 23.—; geb. RM 26.—.

Das Buch von KOHLRAUSCH ist so allgemein rühmlich bekannt, daß es nicht nur überflüssig ist, sondern fast eigentümlich anmutet, wenn man ihm Worte der Empfehlung mitgeben wollte. Generationen von Physikern haben dem „KOHLRAUSCH“ reiche Anregung und Förderung zu verdanken. In der vorliegenden 16. Auflage, die wieder von hervorragenden Sachkennern bearbeitet ist, sind gegenüber der vorhergehenden wesentliche Änderungen nicht vorgenommen. Erneuert oder erweitert wurden die Abschnitte über Temperaturskala, Schallintensität in Gasen, einige optische Kapitel, elektrische Schwingungen u. a. Auch die Tabellen sind zum Teil erweitert. Die neue Auflage wird dem Buch sicherlich zu den alten Freunden neue gewinnen. *Lamla.*

Strömungslehre an Hand von Strömungsbildern. Von Dipl.-Ing. BRUNO ECK. 60 Strömungsaufnahmen, 18 S. Text. Köln 1931, Selbstverlag des Verfassers. Preis: geh. RM 5.90.

Das vorliegende Heft enthält eine Zusammenstellung von einigen Aufsätzen, in denen an Hand von Strömungsbildern die wichtigsten Strömungsvorgänge des Maschinenbaus und der Flugtechnik anschaulich erläutert werden. Die Strömungsbilder, die in Anbetracht der vom Verfasser verwendeten einfachen Apparatur als sehr gut zu bezeichnen sind, hätten vielleicht eine einheitlichere und systematischere Darstellung der Strömungslehre verdient. Immerhin ist das Heft heute, im Zeitalter der Dynamik, ein sehr brauchbares Hilfsmittel für den Physikunterricht, und hoffentlich auch eine Anregung, denn hier wird die Strömungslehre gelegentlich etwas knapp behandelt. Es ist natürlich, besonders für die Behandlung aerodynamischer Fragen z. B. in Luftfahrtlehrgängen, immer besser, wenn man außer dem vorliegenden Heft noch die Möglichkeit hat, die Strömungsvorgänge, etwa nach dem vom Verfasser verwendeten Verfahren, selbst vorzuführen. *F. Ritz.*

Vereinfachte physikalische Schülerübungen im Lehrzimmer. Von ERICH C. MÜLLER. 80 S. mit 105 Abb. Braunschweig 1930. Verlag von Friedr. Vieweg u. Sohn, Akt.-Ges. Geb. 4,20 RM.

Das vorliegende Buch, auf das der Referent schon in seinem Bericht über die Würzburger Tagung des Fördervereins hingewiesen hat, bringt für den Lehrer viele Anregungen. Zunächst vertritt der Verfasser den schon von MAEY in seiner Schrift betonten Standpunkt, daß jede Schulart Schülerübungen in Physik einführen kann, wenn sie sich von der Forderung nach einem besonderen Übungszimmer neben dem Lehrzimmer frei macht. In demselben Lehrzimmer, das für den laufenden Schauversuchsunterricht bisher diente, lassen sich nach ganz geringen Veränderungen auch die Schülerübungen besonders der Unterstufe mit

Erfolg vornehmen¹. Hierfür gibt der Verfasser besondere Anleitungen. Auch für die Aufbewahrung und zweckmäßige Austeilung der Geräte findet man brauchbare Mitteilungen. Schließlich wird der Ablauf der Übungen im Lehrzimmer kurz skizziert. In dem zweiten Teile des Büchleins „Wege und Winke zur Vereinfachung physikalischer Schülerübungen“ scheint gerade das Bestreben, viele Übungsgeräte so zu gestalten, daß sie vom Lehrer und einigen geschickten Schülern selbst hergestellt werden können, aus zweifachem Grunde sehr beachtenswert: einmal sind die Preise der Übungsgeräte im allgemeinen recht hoch im Vergleich zu den meist nur knapp bemessenen Haushaltsmitteln; dann aber gerät eine solche noch im Fluß befindliche Methode, wie sie doch die eingebauten Schülerübungen noch sind und wohl noch lange bleiben werden, leicht in eine Form der Erstarrung, wenn die Unterrichtsmittel nach bestimmtem Muster von Lehrmittelhandlungen schon jetzt in ihrer Form und Verwendung festgelegt werden. So hat der Verfasser eine große Zahl von Apparaten in einfacher Form neu geschaffen, wobei als sehr bequemer und praktischer Werkstoff Korklinoleum oft verwendet wurde. Dabei sind alle Gebiete der Physik der Unterstufe gleichmäßig und reichlich bedacht. Jeder Physiklehrer lese das Buch, und er wird viel Anregungen zur Vervollständigung und zum Ausbau seiner Gerätesammlung daraus entnehmen. *A. Wenzel.*

Optical Rotatory Power. A general discussion held by the Faraday Society. April 1930. 200 S. Price 10 s. 6 d.

Im April 1930 fand im Burlington House der Londoner Chemical Society eine allgemeine Diskussion über das optische Drehungsvermögen statt, die von der Faraday Society veranstaltet wurde. Das gesamte Gebiet wurde in vier Gruppen verhandelt, die die Themen hatten: 1. Die physikalischen Grundlagen des optischen Drehungsvermögens; 2. Apparate und Methoden; 3. das Drehungsvermögen von Lösungen; 4. Chemische Anschauung über das optische Drehungsvermögen. Nach einer Einleitung des Leiters der Veranstaltung, Prof. T. M. LOWRY, die den Stand der Forschung im ganzen zusammenfaßt, werden zunächst die zum 1. Punkt gehaltenen Vorträge wiedergegeben. Die Wellenmechanik des optischen Drehungsvermögens und optisch aktiver Moleküle behandelte G. TEMPLE (Cambridge), die Molekulartheorie und die Berechnung des natürlichen Drehungsvermögens führte R. DE MALLEMANN (Nancy) aus, über die physikalische Bedeutung des optischen Drehungsvermögens sprach WERNER KUHN (Heidelberg), und schließlich gab P. P. EWALD (Stuttgart) einen allgemeinen physikalischen Überblick über das natürliche optische Drehungsvermögen. Dann folgt die Wiedergabe der Diskussion über die in diesen

¹ Referent hat an zwei Anstalten den gleichen Weg schon vor Jahren eingeschlagen und damit sehr gute Erfahrungen gemacht.

vier Vorträgen behandelten Fragen. Im zweiten Teil zum ersten Punkt sprach K. WOLF (Karlsruhe) über das Prinzip der freien Drehung in optisch aktiven Molekülen, H. GORDON RULE (Edinburgh) über den Einfluß polarer Substituenten auf das optische Drehungsvermögen organischer Substanzen, M. BETTI (Bologna) über optisches Drehungsvermögen und chemische Konstitution und B. KARTAR SINGH und B. BHADURI (Cuttack, Indien) über die Abhängigkeit des optischen Drehungsvermögens von der chemischen Konstitution. Auch hierüber wurde eingehend debattiert. Apparate und Methoden für Ultraviolett-Untersuchungen bearbeitete R. DESCAMPS (Brüssel) und die rechnerische Behandlung von Dispersionsformeln T. M. LOWRY und P. OWEN. Vorträge zum Rotationsvermögen von Lösungen hielten A. COTTON (Paris), E. DARMOIS (Paris), Fr. LIQUIER-MILWAARD (Paris), G. BRUHAT (Paris), P. C. AUSTIN (London), R. LUCAS (Paris) und G. OWEN (Manchester). Die chemischen Anschauungen über das optische Drehungsvermögen behandelten in Vorträgen W. H. MILLS, J. KENYON (London), J. READ und PHILLIPS (London). Eine Zusammenfassung des Ganzen von T. M. LOWRY beschließt den inhaltreichen Band. Wie diese Zusammenstellung zeigt, waren die führenden Forscher des Gebietes aus allen Ländern an dieser Diskussion beteiligt, deren Verlauf uns der vorliegende Band vor Augen führt. Auf die wissenschaftlichen Ergebnisse soll bei Gelegenheit eingegangen werden.

A. Wenzel.

Abraham: Theorie der Elektrizität. Vollständig neu bearbeitet von R. BECKER. Band I. Einführung in die MAXWELLSche Theorie der Elektrizität. Mit einem einleitenden Abschnitt über das Rechnen mit Vektorgrößen in der Physik. 8. Aufl. 242 S. mit 59 Figuren im Text. 1930. B. G. Teubner, Berlin und Leipzig. Geb. RM 15.—

Der den meisten Physikern wohl bekannte „ABRAHAM-FÖPPL“ liegt nunmehr völlig neu bearbeitet in 8. Auflage vor. Der Rahmen des ganzen Buches ist vom Herausgeber R. BECKER nach dem bewährten Vorbild der früheren Auflagen beibehalten. Im Innern aber ist vieles neu gestaltet. Nach dem Vorwort sei hier zitiert: „Gegenüber der alten Auflage sind als neu hinzutreten 2 Paragraphen über Elektrostriktion sowie 2 Paragraphen über die Thermodynamik der Feldenergie. Die Theorie des Skin-Effekts wurde weiter ausgeführt, diejenige der Drahtwellen auf den Fall eines endlichen Widerstandes der Leitungen ausgedehnt. Zur Darstellung der Wechselstromgrößen wurde das in der Technik übliche Vektordiagramm herangezogen. Ganz fortgelassen wurde die Behandlung der elektrischen Ströme als zyklisches System. Der Inhalt der früheren beiden letzten Abschnitte über Ferromagnetika und Induktionserscheinungen in bewegten Körpern wurde in den übrigen Text verarbeitet.“ Auch in der Wahl der Maßeinheiten hat sich der Herausgeber an die frühere Auflage des ABRAHAM angeschlossen; durchweg wird das

GAUSSsche Maßsystem benutzt. Sehr wesentlich für den Anfänger ist die Behandlung der Vektoren und Vektorfelder am Anfang des Buches. Hier wird das Rüstzeug aus der Vektorenrechnung gebracht, das zum Studium der späteren Kapitel notwendig ist. Dann folgt das elektrische Feld, weiter das elektromagnetische Feld. Den Abschluß bilden Ausführungen über Energie und Kräfte der MAXWELLSchen Theorie. Begrüßt wird sicher die Zusammenstellung von Formeln und Bezeichnungen am Schluß des Buches. Daß die Zahl der Abbildungen auf mehr als das Fünffache erhöht ist, wird sicher zur Belebung der Anschauung und zur Förderung des Verständnisses beitragen. Das so vielseitig sowohl bei Lehrern wie auch bei Studierenden geschätzte Buch wird in dieser Neubearbeitung sich sicher viele neue Freunde erwerben.

A. Wenzel.

„Was ist Gewicht?“ Von MARTIN GRÜBLER, Dr. phil. h. c., Dr. art. ing. h. c., ord. Prof. i. R. d. Technischen Hochschule Dresden. Dresden-Leipzig 1930, Verlag von Th. Steinkopff. Preis RM 1.60.

Der Verfasser vertritt in dem 32 Seiten umfassenden Heft mit aller Energie die Auffassung, daß die Definition des Begriffs „Gewicht“ als „Druck auf die Unterlage“ aus der Physik und Technik verschwinden und daß dieser Druck mit dem Worte „Schwere“ oder „Schwerkraft“ des Körpers bezeichnet werden müsse. Das „Gewicht“ sei als „das Ergebnis der Wägung eines Körpers auf der Hebelwage“ zu definieren, sei also in dem Sinne einer „Masse“ aufzufassen. Überhaupt müsse mit aller Kraft dahin gewirkt werden, daß das sog. „technische Maßsystem“, bei dem die Kräfteinheit zu den Grundeinheiten gehört, beseitigt und durch das dynamische Maßsystem ersetzt wird, bei dem die Masseneinheit naturgemäß zu den Grundeinheiten gehört, da gerade die Masse es ist, die durch eine einfache Wägung mit der Hebelwage bestimmt werden kann, während die Kraft der kompliziertere Begriff ist.

Vom wissenschaftlichen Standpunkte aus läßt sich nicht das geringste gegen diese Ausführungen einwenden, vom Standpunkte des Physiklehrers aber, der 13jährige Kinder in die Grundbegriffe der Physik einführen muß, mancherlei. Ich erlaube mir zunächst zu bemerken, daß, wenn die Handelskammer in Dresden in einem Gutachten (S. 8) erklärt, im kaufmännischen Verkehr werde das Gewicht als Stoffmenge aufgefaßt und an die „Schwere“ denke man dabei nicht, diese Auffassung sich nicht mit der der allgemeinen Umgangssprache deckt. Gibt man einem urteilsfähigen, aber physikalisch ungeschulten Menschen einen Stein in die eine Hand und einen Holzklötzchen in die andere und fordert ihn auf, ein Urteil darüber abzugeben, welcher von beiden Körpern das größere Gewicht habe, so gibt er das Urteil nach dem Drucke auf die Hand ab, und er denkt gar nicht an die „Masse“. Die Auffassung des Begriffs „Gewicht“ in der Umgangssprache scheint mir also zum mindesten keine einheitliche

zu sein, und die Einführung der statischen Kraft-einheit im technischen Maßsystem stellt demnach keinen Widerspruch, wie der Verfasser meint, gegen den allgemeinen Sprachgebrauch dar.

Ferner möchte ich bemerken, daß die Aufgabe, junge Studenten, die bereits leidlich geklärte Vorstellungen besitzen, in die physikalische Wissenschaft einzuführen, gar keinen Vergleich zuläßt mit der Aufgabe, 13jährige Kinder in den Tertien mit den Elementen der Physik bekannt zu machen. Jeder, der gehobene Physik getrieben hat, kennt die Freude, welche der so klare Aufbau der Physik auf dem absoluten Maßsystem bereitet; aber für die Anfänger in den Tertien ist der Weg über das technische Maßsystem der allein gangbare. Erst in einem viel späteren Alter ist die Aufnahmefähigkeit für die Begriffe „Beschleunigung“ und „Masse“ vorhanden; erst dann kann die Klärung erfolgen.

Wenn ich aber auch dem Verfasser, soweit der physikalische Anfangsunterricht in Betracht kommt, nicht zustimmen kann, so ist die Lektüre des Büchleins doch jedem, der mit diesen Dingen zu tun hat, zur eigenen Information warm zu empfehlen.

Steindel.

Aus eigener Kraft, Lebensbilder führender Männer. Herausgegeben von WILHELM FRONEMANN. Verlag Friedrich Andreas Perthes, Stuttgart, 1929. Preis jedes Heftes 60 Pfg.

Wie die Überschrift „Aus eigener Kraft“ schon erkennen läßt, beabsichtigt der Verlag, in diese Sammlung von Lebensbildern führender Männer nur solche aufzunehmen, die wirklich aus eigener Kraft trotz der Schwierigkeit der Verhältnisse, in die sie gesetzt waren, in härtestem Lebenskampfe sich emporarbeiteten, die also als Schrittmacher für junge emporstrebende Menschen dienen können. Das Unternehmen ist so gedacht, daß die Bändchen als Klassenlektüre für 14- bis 16jährige in Volks- und Mittelschulen benutzt werden sollen, daher auch der niedrige Preis. Die Auswahl der Männer, deren Lebensbeschreibungen in den bisher erschienenen 5 Bändchen gebracht werden (Ernst Abbe, Albert Ballin, Benjamin Franklin, Robert Mayer, Friedrich Schiller) ist gewiß zu billigen; die Darstellungen sind schlicht und packend, also besonders dem jugendlichen Alter angepaßt. Dem Unternehmen des Verlages muß durchaus Beifall gezollt werden. In unserer Zeit schwerster Not des Volkes, wo viele an einer besseren Zukunft unseres Vaterlandes zu verzweifeln geneigt sind, ist es eine gute Tat, wenn der heranwachsenden Jugend Vorbilder aufgezeigt werden, an denen sie sich aufrichten und den Mut zu einem zuversichtlichen Lebenskampfe gewinnen kann.

Es ist vielleicht gestattet, dem Verlage einige Wünsche zur Berücksichtigung bei späteren Auflagen auszusprechen:

Wenn die Darstellung auch, dem Zwecke entsprechend, in schlichter Sprache gehalten sein muß, so muß sie doch sprachlich einwandfrei sein. In dieser Hinsicht läßt sich vielleicht manches noch überfeilen. „Als man an zu raten

ging“ (Franklin S. 24), „mißgeachtet“ (Ballin S. 2), „zu weit überkam“ (Ballin S. 7), „nach außen hin etwas ausmachen“ (Ballin S. 10), sind einige Beispiele, die sprachlich besser zu fassen wären. Man macht ferner der Zeit Wilhelms II. zum Vorwurf, daß es ihr an Männern fehlte, die kraftvoll dem an Selbstüberschätzung leidenden Monarchen mit ihrer besseren Einsicht hätten entgegengetreten müssen, um dadurch manches Unheil zu verhüten. Wenn auch Ballin zu diesen mutigen Männern nicht gehörte, so war dies doch eine gewisse Schwäche, die er allerdings mit sehr vielen anderen teilte. Es geht aber in einer auf Jugenderziehung abzielenden Schrift nicht an, diese Zurückhaltung dem Monarchen gegenüber als ein Lob seiner Bescheidenheit auszumünzen (Ballin S. 24), zumal gerade Ballin in seiner überragenden, völlig unabhängigen Stellung keine Veranlassung zur Zurückhaltung hatte.

Die angemerkteten Stellen sind indessen von untergeordneter Bedeutung und nicht dazu angetan, das Lob, das diesem Perthesschen Unternehmen zu zollen ist, irgendwie einzuschränken. Im Gegenteil, man muß wünschen, daß diese Lebensbeschreibungen recht weite Verbreitung finden mögen; sie erfüllen eine vaterländische Aufgabe.

Steindel.

Zur Geschichte der Zeißischen Werkstätte bis zum Tode Ernst Abbes. Von MORITZ VON ROHR, mit Beiträgen von MAX FISCHER und AUGUST KÖHLER. Sonderdruck aus den Forschungen zur Geschichte der Optik, Band I (Verlag Julius Springer Berlin), VIII und 120 Seiten, 47 Abbildungen, 10 Seiten Beilagen. Jena. Im Selbstverlag, 1930.

Obwohl über das Zeiß-Werk einige ausführliche Darstellungen, besonders von F. AUERBACH vorhanden sind, fehlt es doch über die erste Zeit und über manches wichtige spätere Ereignis an zuverlässigen Nachrichten. Verf. hat die vorhandenen Angaben geprüft und mehrfach berichtigt, aus Preislisten, Zeitungen, Briefen und anderen Quellen und durch Befragen weiteres zugefügt. Die Bearbeitung dieses Stoffes hat Verf. mit der schon mehrfach bewährten Meisterschaft geleistet. Die Bedeutung jedes Ereignisses, jedes Planes und jedes Fortschrittes wird durch Verknüpfung mit der Vergangenheit (FRAUNHOFER, PETZVAL) und mit gleichzeitigen Bestrebungen und Vorgängen an anderem Ort (Rathenow, Wien, München usw.), sowie mit den Anforderungen von Wissenschaft (KOCH) und Technik greifbar anschaulich gemacht. Bei der Schilderung der Personen wird ihr Anteil am Werk und ihr Verhältnis zueinander gewürdigt, mehrfach unter Berichtigung früherer Darstellungen.

Dieser wertvolle Beitrag zur Geschichte der Optik ist das Ergebnis sehr mühevollen und zeitraubenden Suchens. Man kann nur bedauern, daß frühere Zeiten die Nachrichten nicht besser aufbewahrt haben.

Vn.

Astronomie für Alle. Eine Einführung in das Weltbild der Gegenwart. Von ROBERT HENSE-

LING. 463 Seiten mit 485 Abbildungen im Text und auf 68 einfarbigen, 3 mehrfarbigen Kunst-drucktafeln und einer Sternkarte. Stuttgart 1929. Franckhsche Verlagshandlung. In Ganzleinen geb. RM 20.—.

Es ist keine leichte Aufgabe, weitere Kreise, bei denen keinerlei Vorkenntnisse vorausgesetzt werden dürfen, mit den Vorgängen am gestirnten Himmel und dem Wesen der Gestirne bekannt zu machen. Verf. hat es unternommen, eine „Astronomie für Alle“ zu schreiben, also ein Buch, das ganz allgemein verständlich sein soll, sich an die breitesten Volksschichten wendet und ihnen unser Wissen über die Weltkörper vermitteln soll.

Ausgehend von den ersten Anfängen astronomischer Beobachtungen bei Naturvölkern, wird der Leser bekannt gemacht mit der Astronomie bei den alten Kulturvölkern und ihrer schrittweisen Entwicklung bis zu dem Weltbild unserer Tage. Eine Erklärung der scheinbaren täglichen Bewegung der Gestirne am Himmel, eine ausführliche Beschreibung der Sternbilder und Anleitung zur Ausführung einfacher Beobachtungen beschließen die erste Abteilung des Buches.

Das erste Kapitel der zweiten Abteilung macht den Leser mit den für das Verständnis späterer Abschnitte notwendigen physikalischen Begriffen bekannt. In gedrängter Form werden behandelt der Aufbau der Materie, die Grundbegriffe der Wärme, Elektrizität und Strahlung. Die Herstellung und Benutzung astronomischer Instrumente wird in dem folgenden Kapitel besprochen, an welches sich die Beschreibung einer modernen Sternwarte und der Arbeitsweise des Astronomen anschließt.

Nach diesen mehr oder weniger vorbereitenden Ausführungen wendet sich Verf. in der dritten Abteilung des Buches der Beschreibung der einzelnen Glieder unseres Sonnensystems zu. Besonders eingehend werden die Erde, der Mond und Mars behandelt. Nachdem im Anschluß an die Planeten noch über Meteore, Sternschnuppen, Zodiakallicht, Kometen und kleine Planeten berichtet worden ist, wird der Leser in einem Kapitel aus der Feder von Prof. v. BRUNN mit der Sonne bekannt gemacht. In sehr eingehender Weise werden die Ergebnisse der Sonnenforschung mitgeteilt, wobei selbst auf schwierige Probleme, wie z. B. das der Beschaffenheit des Sonneninneren, eingegangen wird.

Das Kapitel über die Sonne leitet hinüber zur Behandlung der Fixsterne, welchen die 5. Abteilung gewidmet ist. Das erste Kapitel dieses Abschnittes ist ebenfalls von Prof. v. BRUNN geschrieben worden und behandelt die physikalischen Eigenschaften der Sterne unter weitgehender Berücksichtigung der Ergebnisse der allerneuesten Forschung auf diesem Gebiete der Astrophysik. Weitere Kapitel berichten über die Stellung der Sonne im Raum, über Doppel- und mehrfache Sterne, Sternströme und Sternhaufen, sowie über veränderliche und neue Sterne. Überall sind die neuesten Forschungsergebnisse berücksichtigt.

Die letzte Abteilung ist dem Milchstraßensystem gewidmet. Hier werden die Bewegungen der Sterne im Raume behandelt, die leuchtenden und dunkeln Nebel sowie die Sternwolken des Milchstraßensystems, die kugelförmigen Sternhaufen und die nichtgalaktischen Nebel besprochen.

In allen Teilen des Buches werden die neuesten Ergebnisse der astronomischen Forschung zum Teil sehr eingehend erwähnt, so daß der aufmerksame Leser einen guten Überblick über den heutigen Stand der Astronomie erhält. Der physikalisch vorgebildete Leser wird bei der Lektüre des Buches keinerlei Schwierigkeiten empfinden, insbesondere kann das Werk allen Lehrern, aber auch den Schülern der oberen Klassen warm empfohlen werden. Für den Leser aus der breiten Masse des Volkes, der nicht mit den Begriffen der modernen Physik vertraut ist, werden wohl manche Kapitel nicht ganz leicht verständlich sein; aber auch er wird aus der Lektüre des Buches großen Gewinn ziehen.

Von besonderem Wert sind die vielen vortrefflichen Abbildungen, welche dem Buche beigefügt sind. Sie vermitteln einen umfassenden Einblick in die Welt der Himmelskörper und beleben die Lektüre des Buches in vorteilhaftester Weise.

Der Preis ist in Hinsicht auf den Umfang des Werkes und die ausgezeichnete Ausstattung, welche die Franckhsche Verlagshandlung dem Buche gegeben hat, außerordentlich niedrig.
Kohl.

Ist Kant durch Einstein widerlegt? Ein Beitrag zur Prinzipienlehre der Naturwissenschaften. Von EDMUND KÖNIG. Sondershausen 1929. Fr. Aug. Eupel.

Es spricht gewiß für die unvergängliche Größe des nun schon anderthalb Jahrhunderte alten Hauptwerks Kants, daß auch noch heute keine ernsthaftere Unterhaltung über die der Naturwissenschaft zugrundegelegte Methode ohne Stellungnahme zu ihm möglich ist. Grundlegend ist dabei die Tatsache, daß seit KANT drei neue Gedankenwelten in Mathematik und Naturwissenschaften eingezogen sind, nämlich die Schöpfung der nichteuklidischen Geometrie, die Aufstellung der Relativitätstheorie und schließlich die Anzweiflung der unbedingten Gültigkeit strenger Kausalität durch die Quantenmechanik. Ist nun trotz dieser unerhörten, von KANT sicher nicht voraussehbaren Erlebnisse eine Aufrechterhaltung seiner Hauptgedankengänge möglich, oder bedarf es einer vollkommen neuen Grundlegung der naturwissenschaftlichen Methoden? Sicher ist, daß die Wahrheit nur durch freien Kampf der Meinungen gewonnen oder gefördert werden kann, und daß die konservative und die vorwärtsdrängende Richtung beide nötig und unentbehrlich sind. Freilich wird das Hauptinteresse dabei den Schöpfern neuer Gedankenwelten zugute kommen, aber deshalb ist es doch zu begrüßen, daß auch die mehr verteidigende Stellung, in die sich die Anhänger KANTS gedrängt sehen, einen so gründlichen, umsichtigen und scharfsinnigen Vertreter gefunden hat, wie es der Verfasser vorliegender Schrift ist.

Der Streitgegenstand dürfte mehr oder weniger bekannt sein. Die Mathematik schafft ein logisches System von Begriffen und arbeitet damit mit voller Sicherheit. Aber diese Begriffe sind nur logisch und durch Beziehung aufeinander bestimmt. Jede unmittelbare Beziehung auf eine Welt, die außerhalb der mathematischen Begriffswelt liegt, fehlt ihnen durchaus; durch die HILBERTsche Axiomatik ist dies noch sicherer gestellt worden. Aber nun arbeitet die Naturwissenschaft, insbesondere die theoretische Physik, tatsächlich und mit unbestreitbarem Erfolg mit diesen zunächst nur logisch existierenden Begriffen. Wie ist dies möglich? Die KANTSche Auffassung antwortet: Es ist dadurch möglich, daß die mathematisch definierten Begriffe der inneren Struktur unseres Geistes entsprechen, die er nirgends und auch nicht bei Betrachtung der Außenwelt verleugnen kann. Die neueren Theoretiker der Relativitätstheorie, als deren Wortführer wir ja vor allem HANS REICHENBACH ansehen dürfen, wollen keine apriorische Funktionen unseres Geistes zulassen und setzen an deren Stelle Zuordnungsdefinitionen, die als Definitionen nicht ohne willkürliches Element, freilich auch nicht in voller Willkür, aufgestellt werden können.

Das KÖNIGSche Buch vertritt, wie gesagt, mit Geschick den KANTSchen Standpunkt. Es ist aber keine bloße Streitschrift, sondern wirkt zum guten Teil in sachlicher Weise rein belehrend und aufklärend. Die ruhige Besonnenheit des Werkes verdient unbedingte Anerkennung, die ihm auch von solchen zuteil werden wird, die nicht auf seinem Standpunkt stehen.

Ob freilich der Interessentenkreis für solche naturgemäß recht schwierigen und viel Zeit beanspruchenden Bücher sehr groß sein wird, ist eine andere Frage. Jedenfalls kann denen, die zu diesem Interessentenkreis gehören, das Buch warm empfohlen werden. *Kirchberger.*

Die Oszillationstheorie. Von ERICH HAARMAN. Eine Erklärung der Krustenbewegungen von Erde und Mond. Mit 78 Abbildungen und einer Tafel. Ferd. Enke, Verlag, Stuttgart 1930. Geheftet RM 17.—; geb. RM 19.—.

Auf sehr vielen Gebieten der Wissenschaft bemerken wir heute das Streben, möglichst viele Einzelerkenntnisse unter einem einheitlichen Gesichtspunkt zusammenzufassen und das Verlangen, die große Zahl der Vorgänge und Erscheinungen möglichst aus einer einzigen wirkenden Ursache heraus verständlich und begreiflich zu machen.

Es hat auch nicht an Versuchen gefehlt, die vielen Einzelzüge im Antlitz der Erde, ihre Falten und Runzeln zu erklären. Das Werk von ED. SÜESS hat lange Zeit und vielfach bis heute maßgebend die Anschauungen beherrscht. Auch wenn neuere Forscher wie WEGENER oder STAUB zu anderen Anschauungen gelangt sind, so waren die Beweggründe für die Aufstellung ihrer Theorien die gleichen. HAARMAN trägt wiederum eine neue Anschauung vor; sie ist das Werk langjährigen

Nachdenkens und langjähriger Arbeit. Auch er sucht nach den ersten Ursachen, soweit wir diese überhaupt zu erkennen vermögen.

Die Schrumpfungstheorie läßt sich heute nicht mehr halten. Sicher begründet dagegen erscheint die Lehre von der Isostasie, oder richtiger dem Streben nach Isostasie. Während aber im allgemeinen die isostatischen Bewegungen auf Belastung und Entlastung verschiedener Erdschollen zurückgeführt werden, kehrt der Verfasser Ursache und Wirkung um. Denn es ergäbe sich ja die Frage, wie eine Entlastung durch Abtragung z. B. möglich sei, wenn nicht vorher Höhenunterschiede vorhanden sind. Das Auf und Ab ist also für ihn das Primäre, und erst durch die Höhenunterschiede kann dann die Schwerkraft wirksam werden und neue Bewegungen auslösen; das kann z. B. einfache Abtragung und Sedimentation sein. Auf dem Monde, wo keine Atmosphäre vorhanden ist, ist Abtragung und Sedimentation unmöglich. Daher glaubt der Verfasser dort nur Formen zu sehen, die auf einfaches Heben und Senken zurückzuführen sind. Die sekundären Vorgänge konnten sich eben dort nicht abspielen.

Auf der Erde dagegen kann es bei genügender Gleitfähigkeit des Materials, genügendem Gefälle, genügender Masse und genügender Zeit auch zum Abgleiten der oberen Schichten und damit zu Zusammenfaltungen an der Stirn und Zerrungen an der Rückseite kommen.

Das Auf und Ab wiederholt sich, denn sonst wäre nicht zu erklären, warum fast alle Gebirge in der Hauptsache aus Sedimentsteinen bestehen. Sie müssen eben einmal tiefer gelegen haben. Es besteht also ein ständiges Oszillieren.

Die weitere Frage ist: Woher kommt das ständige Auf und Ab? Der Verfasser sieht darin Ausgleichsbewegungen des flüssigen Sima, wenn das Gleichgewicht des Erdellipsoids irgendwie gestört worden war. Erst aus diesen Horizontalbewegungen ergeben sich die vertikalen Bewegungen. Aber die Erde altert, auch das Sima wird immer zäher, die Bewegungen werden einschlafen. Auch hier werden die möglichen Folgerungen besprochen.

Das Buch ist klar und leicht verständlich geschrieben; die geologischen Fachausdrücke sind in einem besonderen Anhang kurz erklärt, so daß auch jeder Nichtfachmann es zur Hand nehmen kann. Bisweilen traut er seinen Lesern doch zu wenig zu. Man wünscht an manchen Stellen etwas mehr Einzelbeobachtungen und Belege zu erhalten. Dafür könnte anderes knapper behandelt werden. Man hat bisweilen den Eindruck, der Verfasser will Anhänger anderer Anschauungen überzeugen. Das wird ihm doch nicht gelingen. Den Hauptgrund gibt er selbst an: „Unsere alte Gefolgschaftstreue, die sich bis heute erhalten hat, äußert sich nicht nur positiv, sondern oft genug auch negativ: als übersteigerte Traditionstreue, als Autoritätskult, in kaum sonst so entwickelter Disziplinfreudigkeit — was alles in der Wissenschaft deplaziert ist.“

Trotzdem ist zu hoffen, daß die vorgetragenen Anschauungen den Anstoß geben werden, vieles nachzuprüfen und auf vieles überhaupt erst sein Augenmerk zu richten, das bisher im Banne anderer Theorien nicht genügend beachtet ist. Und das ist das Hauptziel des Verfassers.

Scheer.

Abriß der Chemie. Von OTTO NITSCHKE. Neu bearbeitet von Dr. HANS GEMSKY. Leipzig 1929. Quelle & Meyer. 66 S.

Das kleine Heft ist als Anhang an ein Physikbuch für die Mittelstufe solcher Anstalten gedacht, an denen der Lehrplan der Chemie nur wenig Raum zuweist. Da auf gedrängtem Raum nur das Wichtigste gebracht werden soll, kann von methodischem Vorgehen nicht die Rede sein. Die Begriffe Atom, Molekül, dann die AVOGADROsche Hypothese und die Ionentheorie werden in einer Weise eingeführt, die es geboten erscheinen läßt, lieber ganz darauf zu verzichten. Sonst ist der Stoff gut ausgewählt, systematisch aufgebaut und auf das beschränkt, was praktisch wichtig ist. Es ist auch eine Reihe von Versuchen aufgeführt, die zwar das Charakteristische zeigen, aber gleichzeitig ist das Ergebnis angegeben, so daß die eigene Beobachtung und Arbeit des Schülers leiden muß. Das läßt sich vielleicht bei dem Umfang, den der Verfasser sich gesetzt hatte, nicht vermeiden, aber ich kann mir von einem so aufgezogenen Unterricht nur wenig Erfolg versprechen. Daß sich in der Schrift auch eine Reihe kleinerer Fehler findet, sei nur nebenbei erwähnt.

Isberg.

F. Rüdorff: Grundriß der Chemie. Ausgabe B. 19. Auflage. Bearbeitet von Dr. H. PETZOLD. X und 344 Seiten. Mit 185 Abbildungen und einer Spektraltafel. Berlin 1930. H. W. Müller.

Rein äußerlich betrachtet ähnelt die Neuauflage von RÜDORFFS viel benutztem Grundriß der 1. Auflage, die sich der Berichterstatter noch als Schüler anschaffte und die er sich als wertvolle Erinnerung aufbewahrt hat. Doch in ihrer inneren Gestaltung spiegelt die vorliegende Auflage die gewaltige Entwicklung wieder, die die Chemie seit den damaligen Zeiten genommen hat. Dabei zeigt sich deutlich, wie diese wissenschaftliche und technische Entfaltung der Chemie unsere Schulchemie beeinflusst hat. Diesem Gedanken der Entwicklung dienen in der Neuauflage zahlreiche geschichtliche Hinweise; mit besonderer Liebe ist die Bedeutung des Wirkens von J. v. LIEBIG gekennzeichnet worden. Der Berichterstatter hat seine Stellung zu dem RÜDORFFSchen Grundriß bereits bei der Besprechung früherer Auflagen wiederholt in dieser Zeitschrift niedergelegt, worauf verwiesen sei. Bei aller Wahrung der Gesamtanlage des Buches, das dem Lehrer in der Wahl seines Lehrganges möglichste Freiheit läßt, sind besonders die einführenden Abschnitte einer stärkeren methodischen Bearbeitung unterzogen worden. Lobend hervorgehoben sei besonders die Ausgestaltung der Neuauflage durch statistische Überblicke in graphischer Darstellung

und durch bildmäßige Erläuterung der technischen Prozesse. Aber auch andere Gebiete, besonders das der physikalischen Chemie, sind stärker betont worden. Es würde zu weit führen, hier Einzelheiten anzugeben; es genüge zu sagen, daß das Buch einen geradezu unübertrefflichen Überblick über Umwandlungen chemischer Energie gibt.

H. Böttger †.

Grundzüge der Chemie. Von Dr. SIEGFRIED WIECHOWSKI. 2. Auflage. Wien 1930. Franz Deuticke. 223 S. mit 58 Abbildungen. Preis kart. RM 7.80.

Das Lehrbuch von WIECHOWSKI zeigt systematischen Aufbau und ähnelt etwa den älteren Auflagen des Lehrbuches von RÜDORFF, dem es auch in der Stoffauswahl des anorganischen Teils sehr ähnlich ist. Das Buch bringt zwar eine große Reihe gut ausgewählter Versuche, aber gerade für die in der Einführung gebrachten allgemeinen Gesetze wäre eine breitere experimentelle Grundlage wünschenswert. Es werden zu viele Tatsachen und Gesetze einfach mitgeteilt. In der Einleitung wird zunächst der Unterschied zwischen Physik und Chemie behandelt und dann eine kurze Übersicht über die hauptsächlichsten chemischen Arbeitsmethoden gegeben. Das Filtrieren, Destillieren usw. wird besprochen. Die dann folgende Einführung in die chemischen Gesetze und Theorien, besonders in die Atom- und Dissoziationstheorie, erscheint mir methodisch unzureichend. Ebenso könnte später das Massenwirkungsgesetz etwas gründlicher behandelt sein, z. B. ist von der Gleichgewichtskonstante mit keinem Wort gesprochen. Einen Nachteil erblicke ich auch darin, daß sehr viel Formeln von Stoffen schon auf den ersten Seiten benutzt werden, die den Schülern noch gar nicht bekannt sind. Wenn man die AVOGADROsche Hypothese behandelt hat, so ist nicht einzusehen, warum danach bei Gasreaktionen trotzdem alle Gase einatomig geschrieben werden.

Sehr reichhaltig sind die Angaben aus der Geschichte der Chemie, die der Verfasser in zahlreichen Fußnoten behandelt hat. Auch die Beschreibung chemisch-technischer Betriebe ist gut, nur das Abbildungsmaterial könnte etwas neuzeitlicher sein. Bei der Aufzählung der Metalle ist der Verfasser der Gefahr nicht entgangen, die in dem Bestreben liegt, einen möglichst vollständigen Überblick zu geben, bei den Verbindungen hat er sich dagegen weise Beschränkung auferlegt. Wünschenswert erscheint es mir endlich, sich in neuerscheinenden Lehrbüchern der sich mehr und mehr durchsetzenden Bezeichnungsweise für Elemente, die in verschiedenen Wertigkeitsstufen auftreten, anzupassen und statt der älteren Unterscheidung durch „o“ und „i“ die Wertigkeit als römische Ziffer zu dem Element zu schreiben.

Der organische Teil ist in der üblichen Weise aufgebaut. Er ist im ersten Teil sehr einfach gehalten und knüpft an Erscheinungen aus dem täglichen Leben an. Nach einer kurzen Besprechung der Elementaranalyse und der Atom-

gewichtsbestimmung beginnt er mit der trockenen Destillation, der Leuchtgasfabrikation und der Besprechung der Flamme. Der aliphatische Teil ist stark beschränkt; auf isomere Verbindung, auf das asymmetrische Kohlenstoffatom und auf Oxy Säuren ist der Verfasser nicht zu sprechen gekommen. Das mag manchem gerechtfertigt erscheinen. Aber dann müßte man auch auf die Formeln der Farbstoffe und die Aufzählung einer ganzen Reihe von Alkaloiden, der Terpene und Kampfer, die für die Schule sicherlich weniger wichtig sind, verzichten. Aufgefallen ist mir, daß allgemein mit der zentrischen Benzolformel gearbeitet wird.

Das Buch hat seine Stärken und auch kleine Schwächen. Aus dem Rahmen der schon zahlreichen Chemielehrbücher hebt es sich durch nichts besonders hervor, und ich möchte zum Schluß noch darauf hinweisen, daß mir nach dem Inhalt und der äußeren Ausstattung der Preis recht hoch erscheint. *Isberg.*

Lehrbuch der organischen Chemie. Von Prof. Dr. P. KARRER. 2. Auflage. 889 S. mit 8 Abb. u. 2 Tafeln. Leipzig 1930. Georg Thieme. Geh. 37.— RM.; geb. 39.— RM.

Daß schon nach kaum 2 Jahren eine Neuauflage des Lehrbuchs der organischen Chemie von KARRER herauskommt, beweist, daß das Buch freundliche Aufnahme gefunden hat. Grundlegende Änderungen weist die neue Auflage nicht auf, so daß ich auf die Besprechung der ersten Auflage (s. diese Zeitschrift 42, 237; 1929) verweise. Das Tabellenmaterial ist etwas vermehrt, das Buch auf den neuesten Stand der Wissenschaft gebracht worden, so daß ein ganz modernes kleines Nachschlagewerk vorliegt, das bestens zu empfehlen ist. *Isberg.*

Lehrbuch der organischen Chemie. Von A. F. HOLLEMAN. 19. umgearbeitete und vermehrte Auflage von FRIEDRICH RICHTER. 536 S., 65 Abb. Berlin und Leipzig 1930. Walter de Gruyter & Co. Geb. RM 20.—

Der organische HOLLEMAN gehört zu den Hochschullehrbüchern, die das Wesentliche in musterhafter Klarheit und Einfachheit darstellen, alle Neuerungen jeweils geschickt einfügen und doch ihren Umfang nicht vergrößern. So findet man mancherlei Neues kurz, aber ausreichend, beschrieben, wie z. B. die vielgliedrigen Kohlenstoffringe bei den Cyclo-Alkanen bis zum Kohlenstoffring von 30 C-Atomen, dem Cyclotriakontan $C_{30}H_{60}$ nach RUZICKA, die Folgerungen aus dem Verhalten dieser vielgliedrigen Ringe für die BABYERSche Spannungstheorie und weiter die Cis- und Trans-Isomerie bei dem Dekalin. Der Abschnitt über die heterocyclischen Verbindungen ist erweitert worden; hier sind es namentlich die Untersuchungen über Pflanzen- und Blütenfarbstoffe von KOSTANECKI einerseits und von WILLSTÄTTER andererseits, ferner die Synthese des Blutfarbstoffes, des Protohämins, von H. FISCHER, die neu aufgenommen oder eingehender dargestellt worden sind. Die physiologische Chemie

ist stärker berücksichtigt worden als früher. Dafür ist weniger Wichtiges weggefallen, ohne daß man störende Lücken feststellen könnte.

Die neue Auflage des weit verbreiteten Lehrbuches besitzt die Vorzüge der früheren Auflagen und hat noch neue hinzugewonnen. *Dm.*

Leitfaden der theoretischen Chemie. Von Dr. WALTER HERZ, unter Mitarbeit von Dr. L. LORENZ. 4. Aufl. 309 S., 34 Abb. Stuttgart 1930. Ferdinand Enke. Geb. RM 19.—

Das Buch soll der ersten Einführung von Studierenden der Chemie, der Naturwissenschaften und Pharmazie sowie von Ärzten und Technikern in die Grundlehren der theoretischen Chemie dienen. Es schließt sich im Einvernehmen mit NERNST an dessen theoretische Chemie an, stellt aber nicht etwa nur einen verkürzten Nernst dar, sondern ist ein aus der reichen Erfahrung des Verfassers heraus entwickeltes Lehrbuch für den Anfänger im Studium, das sehr geschickt das Wesentliche herausstellt und die Schwierigkeiten des abstrakteren für Fortgeschrittene bestimmten Vorbildes beiseite läßt. Es zerfällt in die vier Hauptabschnitte: Die Zustandsformen des Stoffes, die Konstitution der Materie, Chemische Mechanik und Chemische Energetik.

In der Handbücherei höherer Schulen wird der Leitfaden von HERZ vielfach den NERNST ersetzen können, wenn die Mittel für diesen nicht ausreichen. *Dm.*

Periodisches System. Geschichte und Theorie. Von E. RABINOWITSCH und THILO. Stuttgart 1930. Ferdinand Enke. XI u. 302 S. m. 50 Abb. u. 49 Tabellen. Groß 8°. Preis geh. 27.— RM, geb. 29.— RM.

Über das periodische System der Elemente kann man heute nur noch auf der Grundlage der Theorie des Atombaus schreiben. Dementsprechend ist der größte Teil des vorliegenden Buches der neueren Entwicklung der Atomphysik gewidmet, und zwar vorwiegend der formalen Ausgestaltung des BOHRschen Atommodells. Die wesentlichen Züge dieser Entwicklungsstufe der Atomtheorie, die jetzt als abgeschlossen angesehen werden kann, sind die Einführung des Elektronendralls und des PAULISchen Eindeutigkeitsprinzips. Es ist außerordentlich befriedigend, zu sehen, wie es jetzt mit Hilfe einiger einfacher Regeln möglich geworden ist, die ungeheure Mannigfaltigkeit der spektroskopischen Tatsachen zu beherrschen. Da das Buch für einen weiteren Kreis von Physikern und Chemikern verständlich geschrieben ist, ist es zur Einführung in diesen Teil der Atomphysik gut geeignet und kann besonders auch dem Leserkreis dieser Zeitschrift empfohlen werden. Die drucktechnische Ausstattung ist vorzüglich. *J. Estermann.*

Die Akkumulatoren, ihre Theorie, Herstellung, Behandlung und Verwendung. Von Prof. Dr. W. BERMBACH. 4. Aufl. 214 S., 107 Abb. Berlin 1929. Julius Springer. Geb. RM. 9.75.

Auf das bekannte Werkchen ist in dieser Zeit-

schrift schon bei früheren Auflagen empfehlend hingewiesen worden. Die vorliegende Auflage hat dem Bedürfnis unserer Zeit entsprechend ein neues Kapitel über Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom erhalten und ist namentlich hinsichtlich der Radio-Akkumulatoren und der alkalischen Sammler erweitert worden. Auf alle theoretischen und praktischen Fragen, die dem Lehrer der Physik oder der Chemie beim Unterricht über den Akkumulator oder beim Arbeiten mit ihm begegnen, gibt das kleine Buch zuverlässige und ausreichende Auskunft. Die Ausstattung des preiswerten Buches ist in jeder Beziehung vorzüglich.

Dm.

Praktikum der quantitativen anorganischen Analyse. Von ALFR. STOCK und ARTH. STÄHLER. 4. Aufl. Mitbearbeitet von ANDR. HAKE. 141 S., 40 Abb. Berlin 1930. Julius Springer. Kart. RM 7.80.

Das bekannte, an sehr vielen Hochschulen eingeführte Praktikum hat in der neuen Auflage den Fortschritten der Wissenschaft Rechnung getragen und ist auch sonst gründlich überarbeitet worden. Der Lehrer der Chemie an höheren Schulen kann der kleinen Schrift mancherlei Anregung für seine Arbeiten im chemischen Laboratorium entnehmen, sowohl aus dem allgemeinen Teil, der die Gerätschaften und ihre Handhabung beschreibt, als auch aus den praktischen Beispielen der Maßanalyse, der Gewichtsanalyse, der Elektroanalyse oder der Gasanalyse.

Dm.

Physikalisch-chemisches Praktikum. Von Dr. K. FAJANS und Dr. W. WÜST. 217 S., 74 Abb. Leipzig 1929. Akademische Verlags-Ges. m. b. H. Geb. 13,50 RM.

Das Praktikum ist aus den langjährigen Erfahrungen verschiedener Hochschullehrer an den Universitäten München, Erlangen, Würzburg und der Technischen Hochschule Karlsruhe hervorgegangen und zunächst hauptsächlich für die Studierenden dieser Hochschulen bestimmt. Die verschiedenen Dozenten haben die geeignetsten Aufgaben aus ihren Laboratorien ausgewählt und in erster Linie solche Aufgaben ausgesucht, die mit verhältnismäßig einfachen Mitteln auszuführen sind. Neben den in derartigen Anleitungen üblichen Aufgaben wie Molekulargewichtsbestimmung, Bestimmung der Oberflächenspannung und der inneren Reibung von Flüssigkeiten, kalorimetrischen Messungen, Bestimmung der Reaktionsgeschwindigkeit, refraktometrischen Aufgaben, Messung von Leitfähigkeiten und Überführungszahlen sowie elektromotorischer Kräfte findet man metallographische Untersuchungen, Versuche über Umwandlung von Radioelementen, Ermittlung der H-Ionenkonzentration nach der Indikatorermethode mittels der Chinchidronelektrode oder potentiometrisch, Spektrophotometrie, Ultraviolettspektrographie u. a. mehr. Bemerkenswert sind die theoretischen Ausführungen zu den einzelnen Aufgaben, die Hinweise auf die Schwierigkeiten und Fehlerquellen bei den Versuchen,

die Literaturnachweise und die Anleitung zur Berechnung der Resultate, alles Dinge, die dem Studierenden weitgehend selbständiges Arbeiten ermöglichen sollen und können.

Dm.

Die Maßanalyse. Von Prof. Dr. J. M. KOLTHOFF unter Mitwirkung von Prof. Dr. Ing. H. MENZEL. 1. Teil: Die theoretischen Grundlagen der Maßanalyse. 2. Auflage. Berlin 1930, Julius Springer. XIII, 277 S. mit 20 Abb. Preis RM 13.80, geb. RM 15.—.

Die vorzügliche „Maßanalyse“ von KOLTHOFF ist in zweiter Auflage erschienen, bevor der zweite Band der ersten Auflage herausgekommen ist. Das ist sicherlich ein Zeichen dafür, daß sich das Buch viele Freunde verschafft hat. Die neue Auflage ist in ihren Grundzügen gegen die vorangehende nicht verändert worden, so daß ich auf deren Besprechung verweisen kann (siehe diese Zeitschrift 41, 201 [1928]). Erweitert sind die Kapitel über Katalyse und die Oxydations- und Reduktionsindikatoren, neu aufgenommen die Halogenaddition zu den organischen Titriermethoden, einige Betrachtungen über Reaktionsverzögerung bei Kettenreaktionen, sowie die Dislokationstheorie von BOESEKEN. Kleinere Abänderungen sind an manchen Stellen vorgenommen, um das Buch „zeitgemäß“ zu erhalten.

Was wir heute über Maßanalyse theoretisch beherrschen, findet sich hier klar, einfach und vollständig zusammengestellt, wobei der Verfasser nicht versäumt hat, die großen Lücken aufzuweisen, die noch der Bearbeitung harren. Ich halte das Buch für ganz vorzüglich und kann es für die Handbüchereien der Schulen nur empfehlen.

Isberg.

Lehrbuch der Metallkunde des Eisens und der Nichteisenmetalle. Von Dr. FRANZ SAUERWALD. 462 S., 399 Abb. Berlin 1929. Julius Springer. Geb. 29.— RM.

Das Buch ist bestimmt für die Studierenden an den technischen Hochschulen und will eine „gedankliche Synthese“ des Gesamtgebietes der Metallkunde, nämlich der Festigkeitslehre, der Metallprüfung, der Theorie der Legierungen, der Metallographie und Technologie in einem Leitfaden von nicht zu großem Umfange vornehmen. Das Buch führt überall die wichtigste Literatur an und verfolgt zugleich den Zweck, die eigenen Arbeiten des Verfassers und seiner Mitarbeiter in größerem Zusammenhang darzustellen, wodurch es eine persönliche Note erhält.

Das Buch zerfällt in eine allgemeine und in eine spezielle Metallkunde. Der erste Teil beginnt mit dem metallischen Zustand, behandelt namentlich den kristallisierten Zustand, die röntgenographischen Methoden zur Untersuchung des Feinbaues, die Art der Untersuchung der mechanischen Eigenschaften und die dazu erforderlichen Apparate, sowie die Normen, die hierbei zugrunde gelegt werden. Dann kommen die Legierungen und ihre Analyse. Der technischen Korrosion ist in diesem Abschnitt ein besonderes

Kapitel gewidmet. Die technischen Verarbeitungsprozesse, das Gießen, die Warm- und Kaltbehandlung, die Oberflächenbehandlung u. a. bilden den Schluß des theoretischen Teils. In der speziellen Metallkunde nehmen Eisen und Stahl, namentlich das Fe-C-Diagramm, sowie das Härten und Anlassen des Stahls den breitesten Raum ein. Von den Nichteisenmetallen sind besonders Cu, Al, Ni, Zn, W und ihre Legierungen genauer dargestellt; doch werden auch die wichtigsten Leichtmetall-Legierungen beschrieben, ebenso wie die Theorie und Praxis ihrer Vergütung. — Zahlreiche ausgezeichnete Dia- und Photogramme und klare technische Strichzeichnungen erhöhen den Wert dieses Lehrbuches, das für die Chemielehrer an höheren Schulen, wegen der Betonung der technischen Verwendungsfähigkeit der Metalle, von besonderem Interesse ist. *Dm.*

Anbruch eines neuen Kohlenzeitalters. Das Reich der Synthese. Zwei Vorträge für weiteste Kreise von Dr. E. E. SLOSSON, gehalten vor der internat. Kohlenkonferenz Pittsburgh. Deutsch von EMMY ZUR NEDDEN. Berlin. Verlag: Die Kohlenwirtschaft. Geh. RM 2.—.

Die beiden Vorträge behandeln in geist- und humorvoller Art die Wandlungen, die die menschliche Zivilisation durch die neuen Methoden in der Ausnutzung der Kohle und durch die großen Fortschritte in der Synthese wertvoller Gebrauchsstoffe aus Luft, Wasser, Kohle und Holz in der allerletzten Zeit durchgemacht hat. Die Aufsätze bieten dem Chemiker zwar nichts Neues, sind aber dennoch lesenswert, namentlich weil sie von einem angesehenen Amerikaner stammen und so einen Einblick in amerikanisches Denken über technische Probleme gestatten. *Dm.*

Aus Werkstätten.

Zwei Modelle zur Lichtbrechung. Die Firma Louis Preusschoff, Berlin S 42, Luisenufer 11, stellt zwei bewegliche Modelle zur Lichtbrechung her, die in erster Linie als Anschauungsmittel auf der Unterstufe gedacht sind. Da hier die Ableitung aus der Wellentheorie nicht möglich ist,

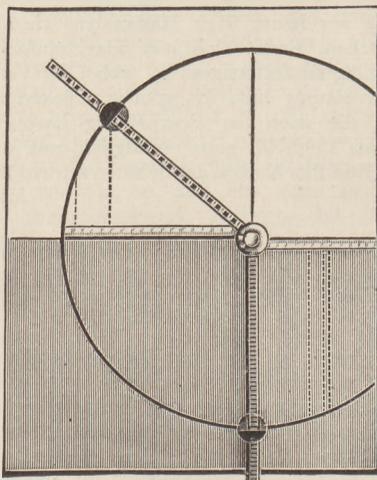


Fig. 1.

sucht das erste Modell die Brechung aus dem Prinzip der schnellsten Ankunft heraus verständlich zu machen.

Zwei beliebig anzunehmende Punkte beider Medien (Fig. 1) sind durch bewegliche Maßstäbe verbunden. Auf ihnen sind statt der Wege die zugehörigen Zeiten als Maßeinheiten abgetragen.

Da der Ausgangspunkt beider Maßstäbe auf der Grenzlinie verschiebbar ist, kann direkt abgelesen werden, welcher Weg bei einem gegebenen Geschwindigkeitsverhältnis zeitlich der kürzeste ist, und es ist z. B. leicht ersichtlich, warum bei senkrechtem Einfall keine Brechung stattfindet.

Das zweite Modell zeigt Figur 2 (vgl. z. B. H. HAHN, Physikalische Freihandversuche, Teil III

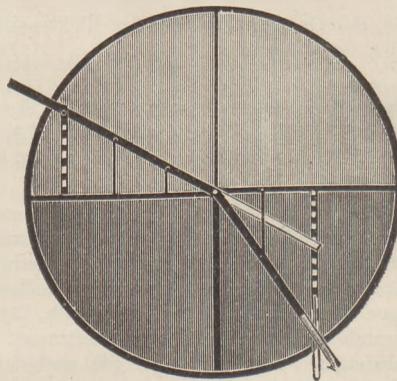


Fig. 2.

Licht, Nr. 160). Es veranschaulicht den Sinn des Brechungsverhältnisses (hier 3:2), sowie seine Konstanz bei veränderlichem Einfallswinkel in der Weise, daß infolge Parallelogrammverschiebung stets die Projektionen 3 und 2 auf der Grenzlinie erscheinen. Gleichzeitig ist der Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel und der Ablenkung des Strahles von der Geraden zu erkennen. Der Preis beträgt RM 25.— je Modell.

Korrespondenz.

Arbeitslose Absolventen überschreibt C. MATSCHOSS, der Direktor des Vereins Deutscher Ingenieure, eine Darlegung, die sich mit dem Zudrang zum Studium der Ingenieurwissenschaften beschäftigt. Dort heißt es:

„An den technischen Hochschulen und Fachschulen studieren etwa 40 000 junge Leute, von denen jährlich gegen 8000 ihre Studien abschließen. Diese Absolventen sind in erschreckender Weise arbeitslos; im Durchschnitt finden nur

etwa 20% eine Stellung, 10% studieren weiter, 20% nehmen irgendeine Tätigkeit außerhalb ihres Berufes an, der Rest von etwa 50% bleibt ohne jedes Einkommen. Diplom-Ingenieure, die Schlafstellen haben, von abends 10 Uhr erst benutzbar, die kein warmes Essen mehr kennen, die sich glücklich schätzen, wenn sie mit gleich welcher Arbeit, als Geschirrspüler, als Zigarettenverkäufer, als Eintänzer, einige Mark verdienen können, sind keine Seltenheiten mehr.“

Zur Linderung der äußersten Not ist der sog. „Ingenieurdienst“ geschaffen worden, der Arbeitslose vorübergehend zur Information, zur Ausbildung in Werkstatt und Büro unterbringt, um sie wenigstens für den Augenblick von der Straße fortzuschaffen. Aber damit läßt sich die Aussichtslosigkeit des Ingenieurberufes nicht bekämpfen. „Man rechnet heute mit 15 000 Abiturienten, aber man sagt uns, 1934 werden wir 40 000 Abiturienten haben. Heute schätzt man die Zahl der stellungslosen Akademiker auf 30 000, für 1934 rechnet man mit 130 000.“

Es leuchtet ein, daß dem Massenandrang zur Reifeprüfung und zum Hochschulstudium wirksam entgegengearbeitet werden muß. C. MATSCHOSS sagt hierzu: „Wir müssen zur inneren Wertschätzung auch der Arbeit und der Berufe kommen, zu denen glücklicherweise auch heute noch kein Abiturientenexamen und keine Hochschulbildung verlangt werden. Wir müssen mit den Anforderungen an schulmäßiger Vorbildung für verschiedene Berufe abbauen und vor allem auch mit der sozialen Überschätzung der sog. nur akademischen Berufe!“

Herbstferienlehrgang 1931 der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Berlin vom 30. September bis 10. Oktober.

I. Vorlesungen.

1. Ministerialrat Dr. HUBRICH: Ausgewählte Fragen der Schulverwaltung. — 2. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. SCHEFFERS: Zeichnerische Herstellung der Gradnetze von Land- und Himmelskarten. — 3. Prof. Dr. VON MISES: Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung. — 4. Prof. Dr. P. PRINGSHEIM: Neuere Ergebnisse aus dem Gebiete der Optik. — 5. Prof. Dr. VON LAUE: Neuere astronomische Forschung im Lichte der Relativitätstheorie. — 6. Prof. Dr. KÖNIG: Die Entwicklung der Witterungskunde in neuerer Zeit. — Die Vorlesung 2 ist vierstündig, die übrigen sind zweistündig.

II. Übungen.

1. Oberstudiendirektor ROHRBERG: Praktisches Rechnen (Methodik aller Rechenhilfsmittel). — 2. Studiendirektor Dr. KRAMER: a) Die Behandlung der Kegelschnitte; b) Zeichnerische Lösung von Aufgaben aus der sphärischen Trigonometrie und ihren Anwendungen. — 3. G. SCHUZIUS: Die Geodäsie im Rahmen des Unterrichts. — 4. Obser-

vator Dr. KOHL: Übungen zur Bestimmung der Zeit und der geographischen Breite aus astronomischen Beobachtungen. — 5. Oberstudienrat Dr. VOLKMANN: Experimentalvortrag über ausgewählte physikalische Schulversuche. — 6. Oberstudienrat Dr. VOLKMANN: Übungen in ausgewählten physikalischen Schulversuchen. — 7. Oberstudienrat Dr. OTTO: Praktische Übungen in der Mikroskopie, Mikroprojektion und Mikrophotographie. — 8. Studienrat NIX: Schülerversuche aus verschiedenen Teilen der Physik. — 9. Dr. MOELLER: Wissenschaftliche Messungen an Röhrengeneratoren. — 10. Studienrat Dr. ZORN: Übungen in der Werkstatt mit Anleitung zur Anfertigung einfacher Apparate, insbesondere solcher für Schülerübungen. — 11. Regierungsrat Dr. EWALD: Einführung in das Luftbild; Luftbild und Karte (Besuch der Hansa Luftbild G. m. b. H.; Rundflug um Berlin). — 12. Prof. Dr. FUCHS: a) Einordnung flugwissenschaftlicher Fragen in den mathematischen und physikalischen Unterricht. b) Dipl.-Ing. RITZ und Dipl.-Ing. BLECH: Versuche zur Strömungslehre und zur Physik des Fliegens. — 13. Dipl.-Ing. BLECH: Bau von Flugmodellen. — 14. Privatdozent Dr. SEIFERT und Dr. HERLINGER: Wachstum und Bau der Realkristalle (mit Demonstrationen). — 15. Prof. Dr. RUHM (Bonn): Das Studium der Verzerrungen bei den Abbildungen des geographischen Netzes der Erdkugel. — 16. Lektor Dr. BECK: Einführung in die Photographie mit praktischen Übungen. — 17. Lektor Dr. BECK: Ausgewählte Kapitel aus dem Gebiete der Photographie mit besonderer Berücksichtigung der Farbenphotographie. Übung 1 und Vortrag 5 sind 8stündig, die übrigen 16stündig.

III. Besichtigungen.

1. Osram G. m. b. H. Fabrik A, Sickingen Str. 71 (Vortrag, Führung und Aussprache). — 2. Eichamt Berlin, Luisenufer 6. — 3. Deutsche Bank und Diskonto-Gesellschaft (maschinelle Rechenhilfsmittel). — 4. Tonfilme „Aus den Forschungsstätten der AEG-Transformatorfabrik“ und „Bayerische Zugspitzenbahn“. — 5. AEG-Transformatorfabrik, Berlin-Oberschöneweide. — 6. Astrophysikalisches Observatorium Potsdam (Hauptgebäude, Refraktor, Einstein-Turm). — 7. Straßenbahnhof Berlin, Müllerstraße (Fahrschule, Eignungsprüfung). — 8. Museum für Meereskunde unter Führung des Privatdozenten Dr. WÜSTR.

Lehrgänge über Photographie in Magdeburg. Die Staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht hält in der Zeit vom 7. bis 11. September 1931 photographische Lehrgänge für Lehrer und Lehrerinnen aller Schulgattungen in Magdeburg ab. Die Teilnahme ist gebührenfrei. Die Meldung hat zu erfolgen für Lehrkräfte höherer Schulen bei dem Provinzial-Schulkollegium in Magdeburg, für Lehrkräfte der Mittel-, Volks-, Berufs- und Fachschulen bei der Regierung in Magdeburg.

Himmelserscheinungen im September und Oktober 1931.

W.Z.: Welt-Zeit = Bürgerliche Zeit Greenwich. 0h W.Z. = Mitternacht bürgerliche Zeit Greenwich.
 Stundenzählung von 0h bis 24h. M.E.Z. = Mitteleuropäische Zeit = Bürgerliche Zeit Stargard = W.Z. + 1h.

0h W.Z.	Sonne ☉				Merkur ☿		Venus ♀		Mars ♂		Jupiter ♃		Saturn ♄	
	AR.	Dekl.	Zeitgl. ¹	Sternzeit ²	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.
1931	h m	°	m s	h m s	h m	°	h m	°	h m	°	h m	°	h m	°
Aug. 28	10 23	+10,1	+ 1 33	22 21 1	11 9	+ 0,5	10 13	+12,5	13 1	- 6,4	8 47	+18,4	19 14	-22,3
Sept. 2	10 41	8,4	+ 0 3	22 40 43	10 56	2,2	10 37	10,3	13 13	7,7	8 51	18,2	19 14	22,3
„ 7	10 59	6,5	- 1 35	23 0 26	10 40	4,9	11 0	7,9	13 26	9,0	8 55	17,9	19 13	22,3
„ 12	11 17	4,6	3 17	23 20 9	10 30	7,5	11 23	5 5	13 38	10,2	8 59	17,6	19 13	22,3
„ 17	11 35	2,7	5 3	23 39 52	10 32	8,9	11 46	3,0	13 51	11,5	9 3	17,4	19 12	22,4
„ 22	11 53	+ 0,8	- 6 49	23 59 34	10 48	+ 8,6	12 9	+ 0,5	14 3	-12,7	9 7	+17,1	19 12	-22,4
„ 27	12 11	- 1,2	8 34	0 19 17	11 14	6,7	12 31	- 2,0	14 16	13,9	9 11	16,8	19 12	22,4
Okt. 2	12 29	3,1	10 14	0 39 0	11 45	3,7	12 54	4,5	14 30	15,0	9 14	16,6	19 13	22,4
„ 7	12 47	5,0	11 46	0 58 43	12 17	+ 0,1	13 17	7,0	14 43	16,1	9 18	16,3	19 13	22,4
„ 12	13 5	6,9	13 9	1 18 26	12 49	- 3,7	13 40	9,5	14 57	17,2	9 21	16,1	19 14	22,4
„ 17	13 24	- 8,8	- 14 19	1 38 8	13 21	- 7,4	14 4	-11,8	15 11	-18,2	9 24	+15,9	19 14	-22,3
„ 22	13 43	10,6	15 16	1 57 51	13 52	11,0	14 28	14,1	15 26	19,2	9 27	15,7	19 15	22,3
„ 27	14 2	12,4	15 57	2 17 34	14 22	14,3	14 52	16,1	15 40	20,1	9 29	15,5	19 17	22,3
Nov. 1	14 21	-14,1	-16 19	2 37 17	14 53	-17,2	15 17	-18,1	15 55	-20,9	9 32	+15,3	19 18	-22,3

¹ Zeitgleichung = mittlere Zeit - wahre Zeit.

² Die Korrektur der Sternzeit für einen Ort λ° östlich bzw. westlich von Greenwich ist $\mp 0^s.657 \cdot \lambda^\circ$.

Auf- und Untergänge des oberen Randes der Sonne und des Mondes in mittlerer Ortszeit. Breite von Berlin (+ 52,5°), Länge von Stargard (15° östlich v. Greenwich).

	Sonne		Mond			Sonne		Mond			Sonne		Mond	
	Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.		Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.		Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.
1931	h m	h m	h m	h m	1931	h m	h m	h m	h m	1931	h m	h m	h m	h m
Aug. 28	5 2	19 0	19 20	5 0	Sept. 22	5 44	18 1	17 5	0 14	Okt. 17	6 27	17 3	14 16	20 42
Sept. 2	5 10	18 48	20 6	10 59	„ 27	5 52	17 49	17 56	6 23	„ 22	6 36	16 52	15 48	1 50
„ 7	5 19	18 36	23 19	16 48	Okt. 2	6 1	17 37	19 16	12 35	„ 27	6 45	16 42	16 36	7 50
„ 12	5 27	18 25	5 29	18 35	„ 7	6 10	17 26	—	16 13	Nov. 1	6 54	16 32	20 3	13 23
„ 17	5 36	18 13	13 13	20 3	„ 12	6 18	17 14	7 32	17 19					

Mondphasen 1931 M.E.Z.	Neumond		Erstes Viertel		Vollmond		Letztes Viertel	
		12. Sept.	5h 26,4m	18. Sept.	21h 37,3m	28. Aug.	4h 9,5m	5. Sept.
	11. Okt.	14 5,9	18. Okt.	10 20,0	26. Sept.	20 44,9	4. Okt.	21 15,1
					26. Okt.	14 33,9	3. Nov.	8 17,5

Erscheinen und Verschwinden der Planeten. Breite von Berlin, Zeitangaben in mittlerer Ortszeit.

	Merkur ☿		Venus ♀		Mars ♂		Jupiter ♃		Saturn ♄	
1931	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h
Aug. 28	—	—	—	—	—	—	A 2,6	Dm 4,0	Da 20,2	U 0,8
Sept. 7	—	—	—	—	—	—	A 2,2	Dm 4,3	Da 19,8	U 0,1
„ 17	A 4,0	Dm 4,6	—	—	—	—	A 1,7	Dm 4,6	Da 19,3	U 23,4
„ 27	A 4,3	Dm 4,9	—	—	—	—	A 1,2	Dm 4,9	Da 18,9	U 22,8
Okt. 7	—	—	—	—	—	—	A 0,7	Dm 5,2	Da 18,5	U 22,1
„ 17	—	—	—	—	—	—	A 0,2	Dm 5,5	Da 18,1	U 21,5
„ 27	—	—	—	—	—	—	A 23,7	Dm 5,8	Da 17,8	U 20,8
Nov. 6	—	—	Da 16,9	U 17,0	—	—	A 23,2	Dm 6,0	Da 17,5	U 20,3

A = Aufgang; U = Untergang; Da und Dm = Erscheinen bzw. Verschwinden in der Dämmerung.

24. September 1h 24m **Herbstanfang**. 26. September von 18h 54,2m bis 22h 41,8m **Mondfinsternis**, welche von 20h 5,5m bis 21h 30,5m total ist. Zeitangaben in M.E.Z. Kohl.

Für die Redaktion verantwortlich: Ministerialrat Professor Dr. K. Metzner, Berlin W 8.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagsbuchhandlung gestattet.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz A.G., Würzburg.