

Goethe im Physikunterricht. Z

Von Martin Gebhardt in Dresden-Strehlen.

(Schluß.)

Liegt schon in dem Hinweis auf die ganze Einstellung Goethes zur Physik erzieherischer Wert und bringt ein Eingehen auf seine Farbenlehre eine wichtige Ergänzung des Deutschunterrichts und einen Beitrag zur Geschichte der Wissenschaft, so gibt Goethes Farbenlehre dem Lehrer doch vor allem Gelegenheit, einmal in fesselnder Weise ein Sonderkapitel der Optik zu behandeln, nämlich die Lehre von den Gesichtsempfindungen.

Newton und Goethe können darum nie zusammenkommen, weil für beide die Farbe etwas Grundverschiedenes ist. Wir sahen schon oben, daß von jeher Physiologen zu den Verteidigern Goethes gehört haben. Und in der Tat geht dessen ganze Farbenlehre von der subjektiven Seite der Farbenempfindung aus, also von der Tätigkeit des Auges¹⁾. Goethe ist — vor allem in Italien — ich möchte sagen auf Schritt und Tritt — mit seinem Auge auf Entdeckungen ausgegangen, sowohl in Gemäldesammlungen als auch in der freien Natur. Kunststätten und die weite Welt waren seine Beobachtungsräume, nicht das verfinsterte Experimentierzimmer Newtons.

Goethe ordnet seine Betrachtungen im didaktischen Teil in sechs Abteilungen, die er überschreibt: Physiologische Farben; Physische Farben; Chemische Farben; Allgemeine Ansichten nach innen; Nachbarliche Verhältnisse; Sinnlich-sittliche Wirkung der Farbe.

Er beginnt also sein großes Werk mit dem, was ihm als das Wichtigste, das Grundlegende erscheint. Und in der Tat enthält gerade die erste Abteilung so viel Wahres, Künstlerisches, echt Goethesches, daß der Schüler von ihrem Inhalt das Wesentliche erfahren soll, zumal hier alles klar und einfach vor Augen liegt.

Man zeichne sich auf eine hinreichend große Pappscheibe die erste Figur der sechzehn „Tafeln zur Farbenlehre“ und beklebe sie, wie hier (Fig. 1) angedeutet, mit farbigem Mattpapier. Dann hat man den Goetheschen Farbenkreis, in dem also nur sechs herausgegriffene Farben nicht spektral bandförmig, sondern in geschlossenem Ringe angeordnet sind. Das zu oberst stehende Purpur, das im Spektrum nicht vorkommt²⁾, ist also bei Goethe „Steigerung“ des Orange einerseits und des Violett andererseits. „Gelb, Blau und Rot sind als Trias gegeneinander übergestellt; ebenso die intermediären, gemischten oder

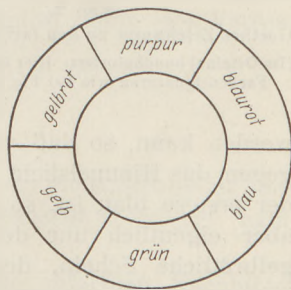


Fig. 1. Goethes Farbenkreis.

¹⁾ Vgl. zu dem folgenden auch: E. Raehlmann, Goethes Farbenlehre, Jahrbuch der Goethesellschaft, Bd. 3, 1916 (Sonderdruck, Insel-Verlag, Leipzig); sowie H. Helmholtz, „Über Goethes naturwissenschaftliche Arbeiten“ in den populären wissenschaftlichen Vorträgen, Braunschweig, Vieweg 1865.

²⁾ Man stellt es her, indem man vor das Prisma des Projektionsapparates ein belegtes hinter ein unbelegtes Stück Spiegelglas hält. Dadurch entstehen auf dem seitwärts gestellten Schirme zwei Spektren. Man dreht nun die Spiegelgläser so, daß das eine Spektrum über das andere hinwegwandert, bis das Violett des einen und das Rot des anderen zur Deckung kommen.

abgeleiteten. Dieses Schema hat den Vorteil, daß alle gezogenen Diameter des Zirkels ohne weiteres die physiologisch geforderte Farbe angeben¹⁾.“ Hier finden wir den wichtigen Begriff der geforderten Farbe, den Goethe durch eine Reihe von Beobachtungen, die er gelegentlich im Freien gemacht hat, erläutert. So erzählt er von dem Besuch einer Eisenschmiede, wo er die glühende Eisenmasse erst anstarrt, um gleich hinterher beim Hinsehen auf einen dunklen Kohlenschuppen ein purpurfarbenes, beim Abschweifen auf einen hellen Bretterverschlag aber ein grünes Bild zu erblicken. So erzählt er von einem Besuche abends im Wirtshaus, wo er ein „wohlgewachsenes“ Mädchen mit blendendweißem Gesicht und scharlachrotem Mieder erst scharf anblickt, um dann auf einer weißen Wand deren Gestalt mit schwarzem hellumrandeten Gesicht und schön meergrüner Bekleidung zu sehen. So schien ihm einst zur Zeit der Dämmerung die Blüte des orientalischen Mohns von flammenähnlichen Strahlen in der „geforderten“ blaugrünen Farbe umkränzt zu sein. Nach Weglegen einer grünen Brille sind ihm die Gegenstände mit rötlichem Schein überglänzt. Durch eine Öffnung farbiger Vorhänge zeigt draußen alles „bis zur Unbequemlichkeit“ die geforderte Farbe.

Zur Erklärung dieses Auftretens komplementärer Farben sagt er das Folgende: „Das Auge verlangt dabei ganz eigentlich Totalität und schließt in sich selbst den Farbkreis ab. In dem vom Gelben geforderten Violetten liegt das Rote und Blaue; im Orange das Gelbe und Rote, dem das Blaue entspricht; das Grüne vereinigt Blau und Gelb und fordert das Rote, und so in allen Abstufungen der verschiedensten Mischungen. Daß man in diesem Falle genötigt werde, drei Hauptfarben anzunehmen, ist schon früher von den Beobachtern bemerkt worden.“ Aus der Totalität der Farbe aber, nach der unser Auge unbewußt verlangt, leitet Goethe die Lehre von der Harmonie der Farben her, die allein zu ästhetischem Genusse befähige.

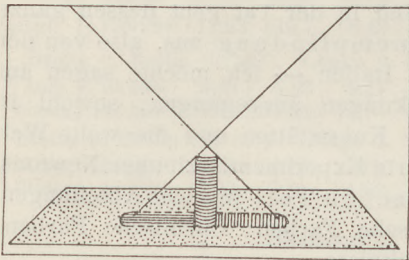


Fig. 2.

Goethes Zeichnung zu den farbigen Schatten.
(Im Original handkoloriert. Hier übertragen nach
Farbensignaturen wie bei Fig. 3 auf S. 60.)

Nun wendet sich Goethe zu den farbigen Schatten (Fig. 2). „Man wähle in der Dämmerung den Zeitpunkt, wo das einfallende Himmelslicht noch einen Schatten zu werfen in stande ist, der von dem Kerzenlicht nicht ganz aufgehoben

werden kann, so daß vielmehr ein doppelter Schatten fällt; einmal vom Kerzenlicht gegen das Himmelslicht, und sodann vom Himmelslicht gegen das Kerzenlicht. Wenn der erstere blau ist, so wird der letztere hochgelb erscheinen. Dieses hohe Gelb ist aber eigentlich nur der über das ganze Papier von dem Kerzenlicht verbreitete gelbrötliche Schein, der im Schatten sichtbar wird.“ Eine Fülle weiterer Beobachtungen mit schönen Naturschilderungen schließt sich an, Beobachtungen, die bei Schneewanderungen, einer Harzreise und Spaziergängen bei Mondschein angestellt worden sind.

Den Versuch mit farbigen Schatten wird man angenähert in der Goetheschen Ausführung anstellen. Man schaffe sich zu diesem Zwecke farbige elektrische Glühlampen an, die man auch sonst gut gebrauchen kann. Auf dem Experimentiertisch steht schräg zur Klasse ein mit mattweißem Aquarellpapier überzogener Schirm (etwa $0,8 \times 1$ m). Davor in etwa 2 dm Abstand eine mehrere Zentimeter breite Latte, auf einem Grundbrett vertikal befestigt. In 1—2 m Entfernung stellt man zuerst eine blaue und eine mattweiße Glühlampe so auf, daß die Schatten der Latte auf dem Schirm aneinandergrenzen. Da die Intensität der farbigen Lampe geringer sein wird, muß man letztere wesentlich näherrücken. Das muß ausprobiert werden.

¹⁾ „Erklärungen“ zu den Tafeln, S. 1.

Empfehlenswert ist es auch, ein schwarzes Pappkästchen um die weiße Lampe zu befestigen, dessen eine Seitenfläche aus einer oder mehreren Schichten weißen Seidenpapiers besteht. Dadurch erzielt man die wünschenswerte Dämpfung und zugleich eine Abblendung gegen den Zuschauer. Man dreht nun zunächst die eine und dann die andere Lampe an und zeigt jedesmal die gleichmäßige Färbung des Schirmes und den nahezu schwarzen Schatten. Sowie aber beide Lampen brennen, sieht man nicht einen blauen und einen weißen Schatten, wie man erwarten müßte, sondern einen auffallend zitronengelben Schatten als Nachbarn des blauen. Sodann wechselt man die blaue Birne gegen eine nicht zu dunkle rote¹⁾ aus und verfährt ebenso. Sofort pflanzt sich nach Einschaltung beider Lichtquellen neben den roten Schatten ein schön grün gefärbter. Die Schatten gegen die Zuschauer auf einen durchscheinenden Schirm aus Leinwand oder Seidenpapier zu werfen, ist nicht ratsam. Die Kontrastfarbe kommt dann nicht so saftig und überzeugend heraus, erscheint vielmehr ungleichmäßig und schmutzig.

Da die physiologische Farbe eine subjektive Farbe ist, kann es nicht ausbleiben, daß Goethe auch krankhafter Störungen des Sehorgans gedenkt. Auch hier hat er eingehende Studien getrieben, hat anormale Personen untersucht und sich insbesondere mit dem Akyanobleps, dem Blaublinden, beschäftigt, aus dessen Farbenskreise nach Goethes Ansicht mit Blau zugleich Violett und Grün ausgelöscht seien. Dann verbreitet sich an Stelle des Blau das Rot, das anstatt des Grünen Orange hervorbringen müsse. Auf der ersten Tafel findet sich ein hübsches Landschaftsbild, „wie ungefähr, nach unserer Überzeugung der Akyanobleps die Welt sieht“. Auf diesem Bilde erblickt man einen gelben Wald, braunen Dunst vor fernen Bergen und Fischer mit roten statt blauen Hosen. Eine vierfach vergrößerte Aquarellkopie dieses Bildes lege ich meinen Schülern vor.

Immer wieder also ist es der Mensch, der zum Schöpfer der Farbe wird, nicht ein Stück geschliffenes Glas, durch das in der „ägyptischen Nacht“ einer dunklen Kammer nur ein feiner Sonnenstrahl dringt, um hinterher „wie ein Stricklein aufgedrösel“ zu werden. Immer wieder sind für den Pantheisten Goethe Licht und Farben göttlichen Ursprungs und von Urbeginn dem Auge verwandt, im Sinne des Verses:

„Wär' nicht das Auge sonnenhaft,
Wie könnten wir das Licht erblicken?
Lebt' nicht in uns des Gottes eigne Kraft,
Wie könnt' uns Göttliches entzücken?“

Wenn Goethe auch diesen Vers geformt hat, so stammt der Gedankeninhalt doch nicht von ihm, sondern, wie er selbst vorausschickt, von „einem alten Mystiker“, nämlich dem Neuplatoniker Plotinos²⁾, woran hier erinnert sei.

Daß die geschilderten Kontrastphänomene, die konträr gefärbten Nachbilder und das farbige Abklingen³⁾ grellerer Lichtflecke schon vor Goethe bekannt waren, wissen wir. Aber Goethe hat sie nicht, wie andere vor ihm, als interessante Täuschungen hingenommen, sondern als notwendige physiologische Erscheinungen des gesunden Sehorgans erkannt, sie auch durch liebevolle und uner-müdliche Beobachtungen erweitert und präzisiert, ja sie zum großen Teil so gedeutet, wie es noch heutzutage die Wissenschaft tut. Damit hat Goethe, wie der Professor der Augenheilkunde WESSELY in seiner schon mehrfach zitierten Rektoratsrede fest-

¹⁾ Eine rubinrote Dunkelkammerlampe kann man nicht gebrauchen, da sie viel zu geringe Intensität hat.

²⁾ Von Goethe den „Enneaden“ des Plotinos entnommen. Doch stammt der Gedanke, wie v. Lippmann im Goethe-Jahrbuch, 15. Bd., S. 267 feststellt, von Plato her. Vgl. auch Max Geitel, Entlegene Spuren Goethes (München und Berlin, Oldenbourg 1911) S. 201.

³⁾ Das so bezeichnende Wort „abklingen“ ist nach Max Morris (Einleitung zur Farbenlehre in der Cottaschen Jubil.-Ausg.) durch Goethe in die wissenschaftliche Terminologie eingeführt worden.

stellt, gewissermaßen schon HELMHOLTZ überholt und sich den großen Grundgedanken EWALD HERINGS genähert¹⁾.

Das farbige Abklingen helleuchtender Lichtflecke wird man die Schüler erleben lassen. Im dunklen Zimmer wirft man mit dem Projektionsapparat, vor den man eine Irisblende gesetzt hat, einen grellen Kreis von etwa 20 cm Durchmesser auf die weiße Wand. Dann fordert man zu starrem Ansehen dieses Kreises auf und deckt nach etwa zehn Sekunden die Öffnung zu, während das Auge in derselben Stellung verharret. Dann wird man etwa im Verlaufe einer Minute unschwer Goethes Angaben bestätigt finden, daß nach und nach Gelb mit rotem Rande Purpur, Purpur mit blauem Rande uns schließlich Blau erscheint, bis der „ganze Raum unfarbig“ wird. Wiederholt man den Versuch mit dem Unterschiede, daß man auf eine mäßig erhellte graue Fläche schaut, „so schwebt abermals ein Phänomen vor uns, aber ein dunkles“. Dabei hat man zuerst Blau mit grünem Rande, dann Grün, Grün mit schmutzig gelbem Rande und schließlich nur schmutziges Gelb vor sich, „das zuletzt von einer Unfarbe verschlungen wird“. Der Versuch gelingt auch, wenn man den Glühfaden einer hoch-

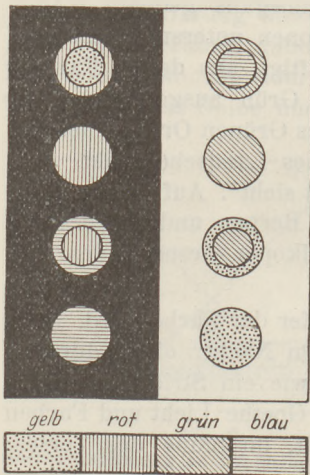


Fig. 3.

Das „abklingende blendende Bild“.

physiologische und nicht physikalische Größen definierte. Das gelte auch von den unbunten Farben der Grauleiter. Die Zuhörer oder besser Zuschauer waren höchlichst verwundert, als ihnen der Vortragende ein schwarzes Papierblatt erst wirklich schwarz, dann immer heller grau und schließlich tatsächlich weiß erscheinen ließ. Das Wunder vollzog sich im verdunkelten Hörsaal durch stufenweise Steigerung der lediglich auf das Blatt sich erstreckenden Belichtung bis zur äußersten, nahezu unerträglichen Intensität. Wie wünschte ich mir damals den Großen von Weimar unter die Zuschauer!

Den sukzessiven Kontrast wird man auch zeigen. Man halte vor die Irisblende, deren beste Öffnung man ausprobiert, eine nicht zu dunkle Glasscheibe, wie sie beim photographischen Entwickeln benutzt wird, lasse den dadurch hervorbrachten roten Kreis scharf fixieren und ziehe dann die Scheibe schnell weg. Das Umschlagen der Farbe in das komplementäre Grün geht schnell und prompt vor sich.

¹⁾ Vgl. auch „Goethes optische Studien“, Festrede zu Goethes 150. Geburtstag, gehalten am 26. 8. 1899 im Physikal. Verein zu Frankfurt a. M. von Prof. Dr. Walter König (Frankfurt a. M., C. Naumann, 1899), S. 15 ff. Hier sind auch Versuche zur Goetheschen Farbenlehre beschrieben. Überhaupt ist in dieser Rede Goethes Farbenlehre sehr klar und anschaulich nach Entstehung und Inhalt analysiert.

kerzigen Osramlampe anstarren läßt und die Lampe plötzlich ausdreht. Nur stört etwas die Zickzackform des Nachbildes. Ich habe mir die Figur 10 der ersten Goetheschen Tafel ebenfalls aus auf Pappe aufgeklebtem Buntpapier hergestellt und lasse an ihr die Schüler ihre subjektiven Beobachtungen nachprüfen (Fig. 3). Stellt man dann nach geraumer Zeit mit ausgeruhtem Auge den Versuch noch einmal an, dann gelingt er meist auch den Schülern, die das erste Mal nicht scharf auf sich geachtet hatten.

Den Simultan-Kontrast kennzeichnet auch der folgende Versuch. Man hält eine Scheibe aus weißem Schreibpapier einmal auf einen schwarzen, dann auf einen dunkelgrauen, auf einen hellgrauen und einen weißen Grund. Jedesmal scheint die Scheibe verschieden hell zu sein. Den Teilnehmern an der Göttinger Hauptversammlung des Deutschen Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts (1921) werden schöne optische Demonstrationen des Herrn POHL (Göttingen) in Erinnerung sein, in deren Verlauf der Vortragende unter Hinweis auf EWALD HERING die Farben ausdrücklich als

Weniger gut pflegt hinterher der umgekehrte Effekt herauszukommen, wenn man mit einer grünen Platte arbeitet. Ungünstig wirkt wohl dabei mit, daß das angestrengte Auge nun nicht mehr so gut reagiert. Man lasse sich also an dem zuerst beschriebenen Versuche genügen.

Wie erklärt nun Goethe diese aufs feinste von ihm beobachteten und so schön beschriebenen Phänomene? Nicht dadurch, daß die ermüdeten Nervenfasern auf der betroffenen Netzhautstelle, hinterher überwiegend die komplementären Farben zum Bewußtsein bringen. Vielmehr durch ein angeborenes Bestreben des Auges, nach Abwechslung zu verlangen. „Das Auge mag nicht einen Moment in einem besonderen, durch das Objekt spezifizierten Zustande identisch verharren. Es ist vielmehr zu einer Art Opposition genötigt, die, indem sie das Extreme dem Extremen entgegengesetzt, das Entgegengesetzte verbindet und in der Sukzession sowohl als in der Gleichzeitigkeit nach dem Ganzen strebt.“ Immer wieder die Theorie von den geforderten Farben und dem unbewußten Verlangen des Auges nach Farbertotalität.

Lehren schon die vorigen Versuche, daß wir Farben sehen, die nicht zu den Newtonschen gehören, die also nicht von der Wellenlänge einer gewissen Lichtsorte abhängen, so erscheint der folgende Versuch in diesem Sinne noch viel auffallender. Er ist als Experiment des Flor-Kontrastes bekannt¹⁾, der zu den Erscheinungen des Simultan-Kontrastes gehört. Ein kräftig grün gefärbtes Kartonblatt von etwa Doppelfolio-Größe enthält in der Mitte ein rein graues²⁾ Quadrat (dm^2), das als wirklich rein grau erkannt wird, wenn man einen weißen Karton von der Größe des grünen, der durch einen Ausschnitt genau das graue Quadrat freiläßt, darüberlegt. Auf dem grünen Untergrunde hingegen erscheint letzteres bei längerem Hinsehen rötlich. Nun überdecke man den grünen Karton mitsamt dem grauen Quadrate durch einen Bogen dünnen Seidenpapiers. Mit Staunen wird man merken, daß das Quadrat sofort eine ausgesprochen dunkelrote Farbe annimmt: die Goethesche Kontrastfarbe. Noch mehr aber ist man verwundert, wieder reines Grau zu sehen, wenn man zuletzt den weißen Karton mit dem Fenster über das Vorige (also ohne Wegnahme des Seidenpapierüberzuges) legt. Der Versuch läßt sich nacheinander mit gleich sicherem Erfolg beliebig oft wiederholen. Die Erklärung hierfür ist schwer und erfordert Kenntnisse der physiologischen Wissenschaft. RAEHLMANN gibt sie an verschiedenen Stellen³⁾. Sie gehört jedenfalls nicht in den Unterricht. Wohl aber lehrt der Versuch zur Genüge, daß rotes Licht objektiv nicht vorhanden war, daß es vielmehr unser Auge war, das aus dem Zusammenwirken des Grün und Grau unter

¹⁾ Man findet ihn u. a. auch bei Raehlmann a. a. O. S. 27 beschrieben.

²⁾ Die Auswahl der Farben bereitet einige Schwierigkeiten, wenn der Versuch überzeugend gelingen soll. Der Grundkarton soll kein zu grelles Grün aufweisen. Eine mehr stumpfe Farbe, wie die gläserner Lampenglocken empfiehlt sich. Noch mehr kommt es auf die Wahl des Grau an. Es darf keinesfalls ins Bläuliche spielen; eher kann eine Spur bräunlicher Ton darin sein. Die käuflichen Graustufen der Ostwaldschen Farbenblätter fand ich wenig geeignet. Ich entdeckte das geeignetste Grau bei Durchsicht der Umschläge der zahlreichen Kataloge, wie sie sich in jedem physikalischen Institute ansammeln. Hat man die richtigen Farben beisammen, so muß der Flor-effekt ein schönes, saftiges Dunkelrot zeigen. Eine allzu grelle Beleuchtung ist nicht zweckmäßig.

³⁾ Archiv für die gesamte Physiologie, Bd. 102, S. 54 ff. und Zeitschrift für Augenheilkunde, Bd. 19, I, S. 7 ff., sowie auch in dem zitierten Aufsätze des Jahrbuchs der Goethe-Gesellschaft, Bd. 3, 1916. — Raehlmann sagt u. a.: „Physiologisch handelt es sich um eine Flächenfunktion der Netzhaut. Wie bei unserem Versuch das Quadrat und das Grün des Papiers flächenhaft nebeneinander geordnet sind, so liegen auch deren Bilder auf der Netzhaut des Auges nebeneinander. Die eine Fläche wird also durch die andere beeinflusst. Es müssen die Netzhautelemente (Zapfen und Stäbchen) der einen durch die der anderen Fläche mit erregt werden. . . . Physikalisch ist die Farbenercheinung unseres Versuches dieselbe wie bei den farbigen Schatten. Sie steht unter denselben physikalischen Vorbedingungen der Doppelbeleuchtung. Mit dem Seidenpapier ist weißes Licht (Reflexlicht!) dem grünen Bogen und dem grauen Quadrat gleichmäßig hinzugefügt. An der Stelle des Quadrates aber fehlt die eine Beleuchtung (das Reflexlicht Grün!). Darum erscheint am Quadrat die geforderte Farbe, die Kontrastfarbe Rot. . . . Das Rot ist also als objektives Reizlicht bei diesem Versuche gar nicht vorhanden. Es ist subjektiv, d. h. von unserem Auge hervorgebracht.“

Hinzutreten des gedämpften Weiß vom Seidenpapier sich die rote Farbe selbst geschaffen hat. Läßt man nun einen unbefangenen Beobachter, der die Vorstufen des Versuchs nicht kennt, einmal das durch ihn entstandene Rot sehen und legt man ihm dann ein objektives Rot gleicher Art vor — wie sollte er aus sich heraus einen Unterschied feststellen können? Da es nun das weiße Papier gewesen ist, das die rote Farbe hervorzauberte, so ist, wie auch der Physiologe RAEHLMANN betont, nachgewiesen, „daß weißes Licht farbig gesehen wird, was mit der Newtonschen Lehre nicht vereinbar ist“.

Diesem Versuche lege ich große Bedeutung bei. Vermag er doch dem Schüler recht klar zu machen, was der innerste Grund war, aus dem Goethe zu seiner scharfen Ablehnung Newtons kam.

Seit Jahren benutze ich nun auch Farbenphotographien, die nach dem Lumière-Verfahren hergestellt waren, um Goethesche Kontrastfarben in der freien Natur als subjektiven Ursprungs zu demonstrieren¹⁾. Ich hatte (schon 1910) eine besonders gut gelungene Aufnahme von Kindern in ihrer Strandburg an der Ostsee gemacht, auf der die Sandwälle in grellem Sonnenlichte bläuliche Schatten warfen. Diese Platte projiziere ich, und zwar, damit die Helligkeit hinreichend groß bleibt, bei mäßigem Schirmabstande und blende dann die sonnigen Stellen durch Schablonen mit scharfen Konturen ab. Sofort ist die blaue Kontrastfarbe verschwunden. Es wird nicht schwer fallen, sich solche Autochromphotographien geeigneter Landschaften zu verschaffen. Ich empfehle sie zur Verwendung im vorstehenden Sinne. Schon darum, um zu zeigen, wie Goethe nicht im Laboratorium daheim, sondern auf Italiens sonnigen Fluren zu seiner Erkenntnis gekommen ist. Auch um ahnen zu lassen, wie er an den Bildern italienischer Meister mit sicherem Blick grundlegende Studien gemacht hat. —

Soviel kann man vielleicht seinen Primanern aus der ersten Abteilung (§ 1—135) des didaktischen Teils der Farbenlehre vortragen. Neben den physiologischen oder „unaufhaltsam flüchtigen“ Farben unterscheidet Goethe nun zweitens die physischen oder „vorübergehenden“, allenfalls verweilenden Farben, die ihm nur um einen geringen Grad mehr Realität, wie jene zu haben scheinen. —

Der Abschnitt von den physischen Farben²⁾ bringt nun das vielgenannte Goethesche Urphänomen der Farbenentstehung. Auch hier möchte man wenigstens kurze Zeit verweilen. Bei diesem Urphänomen spielt „das Trübe“ eine grundlegende Rolle. Im § 150 und § 151 heißt es: „das höchstenergische Licht, wie das der Sonne ist blendend und farblos. So kommt auch das Licht der Fixsterne meistens farblos zu uns. Dieses Licht aber durch ein auch nur trübes Mittel gesehen, erscheint uns gelb. Nimmt die Trübe eines solchen Mittels zu, oder wird seine Tiefe vermehrt, so sehen wir das Licht nach und nach eine gelbrote Farbe annehmen, die sich endlich bis zum Rubinroten steigert.“ „Wird hingegen durch ein trübes, von einem darauffallenden Lichte erleuchtetes Mittel die Finsternis gesehen, so erscheint uns eine blaue Farbe, welche immer heller und blässer wird, je mehr sich die Trübe des Mittels vermehrt, hingegen immer dunkler und satter sich zeigt, je durchsichtiger das Trübe werden kann; ja bei dem mindesten Grad der reinsten Trübe, als das schönste Violett dem Auge fühlbar wird.“

Also der ewige Dualismus, der Kampf zwischen Licht und Finsternis erzeugt die Farben. Grundfarben sind Gelb und Blau, je nachdem Nachbarschaft des absolut Hellen oder absolut Dunklen in Frage kommt. Auf Italiens Gefilden wurde in Goethes Künstlerseele diese Theorie geboren. Die aufgehende Sonne, die sich durch den

¹⁾ Das geschah schon, ehe die Abhandlung Raehlmanns erschienen war, in der in einer Fußnote ebenfalls auf die Autochromplatten hingewiesen ist.

²⁾ Darunter versteht Goethe die objektiven Farben, also kurz gesagt die Newtonschen Farben, wie sie das Prisma zum Spektrum auseinanderzieht. Die chemischen Farben endlich sind die Pigmentfarben oder die Tünchen Ostwalds.

Dunst des Horizonts hindurcharbeitet, lehrte das erstere; die an sich finsternen Berge, die durch die Nebeldünste der Ferne blicken, erscheinen blau, ebenso die „Schattenteile näherer Gegenstände, wenn die Luft mit feinen Dünsten gesättigt ist.“ Eisberge dagegen erscheinen Goethe selbst in großer Entfernung noch gelblich, weil sie von Natur weiß sind. Bei der Kerzenflamme sieht der untere Teil nur blau aus, wenn man ihn gegen einen schwarzen Grund sieht; die Spitze aber, die uns die Gegenstände verdeckt und selbstleuchtend ist, ist weiß oder höchstens gelblich. Rauch, als ein typisch trübes Mittel, wird blau gesehen gegen einen dunklen Hintergrund, rötlich aber gegen eine helle Fläche. Man wird diese unleugbare Tatsache am einfachsten durch Zigarrenrauch demonstrieren, den man einmal gegen eine schwarze Wand und dann gegen einen grell durch den Projektionsapparat erleuchteten Schirm bläst.

Daß Goethe auch hierzu Studien an Gemälden gemacht hat, erhellt aus einer sonderbaren Geschichte, die er ausführlich erzählt. Das Porträt eines Geistlichen stellt diesen in einem glänzenden schwarzen Samtrocke dar. Ein Maler soll es von Schmutz befreien und überfährt es mit einem feuchten Schwamm. Zu seinem Entsetzen sieht er alsbald das geistliche Gewand sich in einen hellblauen Plüschrock verwandeln. Mit Sorgen legt er sich zu Bette. Am andern Morgen aber erblickt er den Samtrock wieder in schönstem schwarzen Glanze. Goethe erfährt davon, eilt zu dem Wunderbilde und läßt in seiner Gegenwart den Vorgang wiederholen. Schnell findet er die Erklärung: Der Firnis hat beim Waschen Feuchtigkeit in sich eingesogen und ist dadurch trübe geworden. Und durch das trübe Mittel hindurch muß eben Schwarz in Blau übergehen!

Auch das Problem der Himmelsfarbe löst Goethe durch das trübe Mittel. „Die Finsternis des unendlichen Raumes“, so meint er, „sehen wir durch allerhand irdische Dünste hindurch, die vom Tageslicht erleuchtet sind. Folglich kann uns der Himmel nur blau erscheinen.“

Nicht leicht zu verstehen ist, wie Goethe, fest überzeugt von seiner Theorie der Entstehung der Farben, selbst die durch prismatische Brechung hervorgebrachten Farben mit Hilfe des trüben Mittels erklärt. Er erkennt kein vollkommen farbloses Glas an. Auch die besten Prismen und Linsen seien etwas trübe. Blickt man durch ein Prisma, so verschiebt sich das Bild. Das nimmt er als Tatsache hin. Dabei wirkt der vorausgehende Rand über das Dunkle hinweg und muß blau werden, während der rückwärtige Rand, ursprünglich hell durch etwas Dunkles überdeckt wird, folglich gelb und rötlich erscheinen muß. Läßt man nun einen ganz schmalen Lichtstreifen hindurchgehen, so rücken Gelb und Blau übereinander und geben Grün¹⁾. Schon ist das Spektrum entstanden! Diese uns außerordentlich gesucht und erkünstelt erscheinende Erklärung wird man seinen Schülern nicht vorenthalten, um zu zeigen, wie Goethe dem Urphänomen alles unterordnet und seinem „Aperçu“ mehr traut, wie allen Newton-

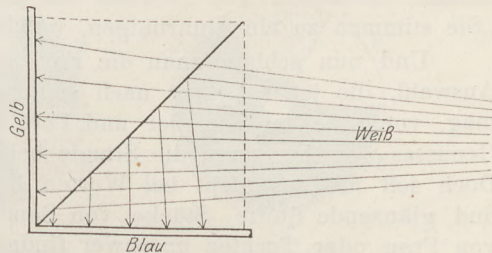


Fig. 4.

¹⁾ Daß Gelb und Blau durch subtraktive Mischung auf der Palette des Malers Grün ergeben, ist jedem Schüler bekannt. Daß beide Farben aber, da sie Komplementärfarben sind, additiv gemischt, Weiß geben, wird man so zeigen, wie ich es in dieser Zeitschrift, 35. Bd. (1922), S. 6, angedeutet habe. Zwei quadratische Bretter von etwa 50 cm Seitenlänge sind wie zwei Nachbarseiten eines Würfels vertikal auf einem dritten Brette befestigt (Fig. 4). Das eine ist auf der Innenseite mit blauem, das andere mit gelbem Papiere beklebt. Eine unbelegte Spiegelglasscheibe von gleicher Höhe stößt unter 45° zu den Bretterebenen an die gemeinsame Kante. Blickt man nun bei geeigneter Beleuchtung schräg gegen die Scheibe, so vereinigen sich auf der Netzhaut das durchscheinende Gelb und das reflektierte Blau zu reinem Weiß ohne eine Spur grünlicher Färbung. Wie das subtraktive Grün zustande kommt, habe ich an anderer Stelle dieser Zeitschrift (dieses Heft, S. 91) dargetan, auch durch Angabe eines einfachen Versuches nachgewiesen.

schen Versuchen. Dem Dichter-Physiker weiter auf seinen Irrwegen zu folgen, empfehle ich nicht. Gibt es doch noch soviel Schönes in der Farbenlehre, dem wir uns nun zuwenden wollen. Nur kann man vielleicht noch Goethes Wort, das er seinem Gegner widmet, auf ihn selbst beziehen: „Jeder Irrtum, der aus dem Menschen und aus den Bedingungen, die ihn umgeben, unmittelbar entspringt, ist verzeihlich, ja ehrwürdig.“

Das Kapitel „Chemische Farben“ übergehe man, um zuletzt noch mit hohem Genuß bei dem sechsten Abschnitte „von der sinnlich-sittlichen Wirkung der Farben“ zu verweilen. Er umfaßt in 165 Seiten der Originalausgabe die Paragraphen 758—920 und noch eine „Zugabe“, sowie ein „Schlußwort“. „Die Menschen empfinden im allgemeinen eine große Freude an der Farbe.“ Die Farben wirken spezifisch und müssen entschieden spezifische Zustände im lebendigen Organe hervorbringen. „Eben auch so im Gemüt. Die Erfahrung lehrt uns, daß die einzelnen Farben besondere Gemütsstimmungen geben,“ setzt er hinzu, und weiter, indem er sich ganz von einer einzigen Farbe umgeben denkt: „Man identifiziert sich alsdann mit der Farbe; sie stimmt Auge und Geist mit sich unisono.“

Goethe teilt nun seinen Farbenkreis in eine positive und eine negative Hälfte. Die „Farben von der Plusseite“ sind Gelb, Orange, Zinnober. „Sie stimmen regsam, lebhaft, strebend“. Die „Farben von der Minusseite“ sind Blau, Rotblau und Blaurot. „Sie stimmen zu einer unruhigen, weichen und sehnenenden Empfindung“.

Und nun schlage man die Farbenlehre auf und lese seinen Schülern in einer Auswahl, die jeder Lehrer nach seinem Geschmack und seiner Empfindung treffen mag, vor, was der Künstler und Poet Goethe hier sagt. Welche Fülle ästhetischen Genusses gewährt dann die Stunde beiden, dem Gebenden und den Empfangenden! Doch soll man es nicht bei Worten bewenden lassen. Man verschaffe sich matte und glänzende Stoffe, Stücke von Samt und Seide, wie man sie im Vorratskasten von Frau oder Tochter un schwer finden wird; auch Papiere aller Art und irgendwelche Gegenstände von ausgeprägtem Kolorit¹⁾. Will man weitergehen, so kann man einen Raum, ähnlich einer Puppenstube hinstellen und ihn abwechselnd mit verschiedenen Tapeten bekleiden. Jeder wird etwas finden, was die Anschauung fördert und den Worten erst den rechten Sinn und Inhalt verleiht.

Natürlich ist es im Rahmen des allgemeinen Physikunterrichts ganz unmöglich, hier in die Breite zu gehen, so verlockend es auch sein mag. Was ich soeben sagte, soll nur andeuten, wie es gemacht werden kann, wenn man noch die eine oder andere Stunde zugeben will. Wer, wie ich, schon seit Jahren Goethe als Farbensforscher vor seine Schüler bringt, weiß ohnedies, wie er es zu machen hat. Denjenigen aber unter den Fachkollegen, die bisher noch nicht selbst der Farbenlehre Goethes näher getreten sind, möchte ich wenigstens durch einige Streiflichter den Weg erhellen und — so hoffe ich — verlockend erscheinen lassen.

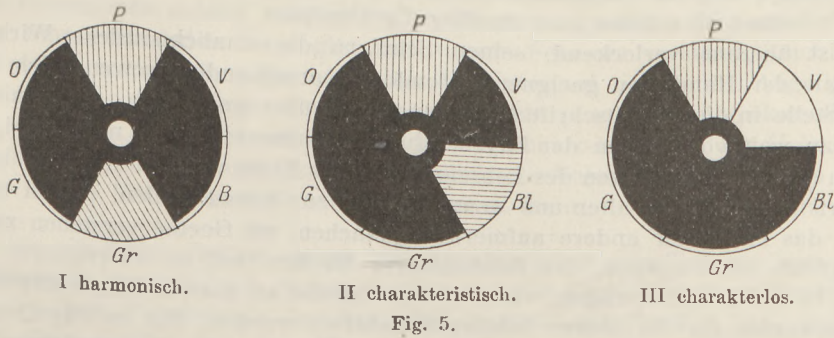
Den Einfluß der Farbe auf Stimmung und Gemüt demonstriert Goethe u. a. auch, indem er empfiehlt, Landschaften durch farbige Gläser zu betrachten. Wer hätte das nicht schon an sich selbst erfahren, wenn er auf einem Aussichtsturme, dessen Fenster bunte Scheiben zeigen, nacheinander durch diese geblickt hat! Goethe sagt z. B.: „Diesen erwärmenden Effekt (des Gelb) kann man am lebhaftesten bemerken, wenn man durch ein gelbes Glas, besonders in grauen Wintertagen, eine Landschaft ansieht. Das Auge wird erfreut, das Herz ausgedehnt, das Gemüt erheitert; eine unmittelbare Wärme scheint uns anzuwehen.“ Später heißt es dagegen: „Blaues Glas zeigt die Gegenstände im traurigen Licht.“ Wie gewaltig bei Goethe die Seele durch die Farbe in Schwingungen versetzt werden kann, lehrt § 798, in dem es heißt:

¹⁾ Sehr schön sind im Goethehause zu Weimar Farbenharmonien aus matten, gebauschten Seidenstoffen nebeneinander gestellt. Sie schauen aus ovalen Öffnungen grauer Kartons heraus und werden dadurch geschickt zusammengehalten und isoliert.

„Das Purpurglas zeigt eine wohlbeleuchtete Landschaft in furchtbarem Lichte. So müßte der Farbton über Erd' und Himmel am Tage des Gerichtes ausgebreitet sein.“

Wenn ich hiervon rede, projiziere ich ein geeignetes Landschaftsbild an die Leinwand und schiebe ein entsprechend gefärbtes Glas in den Strahlengang. Der Eindruck auf die Schüler ist oft überwältigend.

Goethe stellt aber nicht einfach mit dem Blicke des Künstlers diese und andere Wirkungen fest, sondern er ist der erste gewesen, der ihrer Ursache nachgeht und sie auf physiologische Grundlage stellt. Das soll man nicht vergessen. So gruppiert er die sechs Farben seines Farbkreises in dreifacher Weise, nämlich in harmonische, in charakteristische und in charakterlose Paare. Unter zwei harmonischen Farben versteht er solche, die im sechsteiligen Farbkreise einander gegenüberliegen, unter charakteristischen solche Paare, bei denen immer eine Zwischenfarbe übersprungen wird, und unter charakterlosen Farben zwei benachbarte. Ich habe mir aus schwarzem Karton Schablonen nach Art der Figur 5 geschnitten, die um die Scheibenmitte drehbar sind und jedesmal nur zwei Farben der entsprechenden Art freilassen. So kann man für jeden Fall schnell alle Möglichkeiten vor dem Auge vorbeiziehen lassen. Die erste Sorte heißt harmonisch, weil hier eben die Sehnsucht



des Auges nach Totalität erfüllt wird. Von der zweiten Sorte sagt Goethe, daß hier die Farben sämtlich etwas Bedeutendes haben, das sich uns mit einem gewissen Ausdruck aufdringt, uns aber nicht befriedigt, indem jedes Charakteristische nur dadurch entsteht, daß es als ein Teil aus dem Ganzen heraustritt, mit welchem es ein Verhältnis hat, ohne sich darin aufzulösen. Man muß selbst nachlesen, wie Goethe nun den Eindruck der einzelnen Paare charakterisiert und man wird versuchen, an farbigen Stoffen, die man nebeneinanderlegt, Goethes Stimmungen nachzuempfinden. So nennt er Gelb und Blau arm und gemein, Gelb und Purpur heiter und prächtig, Orange und Violett etwas Erregendes, Hohes, „schon eine Vorahnung des Purpurs“ gebend.

Die charakterlosen Zusammenstellungen endlich liegen ihm zu nahe, als daß sie einen bedeutenden Eindruck machen könnten. Immerhin seien sie nicht ganz zu verwerfen, da sie ein Fortschreiten andeuten, „dessen Verhältnis aber kaum fühlbar werden kann“. So wären auch sie imstande, in gewissen Verhältnissen den Massen keine üble Wirkung zu tun. Insbesondere meint er, Gelb und Grün habe immer etwas Gemein-Heiteres, Blau und Grün aber etwas Gemein-Widerliches; weswegen unsere Vorfahren diese letzte Zusammenstellung auch Narrenfarbe genannt haben.

Sehr richtig weist Goethe im folgenden darauf hin, daß neben den bunten auch die unbunten Farben bei der sinnlich-sittlichen Wirkung eine wichtige Rolle spielen, daß die Zumischung von Schwarz und von Weiß Energien zu steigern und zu schwächen vermag, daß Steigerungen ins Erfreuliche und ins Unerfreuliche die Folge sind. Kurz, er ist sich der zweifach unendlichen Mannigfaltigkeit bewußt, die ja neuerdings auch bei OSTWALD grundlegend für seine exakten Definitionen und

Messungen geworden ist. Und er faßt das Ergebnis seiner Forschung dahin zusammen: „Wir fanden einen uranfänglichen ungeheuren Gegensatz von Licht und Finsternis, den man allgemeiner durch Licht und Nichtlicht ausdrücken kann; wir suchten denselben zu vermitteln und dadurch die sichtbare Welt aus Licht, Schatten und Farbe herauszubilden.“ „Das Geeinte zu entzweien, das Entzweite zu einigen, ist das Leben der Natur.“ Und so baute er sich aus Analyse und Synthese die Welt seiner Farben zusammen.

In den letzten 60 Paragraphen des didaktischen Teils begibt sich nun Goethe in sein eigenstes Element, in das Reich der Kunst. So schließt er mit dem ab, was ihm dereinst in Italien zum Ausgangspunkte seiner Farbenforschungen geworden war. Er spricht vom Streben zur Farbe, vom Kolorit des Ortes und der Gegenstände, von charakteristischem und harmonischem Kolorit, von echtem und falschem Ton und vom „Bunten“ der Gemälde, von der Art der Pigmente und zuletzt sogar vom allegorischen, symbolischen und mystischen Gebrauch der Farbe. In einer „Zugabe“ weist er noch auf einen „talentvollen“ Maler hin, der, ohne von seinen Bemühungen unterrichtet zu sein, sich durch Naturell, Übung und Nachdenken auf dem gleichen Weg befunden habe. Es ist PHILIPP OTTO RUNGE, von dem er einen Brief wiedergibt, der zeigt, wie ein nachdenklicher Maler bewußt zu erkennen sucht, was er unbewußt in seinen Gemälden zum Ausführung brachte.

Es ist überaus verlockend, seinen Schülern die sinnlich-sittliche Wirkung der Farben an der Hand von geeigneten Gemälden auseinanderzusetzen. Ich habe an anderer Stelle in dieser Zeitschrift Andeutungen darüber gemacht¹⁾. Aber man würde dabei allzu weit vom Boden der Physik abirren. Immerhin kann man wohl, wie ich es tue, in den Wechselrahmen des Lehrzimmers eine Reihe von Buntdrucken besonders charakteristischer Bilder alter und neuer Meister zur Schau stellen. Dabei mag man kurz auf das eine oder andere aufmerksam machen, um Goethe verstehen zu lehren. Sehr empfehle ich hingegen, den Zeichenlehrer für den Stoff zu interessieren und ihn zu bitten, in den Kunstvorträgen, wie sie beispielsweise an unserer Schule allwöchentlich als Sonderkursus für die oberen Schüler abgehalten werden, den im Physikunterricht begonnenen Faden weiter zu spinnen. Das wird ein künstlerisch veranlagter, farbenfreudiger Zeichenlehrer gern tun, zumal wenn man ihn zuvor als Gasthörer zur physikalischen Goestunde geladen hatte. Wie schön wäre es überhaupt, wenn dergleichen öfters geschähe! Wie lernt da der eine vom anderen! Wie wird da der Unterricht hüben und drüben mit ergänzenden Ideen befruchtet! Wie wertvoll ist es, wenn dabei der Schüler erkennt, daß ein großes Gemeinsames letzten Endes alle Disziplinen verbindet, daß sie nicht auseinandergehen, sondern zusammenführen. Auch hier wieder von der Analyse zur Synthese! —

Und schließlich erwächst aus solchen Goethephysikstunden die Möglichkeit, dankbare und anregende Themata zu Fachaufsätzen zu geben. Ich wählte im vergangenen Jahre einen Ausspruch, der sich unter den Maximen und Reflexionen (Aus „*Makariens Archiv*“, *Cottasche Jubiläumsausgabe*, Bd. 39, S. 64) findet: „Der Mensch an sich selbst, sofern er sich seiner gesunden Sinne bedient, ist der größte und genaueste physikalische Apparat, den es geben kann.“ Ich habe aus wohlwollenden Gründen keinerlei Winke dazu gegeben, sondern nur zur Orientierung noch den darauffolgenden Satz mitgeteilt, der lautet: „Und das ist eben das größte Unheil der neueren Physik, daß man die Experimente gleichsam vom Menschen abgesondert hat und bloß in dem, was künstliche Instrumente zeigen, die Natur erkennen, ja, was sie leisten kann, dadurch beschränken und beweisen will.“ Es war der letzte Aufsatz vor der Reifeprüfung. Ich forderte bei größter Freiheit der Auffassung irgend eine Behandlung des Themas mit möglichst persönlicher Note, je nach der Einstellung des einzelnen zur Physik und zu Goethe. Und das Ergebnis? Ich habe selten so viel Freude an

¹⁾ Martin Gebhardt, „Zur Farbenlehre“, diese Zeitschr. 35. Jahrg. (1922), Heft 1. Ausführliches hierüber auch in der mehrfach zitierten Arbeit von Hunger.

einer Aufsatzleistung gehabt, wie in diesem Falle, und ich ahnte vorher nicht, von wie verschiedenen Seiten aus an das Thema herangetreten werden kann. Wieder waren es künstlerisch veranlagte Schüler, die sich zu Goethe stellten, sein Wort, wenigstens zum Teil billigten und aus einem erfreulichen Verständnis für des Dichters Forscherseele verteidigten. Die Besprechung des korrigierten Aufsatzes gestaltete sich höchst anregend und führte zu Rückblicken auf fast alle Gebiete der behandelten Schulphysik. So ergab sich ungezwungen eine Gesamtwiederholung, die fern von aller Langeweile ein organisch verwachsenes Ganzes war und aus der der Lehrer ebenso Vorteil zog, wie der Schüler.

So führte mich ein in literarischen und philosophischen Dingen besonders reifer und belesener Abiturient auf AUGUST STRINDBERG, dessen Beziehungen zu Goethes Farbenlehre mir bisher entgangen waren, und zwischen dem und Goethe sich mancherlei interessante Parallelen ziehen lassen. CARL LUDWIG SCHLEICH ist es, der in seine Selbstbiographie¹⁾ ein Kapitel „Strindberg-Erinnerungen“ einflieht. Darin erzählt er, daß er mit STRINDBERG viel experimentiert habe, insbesondere beim Herstellen von Malerfarben. Unvergeßlich seien ihm (SCHLEICH) bei der gemeinsamen Durcharbeitung von Goethes Farbenlehre die Einwände geblieben, die der Dichter gegen Newton erhoben habe. Es ist äußerst interessant, zu lesen, wie STRINDBERG sich gleich dem großen deutschen Poeten eine eigene, subjektive Physik zurechtgemacht hat, aus der heraus er Goethe sehr entschieden recht gibt und dessen Schmerz verstand, „sich da verkannt zu sehen, wo er seiner Meinung nach der Natur am tiefsten ins Auge geschaut hatte“. STRINDBERG bezeichnet die Farben als „Licht plus etwas Unbekanntem“, als gedämpfte Schatten, Schatten auf dem Wege zu Licht oder getrüübter Helle. Wenn man nun bedenkt, daß er, der Dichter, sich auch als Maler versucht hat, so versteht man seine innere Verwandtschaft mit Goethe noch mehr.

Ich bin am Ende. Sollten meine Ausführungen nicht zum Teil aus dem Rahmen dieser Zeitschrift herausfallen? Sicher werden manche Fachkollegen so denken. Und doch bin ich dem Herausgeber dankbar, daß er mich aufgefordert hat, einmal ausführlicher über Goethe und den Physikunterricht zu schreiben. Wir Physiklehrer sollen ja keine Wissenschaftler heranbilden. Wir sollen auf Grund unserer Wissenschaft ein Stück Allgemeinbildung geben. Wir sollen — zumal auf dem humanistischen Gymnasium — neben der Sache den Menschen nicht vergessen und zeigen, daß allem Forschen Menschliches anhängt, daß die schönsten Theorien und Hypothesen vielleicht morgen schon besser begründeten weichen müssen. Ein wenig Philosophie schwebt über allem. Physik und Metaphysik werden auch in Zukunft nicht ganz voneinander zu trennen sein.

Ich möchte nicht mißverstanden werden. Darum betone ich zum Schlusse noch einmal, daß alles was ich gesagt habe, erstens nicht für jeden Schülerjahrgang paßt, daß solche Stunden, wie ich sie umrissen habe, den Schülern nicht aufgezwungen werden können. Und zweitens will ich in alle Wege den Physikunterricht nicht aus der Bahn exakter Wissenschaftlichkeit herausdrängen. Nur andeuten wollte ich, wie man nüchterne Sachlichkeit auch einmal mit reichlichem Gewinn für Verstand und Gemüt durch einige Weihstunden unterbrechen kann. Und endlich wollte ich die Fachkollegen, die Goethes Farbenlehre nur dem Namen nach kennen — und es sind deren nicht wenige —, dazu ermuntern, einmal dieses wunderbare Buch zu eifrigem Studium in die Hand zu nehmen. Ich weiß im voraus, kaum einer wird es bereuen. Und wenn er dann aus eigenem Antriebe in ganz anderer Weise wie ich es vorschlug, seinen Schülern von Goethe dem Physiker, dem Physiologen und Psychologen erzählt und ihnen dabei beglückende Stunden schenkt, so würde ich mich nicht weniger freuen, als wenn er Hand in Hand mit mir gleiche Wege gewandelt wäre.

¹⁾ Carl Ludwig Schleich, Besonnte Vergangenheit, Lebenserinnerungen (Berlin, Ernst Rowohlt, 1924), S. 239 ff.

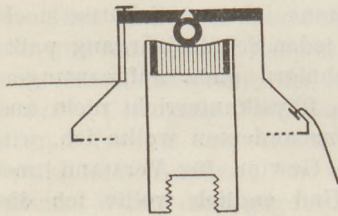
Über eine Abänderung des Müllerschen Reifenapparats.

Von Karl Wildermuth in Cannstatt.

(Mitteilung aus der Württ. Landesanstalt für den Physikunterricht.)

Unter dieser Überschrift habe ich in dieser Zeitschrift Bd. 36, S. 7, 1923 über einige wesentliche Abänderungen des Apparats berichtet, die denselben weniger heikel, bequemer in der Handhabung und billiger machen sollten. Seither wurde diese neue Form in etwa 60 Schulen eingeführt und auch bei Schülerübungen und in der Landesanstalt viel verwendet; es liegen also jetzt zahlreiche Erfahrungen über ihre Brauchbarkeit und Zweckmäßigkeit vor. Diese stimmen alle darin überein, dass die Präzision der Versuche, die Unverwüstlichkeit des Geräts und seine leichte Handhabung, wenn es einmal eingestellt ist, nichts zu wünschen übrig lassen, aber seine erstmalige Justierung macht doch im allgemeinen mehr Schwierigkeiten, als ich erwartet habe. Weiter hat sich gezeigt, daß eiserne Reifen durch Rosten leicht unansehnlich werden. Ich verwende daher jetzt statt Eisen Bandmessing, 4 : 25 mm oder auch 7 : 20 mm und gehe auf 60 cm Durchmesser. Bei diesen hohen Reifengewichten — bis über 2 kg — sind Häkchen oder umgebogene Drähte zum Einhängen in den Trommelrand nicht mehr zuverlässig genug; deswegen und der leichteren Justierung halber wurde diese Art der Aufhängung verlassen: Feine Angelschnur wird von oben durch die Löcher am Trommelrand hindurchgeschoben und durch einen einfachen Knoten am Wiederheraustreten gehindert. Das andere Ende der Schnur ist an 2,6 mm starke und 10 mm lange Schraubenspindeln so angeknüpft, daß die Längen vom Trommelrand bis zur Schraubenspindel möglichst gleich werden. Einige Millimeter Unterschied schaden nicht und können durch Schrauben ausgeglichen werden. Die Gegenmutter ist aus einem gerändelten Stäbchen von 4,5 mm Durchmesser und 12 mm Länge gemacht und mit einer Art Kugelgelenk am Reifen befestigt, weil beim Einschrauben die Spindel natürlich nicht gedreht werden darf, denn sonst würde die Aufhängeschnur tordiert. Die Herstellung dieses „Kugelgelenks“ ist einfach: Man führt das Gewinde nicht ganz durch die Mutter hindurch, sondern läßt unten noch einen 1—2 mm dicken Boden stehen, der ein nur 1 mm großes zentrisches Loch erhält. Durch dieses Loch wird eine stählerne Stecknadel mit ausgeglühtem Schaft hindurchgesteckt; der Nadelkopf ersetzt die Kugel, mit dem Schaft wird das Mütterchen am Reifen befestigt. Dieses ist also leicht drehbar und kann durch Biegen des Schaftes in die Richtung des Aufhängefadens gebracht werden. Diese Einrichtung in Verbindung mit dreiteiliger statt vierteiliger Aufhängung macht es möglich, daß auch Schüler die genaue Wagrechtstellung des Reifens in einigen Minuten fertig bringen.

Eine Selbstverstellung der Schraubchen tritt nicht ein, daher ist diese Einstellung nur bei der allerersten Inangsetzung des Gerätes erforderlich.



Die lose Lagerung der Trommel hat da und dort Bedenken erregt, auch kam es bei Schülerübungen vor, daß der Reifen von seiner Unterlage heruntergestoßen wurde, und daß das Kügelchen bei längeren Versuchreihen wanderte. Das beeinträchtigt zwar im allge-

meinen die Genauigkeit nicht, das Wandern tritt auch nicht ein, wenn das Unterlageplättchen genau wagrecht steht, da aber auch von berufener Seite¹⁾ eine feste Lagerung als wünschenswert bezeichnet wurde, bin ich zu der in der Figur in wahrer Größe dargestellten Lagerung übergegangen, bei der die Wagrechtstellung keine Rolle mehr spielt und bei der auch bei Verwendung großer Zugkräfte — ich bin bis 100 g gegangen — kein Wandern stattfindet. Das Kügelchen dreht

¹⁾ Die staatliche preußische Hauptstelle hat das Gerät einer eingehenden Prüfung unterzogen und dabei auf die Notwendigkeit einer stabileren Lagerung hingewiesen.

sich dabei in einer Miniaturreißschale aus Achat, deren Krümmungshalbmesser etwa 20 mm beträgt. Dieses Schälchen liegt ziemlich lose in einer Messingfassung, die auf einen Gewindestab von passender Länge aufgeschraubt wird. Achat mußte gewählt werden, weil Glas auf die Dauer Belastungen über 2 kg nicht aushält, da jetzt stets derselbe Punkt beansprucht wird. Auch bei Achat empfiehlt es sich, mit Uhrmacheröl leicht zu ölen. Gleichzeitig konnte der Stützpunkt der Trommel vom Boden weg an den Deckel verlegt werden, so daß jetzt schon die Trommel allein stabil hängt, wodurch natürlich auch die Stabilität des ganzen Aufbaues vermehrt wird: Sie steht der mit Hütchen und Nadel erreichbaren in keiner Weise nach. Damit eine etwaige Störung durch den Knoten, der den Zugfaden am Heraustreten aus dem Trommelmantel hindert, unter allen Umständen vermieden wird, ist dieser Faden entlang einer inneren Trommelmantellinie nach oben und durch den Deckel hindurchgeführt. Der Knoten liegt also oben auf dem Deckel.

Weiter mußte für ein automatisches Zusammenfallen der Drehachse mit der Trommelachse gesorgt werden. Das ist nur möglich, wenn das Kügelchen genau zentrisch zum Trommelmantel und der Trommelrand wagrecht liegt. Das erste erreicht man mit Leichtigkeit durch Abdrehen des Mantels zwischen Spitzen, wobei die feste Drehbankspitze in der Bohrung für das Kügelchen laufen muß, das zweite erfordert ein genaues Ausbalancieren des Reifens bei der Herstellung. Hierzu wird der genau unter den Aufhängelöchern mit Körnern versehene Reifen auf drei in einer Horizontal-ebene liegenden Spitzen aufgesetzt. Zwei dieser Spitzen sind fest in Tischklemmen befestigt, die dritte steht auf einer Tafelwage. Auf diese Weise kann der Reifen in drei Teilen abgewogen und so abgeglichen werden, daß sich sein Gewicht gleichmäßig auf die Aufhängefäden verteilt. Wird ein solcher Reifen mittels der schon beschriebenen Schraubchen wagrecht gestellt, so müssen die Züge in den Aufhängeschnüren gleich groß werden und müssen gleiche Neigung gegen die Drehachse haben; das ist aber nur möglich bei gleichzeitiger wagrachter Lage des Trommelrandes. Beim Zusammenbau wird das Kügelchen in das Schälchen gelegt und der Reifen mit Trommel genau so aufgesetzt, wie wenn Hütchen und Spitze vorhanden wären. Will man die Kugel fixieren, damit immer dieselbe Stelle auf dem Achat aufliegt und die Lagerreibung auch nach etwaigem Auseinandernehmen wieder dieselbe ist, so genügt es, von oben etwas Plastilin oder Klebwachs in das Loch im Trommeldeckel zu drücken.

Obgleich die MÜLLERSCHEN Aufsätze alles Wesentliche über das Arbeiten mit dem Reifenapparat enthalten, will ich doch noch einige Bemerkungen beifügen, weil diese Aufsätze, wie ich aus zahlreichen Anfragen schließe, nicht allgemein bei der Hand zu sein scheinen und weil die große Tragkraft des neuen Geräts doch einige Besonderheiten bedingt:

Die Anhaltevorrückung (vgl. *ds. Zeitschr. Bd. 36, S. 9*) kommt am besten auf die Lehrerseite des Experimentiertisches, die Rolle an eine Schmalseite; auf der Schülerseite steht unter dem als Nullmarke gewählten Punkt ein fast bis an den Reifen reichender Stab, an diesem beobachten die Schüler, der Lehrer an der Anhaltevorrückung. Für diese und die Rolle sind Tischklemmen weit bequemer als etwa Plattenstative. Werden solche verwendet, so sind sie nach erfolgter Aufstellung mit Schraubzwingen zu fixieren¹⁾.

Die an die Trommel angeknüpften Tragschnüre werden in die am Reifen befestigten Mütterchen so eingeschraubt, daß das Loch für den Zugfaden am Trommel-

¹⁾ An vielen württ. Schulen haben die Tischklemmen der Landesanstalt die beweglichen Stative fast völlig verdrängt, da man in der Physik, außer in der Optik, beinahe alle Versuche, die Stative erfordern, an den Tischrand verlegen kann, teilweise verlegen muß. Es ist dann allerdings nur noch eine Verschiebung längs des Tischrandes möglich, diese Einschränkung wird aber reichlich aufgewogen durch die unbedingte Festigkeit und die Möglichkeit, den ganzen Aufbau durch bloßes Anheben oder Senken des 13 mm-Stabs fast beliebig in seiner Höhe über dem Tisch zu verändern.

rand gegen die Rolle, der Haltestift am Reifen gegen den Lehrer zeigt. Die Spindeln sind ganz einzuschrauben. Die Entfernung Trommel — Rolle sollte mindestens 1 m betragen. Um bis zu 20 Umdrehungen verwenden zu können, was bei gleichförmigen Bewegungen mitunter erwünscht ist, muß die Trommel bei 80 cm hohem Tisch etwa 50 cm über diesem stehen. Nun wird die Trommel samt Reifen genau so auf das in dem Schälchen liegende Kügelchen aufgesetzt, wie wenn Spitze und Hütchen vorhanden wären.

Zur Wagrechtstellung des Reifens bestimmt man mit einem untergestellten Stativstab zuerst den tiefsten Aufhängepunkt und bringt die beiden andern durch wenige Umdrehungen ihrer Mütterchen in dasselbe Niveau. Jetzt legt man ein Zuggewicht auf, erteilt dem Reifen einige Umdrehungen, läßt den Stift an der Halteschnur anliegen und verschiebt die Rolle solange, bis Rolle, Zugfadenloch und Drehachse in derselben Vertikalebene liegen. Um diese Einstellung genau und bequem machen zu können, sind die Löcher am Trommelrand so gebohrt, daß eine Tragschnur in dieselbe Ebene kommt; man kann also den betreffenden Reifenpunkt als Marke benutzen. Diese Aufstellung ist nötig, wenn man die Reibung aus dem Energieverlust — vgl. l. c. S. 9 — bestimmen will. Obgleich die Reibung hier wegen der viel größeren Zugkräfte nicht so genau bestimmt zu werden braucht wie bei dem leichteren Gerät oder bei der Fallmaschine, empfehle ich doch diese Methode, weil sie, was besonders für Schülerübungen wichtig ist, frei ist von jedem subjektiven Moment. Nur die Herstellung gleichförmiger Bewegungen erfordert genaue Kompensation, dann aber kann man mit dem Apparat gleichförmige Bewegungen herstellen, die bis zu 5 Minuten andauern und die Beobachtung von 40 und mehr Wegzeitpunkten gestatten, die auch bei einem sehr großen Maßstab bei der graphischen Darstellung so genau auf einer Geraden liegen, daß keinerlei Abweichung von derselben wahrnehmbar ist. Ebenso ist er allen andern mir bekannten Apparaten bei der Aufnahme der Parabel weit überlegen, da man besonders deren Anfang mittels des aufgeklebten geteilten Bandes durch sehr viele Punkte festlegen kann. Dabei erhält man sämtliche Punkte durch einen einzigen Versuch und muß nicht, wie etwa bei der Fallmaschine, für jedes Wertepaar neu beginnen.

Aus diesem Grunde wird der Apparat neuerdings auch im Rechenunterricht benutzt, um die Schüler selbst Tabellen beobachten lassen zu können, deren graphischer Darstellung sie ein ganz anderes Interesse entgegenbringen als einer vom Lehrer angegebenen, ganz abgesehen von dem tiefen Eindruck, den es auf alle macht, wenn hier gleichsam ganz von selbst eine Gerade oder eine so regelmäßige Kurve herauskommt. Die Größe der Reibung spielt hierbei natürlich keine Rolle. Bei dynamischen Massenbestimmungen, bei Versuchen über Trägheitsmomente u. dgl. halte ich es für das beste, wenn man bei jedem Versuch die Reibung mitbestimmt und in Rechnung stellt. Die Versuchsdauer wird dadurch kaum verlängert, da man ja den Reifen für jeden neuen Versuch sowieso „aufziehen“ muß.

Mit den Versuchen darf erst begonnen werden, wenn der Reifen völlig in Ruhe ist. Zur raschen Beruhigung schiebt man, 90 Grad vom Anhaltestift entfernt, ein mit einem horizontalen Stab versehenes Stativ unter denselben, hebt durch Drehen der Stellschraube den Reifen von unten an und läßt wieder los.

Will man eine Tabelle aufnehmen oder zur Vergrößerung der Genauigkeit z. B. bei Massenbestimmungen mehrere Versuchsdaten haben, so darf man nicht wie bei der Fallmaschine vorgehen, also den Reifen nach 1., 2. ... Quadranten oder Umläufen anhalten, die Zeit mit der Stoppuhr bestimmen, wieder loslassen usw. Ganz abgesehen davon, daß so die Versuche sehr viel Zeit beanspruchen würden, ist dieses Verfahren auch deswegen zu beanstanden, weil bei geringen Beschleunigungen ganz kleine, mit bloßem Auge kaum mehr sichtbare Bewegungstendenzen des nicht völlig beruhigten Reifens Fehler bis zu $\frac{1}{2}$ Sekunden veranlassen können. Man zählt also nach den Schlägen irgendeines gleichmäßig gehenden Taktmessers durch und schreibt

gleichzeitig die Zeitpunkte des Vorbeigehens der Reifenmarken an einer festen Marke auf. Nimmt man keine zu großen Geschwindigkeiten oder nur ganze Umdrehungen, so gelingt das Zählen und gleichzeitige Aufschreiben auch dem ungeübten Beobachter und kann von der ganzen Klasse auf einmal vorgenommen werden. Vorteilhaft ist es, besonders wenn man einen Halbsekundenschläger verwendet, einen Schüler laut zählen zu lassen. Nur bei Demonstrationsversuchen wird man sich unter Umständen mit nur einer Zeitmessung begnügen, also die Stoppuhr benützen, aber es sollte dann eine Stoppuhr sein, die von der ganzen Klasse kontrolliert werden kann. Ich benütze eine solche auf Eichenholzgestell, deren Zifferblatt 25 cm Durchmesser hat.

Die große Tragkraft der „Kugellagerung“ gestattet auch Versuche, die der „Nadelform“ nicht zugemutet werden dürfen. Man kann z. B. außer der Reifenmasse auch die beliebiger Gewichte bestimmen, wenn nur ihr Querschnitt klein ist, indem man sie an den Reifen anhängt oder einfach in bestimmtem Abstand von der Drehachse auf die Kreisscheibe aufsetzt, die man bei Versuchen zum Trägheitsmoment braucht.

Bei solchen Versuchen ist es vorteilhaft, wenn der Reifen leicht ist, während bei Versuchen, bei denen der Reifen allein benützt wird, ein möglichst schwerer Reifen vorzuziehen ist, da bei einem solchen die Veränderlichkeit des Luftwiderstands weniger Einfluß hat. Ich benütze z. B. zum Nachweis der Proportionalität zwischen schwerer und träger Masse und für Trägheitsmomente einen nur 648 g schweren Aluminiumreifen von 60 cm Durchmesser, der an der gleichen Trommel aufgehängt werden kann. Er hat genau in der Mitte zwischen den Aufhängeschraubchen von oben nach unten durchgehende Gewindelöcher, die ein bequemes Einschrauben von Zulagegewichten ermöglichen. Zunächst wird sein Gewicht durch drei oben angeschraubte Gewichtchen auf eine runde, durch drei teilbare Zahl (750 g) gebracht und mit einem passenden Antrieb, etwa 10 g, die Umlaufzeit bestimmt, dann verdoppelt und verdreifacht man die Masse, indem man von unten her 250 g-Gewichte einschraubt, vermehrt den Antrieb in demselben Verhältnis und stellt fest, daß die Umlaufzeit bis auf Bruchteile eines Prozent die gleiche bleibt. Da die Reibung ziemlich genau proportional der Belastung wächst, braucht sie nicht berücksichtigt zu werden.

Um die beim Reifen vorliegenden besonderen Verhältnisse — Bedenken wegen der nicht geradlinigen Bewegung u. dgl. — genau aufzuklären, kann man, bevor man zum Trägheitsmoment weiterschreitet, die Frage aufwerfen: Unter welchen Bedingungen darf eine ausgedehnte Masse bei dynamischen Versuchen als eine im Schwerpunkt vereinigte Punktmasse angesehen werden?

Auch diese Frage läßt sich mit dem Apparat leicht beantworten, wenn man sich noch einige Ergänzungsstücke verschafft. Man entfernt an einer Stelle sämtliche Zulagegewichte (zweimal 250 g und 34 g) und schraubt ein etwa 5 cm hohes Messingsäulchen auf, das oben ein Achatschälchen trägt. Sein Gewicht ist zusammen mit einem sehr leichten, 48 cm langen Wagbalken aus nach außen verjüngtem Aluminiumrohr wieder 34 g. Der Wagbalken hat in der Mitte einen Körner, an den Enden zwei Schraubenlöcher zur Aufnahme der 250 g-Gewichte. Setzt man ihn mit dem Körner auf ein in dem Achatschälchen liegendes Kügelchen, so ist er genau so leicht beweglich wie der Reifen selbst, und die Gesamtmasse ist die gleiche wie bei dem letzten Versuch, nämlich 2250 g. Natürlich erhält man mit dem früheren Antriebsgewicht auch wieder die frühere Umlaufzeit, da der Wagbalken bei der Bewegung seiner Anfangslage parallel bleibt und die angehängten Massen also Bahnen beschreiben, die mit der des Stützpunktes kongruent sind.

Dieser Versuch ist auch für die Erklärung der „Gezeiten“ wichtig, da es den Schülern immer schwer fällt, einzusehen, daß die Zentrifugalkräfte, die bei dem Umlauf der Erde um den Schwerpunkt des Systems Erde-Mond auftreten, für alle Punkte der Erdoberfläche gleich groß sind.

Nun entfernt man das Kügelchen und legt dadurch den Wagbalken fest, ohne sonst etwas zu ändern, erklärt die Zunahme der Umdrehungszeit durch das Hinzu-

kommen der Umdrehung des Balkens um seinen Stützpunkt und läßt, am besten mit dem Arbeitsgesetz, das Zulagegewicht berechnen, das nötig ist, um wieder die alte Umdrehungszeit zu bekommen. Die Bestätigung dieser Rechnung durch den Versuch zeigt, daß die Auffassung der neuen Bewegung als Summe zweier rein fortschreitender Bewegungen auch materiell zulässig ist.

In ähnlicher Weise lassen sich noch viele Versuche unter Verwendung des Reifens, der Kreisscheibe oder der Aufhängetrommel allein improvisieren. Ich glaube daher nicht zuviel zu behaupten, wenn ich sage, daß der Reifenapparat weder an Vielseitigkeit noch an präziser Wirkungsweise von irgendeiner der vielen Apparaturen für dynamische Versuche auch nur annähernd erreicht wird; und es ist leicht begreiflich, daß er überall da, wo man sich einmal wirklich mit ihm vertraut gemacht hat, besonders auch bei Schülerübungen, ein unentbehrliches Geräte geworden ist¹⁾.

Zwei neue Verwendungen des Reifenapparats.

Von Friedrich C. G. Müller in Berlin-Lichterfelde W.

1. Eine Versuchsanordnung für harmonische Schwingbewegung.

Die Schraubenfeder mit angehängter Masse ist unbedingt eines der besten Hilfsmittel für die experimentelle Behandlung der Schwinggesetze. Und doch empfindet man es als unerwünscht, daß die auf- und abschwingende Masse nicht allein als solche, sondern auch mit ihrer Schwere ins Spiel kommt, weshalb bei Auswechslung derselben die Federstreckung und die Lage des Nullpunkts eine andere wird. Um diesem störenden Umstande zu entgehen, hat man ein mehr oder weniger belastetes Wägelchen auf wagrechter Bahn der Einwirkung zweier vorn und hinten angespannter Federn unterworfen. Leider sind die Reibungswiderstände auch bei feinsten Aus-

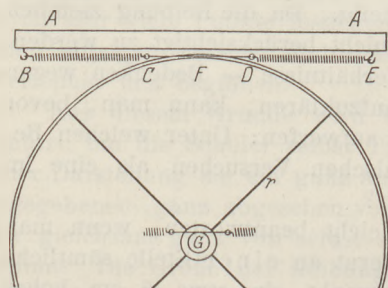


Fig. 1.

führung des Apparates doch so groß, daß, um die Schwingung lange genug im Gange zu erhalten, mit leisen Anstößen nachgeholfen werden muß. Obwohl sich so befriedigende Ergebnisse erzielen lassen, ging Verf. dazu über, die fast reibungslos auf einer Spitze drehbaren Ringe seines Reifenapparates (*diese Zeitschr.* 14, 71; 1901) in entsprechender Weise zwischen zwei Schraubenfedern in Drehschwingungen zu versetzen.

Fig. 1 zeigt diese einfache und leicht verständliche Versuchsanordnung von oben gesehen.

A ist eine 50 cm lange Holzleiste von 5 cm im Quadrat, über welche die durch einen Faden CD verbundenen Schraubenfedern BC und DE zwischen den Haken B und E unter beträchtlicher Streckung ausgespannt sind. Diese Vorrichtung kommt bei den angedeuteten Versuchen in wagrechter Lage neben oder über den Ringen auf zwei Stativen zu liegen. Die einfachste Ausführungsform ist die, den Faden, wie in Fig. 1 gezeichnet, um einen Stift F des Ringes zu schlingen. Dann ist auf das schwingende System ohne weiteres die Grundformel $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ anwendbar. Zweitens kann der Faden um die Trommel G des Ringapparates, der Andeutung in der Figur gemäß, gelegt werden. Dann muß, da der Trommelradius genau auf 1 cm gebracht wurde, die Schwingungszeit r -mal größer sein.

Verf. konnte kurz vor seinem Austritt aus dem Schuldienst nur das zweite Verfahren persönlich erproben. Das erstere hat sein ehemaliger Schüler und nach-

¹⁾ Da meines Wissens bis jetzt keine der bekannten Lehrmittelfirmen den Reifenapparat in der abgeänderten Form herstellt, kann er bis auf weiteres von dem Mechaniker der württ. Landesanstalt bezogen werden.

heriger Nachfolger DR. ALFRED WENZEL in Brandenburg kürzlich in die Wirklichkeit übersetzt.

Das eine Paar der benutzten Federn ist aus 0,4 mm starkem Stahldraht auf einer Stricknadel von 2,8 mm Dicke in etwa 200 Windungen gewickelt. Die Konstanten sind 31100 und 36500, beide Federn vereint haben also $k_1 = 67\,600$ Dynen. Ein zweites Paar aus 0,2 mm dickem Draht hatte die Konstanten 2160 und 2400, vereint $k_1 = 4650$.

1. Der auf $m = 200$ gebrachte große Ring von 25 cm Halbmesser ergab mit den stärkeren Federn $T = 0,35$, während die Formel $T = 2\pi\sqrt{200/67\,600} = 0,343$ verlangt.

Ein Ring von halber Größe und $m = 83$ machte mit den kleinen Federn Schwingungen von 0,85 Sekunden Dauer gegen die nach der Rechnung zu erwartende Zeit 0,84. Nach Verdoppelung der Masse durch Auflegen eines zweiten gleichen Ringes beobachtete man $T = 1,20$ in guter Übereinstimmung mit dem berechneten Werte $T = 1,18$.

Der mit den schwachen Federn verbundene große Ring führte zu einem lehrreichen Fehlversuch. Es trat sofort ein Schaukeln des Ringes ein, wodurch die Dreh-schwingung ganz verdeckt wurde. Offenbar liegt eine Resonanzerscheinung vor. Denn durch Zufall ist der Wert $T = 2\pi\sqrt{200\,4650} = 1,30$ in naher Übereinstimmung mit der Pendelungsperiode des Ringes (vgl. die nachfolgende Mitteilung).

2. Bei dieser Versuchsgruppe muß, da die Nachgiebigkeit der gewöhnlichen Aufhängung störend wirkt, ein nach Art der Fahrradfelgen verspannter Ring, wie ihn Verf. in dieser Zeitschrift (35, 78, 1922) beschrieben und abgebildet hat, in Anwendung kommen.

Ein solcher mit $m = 84$, $r = 12,3$ ergab unter Einwirkung der stärkeren Federn aus einer Anzahl gut übereinstimmender Beobachtungen $T = 2,77$, während die Formel $T = 2\pi \cdot 12,3\sqrt{84\,67\,600}$ zu 2,77 führt. Als man durch Auflegen eines zweiten gleichen Ringes die Masse verdoppelte, beobachtete man $T = 3,84$, 3,80, 3,84, was ebenfalls mit dem theoretischen Wert 3,83 genau übereinstimmt.

Statt der Drahtringe können auch beliebige auf einer Spitze drehbare lineare, flächenhafte und körperliche Gebilde Verwendung finden. Für diese gilt dann $T = 2\pi\sqrt{J/k}$, worin J das Trägheitsmoment, d. h. die Masse eines Ersatzringes vom Radius 1, bedeutet, an dessen Umfang die Federn ähnlich wie in Fig. 1 angreifen. Wenn aber der Stift F im Abstände r angebracht wurde, ist die Schwingungszeit r -mal kleiner. Umgekehrt können aus den beobachteten T sowohl J , wenn k gegeben, als auch k , wenn J bekannt, berechnet werden.

Die ganze Apparatur kann ohne nennenswerte Kosten in der Schulwerkstatt schnell und leicht angefertigt werden; auch von Schülern. Den Drehungspunkt gibt am einfachsten ein Körnereinschlag in einem Scheibchen Stahlblech. Die Herstellung guter Tragspitzen aus Stopfnadeln ist vom Verf. in dieser Zeitschrift (23, 19; 1910) beschrieben worden. Auch die Kugelaufhängung nach WILDERMUTH (dies. Zeitschr. 36, 7; 1923) ist empfehlenswert.

Statt der Schraubenfedern kann auch eine Biegungsfeder angeordnet werden. — Man sieht, daß die beschriebene neue Methode, Schwingversuche anzustellen, einer unbegrenzten Verbreiterung im Sinne des „Forschungsunterrichts“ fähig ist.

2. Der Ring im Reifenapparat als physisches Pendel.

Das „Reifenpendel“, ein auf einer Schneide hängender Drahtkreis, ist kürzlich von LICHTENECKER (dies. Zeitschr. 35, 110; 1923) sowie von ERICH GÜNTHER in den Unterrichtsbüchern für Mathematik und Naturwissenschaften 1924 S. 58 mit Recht

als Unterrichtsmittel empfohlen worden. Auch die auf einer Spitze drehbar aufgehängten Ringe meines Universalapparates für Mechanik können als „Reifenpendel“ angesprochen werden. Das Schaukeln der Ringe und anderen Versuchskörper macht sich ja bei jeder Ingangsetzung des gedachten Apparates bemerkbar. Daß ich erst heute nach 30jährigem Vertrautsein mit dem Apparate und bei meinen vielen Arbeiten über physische Pendel darauf aufmerksam geworden bin, daß die erwähnte Nebenerscheinung ein vorzügliches Problem für den Unterricht darbietet, ist gewiß verwunderlich.

Aus der in Fig. 2 gegebenen Skizze der vereinfachten Versuchsanordnung ist ohne weiteres ersichtlich, daß die Schwingachse einem Durchmesser des Kreises parallel ist. Das Trägheitsmoment eines Kreises in bezug auf einen Durchmesser ergibt sich in bekannter, elementarer Weise zu $mr^2/2$. Demnach gilt für die reduzierte Länge unseres Pendels: $l = r^2/2a + a$, wenn a der Abstand der Aufhängespitze von der Ringebene ist. Für $a = r$ wird $l = 3/2r$; ebenso für $a = r/2$.

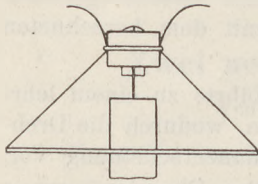


Fig. 2.

Das kleinste l ist also die mittlere Proportionale zwischen $r/2$ und r und als solche leicht in die Kreisfigur hineinzuzeichnen. Die Berechnung ergibt $\sqrt{r/2 \cdot r} = 0,708r$.

Mit dem Reifenapparat in der bekannten Max Kohl'schen Ausführung kann die Bestätigung der Theorie ohne weiteres mit gutem Erfolg vorgenommen werden. Man macht eine Marke an der Mittelsäule in der Visierebene über den oberen Rand des Ringes, deren Abstand von der Spitze hinterher mit der Schublehre oder dem Zirkel abgegriffen und um die halbe Drahtdicke vermehrt wird.

Das in Fig. 2 skizzierte, leicht und kostenlos herstellbare, von ALFRED WENZEL herrührende Gehänge besteht aus einer Korkscheibe mit Glashütchen, an welche die Tragfäden mittels Drahtschlinge fest angepreßt werden. Durch Auf- und Abwärtsziehen der Fäden läßt sich also der Abstand a beliebig ändern.

WENZEL fand mit einem Ringe von 12,5 cm Radius aus 4 mm dickem Messingdraht für das Minimum, nämlich $a = 12,5 \cdot 0,708 = 8,9$ cm, $T = 0,84$ in genauer Übereinstimmung mit der Theorie. Für etwas größeres a , nämlich 10 cm, wurde $T = 0,85$, ebenfalls in Übereinstimmung mit dem berechneten Werte, gefunden, für $a = 5$ cm $T = 0,93$, während die Rechnung 0,91 verlangt.

Statt der Drahtkreise können selbstverständlich alle möglichen anderen Gebilde auf der Spitze aufgehängt und zum Pendeln gebracht werden. Für Unterrichtszwecke kommen aber nur das Drahtquadrat und das gleichseitige Dreieck aus Draht in Betracht. Diese Figuren sind zweckmäßig so zu bemessen, daß ihre Inkreise gleiche Größe haben wie der verwendete Drahtkreis, in unserem Falle $r = 12,5$ cm. Für das Quadrat ist $J_s = ms^2/6 = 2/3 mr^2$, und zwar sowohl in bezug auf die Mittellinie, als auf die Diagonale.

Für das gleichseitige Dreieck ist $J_s = ms^2/12 = mr^2$ und zwar ebenfalls nicht nur in bezug auf die Schwerpunktsachse parallel der Basis, sondern auch in bezug auf eine Höhe.

Die Längen der gleichschwingenden mathematischen Pendel sind, wenn $a = r$, für den Kreis $3/2r$, für das Quadrat $5/3r$, für das Dreieck $2r$.

Die drei Werte von l verhalten sich also wie 9:10:12. Die zugehörigen Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln, d. h. wie 100:105,3:115,3. Für $r = 25$ cm sind die Schwingungszeiten 0,870, 0,917, 1,002 Sekunden.

Die Wechselwirkung zwischen Wechselfeldern.

Von E. Hensel in Villingen.

Die vielen Versuche, die man mit der „Thomson-Spule“ anstellen kann, sind ihres eindrucksvollen Charakters wegen für die Schule besonders geeignet. Die Vorführung dieser Erscheinungen im Unterricht setzt aber eine einwandfreie Erklärung voraus. Soweit es sich um Wärmewirkungen handelt, bietet dieselbe keine Schwierigkeit. Weniger einfach dagegen sind die Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen zu behandeln. Die analytische Begründung kommt für die Schule wohl kaum in Betracht. Dagegen erreicht man das Ziel leichter

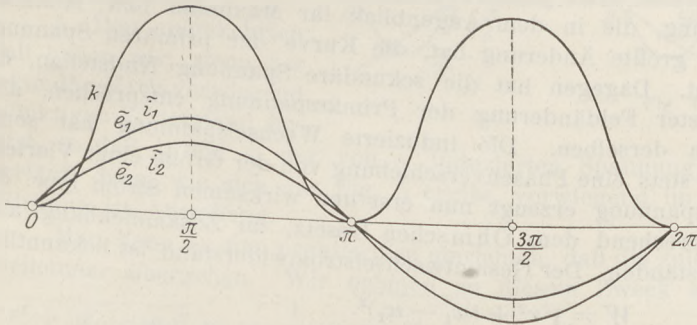


Fig. 1.

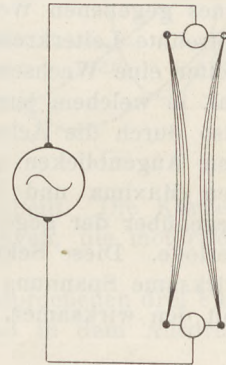


Fig. 1 a.

mit den graphischen Methoden¹⁾. Im folgenden soll versucht werden, auf dieser Grundlage einige typische Fälle motorischer und anderer Beeinflussung solcher Wechselfelder darzustellen. Ihre Verwendung im Unterricht setzt die Bekanntschaft mit den wichtigsten Eigenschaften des Wechselstromes voraus.

1. Es sind zwei Wechselströme gegeben von gleicher Phase. Sie sind also in jedem Augenblick gleichgerichtet. Gleichgerichtete

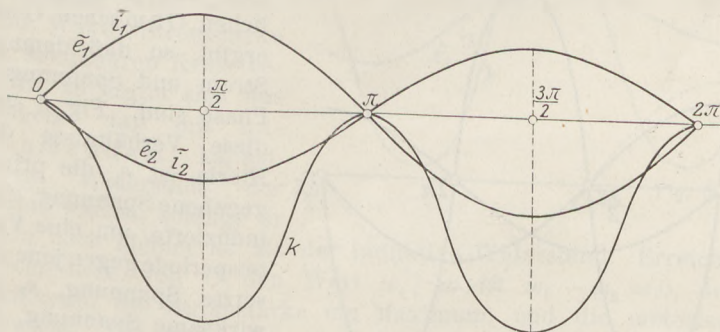


Fig. 2.

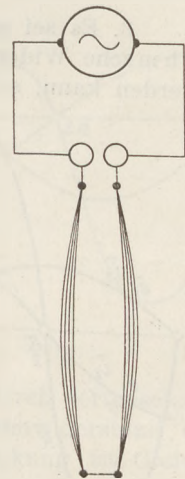


Fig. 2 a.

Ströme ziehen sich an. Die Antriebskraft ist den Spannungen der beiden Ströme proportional:

$$k = f \cdot e_1 e_2.$$

Die Kurve dieser Kraft verläuft ganz im Positiven (Fig. 1).

2. Die beiden Ströme haben einen Phasenunterschied von $\frac{1}{2}$ Periode, sind also in jedem Augenblick entgegengesetzt gerichtet. Entgegengesetzt gerichtete Ströme

¹⁾ Vgl. H. Ebert, Lehrbuch der Physik, Band II, 1, Seite 588 u. ff.

stoßen sich ab. Die Antriebskurve verläuft ganz im Negativen (Fig. 2). Die experimentelle Darstellung dieser beiden Fälle ist einfach. Die Figuren 1a und 2a geben ein schematisches Bild. Von der Decke des Lehrzimmers hängen zwei Bündel Lamettafäden von beiläufig 2 Meter Länge, die in der angegebenen Weise mit einer Wechselstromquelle (Starkstrom) verbunden sind. Im ersten Fall wird der Strom geteilt, so daß man in den beiden Bündeln gleichphasige, also gleichgerichtete Ströme hat, im zweiten Fall liegen sie hintereinander im Stromkreis, man hat dann eine Stromschleife, in deren Teilen der Strom in jedem Augenblick entgegengesetzte Richtung hat. Die Wirkung ist dort Anziehung, hier Abstoßung, also ganz so wie bei Gleichstrom.

In den folgenden Fällen, in denen noch andere Phasenunterschiede der beiden Wechselströme zugrunde liegen sollen, ist angenommen, daß der eine durch Induktion eines gegebenen Wechselstromes entstanden sein soll. Es sind also zwei räumlich getrennte Leiterkreise gegeben. Das primäre Wechselfeld induziert im benachbarten Leiter eine Wechselspannung, die in dem Augenblick ihr Maximum bzw. Minimum hat, in welchem jenes die größte Änderung hat, die Kurve der primären Spannung also durch die Achse geht. Dagegen hat die sekundäre Spannung Nullstellen, die den Augenblicken geringster Feldänderung der Primärspannung entsprechen, also den Maxima und Minima derselben. Die induzierte Wechselspannung hat somit gegenüber der gegebenen stets eine Phasenverschiebung von der Größe einer Viertelperiode. Diese Sekundärspannung erzeugt nun erst den wirksamen Strom bzw. die wirksame Spannung, entsprechend dem Ohmschen Gesetz, im Zusammenhang also mit den wirksamen Widerständen. Der Gesamtwechselstromwiderstand ist bekanntlich

$$W = \sqrt{r^2 + (w_1 - w_2)^2}.$$

Hierin ist

r der Ohmsche Widerstand,

$w_1 = \omega L$ der induktive Widerstand,

$w_2 = \frac{1}{\omega C}$ der kapazitive Widerstand.

3. Es sei zunächst angenommen, die Widerstände seien so verteilt, daß nur der Ohmsche Widerstand wirksam ist, also $w_1 - w_2 = 0$. Wie dieser Fall verwirklicht werden kann, soll noch gezeigt werden. Hier ist dann die wirksame Spannung diejenige eines Stromes, der sich aus dem gewöhnlichen Ohmschen Gesetz ergibt, so daß demnach Strom und Spannung in Phase sind. Fig. 3 stellt diese Verhältnisse dar.

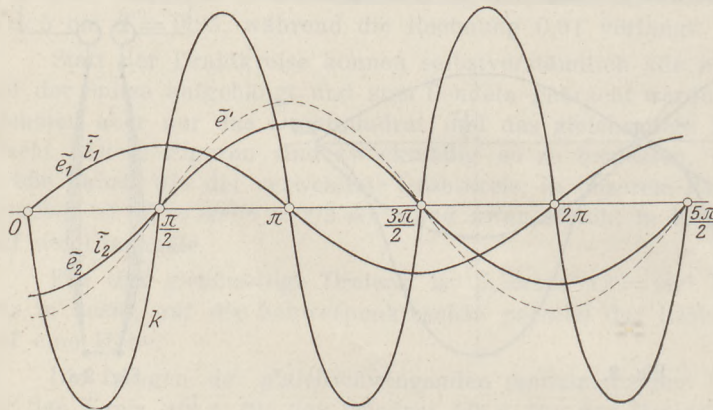


Fig. 3.

Hierin ist e_1 die primär gegebene Spannung, e' die induzierte, um eine Viertelperiode gegen jene versetzte Spannung, e_2 die wirksame Spannung, die wie auch der Strom $i_2 = \frac{e'}{r}$ in Phase mit e' ist, weil nur der Ohmsche Widerstand r als wirksam angenommen worden ist. Somit ist die wirksame Spannung e_2 ebenfalls gegenüber der gegebenen e_1 um eine Viertelperiode versetzt. Die Antriebskraft ist den beiden wirksamen Spannungen e_1 und e_2 proportional:

$$k = f \cdot e_1 e_2.$$

Sie wird durch eine Kurve dargestellt, die infolge der gemachten Voraussetzungen

ebenso weit über wie unter der Achse verläuft, also ebenso viel Anziehung wie Abstoßung erzeugt. Der motorische Effekt ist gleich Null.

4. Ein anderer Fall sei dadurch gekennzeichnet, daß im sekundären Kreis nur oder doch vorwiegend ein kapazitiver Widerstand, neben dem Ohmschen, wirksam ist. Bekanntlich hat dies zur Folge, daß der Strom i_2 und die mit ihm in Phase befindliche Spannung e_2 der induzierten Spannung e' voreilt, um so mehr, je stärker der kapazitive Widerstand ins Gewicht fällt. Die Fig. 4 zeigt dann, daß die Antriebskurve zum größeren Teil im Positiven verläuft, zum kleineren Teil im Negativen, daß also die Anziehung überwiegt.

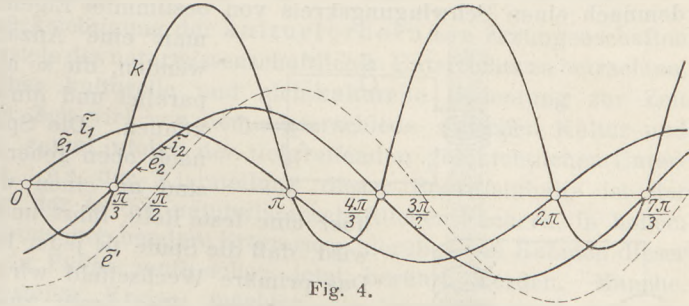


Fig. 4.

5. Den umgekehrten Fall haben wir, wenn der sekundäre Kreis vorwiegend induktiven Widerstand besitzt, so daß i_2 und e_2 der von e_1 induzierten Spannung e' nachhinkt. Die Kurve k verläuft dann, wie sich aus Fig. 5 ergibt, vorwiegend im Negativen, die motorische Wirkung ist Abstoßung.

Man kann es nun praktisch so einrichten, daß die zuletzt besprochenen drei Fälle ineinander übergehen. Wir nehmen zu diesem Zweck an, daß in dem Ausdruck

$$\sqrt{r^2 + (w_1 - w_2)^2} \quad w_2 = \frac{1}{\omega C} \text{ gegenüber } w_1 = \omega L \text{ zunächst sehr klein sei, was sich}$$

durch Einschalten einer großen Kapazität in den sekundären Stromkreis erreichen läßt. Das sich hieraus ergebende Vorherrschen von w_1 erzielt Abstoßung. Verringert man allmählich C , so daß w_2 wächst, so wird die Differenz $w_1 - w_2$ bei konstant

erhaltenem w_1 kleiner und kleiner, also auch der Gesamtwiderstand. Gleichzeitig verringert sich der Einfluß von w_1 , d. h. die Abstoßung wird schwächer. Was die Stromstärke im sekundären Kreis betrifft, so ergibt sich aus obigem, daß mit zunehmendem kapazitivem Widerstand der Strom wächst, solange er

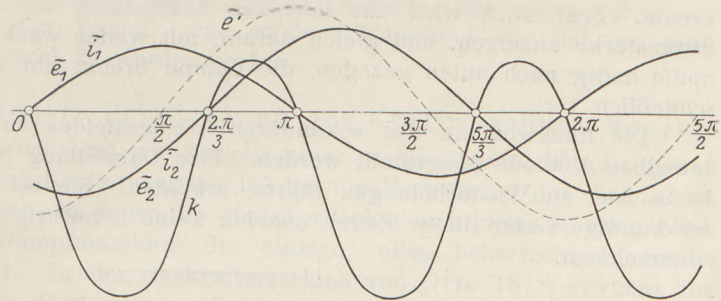


Fig. 5.

eben noch kleiner ist als der induktive Widerstand. Erreicht w_2 durch fortgesetztes Verkleinern von C den Wert w_1 , so ist $w_1 - w_2 = 0$, der Gesamtwiderstand ein Minimum, die Stromstärke ein Maximum, und die motorische Wirkung ist Gleichgewicht. Bei weiterem Anwachsen von w_2 (bei stets konstantem w_1) durch weitere Verkleinerung der eingeschalteten Kapazität überwiegt jetzt der kapazitive Widerstand, und der Gesamtwiderstand ist wieder im Zunehmen begriffen, um so mehr, je mehr der kapazitive Widerstand wächst. Jetzt ist also der Strom diesem Widerstand indirekt proportional und es findet Anziehung statt. Es gehen somit zwei Erscheinungen parallel: Anschwellen des Stromes bis zu einem Maximum und darauffolgendes Abklingen, und: schwächer werdende Abstoßung bis zu einem Ruhepunkt und darauffolgende stärker werdende Anziehung.

In Fig. 6 ist schematisch dargestellt, wie diese Erscheinungen praktisch durchgeführt werden können. Eine große Selbstinduktionsspule S_1 von mehreren hundert Windungen dickeren Drahtes ist mit einem unterteilten Eisenkern versehen, der ein größeres Stück über die Spule herausragt. Über diesen Kern ist eine schmale Spule S_2 mit ebenfalls sehr vielen Windungen, jedoch sehr dünnen Drahtes, gestülpt. Sie ist in Reihe geschaltet mit einer variablen Kapazität C (im Maximum etwa 50 Mikrofara) und einer Glühlampe G von etwa 15–25 Volt. Das Ganze bildet demnach einen Schwingungskreis von bestimmter Eigenfrequenz. Als Kapazität kann

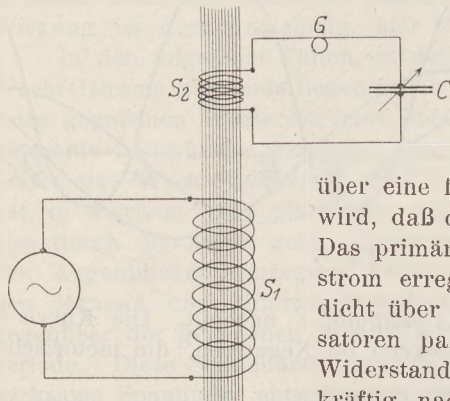


Fig. 6.

man eine Anzahl Papierkondensatoren verwenden, die so aufgebaut sind, daß sie beliebig parallel und hintereinander geschaltet werden können. Die Spule S_2 wird an vier parallel nach oben gehenden Fäden aufgehängt. Diese sind an einen weiteren Faden geknüpft, der über eine feste Rolle führt und dessen Ende so weit belastet wird, daß die Spule in jeder Höhe eingestellt werden kann. Das primäre Wechselfeld wird durch technischen Wechselstrom erregt. Man stellt zunächst die bewegliche Spule dicht über der feststehenden ein und schaltet alle Kondensatoren parallel, so daß man den kleinsten kapazitiven Widerstand im sekundären Stromkreise hat. Die Spule wird kräftig nach oben gestoßen. Schaltet man eine Anzahl Kondensatoren aus, dann wird die Abstoßung der Spule mit stets schwächer werdender Kraft erfolgen, bis schließlich keine Einwirkung mehr zu erkennen ist. Um diese Feststellungen machen zu können, muß man also die Spule jedesmal wieder der feststehenden nahebringen. Um aber die gleichzeitig wachsende Stromstärke bequem beobachten zu können, ist es besser, die Spule nach ihrer ersten Abstoßung an ihrer Stelle zu belassen. Man erkennt dann, daß mit größer werdender Kapazität die eingeschaltete Lampe heller und heller brennt. Schließlich wird das intensive Aufleuchten der Lampe das Maximum der Stromstärke anzeigen, und gleich darauf, mit weiter wachsender Kapazität, wird die Spule heftig nach unten gezogen, die Lampe brennt nur noch schwach und erlischt schließlich.

Die Rückwirkung des sekundären Wechselfeldes auf das primäre kann nach derselben Methode festgestellt werden. Ihre Darstellung im einzelnen würde jedoch, da es nur zu Wiederholungen führte, ermüden. Sie sei daher unterlassen, zumal der kundige Leser dieser Zeilen ohnehin keine Schwierigkeit haben wird, sie selber vorzunehmen.

Die Versuche mit explosiven Gasgemischen. besonders in ihren Beziehungen zum modernen Kraftmaschinenwesen.

Von Prof. Otto Ohmann in Berlin-Pankow.

I. Die kulturelle Bedeutung der Explosivstoffe.

Die chemischen Explosionserscheinungen sind vorzüglich geeignet, verschiedene im Unterricht bereits erworbene Einzelkenntnisse zusammenzufassen und den Schüler tiefer in die thermochemische Natur der zusammengesetzten Stoffe und die Bedingungen ihres Zerfalls einzuführen. Die Sprengstoffe im engeren Sinne, vor allem das Nitroglycerin SOBREROS, mit den ihm von ALFRED NOBEL in dem Gurdynamit und der Sprenggelatine zuerteilten Sicherungen, sowie die Schießbaumwolle SCHÖNBEINS verlangen allein schon wegen ihrer hohen technischen Bedeutung ein bestimmtes Maß von Berücksichtigung, lassen sich aber gleichfalls im angegebenen Sinne didaktisch ver-

werten, z. B. durch Aufstellen von Zersetzungsbildern (*ds. Zeitschr.* 30, 234: 1920). Ihnen reiht sich neuerdings eine größere Zahl von Sprengstoffen an, von denen im Unterricht hauptsächlich der lange Zeit für ganz harmlos gehaltene Ammonsalpeter (im Weltkriege als einer der „Sicherheitssprengstoffe“ viel von unseren Pionieren verwendet), das Kaliumchlorat (viel für die Marine-Munition verwendet) sowie die besonders aussichtsreiche flüssige Luft (zumal für Sprengungen in Bergwerken verwendet) näheres Eingehen verdienen.

Zugleich aber ist die Berücksichtigung der kulturfördernden Errungenschaften der Technik als eines der Hauptziele des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu betrachten, nur gehen die Meinungen über kulturelle und nichtkulturelle Bedeutung zur Zeit auseinander. Es ist in letzter Zeit viel von dem Unterschiede zwischen Kultur und Zivilisation die Rede gewesen, zumal infolge der tiefgreifenden geschichtlichen Untersuchungen OSWALD SPENGLERS. An der Klarstellung dieser Begriffsinhalte ist der gesamte Schulunterricht, zumal der in den naturwissenschaftlichen Fächern, in hohem Maße interessiert, doch würde eine eingehendere Erörterung hierüber den Rahmen dieser Arbeit überschreiten. Nur ein Punkt muß schon jetzt berührt werden. Manche, vornehmlich literarisch eingestellte Kreise, möchten die ganze Technik nur zur Zivilisation rechnen und ihr einen kulturfördernden Wert absprechen. Darin liegt ein gewaltiger Irrtum. In geradezu verhängnisvoller Weise ist er in den neuesten Lehrplänen hinsichtlich des ganzen naturwissenschaftlichen Unterrichts zur Auswirkung gelangt. Zweifellos gehört z. B. die hohe Entwicklung der Sprengstoffe, die eine viel intensivere Erschließung der Bodenschätze, sowie, infolge der Erleichterung der Felssprengungen, eine so großartige Ausdehnung des Eisenbahnnetzes auf der ganzen Erde ermöglicht hat, zu den kulturell wichtigen Errungenschaften. Es handelt sich hier um Friedenswerke ersten Ranges, die der Hebung der gesamten Kultur dienen. Überhaupt ist alle Technik, die den Verkehr vervollkommnet, sei es auf dem Festlande, dem Wasser oder in der Luft, ebenso alles was den Austausch nicht nur der Waren, sondern auch der geistigen Erzeugnisse der Völker erleichtert, von maßgebendem Einfluß auf die Gestaltung der Kultur der einzelnen Länder. Geht daher auf einem kulturell wichtigen Gebiete der Technik eine größere Wandlung vor sich, so muß auch ihr der Unterricht gerecht zu werden suchen.

II. Ein Blick auf die neuere Entwicklung des Kraftmaschinenwesens.

Seit wenigen Jahrzehnten sind wir Zeugen einer tiefgreifenden Wandlung auf dem Gebiete der maschinellen Krafterzeugung infolge der Verwertung der chemischen Explosionsenergie. Die Zeiten, in denen die genial erdachte und gleich so erstaunlich schnell vervollkommnete Dampfmaschine die einzige, alles beherrschende Kraftmaschine war, sind vorüber. In der Gaskraftmaschine von OTTO 1878 erwuchs ihr ein erheblicher Mitbewerber. Dort war — abgesehen von der ursprünglichen Energiequelle, dem Verbrennungsprozeß der Kohle — alles auf großartige physikalische Vorgänge, insbesondere die wirkungsvolle Expansion erhitzten Wasserdampfes gegründet; hier ist die Explosion eines gasförmigen oder flüssigen, in Gasform versetzten Brennstoffes das wirksame Agens, ein chemischer Vorgang, der mit einer Energieäußerung in besonders großem Ausmaß verknüpft ist. Ein Blick auf die Energieverluste der Dampfmaschine gegenüber der sparsamer arbeitenden Explosionsmaschine macht es wahrscheinlich, daß die Ausbreitung der erstgenannten mehr und mehr zurückgehen wird, wenn ihr auch neuerdings, namentlich in der Dampfturbine, noch eine gewisse Weiterentwicklung zuteil geworden ist. Dagegen haben die Explosionsmaschinen, besonders die Gaskraftmaschinen von OTTO und v. LANGEN, die Benzin- und Petroleummotoren zunächst eine Aufgabe erfüllt, nach deren Lösung man lange Zeit vergeblich gesucht hatte: sie schufen die Kraftmaschine für den Kleinbetrieb. Dann aber erschlossen sie, infolge ihres viel geringeren Gewichtes, neue, der Dampfmaschine ganz unzugängliche Gebiete. Erst durch die neuen Kraftmaschinen wurde

die großzügige Entwicklung des modernen Automobil- und Flugwesens überhaupt ermöglicht.

Einen Höhepunkt erreichte diese ganze, von der Dampfmaschine wegtreibende Entwicklung in dem Dieselmotor (1897), der erstens das Problem löste, die Einleitung der Explosion nicht durch Flamme oder elektrischen Funken, sondern nur durch hinreichende Temperatursteigerung infolge von Kompression zu bewirken und der zweitens gestattete, ganz billige, heimisch erzeugte Brennstoffe, wie Teer- und Paraffinöl in feiner Zerstäubung zu benützen. Ist jenes in theoretischer Hinsicht der Kernpunkt des Dieselmotors, so ist es in wirtschaftlicher Hinsicht diese Ölfeuerung. Beiläufig sind die Kompressionsdrucke ansehnlich: im Zylinder 35—40 Atm., in der den Brennstoff in jene verdichtete Luft einblasenden und zerstäubenden Pumpe 50—60 Atm.¹⁾ Neuerdings erobern sich die Explosionsmaschinen immer weitere Kreise; als „Großgaskraftmaschinen“ greifen sie auch schon auf die Großschiffe über. Als ein weiterer Erfolg ist schließlich zu verzeichnen, daß es in der Holzwarth'schen, mit elektrischer Zündung arbeitenden „Gasturbine“ gelungen ist, die Vorteile des Turbinenprinzips auch auf die Gasmaschine zu übertragen. So vollzieht sich auf dem Gebiet der Kraft-erzeugung eine Umwälzung: der Fortschritt von einem wirksamen physikalischen Grundvorgang zu einem noch wirksameren chemischen, wie wir umgekehrt in dem Siemens'schen dynamoelektrischen Prinzip einen Riesenfortschritt von der chemischen Elektrizitätserzeugung zur physikalischen (mechanischen) erleben. Dieser Sachverhalt, dieser fundamentale Gegensatz in den Grundvorgängen der maschinellen Krafterzeugung findet nicht immer die genügende Beachtung — zumal die in der Technik immer mehr übliche Bezeichnung „Verbrennungsmaschinen“, bei deren Aufstellung die Verdeutschungsbestrebungen mitgespielt haben mögen, statt der Bezeichnung Explosionsmotoren oder Explosionsmaschinen, dem Kerne der Sache nicht gerecht wird —, er trägt aber wesentlich zur Klärung der Verhältnisse bei und ist besonders auch für den Unterricht wichtig. Daß die Explosionsmotoren im Unterricht nicht übergangen werden dürfen, ist wohl jetzt allgemeine Ansicht²⁾.

Bei der Erörterung der ganzen Sache ist in theoretischer Hinsicht noch ein Gesichtspunkt nicht außer acht zu lassen. Es ist vorweg zu betonen, daß zu jedem noch so schnell verlaufenden chemischen Vorgang, auch zu jeder Explosion, Zeit gehört. Wäre die im Explosionsraum eines Automobilzylinders stattfindende Explosion eine wirkliche Momentanerscheinung, ein zeitloser Vorgang — wie es manchem erscheint —, so wäre das ein schlechter Antrieb für den Kolben. Denn dieser soll möglichst auf seinem ganzen Wege, wo er Widerstände zu überwinden, also Arbeit zu leisten hat, gleichmäßigen Antrieb erhalten (was bei der Dampfmaschine in idealer Weise durch das Einströmen des Dampfes bewirkt wird), jedoch nicht nur einen augenblicklichen Impuls, der ihn wohl ein Stück vorwärts schleudert, aber für den übrigen Weg, für die übrige Arbeitsleistung, ganz ohne Antrieb läßt. Je kürzer also bei einem bestimmten Explosionsvorgang die Zeit ist, um so weniger ist dieser zum Antrieb einer Maschine geeignet. Es wäre z. B. verfehlt, den Kolben eines Motors durch die Explosion eines Explosivstoffes wie Nitroglyzerin treiben zu wollen, denn diese ist gerade durch kürzesten Verlauf gekennzeichnet (richtige Zündung vorausgesetzt). Es handelte sich

¹⁾ Nach R. Vater, Die neueren Wärmekraftmaschinen II (Leipzig, Teubner), S. 45; Le Chatelier, Die industrielle Heizung (Leipzig, Akad. Verl. 1923), S. 90, gibt die Kompression im Zylinder auf „nahezu 50 Atm.“ an, und fügt ein paar Werte für die Temperaturerhöhung hinzu: Eine Kompression von 33 Atm. bringt eine Steigerung von 500° und eine auf 55 Atm. um 1000° hervor. — Von früheren, zum Thema gehörigen Veröffentlichungen in dieser Zeitschrift sind zu erwähnen: 1. Zerlegbares Modell des Dieselmotors (14, 170; 1901), das jedoch nur ein Papiermodell ist; 2. Benzinmotor für Demonstrationszwecke, von Saeger & Co. (23, 255; 1910), die Entzündung erfolgt durch den elektrischen Funken eines kleinen Induktoriums; 3. R. Reinicke: Die schulgemäße Behandlung der Innenverbrennungsmaschinen (Gaskraftmaschinen und Dieselmotoren) (34, 193; 1921); 4. Der Gleichdruck-Ölmotor, Bericht (29, 49; 1916).

²⁾ Man vergleiche besonders F. Poske, Didaktik des physikalischen Unterrichts, S. 289.

im Gegenteil bei der Vervollkommnung der Explosionsmaschinen darum, das Fast-Momentane der Einzelexplosion zu verlangsamen, die Explosionszeit zu dehnen. Das gelang schon Orro, indem er die Verbrennungsgase nicht völlig ausstoßen ließ, sondern einen kleinen Teil davon wieder in den Explosionsraum zurückführte. Dadurch erwuchs als erster Vorteil, daß diese indifferenten Gase als Puffer wirkten gegenüber der zerschmetternden Tendenz jeder Explosion, und als zweiter, daß der chemische Vorgang der Vereinigung, d. h. der Stoß und Wärme liefernden Oxydation, sich verlangsamt, so daß sich die ungeminderte Gesamtwirkung auf einen größeren Zeitraum verteilte.

Immerhin ist trotz dieser Dehnung der Zeit der Verlauf der Einzelexplosion noch ein ungemein schneller, wenn wir z. B. berücksichtigen, daß der einzelne Kolben in dem Viertaktmotor eines Automobils etwa 1200 Touren in der Minute ausführt. Alles in allem bleibt bei den neuen Maschinen der schnelle, explosionsmäßige Verlauf der Vereinigung des Brennstoffes mit dem Luftsauerstoff das eigentlich Kennzeichnende — im Gegensatz zu dem ruhigen und ununterbrochenen Vorgang der gewöhnlichen Verbrennung —, so daß die Bezeichnung Explosionsmaschine viel treffender ist als Verbrennungsmaschine. Der Ausdruck Innenverbrennungsmaschine ist ein wenig besser, trifft aber auch nicht das Wesen (den schnellen Verlauf) und ist zudem etwas schleppend.

Wir sind es daher der geschichtlichen Entwicklung der Technik schuldig, daß wir auch im chemischen Unterricht auf die bezüglichen Explosionsvorgänge etwas bewußter und gründlicher als in früheren Zeiten eingehen. Am meisten werden den Verhältnissen der Technik gerecht die Explosionsversuche mit Leuchtgas — die ersten Gasmaschinen waren ausschließlich Leuchtgasmotoren —, sowie die mit leicht vergasenden Flüssigkeiten. Auf diese beiden Gruppen soll daher hier besonderes Gewicht gelegt werden. Aber auch die entsprechenden Versuche mit Wasserstoff, Chlor und Acetylen können zum Verständnis der technisch verwendeten Gasexplosionen manches beitragen und sollen daher kurz mitberücksichtigt werden. Die erstgenannten auch deshalb, weil man bei der Betriebsumstellung auf Gasmaschinen vielfach dazu überging, sich das nötige Gas selbst zu erzeugen, teils um sich von dem Bezuge fertigen Leuchtgases unabhängig zu machen, teils um ein noch geeigneteres Gas zu verwenden, nämlich das sog. Mischgas, das im wesentlichen ein Gemenge von Luftgas (Generatorgas) und Wassergas darstellt und dessen wirksamster Bestandteil neben Kohlenoxyd freies Wasserstoffgas ist. — Es kann sich natürlich im folgenden nicht um lauter neue Versuche handeln; es soll vielmehr eine Zusammenfassung bewährter vorhandener und eigener neuer Versuche, unter Hinzufügung besonderer Erfahrungen und experimenteller Winke, geboten werden.

III. Die Versuche mit explosiven Gemischen eigentlicher Gase.

A. Die Leuchtgasversuche. Trotz der ständig wachsenden Ausbreitung der hygienisch so wertvollen elektrischen Beleuchtung in den Wohnräumen wird das Leuchtgas noch auf lange Zeit für Kochzwecke eine Rolle im Haushalt spielen. Teils aus diesem Grunde und wegen der noch jetzt stattfindenden Verwendung von Leuchtgas in manchen Gasmotoren, teils wegen der mannigfachen Unfälle, die bei nicht ganz gewissenhafter Behandlung des Gases auftreten und sich zu lebensgefährlichen Unglücksfällen, ja bis zum Hauseinsturz steigern können, ist es dringend erwünscht, diese Explosionsversuche in gewisser Mannigfaltigkeit zu bieten und möglichst eindrucksvoll zu gestalten.

Versuchsreihe 1. Vorversuche zur Messung des Gasdrucks und zum Einfüllen von Leuchtgas mittels Wasserverdrängung. Um einmal den jeweiligen Gasdruck durch einen Schülerversuch feststellen zu lassen, gebe man einem Glasrohr von ~ 35 cm Länge (am besten von Normalweite, 8 mm äußerem, 6 mm

innerem Durchmesser) die Biegung von Fig. 1 und lasse mit schwach gefärbtem Wasser bis zu den Marken a , b füllen. Den beim Überstülpen des (in der Figur punktiert gezeichneten) Gasschlauches entstehenden Überdruck beseitigt man dadurch, daß man eine dünne, in Talkum getauchte Stricknadel S zwischen Schlauch und Glasrohr gerade bis zu dessen Ende c einführt und alsbald wieder zurückzieht. Öffnet man jetzt den Gashahn, so steigt das Wasser bis a_1 ; die Höhe der Wassersäule wird gemessen

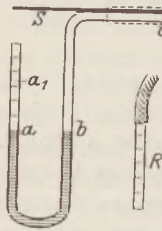


Fig. 1.

(3—4 cm) bzw. abgelesen, da es sich empfiehlt, das Rohr oberhalb von a in Zentimeter teilen zu lassen. Ein derartiges, vom Schüler selbst hergestelltes Glasrohr ist diesem als Eigentum zu überlassen; er kann damit auch zu Hause am Schlauch des Gaskochers eine Messung vornehmen, auch feststellen, ob im Falle mangelhaften Brennens die Ursache innerhalb des Gaskochers oder in dem augenblicklichen, zu geringen Gasdruck des Hauses liegt. — Man kann auch noch einfacher ein 8 cm langes Glasrohr R (Fig. 1) teilen lassen, mit dem Gasschlauch verbinden, über 5 cm in Wasser tauchen und langsam emporziehen, bis Blasen erscheinen. Da jedoch hierbei regelmäßig gleich eine größere Blasenmenge auftritt, die das Wasser stark bewegt, so kann man nicht so ruhig und genau messen wie bei 1. Nur einen Schlauch entsprechend einzutauchen und den Gashahn aufzudrehen, wie dies C. ASMUS vorschlug (*ds. Zeitschr.* 27, 41), ist zwar noch einfacher, aber auch noch ungenauer.

Entsprechend diesem geringen Gasdruck gelingt das Füllen eines größeren Fußzylinders in der Gaswanne nicht ohne weiteres. Zunächst grenze man die Wassermenge so ab, daß nur ganz wenig Wasser über der Brücke (oder dem ruhenden Block) steht. Trotzdem versagen meistens gleich anfangs die üblichen Gaseinleitungsrohren. Dann kann man einen kleinen Kunstgriff anwenden, indem man den unteren Teil sehr schräg, beinahe wagrecht hält, so daß die Höhe der Wassersäule im Rohr stark

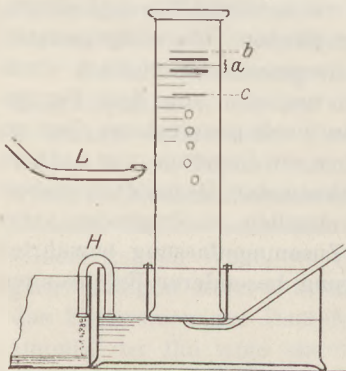


Fig. 2.

verkürzt wird. Am besten fertigt man sich aber ein besonderes Leuchtgas-Einleitungsrohr mit ganz niedrig gehaltenem Ausflußrohr an, wie es Fig. 2 bei L zeigt. Tritt jetzt nach längerem Einleiten Versagen ein, so muß man ausschöpfen oder man verwendet vorteilhaft einen gefüllt bleibenden Heber (Fig. 2, H), also ein beiderseits mit Gaze überzogenes U-Rohr, das man — entgegen manchen Angaben — am besten durch Eintauchen der Gaze des einen Schenkels und weiteres Neigen mit Wasser anfüllt, so daß die letzten Luftreste durch die obersten Maschen der anderen trockenen Gaze entweichen.

Versuchsreihe 2. Der Explosionsversuch mit willkürlich hergestelltem Leuchtgas-Luft-Gemisch. Der öfters in Lehrbüchern anzutreffende

Versuch, einen Bruchteil einer Sekunde, oder länger, Leuchtgas in einen leeren Fußzylinder einströmen zu lassen, zu mischen und zu entzünden, ist zu verwerfen, da der Erfolg zu stark vom Zufall abhängt. Meist brennt das Gemisch nur mehr oder weniger schnell mit Flamme ab oder gibt nur einen unvollkommenen Knall oder entzündet sich überhaupt nicht. Vielmehr muß man von einer gemessenen Menge Leuchtgas ausgehen, die man in einen kräftigen größeren Fußzylinder (1—5 l) einströmen läßt. Diese Menge stellt man am besten durch einen kurzen Vorversuch fest, da die Zusammensetzung des Leuchtgases in den einzelnen Städten ziemlich stark schwankt, besonders infolge des verschiedenen großen Zusatzes von Wassergas. Die folgenden Zahlen beziehen sich auf das Leuchtgas, wie es im August 1924 im chemischen Laboratorium der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Berlin vorlag. Bei einem Zylinder von 1325 cem Inhalt zeigten sich nach Ein-

füllen von 200—270 ccm Gas, darauffolgendem Ausströmenlassen des Wassers (nicht mit einem Mal, sondern in Absätzen), Bedecken und Mischen (bei zuletzt wagrechtlicher Haltung des Zylinders) stärkere Knalle; bei 150 ccm Gas (Fig. 2, *b*) bzw. bei 356 ccm (Fig. 2, *c*) zeigte sich nur ein schwacher Pfiff und jenes noch mit den Augen verfolgbare Herabgleiten der Explosionsflamme, das man als ein Mißlingen des Versuches bezeichnen muß. Der optimale Bereich lag also bei $\sim 1/5$ bis $1/6$ des Zylinderinhalts (Fig. 2, *a*). Die Zündung kann außer mit der Flamme auch mit der Glühnadel oder mit dem elektrischen Funken vorgenommen werden. — Will man umgekehrt von der Luftmenge ausgehen und Leuchtgas hinzutreten lassen, so füllt man den für letzteres gewählten Raum (*n* ccm) als Wasser in den leeren Zylinder und ersetzt es durch eingeleitetes Gas. Hierbei ist aber streng darauf zu achten, daß man nur knapp so lange einleitet, bis Innen- und Außenniveau gleiche Höhe haben; andernfalls kann erheblich zuviel Leuchtgas eintreten. Zweckmäßig teilt man den Zylinder in Viertelliter (mit Eisenlack) und markiert noch den optimalen Bereich durch Kreuze.

Versuchsreihe 3. a. Der Explosionsversuch mit sich von selbst bildendem explosivem Leuchtgas-Luft-Gemisch. Der Apparat mit der dreihalsigen, durch Drahtnetz geschützten Woulfischen Flasche, der zumal in Universitätslaboratorien noch anzutreffen ist, wirkt bei weitem nicht so gut und zeigt die Verhältnisse lange nicht so einfach und klar, wie die durch das obere Kugelrohr eines größeren Kippschen Apparates dargestellte Explosionspipette (Fig. 3; vgl. auch *ds. Zeitschr.* 37, 258). Wir schlagen vor, diese MAX ROSENFELD in Teschen zu Ehren die „Rosenfeldsche Explosionspipette“ zu nennen, da dieser sie als selbständigen Apparat in den Unterricht einführt. Hingewiesen sei jedoch auf die mit der dreihalsigen Flasche vorgenommenen Versuche von F. SCRIBA (*ds. Zeitschr.* 13, 268), sowie auf deren Kritik durch M. ROSENFELD (14, 162 bzw. 164) nebst Gegenkritik (14, 224); die dort angestellten Betrachtungen über die verschiedene Explosionsstärke dürften zumeist außerhalb des Interesses der Schulchemie liegen, für welche die Rosenfeldsche Pipette vollständig genügt. Für die Befestigung der letzteren empfiehlt sich außer der Stativklemme noch ein Stativring *R*, auf welchem die Kugel ruht. Füllung mit Gas (unter Entfernung einer etwaigen Flamme), Zündung, ferner die von TECLU zuerst beobachtete Teilung der Flamme $a_1 a_2$ usw. wurden bereits in dieser *Zeitschr.* 37, 257 näher beschrieben. Statt des dortigen durchbohrten Korkes K_2 , der unliebsam umherfliegen könnte, halte man eine mit der Tiegelflange *T* gefaßte Asbestpappe A_1 vor die untere Öffnung (nicht fest andrückend). Man kann auch einmal die Pipette aus dem Stativ lösen und, ohne unteren Kork und Asbestpappe, mit ausgestrecktem Arm halten, entzünden und die Explosion abwarten — ein ganz ungefährlicher, wirksamer Versuch. Sehr ratsam ist die Verdunkelung des Zimmers, denn die Hauptbeobachtung bezieht sich auf die lebhaft exothermische Wirkung, die sich unter kräftigem, momentanem Feuerschein vollzieht; der Knall ist nur eine akustische Nebenerscheinung.

Die Verhinderung der Explosion durch Einschieben von Stahlwolle wurde früher beschrieben (*ds. Zeitschr.* 25, 28). Inzwischen beobachtete ich, daß die herabgleitende Flamme nicht immer sogleich erstickt, sondern sich in ein Erglühen des oberen Saumes der Stahlwolle unter zuweilen lebhaftem Brummen auflösen kann, wenn sie auch niemals durchschlägt. In solchem Falle stoße man mit einem längeren Stabe den Stahlwollbausch nach unten, da bei längerem Glühen der Hals der Pipette gefährdet ist.

Versuch 3 b. Derselbe Explosionsversuch in vereinfachter Form. Um den so lehrreichen Versuch auch im Schülerpraktikum vornehmen zu können, wende man einen mittelgroßen Trichter, dessen gerade abgeschnittenes Rohr mit einem

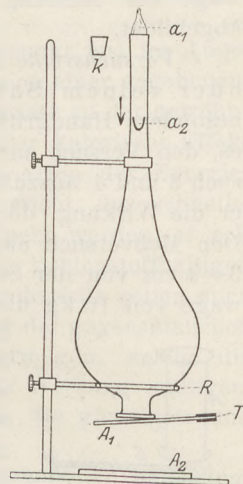


Fig. 3.

Kork verschlossen wird, setze ihn auf eine Asbestpappe *P* (Fig. 4), die am Rande bei *a* einen kleinen Ausschnitt hat, in dem das schräg aufwärts gebogene Gasleitungsrohr *G* zu liegen kommt. Der den Trichter beim Explosionsstoß hemmende Stativring *R* werde so befestigt, daß er den Trichter nicht berührt, sondern ihm noch einige Bewegungsfreiheit (bis zu ~ 1 cm Hubhöhe) gestattet. Auch hier entfernt man bei Abwesenheit einer Flamme das Rohr *G*, während noch langsam Gas ausströmt, schließt den Gashahn und entzündet sogleich. Teilung der Flamme, ihr Herabgleiten und der Feuerschein (bei Beschattung durch die Hand) lassen sich gut beobachten.

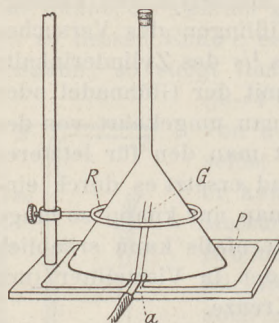


Fig. 4.

B. Die Versuche mit anderen Gasen. *Versuchsreihe 4.* Die Veranschaulichung und ungefähre Messung des Explosionsdruckes. An dieser Stelle gliedern sich nun die letzthin in dieser Zeitschrift (37, 256; 1924) beschriebenen Versuche ein, bei denen ein Teildruck (bis über 6 kg) der Explosionswirkung durch eine Feder-

wage zur Messung gelangt; die Versuchsanordnung ist a. a. O. auf Seite 258 abgebildet.

Versuchsreihe 5. Die Explosionsversuche mit Wasserstoff und Luft- oder reinem Sauerstoff sind so durchgearbeitet, daß es sich nur um einige besondere Handgriffe und praktische Winke handeln kann. Sehr empfehlenswert ist es, den Versuch mit Wasserstoff + Luftsauerstoff auch mittels der Pipette von Versuch 3 und 4 auszuführen. Der durchbohrte Kork ist entbehrlich; andererseits verstärkt er die Wirkung, doch ist dann auf den Weg des herausfliegenden Korkes zu achten. Den Meßversuch nach Versuch 4 darf man nur in einer Entfernung von wenigstens 3—4 cm von der Schale vornehmen, da andernfalls der Geltungsbereich einer Feder-

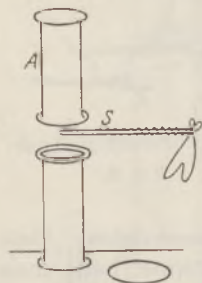


Fig. 5.

zwei gleich großen Zylindern (Fig. 5, aus der Wasseruntersuchung, *ds. Zeitschr.* 14, 1 ff., Fig. 6), von denen der eine immer mit Wasserstoff, der andere erst mit Luft, dann mit Sauerstoff trocken gefüllt wird — während das Gemisch mit der Glühnadel entzündet wird —, möchte ich immer mehr zu den Fundamentalversuchen rechnen; besonders ist der deutliche Wasserbeschlag unter Ausschaltung der Wasserdampf spendenden Bunsen- oder Holzspanflamme ungemein beweisend. Daß dabei öfters, besonders bei schlankeren Zylindern, schöne Ringbildungen als Explosionsfiguren auftreten, sei beiläufig erwähnt; die Ringbildungen im Probierglase beim Pfeifton mit unreinem Wasserstoff wurden von J. PINNOW beschrieben (*ds. Zeitschr.* 9, 239; 1896). Der Versuch (Fig. 5) gewinnt im Hin-

blick auf den Explosionsmotor noch an Bedeutung, da man — nach Feststellung des optimalen Mischungsverhältnisses $2\text{H}_2 : 1\text{O}_2$ mittels der Eudiometerversuche — klar machen kann, daß im Falle Nr. 1 der Überschuß an Wasserstoff und der Luftstickstoff, im Falle Nr. 2 der Überschuß an Sauerstoff als erwünschte Puffer und als Verlangsamter wirken, so daß die zerschmetternde Wirkung von $2\text{H}_2 : 1\text{O}_2$ bedeutend gemildert wird. Ähnliche Erläuterungen können schon bei den Versuchsreihen 2 bis 4 hinsichtlich des reichlich vorhandenen Luftstickstoffs eingeflochten werden. — Für die eigentlichen Knallgasversuche verwende man nicht das elektrolytisch hergestellte Gemisch, sondern einen Liter-Stehkolben, der vor den Augen der Zuhörer mit 2H_2 und 1O_2 gefüllt wird. Seitdem mir einmal ein Knallgas-Seifenblasenberg eine Porzellanschale zertrümmert hat, mache ich den Versuch nur in einer flachen Sandbadschale, wengleich die Seifenlösung darin sich nur kurze Zeit hält, so daß man sie am besten erst im letzten Augenblick eingießt. — Die Eudiometerversuche mit H_2 und O_2 sind unumgänglich; grundlegend für die Gewinnung des

chemischen Gewichtsgesetzes. Man vermeide die Entzündung eines Gemisches von genau 2 H_2 zu 1 O_2 , da hierbei stets das Eudiometer gefährdet ist, gleichviel ob Quecksilber oder Wasser als Sperrflüssigkeit dient.

Versuchsreihe 6. Die Explosionsversuche mit Chlor und Acetylen brauchen hier nur gestreift zu werden. Die Synthese von Wasserstoff und Chlor nach Art der Figur 5 gelingt mit der Glühnadel sehr gut. Dennoch bleibt — wenn auch erst später, bei Betrachtung der volumetrischen Verhältnisse — die photochemische Synthese die Hauptsache. Für diese ist von den beiden Chlorwasserstoffröhren nach A. W. v. HOFMANN am meisten geeignet die zweite, die nur einen Glashahn (im zweiten Drittel ihrer Länge) besitzt; weil hier die heikle Elektrolyse von HCl wegfällt und die elementaren Gase einzeln eingeleitet werden. (Über Unfälle mit dem anderen Hofmannschen Rohr mit Kugel vgl. *ds. Zeitschr.* 31, 152 u. 34, 46.) — Explosionsversuche mit Acetylen werden am besten vom Schulunterricht ganz ausgeschlossen. Selbst der Versuch 3a mit Acetylen statt Leuchtgas — den M. ROSENFELD noch zuließ — darf nur in vorher erprobter Pipette vorgenommen werden. Dringend zu warnen ist vor einem Versuch mit einem Acetylen-Sauerstoff-Gemisch in irgend einem Glasgefäß, da dieses regelmäßig zerschmettert wird.

Bei allen vorstehenden Versuchen behalte man den Gesichtspunkt fest im Auge, daß sie hauptsächlich dazu dienen sollen, in das Wesen der Explosion einer gegebenen, mit Luftsauerstoff durchsetzten brennbaren Gasmenge — im Gegensatz zu der gewöhnlichen Verbrennung derselben Brennstoffmenge — einzuführen. Der kalorische Effekt ist im Endresultat bei beiden Vorgängen der gleiche, aber die Arten der Energieäußerung sind außerordentlich verschieden. Es soll im Unterricht der schnelle, stoßartige Verlauf jenes Vorganges hinreichend zur Geltung gebracht werden, er soll begründet werden durch die weitgehende Verteilung sowohl des kohlenstoffhaltigen Brennstoffes wie auch des angriffsbegierigen Luftsauerstoffes. Andererseits sollen auch die Faktoren gekennzeichnet werden, welche den Vereinigungsdrang der gegensätzlichen Stoffe wenigstens bis zu einem gewissen Grade zu bändigen vermögen, welche die mächtige Energieäußerung in Schranken zwingen und sie zu jener Wirkung mäßigen, die für die rechte Arbeitsleistung, für den Antrieb der Maschine, die günstigste und vorteilhafteste ist.

Die für das Verständnis der Explosionsmotoren in den Automobilen und Flugzeugen besonders wichtigen Versuche mit flüssigen, leicht vergasbaren Brennstoffen sollen in einem folgenden Aufsatz behandelt werden.

Kleine Mitteilungen.

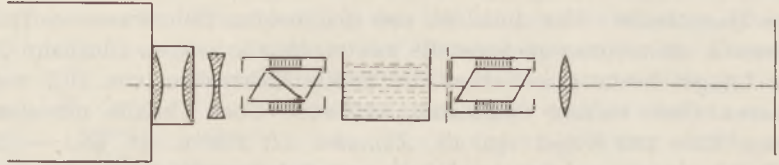
Die Bestimmung des Drehungswinkels einer Zuckerlösung.

Von P. HANCK in Pasewalk.

In dieser Zeitschrift (25; 232) beschreibt F. P. LIESEGANG eine Versuchsanordnung zur objektiven Darstellung der Drehung der Polarisationssebene des Lichtes durch Zuckerlösung, die den üblichen Methoden vorzuziehen ist, weil sie auch die Größe des Drehungswinkels zu ermitteln gestattet. Genauere Messungen lassen sich hier — nach allerdings schwierig ausführen. Ich sann nun schon lange auf ein vollkommeneres Verfahren und glaube, ein solches durch entsprechende Abänderung unter Verwendung der optischen Scheibe gefunden zu haben.

Die aus dem Kondensator des Projektionsapparates austretenden Lichtstrahlen macht man durch eine Bikonkavlinse parallel und setzt in den Strahlengang einen Nicol, ein Kalkspatprisma in Fassung mit kreisförmiger Blende und ein passendes Objektiv. Vor der Blende des Kalkspats spannt man einen durch ihren Mittelpunkt

gehenden Draht aus, der senkrecht zum Hauptschnitt des Kalkspats liegt. Den Draht und die Blende bildet man durch das Objektiv auf der optischen Scheibe ab und stellt dann die einzelnen Teile so ein, daß von der Blende nur das durch den ordentlichen Strahl des Kalkspats hervorgerufene Bild erscheint, daß der Mittelpunkt dieses Bildes mit dem Mittelpunkt der optischen Scheibe und das Bild des Drahtes mit Null-Linie der Scheibe zusammenfällt. Am zweckmäßigsten ist es natürlich, die



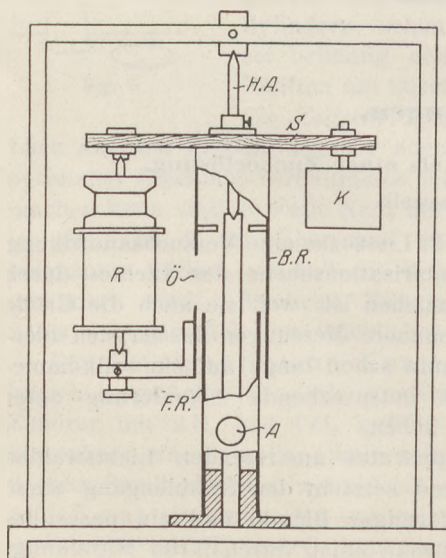
Scheibe von vornherein so zu drehen, daß die eine der das Achsenkreuz bestimmenden Linien horizontal liegt, und danach Nicol und Kalkspat einzustellen.

Bringt man nun zwischen Nicol und Kalkspat ein Gefäß mit Zuckerlösung, so erscheint von der Blende ein zweites Bild, das durch Drehen des Kalkspats wieder zum Verschwinden gebracht werden kann. Bei dieser Drehung wird der mit dem Kalkspat verbundene Draht mitgeführt und sein Bild zeigt deutlich den Drehungswinkel an. Durch ein zweites Gefäß zeigt man die Abhängigkeit des Drehungswinkels von der Länge der durchstrahlten Zuckerlösung, durch entsprechende Verdünnung die Abhängigkeit von der Konzentration. In dieser Weise dürfte die Versuchsanordnung allen Ansprüchen genügen. Sie ist den Verhältnissen nach einfach, die Einstellungen lassen sich schnell und sicher vornehmen, die Schüler können alle Vorgänge beobachten und den Drehungswinkel mit der nötigen Genauigkeit ablesen.

Der Flettner-Rotor im Demonstrationsversuch.

Von W. Geffeken und H. Richter in Dresden.

Im Dresdener physikalischen Institut haben wir einen Apparat konstruiert, der in anschaulicher Weise den dem Flettner-Rotor zugrunde liegenden Effekt demonstriert. Die von MAGNUS entdeckte Erscheinung besteht bekanntlich darin, daß ein rotierender angeblasener Zylinder senkrecht zur Windrichtung einen Antrieb erhält; die Ablenkung



erfolgt nach der Seite, in der Wind- und Rotationsrichtung übereinstimmen. Der genannte Apparat ist nun so gebaut, daß der Zylinder dem Querdruck ausweichen kann, und zwar derart, daß ihm dabei der Luftstrom folgt. Auf diese Weise kommt eine dauernde Rotation um die Hauptachse zustande.

Die Wirkungsweise des Apparates ist aus der Figur leicht ersichtlich. Durch ein bei *A* seitlich angesetztes Rohr tritt die Luft ein, durchströmt das feststehende Rohr *F.R.* und tritt aus diesem in das um die Hauptachse bewegliche Rohr *B.R.* ein. Aus *B.R.* bläst sie durch die (zweckmäßig mit windrichtenden Klappen versehene) Öffnung *Ö* gegen den Rotor *R*; dieser wird durch einen Kreislabzug in Umdrehung gebracht. Weicht nun der Rotor seitlich aus, so nimmt er das bewegliche Rohr mit der Luftöffnung mit, da beide an der Kreis-

scheibe S befestigt sind. Es entsteht also eine dauernde Rotation des ganzen beweglichen Teiles, die so lange anhält, bis die periphere Geschwindigkeit des Rotors einen gewissen Mindestbetrag angenommen hat.

Zur Luftstromerzeugung ist am besten ein kleiner elektrisch angetriebener Ventilator geeignet, doch dürfte ein handgetriebenes Zentrifugalgebläse bereits genügen.

Zum Schlusse sei erwähnt, daß an dem Apparat die Abhängigkeit des günstigsten Effektes vom Verhältnis der Wind- zur Umdrehungsgeschwindigkeit des Rotors gut festgestellt werden kann. Je langsamer der Rotor sich dreht, desto langsamer muß man den Ventilator laufen lassen.

Der Feddersen-Versuch.

Von P. Nickel in Berlin.

Der Nachweis, daß die Entladung eines Kondensators in Schwingungen erfolgt, ist mit schulmäßigen Mitteln nach der Methode von FEDDERSEN nicht leicht zu erbringen. FEDDERSEN ließ 2—5 Leydener Flaschen sich durch einen Schließungsdraht von 5—1300 m Länge entladen und betrachtete und photographierte den Entladungsfunken mit Hilfe eines schnell rotierenden Spiegels. Die in den Sammlungen vorhandenen Drehspiegel sind gewöhnlich nur für sehr kleine Umdrehungsgeschwindigkeit gebaut. Erfolgreich kann die Zerlegung des Funkenbildes nur sein, wenn man sich entschließt den Spiegel auf die Achse eines schnell rotierenden Motors zu setzen. Bei dem Glimmlichtoszillographen von BOAS, der ein modernes, für Schulen leider viel zu teures Gerät zur Untersuchung von Schwingungen darstellt, wird der Spiegel von einem Gleichstrommotor, der bis 17 000 Umdrehungen pro Minute macht, angetrieben; für die Betrachtung dient ein ebener, zur Photographie ein doppelter Hohlspiegel. Nicht die Funkenstrecke wird untersucht, sondern eine Gehrkesche Glimmlichtröhre, die parallel zu einem Teil der Selbstinduktion oder parallel zur Funkenstrecke, unter Vorschaltung eines hohen Widerstandes, liegt. In den Schulen werden gewöhnlich Motoren bis zu 3000 Umdrehungen pro Minute vorhanden sein. Der Verfasser benutzte einen kleinen Huth-Generator, wie er früher für Flugzeuge Verwendung fand; er wurde so umgeschaltet, daß die Erregerseite als Motor mit 3—4 Ampere angetrieben werden konnte, während gleichzeitig aus der Wechselstromseite bei 3750 Umdrehungen pro Minute 500-periodischer Wechselstrom von 100 Volt zu entnehmen ist. Solche Maschinen sind gelegentlich in größeren elektrischen Handlungen billig zu haben.

Auf die Achse (15 mm Durchmesser) der Maschine wurde ein Stück gutes, zylindrisch abgedrehtes Buchenholz von 25 mm Dicke gesteckt, welches auf der einen Seite in einer Ausdrehung einen runden Glasspiegel von 7 cm Durchmesser trug. Dieser Spiegel wird gehalten durch einen auf das Glas übergreifenden Messingring, der mit 6 Schrauben auf dem Holz befestigt ist (Fig. 1). Ein Metallspiegel wäre sicher vorzuziehen.

Die Wechselstromseite der Maschine M liegt an einem kleinen Transformator T , der die Spannung auf ca. 5000 Volt hinaufsetzt und seinerseits an eine kleine Funkenstrecke F mit Zinkkugeln von 1,5 cm Durchmesser in ca. 1 mm Abstand geschlossen ist. Der Funkenstrecke parallel ist ein Schwingungskreis geschaltet, der sich aus 3 Minosglasplatten-Kondensatoren C von zusammen 12 000 cm Kapazität und 200 Windungen Kupferdraht von 0,8 mm Stärke, der auf ein Turbonitrohr von 8,3 cm Durchmesser gewickelt ist, zusammensetzt (Fig. 2). Die Wellenlänge der Schwingungen ist:

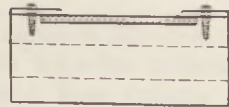


Fig. 1.

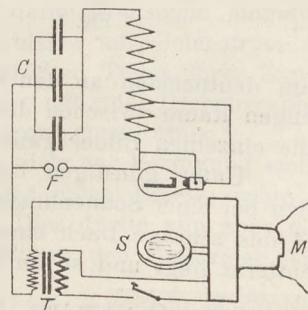


Fig. 2.

$$\lambda = 2\pi \sqrt{12000 \cdot 1065000} = 7100 \text{ m.}$$

Zunächst wurde die Funkenstrecke direkt betrachtet. Die Maschine muß erst auf Touren kommen, dann wird die Wechselstromseite kurze Zeit eingeschaltet, es ergibt sich eine Serie von Funken, von denen sich immer einige im Spiegel *S* beobachten lassen. Wegen der Kleinheit der Gleichstromseite wird die Maschine bei Belastung ziemlich gebremst. Das Bild des Funkens erscheint zwar in die Länge gezogen, eine Schichtung ist aber nicht recht zu erkennen. Die Versuche sollten daher mit einer Gehrkeschen Glimmlichtröhre fortgesetzt werden; da aber keine aufzutreiben war, so wurde auf den Rat von Herrn Boas eine gewöhnliche Glimmlicht-Buchstabenlampe mit möglichst geraden Elektroden gewählt. Die Firma J. Pintsch stellte eine Lampe mit dem Buchstaben *L* freundlichst zur Verfügung. Sie wurde parallel zu ca. 60 Windungen der Selbstinduktion geschaltet und so aufgestellt, daß die scharfe Kante des langen Schenkels des *L* im Spiegel sichtbar war. Die Schichtung des Lichtes trat diesmal deutlich in Erscheinung, besonders wenn die Lampe nicht allzu hell aufleuchtete. — Auch für Spektralversuche leistete die Lampe gute Dienste.

Über Sonnenbilder.

Von Prof. Geza v. Boleman in Sopron (Ungarn).

Wenn die Sonne durch die Fensterscheiben in das Zimmer scheint, so entsteht das Schattenbild des Fensters auf dem Fußboden (Fig. 1). Dieses Bild hat aber keine scharfen Konturen, sondern besteht aus vielen kleinen runden Sonnenbildern, die sich aneinander reihend, teilweise sich überdeckend, als Resultat das mehr oder weniger verschwommene Bild des Fensters ergeben. Je weniger die Fensterscheiben

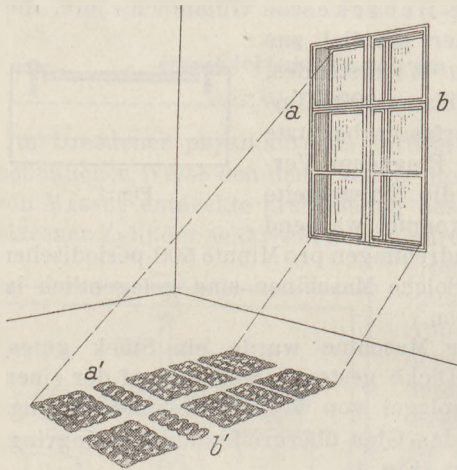


Fig. 1.

geputzt sind, desto besser tritt die Erscheinung hervor; die Ungleichheiten in der Struktur des Glases, die Spuren der Regentropfen, der Staub sind lauter Faktoren, die die Erscheinung begünstigen. Die ganze Fensteröffnung kann nämlich als aus vielen aneinander gereihten punktförmigen Öffnungen von Camera obscuras bestehend betrachtet werden, die ihre Bilder, teilweise sich überdeckend, auf den Zimmerboden werfen. Die Bilder sind aber wegen der fleckigen Beschaffenheit der Scheiben nicht alle gleich hell, denn sonst müßte ein gleichmäßig beleuchtetes Fensterbild entstehen, wie wir es hervorbringen können, wenn wir das Fenster öffnen; die Sonnenbilder treten in diesem Falle nur teilweise am Rande auf. Bei geschlossenen Fensterscheiben treten die Bilder

am deutlichsten an den Stellen *a'b'* (Fig. 1) hervor, wo das Sonnenlicht durch den engen Raum zwischen den Kreuzlatten des Doppelfensters hindurchkommt; hier sind die einzelnen Bilder ganz deutlich voneinander getrennt.

Unter günstigen örtlichen Verhältnissen können Erscheinungen auftreten, die den bei einer Sonnenfinsternis¹⁾ beobachtbaren ähnlich sind. Es bedeute z. B. in Fig. 2 *A* das schräge Dach eines Turmes, welcher um etwa 80 Meter von unserem Fenster entfernt liegt und so im Wege der Sonne steht, daß sein Halbschatten das Fenster

¹⁾ Vgl. O. Ohmann, Verhalten der Sonnenbildchen bei einer Sonnenfinsternis, diese Zeitschrift 18, 340.

überstreicht. *B* sei das Fenster, welches die Sonnenbilder auf der Zimmerwand *C* erzeugt. Bevor die Sonne durch den Turm verdeckt ist, sind die Sonnenbilder alle gleichmäßig rund; wenn sie aber hinter den Turm *A* zu treten beginnt, bemerken wir, daß die Sonnenbilder an dem unteren Teil des Bildes *C* verstümmelt werden. Diese Verstümmelung schreitet seitlich und nach oben in dem Maße fort, wie die Sonne hinter dem Dache verschwindet. In einem Augenblick sehen wir z. B. noch die oberen Bilder ganz rund, während die unteren schon als ganz dünne Kreisabschnitte, fast als Kommata erscheinen. Weiterhin verdunkelt sich dann der untere Teil des Fensterbildes allmählich, bis das ganze Bild verschwindet. Die Erscheinung wiederholt sich dann in umgekehrter Folge, wenn die Sonne auf der anderen Seite des Turmes hervortritt: die obersten Bilder werden zuerst ganz rund, während die untersten noch kommaartige Kreisabschnitte bilden.

Je weiter der schattenwerfende Gegenstand entfernt ist, um so geringer sind die Unterschiede im

Aussehen der Sonnenbildchen. Wenn etwa der 80 Meter entfernte Turm durch eine in etwa $1\frac{1}{2}$ km Entfernung befindliche Kuppel ersetzt wird, so ist kaum ein Unterschied zwischen den obersten und den untersten Sonnenbildchen zu bemerken, da das Fenster zu klein ist im Vergleich zur Breite des Halbschattens, welchen die Kuppel auf das Haus wirft. Wenn an die Stelle des Turmes die den Horizont begrenzenden Berge treten, so ist die Erscheinung nicht mehr zu beobachten.

Schöne verstümmelte Sonnenbilder, die unter Umständen mehrere Minuten hindurch bestehen bleiben, erzeugen die Wolken, wenn sie die Sonne teilweise bedecken. Die Bilder entstehen in der abwechslungsreichsten Weise gemäß dem Prinzip der Camera obscura: wenn die untere Sonnenhälfte bedeckt ist, so sind die Bilder unten rund, oben abgeschnitten, usw.

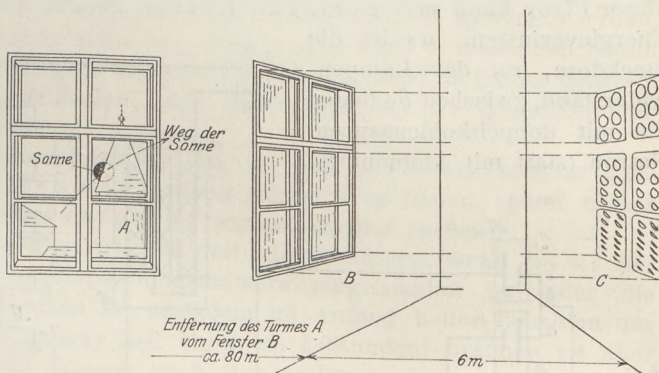


Fig. 2.

Ein Wechselstrom-Gleichrichter für höhere Spannungen.

Von Dr. Hermann Knoll in Graz (Realgymnasium).

Durch den Ausbau der Wasserkräfte entstehen sowohl in unserem engeren Vaterlande Deutschösterreich als gewiß auch im großen deutschen Vaterlande neue elektrische, und zwar wohl durchgängig Drehstromnetze. Dadurch kommt es vor, daß schon bestehende Gleichstromnetze aufgelassen und dafür Drehstrom eingeführt wird. Geschieht dies nun in einem Orte, dessen Schulen bisher mit Gleichstrom versorgt waren, so sehen sich die Lehrer der Physik des größten Teiles ihrer Experimentiermöglichkeit beraubt. Da heißt es nun, die nunmehr mit einer Drehstromphase besetzte, ins Lehrzimmer führende Leitung auf Gleichstrom umzuformen¹⁾.

Wem die Geldmittel für einen rotierenden Umformer nicht zur Verfügung stehen, hat im Graetzschen elektrolytischen Gleichrichter²⁾ dafür einen Ersatz, wenn die Spannung des Wechselstromes 110 Volt nicht übersteigt. Dies dürfte nun aber meist der Fall sein. Baut man nach der dort gegebenen Anleitung den Umformer (siehe

¹⁾ Man vergleiche aber auch die Vorschläge von W. Volkmann, ds. Zeitschr. 37, 251 (1924).

²⁾ L. Graetz, Die Elektrizität, 12. Aufl., S. 437. Stuttgart, Verlag J. Engelhorn, 1906.

nebenstehendes Schema, Fig. 1) und setzt man den Widerstand zwischen G und H , so ist, wenn die Wechselstromspannung etwa 220 Volt beträgt, ein solenner Kurzschluß die Folge. Der Wechselstrom nimmt seinen Weg über $abdfiqlm$ und über $abceHkhlm$ und kümmert sich nicht um den Widerstand GH . Zum Funktionieren brachte ich die nach dieser Vorschrift angefertigte Anlage dadurch, daß ich drei Graetzsche Eisen-Aluminium-Zellen jedesmal hintereinander schaltete (vielleicht genügen auch zwei) und den Widerstand (Lampen) in den Leitungsteil ml einbaute.

Dadurch entsteht das Schaltschema der Figur 2. Die Gleichrichteranlage nach dieser Figur kann mit geringen Kosten gebaut werden und arbeitet mit geringen Energieverlusten. as ist die Steckdose, rq der Lampenwiderstand, zwischen bo liegen die mit doppeltkohlen-saurem Natron (statt mit Ammonium-

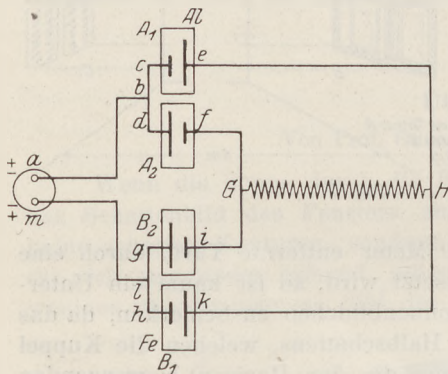


Fig. 1.

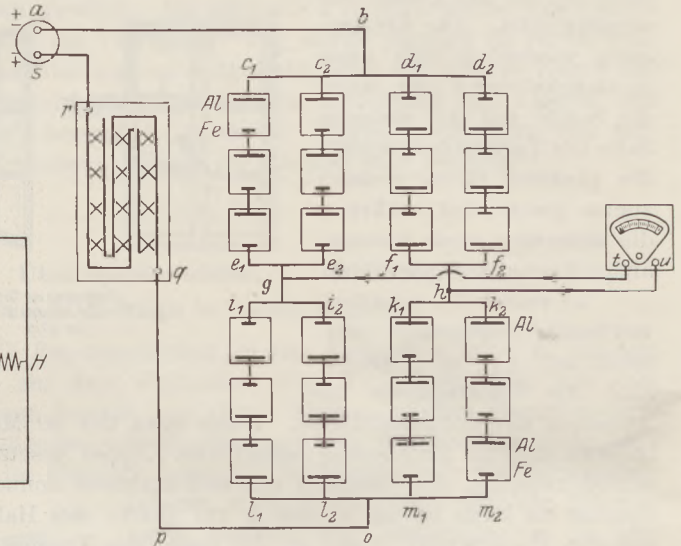


Fig. 2.

phosphat) gefüllten Eisen-Aluminiumelemente, für die alte Leclanché-Elementengläser verwendet wurden. Wieviele Reihen $c_1 l_1$, $c_2 l_2$ und $d_1 m_1$, $d_2 m_2$ man parallel schaltet, richtet sich nach der Stärke des bei g und h abzunehmenden Gleichstromes und insbesondere nach der Dauer der Stromentnahme.

Hat man die Gleichrichteranlage nach Fig. 2 aus 24 Elementen gebaut und will man etwa zum Laden von Akkumulatoren stundenlang Strom durch die Gleichrichteranlage senden, so wird man wohl nicht mehr als 1 Ampère entnehmen, also von den 12 bei rq gezeichneten Glühlampen bloß zwei einschrauben dürfen. Will man dauernd starke Ströme, etwa 10 Ampère, entnehmen, so müßte man sich entschließen, statt der kleineren Elementengläser große Glaströge mit entsprechend großen Platten einzustellen, von denen bei 220 Volt Wechselstromspannung 8 genügen dürften, nämlich 2 hintereinander geschaltete statt der 6 Gläser in $c_1 c_2 e_1 e_2$, 2 nächste statt $d_1 d_2 f_1 f_2$ usw. Die Eisen- und die Aluminiumblechplatten für die kleinen Gläser hatten bei mir die Maße 17×8 cm². Die Natriumbikarbonatlösung war konzentriert.

Beim ersten Versuch, nach dem ursprünglichen Graetzschen Schema eine Anlage zu bauen, verwendete ich 4 Glaströge im Ausmaße von etwa 30×20 cm² Grundfläche und 60 cm Höhe, die Platten hatten daher die Größen von etwa 30×65 cm². Das Befestigen der Kupferdrähte an den Platten kann mit Klemmschrauben oder durch einfaches Einklemmen starker Drahtenden in die an einer oberen Ecke umgebogene Platte erfolgen.

Zum Schlusse bemerke ich noch, daß nach Zusammenbauen der Apparatur beim erstmaligen Inbetriebsetzen der Anlage ein Gleichstrom- oder Spannungsmeßinstrument, das an die Gleichstromleitung gh angeschaltet ist, anfangs weder Strom noch Spannung

zeigt und die Lampen des Vorschaltwiderstandes rq hell leuchten. Dadurch darf man sich aber nicht entmutigen lassen. Es gleicht sich auch hier anfänglich der Wechselstrom auf dem kurzen Wege über $abcegilopqrs$ und über $abdfhkmopqrs$ aus, und da der Widerstand in den Graetzschen Elementen bloß einige Ohm beträgt, so geschieht der ganze Spannungsverlust in den Lampen, die hell leuchten. Nach einer Viertelstunde (beim erstmaligen Stromentnehmen) aber brennen, wenn in den bei h beginnenden, über ut führenden und bei g wieder einmündenden Gleichstromteil ein großer Widerstand (Voltmeter) eingeschaltet ist, die Vorschaltlampen düsterer, weil allmählich in den Zellen $cdlm$ elektromotorische Gegenkräfte geweckt werden, die dann, wenn a momentan positiver Pol ist, dem von a nach b fließenden Strom immer mehr den Weg über ee verlegen, so daß er gezwungen wird, in immer höherem Maße über $dfhutgilopqrs$ zu fließen, also durch den bei ut eingeschalteten Apparat (Meßinstrument) zu gehen.

Ist dann nach $\frac{1}{100}$ Sekunde s positiver Pol, so muß der Strom, mag er auch teilweise noch durch $srqpoligeeba$ im Anfang seinen Weg finden, später immer mehr ausschließlich über $srqpomkhhutgeeba$ seinen Ausweg suchen.

So wird dann beim erstmaligen Arbeiten mit dieser Anlage, wenn bei ut der große Widerstand eines Gleichstromspannungsmessers eingeschaltet ist, oder die Leitung $hutg$ überhaupt unterbrochen ist, trotzdem im Anfang helles Leuchten der Lampen zu bemerken sein, nach einiger Zeit (1, 2 bis 3 Stunden) brennen sie aber düsterer. Schaltet man nun eine Lampe nach der anderen ab, so beginnen die übrigen heller zu leuchten (die Gegenspannung im noch nicht „formierten“ Gleichrichter sinkt, der Wechselstrom gleicht sich wieder etwas über die Zellen des Gleichrichters aus), bald aber brennen auch die noch eingeschalteten Lampen düsterer (der Gleichrichter wird weiter „geladen“). Löscht man nun wieder durch Herausrauben von den noch düster glühenden Lampen einige aus, so leuchten die nun übrig bleibenden wieder etwas heller, bald aber steigt die Spannung bei gh , wie man sich am Spannungsmesser ut überzeugen kann, weiter an, bis endlich auch im weiteren Verlaufe die letzte noch eingeschaltete Lampe erlischt. Von jetzt an kann sich der Wechselstrom nicht mehr direkt über die Zellen ausgleichen, die Gleichrichteranlage ist gebrauchsfertig.

Schließt man nun die Drähte hu und gt kurz, so leuchten alle eingeschraubten Lampen sofort hell auf, der Strom nimmt seinen Weg nun stets über $hutg$ und ist in diesem Zweige Gleichstrom, denn er fließt, mag a positiver Pol sein oder s , auf jeden Fall in der Richtung von h über u nach t und g , so daß also die Aluminiumplatten bei k_1 und k_2 positiver Pol für die zum Experimentiertisch führende Leitung sind, die aus den Drähten hu und gt besteht.

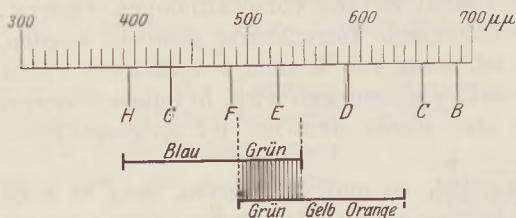
Für die Praxis.

Grün als subtraktive Mischfarbe. Von M. Gebhardt in Dresden-Strehlen¹⁾. Daß Z beim Mischen gelber und blauer Pasten und Flüssigkeiten Grün entsteht, hat seinen Grund darin, daß jede der beiden Substanzen die Wellenlängen der anderen absorbiert mit Ausnahme eines Gebietes, das nach der Mitte zu beiden gemeinsam ist. Das kann durch folgenden Versuch demonstriert werden. Man stelle sich eine möglichst konzentrierte Lösung von Kaliumbichromat einerseits und Kupfersulfat andererseits her. Dadurch erhält man die bekannten schön gelborange bzw. blau gefärbten Flüssigkeiten. Man untersucht nun beide mit dem Spektroskop und findet (siehe Figur), daß diese das Spektralgebiet von etwa $390-550 \mu\mu$, jene aber das Gebiet von etwa $490-640 \mu\mu$ umfaßt. Gießt man nun nach und nach der blauen Flüssigkeit so lange gelbe hinzu,

¹⁾ Vgl. hierzu dieses Heft S. 57 ff.

bis ein schönes etwa der Fraunhoferschen Linie E entsprechendes Grün entsteht, so lehrt die Prüfung durch das Spektroskop, daß nunmehr lediglich das gemeinsame Gebiet, also von etwa 490—550 $\mu\mu$ durchgelassen wird.

Nicht so einfach erklärt sich das Entstehen von Grün bei der Mischung gelben und blauen Pulvers. HELMHOLTZ gibt die folgende Erklärung: Die oberflächlich gelegenen blauen Teilchen werden blaues, die oberflächlichen gelben gelbes Licht durch Reflexion ergeben; beides zusammen also tatsächlich Weiß. Ganz anders aber steht es mit dem Lichte, das aus der Tiefe zurückkehrt und das abwechselnd durch gelbe und blaue Teilchen hindurchwandern mußte. Es wird ähnlich, wie bei dem oben beschriebenen Versuch alle Farben solcher Wellenlängen verlieren, die der eine oder der andere Farbstoff absorbiert. Nun kann man durch den Versuch feststellen, daß



alle blauen und gelben Pigmente mehr oder weniger ausgedehnte Farbgebiete (ähnlich den in der Figur angedeuteten) zu einer Mischfarbe vereinigen, die uns nur subjektiv rein blau, bzw. gelb oder orange erscheint. Somit kommt aus der Tiefe des gemischten Pulvers nur das beiden Teilpulvern gemeinsame Lichtwellengebiet wieder heraus. Daher die grüne Mischfarbe. (Vgl. HELMHOLTZ, Wissenschaftliche Abhandlungen, Bd. II: Physikalische Optik, S. 16 u. 17.)

Improvisation des elektrischen Ventils mit Holtzschen Fußklemmen. Von Dr. A. Loewenherz in Mariampol (Litauen). Die bei WEINHOLD und ROSENBERG gegebene Anleitung zur Selbstanfertigung des elektrischen Ventils ist nur bei beträchtlicher manueller Geschicklichkeit durchführbar, da die Entfernung Spitze-Platte in beiden Zweigen der verzweigten Funkenstrecke genau gleich groß gemacht werden muß, um sicheres Ansprechen zu ermöglichen. Diese Gleichheit läßt sich sozusagen automatisch mit wenig Handgriffen unter Benutzung von Holtzschen Fußklemmen erreichen¹⁾, überdies gestattet die Kombination die Größe der Funkenstrecke beliebig zu ändern.

Von einem Funkeninduktor wird in eine Fußklemme der zugespitzte Stab, in die andere der Stiel der Platte in gleich hohen Klemmlöchern festgeklemmt. Dasselbe geschieht mit Spitze und Platte eines zweiten Induktors in umgekehrter Verteilung auf die beiden Fußklemmen. Jedoch wird der zweite Spitzenstab erst endgültig festgeklemmt, nachdem die Fußklemmen bis zur Berührung von Spitze und Platte des ersten Zweiges auf ebener Unterlage aneinander geschoben sind, und auch der zweite Stab bis zur Berührung der ihm gegenüberstehenden Platte durch das Klemmloch hindurchgeführt ist. Danach kann man die so armierten Fußklemmen voneinander entfernt irgendwie auf derselben Ebene aufstellen, die Gleichheit der Entfernung in Spitze-Platte wird stets erhalten bleiben.

Sollten geeignete Stäbe und gestielte Platten von Induktorien fehlen, so können sie ersetzt werden: die Stäbe durch einen spitz zugefeilten Messingdraht von 2 mm Stärke, die Platten durch je eine mit flachem Kopf versehene Klemmschraube der Fußklemmen selbst, die dazu in den Klemmlöchern — nicht zu stark — festgeklemmt wird. Das ist jedoch nur ein Notbehelf, von dem man im Interesse der Erhaltung der Gewinde nur selten Gebrauch machen sollte.

Es wäre erwünscht, wenn die erzeugenden Firmen die Bleifüße jeder Fußklemme an zwei gegenüberliegenden Stellen mit je einem senkrechten farbigen Strich haltbar versehen würden, diese Striche könnten dann bei Verschiebung der Fußklemmen längs eines Maßstabes als Führung dienen, und so auch — grobe — messende Versuche ermöglichen.

¹⁾ Vgl. diese Zeitschr. II, 55.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Ein Vorlesungsversuch über Resonanz. Von R. WACHSMUTH und W. SCHÜTZ (*Physik. Zeitschr.* 26, Nr. 1, 1925). Zur Demonstration der Resonanz lassen sich auch die Verstärkervorrichtungen der neueren Radiotechnik verwenden. Man befestigt zu dem Zweck dicht neben der einen Zinke der empfangenden Stimmgabel einen von seinem Schalldeckel befreiten Kopfhörer. Sobald die Stimmgabel anfängt zu schwingen, vibriert ihre Zinke gegen den Magneten des Hörers und erzeugt dadurch in seiner Spule einen schwachen Wechselstrom. Diesen schickt man in einen Verstärker und schließt

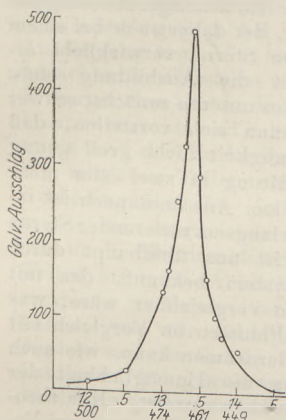


Fig. 1.

den heraustretenden verstärkten Strom durch einen Detektor und ein Galvanometer. Man kann dadurch verhältnismäßig starke Gleichströme erzielen und zur Messung bringen.

Verwendet wurde ein Dreifachverstärker mit Ausgangstransformator, da ohne diesen der Anodenstrom durch das Galvanometer gehen würde und der Ruhestrom durch geeignete Schaltung kompensiert werden müßte. Die Empfindlichkeit des Galvanometers betrug pro Skalenteil bei $3 \cdot 10^{-5}$ Volt $3 \cdot 10^{-9}$ Amp. Als Empfänger diente eine Stimmgabel $b^1 = 461$ Schwingungen auf Resonanzkasten. Als Tonsender erwies sich eine Stimmgabel weniger geeignet, da die Verschiebungen des Laufgewichts bei elektrisch erregter Gabel nicht kontinuierlich bei genügend erfolgten. Es wurde statt dessen eine Lippenpfeife mit verschiebbarem Stempel gewählt, die mit komprimierter Luft angeblasen wurde, während die Stetigkeit des Druckes durch ein seitlich angebrachtes Wassermanometer von z. B. 10 cm Wasserhöhe gesichert war.

Durch Tabellen und graphische Darstellungen wird dargetan, wie scharf die Resonanz bei genügendem räumlichen Abstand zwischen Sender und Empfänger zur Ausprägung kommt. Bei

größerem Abstand zwischen Sender und Empfänger (loser Koppelung) tritt nur ein Maximum der Resonanz auf, und zwar bei völlig konsonanter Stimmung von Sender und Empfänger (Fig. 1). Dagegen erhält man bei Annäherung der Pfeife an die Gabel (enger Koppelung) zwei Maxima, entsprechend zwei Schwingungszahlen der erregenden Schallquelle, von denen die eine tiefer, die andere höher liegt als der Eigenton, dazwischen

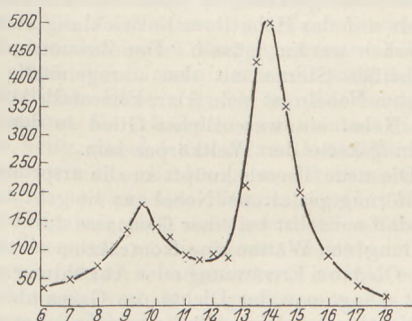


Fig. 2.

liegt ein Minimum. Dies ist in der Fig. 2 dargestellt, in der die Schwingungszahlen als Abszissen, die Galvanometerausschläge als Ordinaten aufgetragen sind, die ersteren sind durch eine willkürliche, den Schwingungszahlen entsprechende Zentimeter-Teilung ersetzt. Man erkennt, daß ein Maximum bei 9,5 ($n = 558$), ein zweites größeres bei 14,0 ($n = 449$) auftritt. Die nachstehende Tabelle gibt die genaueren Zahlenwerte an.

cm	Schw.-Z.	Ausschlag	cm	Schw.-Z.	Ausschlag
2		15	12,0	500	90
4		20	12,5		85
6		32	13,0	474	210
8		70	13,5	461	430
9,0		130	14,0	449	500
9,5	558	180	14,5		350
10,0		140	15		200
10,5		120	16		85
11,0		90	18		20
11,5		80	19		0

P.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Der Ursprung des Sonnensystems. Von J. H. JEANS in London. Das Problem der Weltentstehung ist im Kant-Gedächtnisjahr mehrfach Gegenstand der Erörterung gewesen. Um so mehr ist ein Aufsatz von Interesse, der in der Festschrift zum 75. Geburtstag von Hugo v. Seeliger an erster Stelle veröffentlicht ist und das Problem unter den Gesichtspunkten behandelt, die bereits

in der Schrift des Verfassers *Problems of cosmogony and stellar dynamics* (Cambridge 1919) leitend gewesen sind.

Abgesehen von den noch rätselhaften planetarischen Nebeln stellen alle beobachteten Himmelskörper eine einzige zusammenhängende Reihe von zunehmender Dichtigkeit dar, die mit Nebeln von fast unglaublicher Dünne beginnt

und mit festen Körpern von der Dichte des Eisens endet. Es ist nicht zu bezweifeln, daß diese Reihe uns zugleich ein Bild von der Entwicklung der Himmelskörper gibt. Die Nebel selbst zerfallen in zwei scharf unterschiedene Klassen, solche mit regelmäßiger und solche mit unregelmäßiger Gestalt. Zu der letzteren gehören der große Nebel im Orion und der die Plejaden umgebende Nebel; da sie gewöhnlich zusammen mit den heißesten Sternen auftreten, so nahm man bis vor kurzem an, daß diese Sterne das unmittelbare Produkt der Verdichtung jener Nebel seien, doch wurde die Theorie vor etwa zehn Jahren fallen gelassen, da diese Sterne im Gegenteil als auf der Höhe ihrer Entwicklung stehend angesehen werden müssen. Der Zusammenhang der heißen Sterne mit den unregelmäßig gestalteten Nebeln ist nicht klar, keinesfalls können diese Nebel ein wesentliches Glied in der Entwicklungskette der Weltkörper sein.

Die neue Theorie knüpft an die ursprünglich kugelförmig gestalteten Nebel an; sie geht davon aus, daß zunächst bei einer Gasmasse durch Ausstrahlung von Wärme eine Kontraktion eintreten muß. Ob dabei Erwärmung oder Abkühlung stattfindet, hängt von der Dichte des Gases ab. Ist die Dichte so niedrig, daß die gewöhnlichen Gasgesetze gelten, so wird die Masse durch Wärmeausstrahlung und entsprechende Kontraktion heißer (HOMERLANE, 1870); Abkühlung setzt erst ein, wenn die Gase der Verflüssigung und dem Festwerden näher kommen. Die Maximaltemperatur tritt auf, wenn der Stern nicht mehr ein vollkommenes Gas darstellt, die Temperatur der Oberfläche mag dann 25000° betragen, die des Innern mag sich auf Millionen Grad belaufen, die mittlere Dichte etwa $\frac{1}{10}$ von der des Wassers sein. Die regelmäßig gestalteten Nebel rotieren, wie spektroskopisch nachgewiesen, mit sehr hoher Geschwindigkeit um den kürzesten Durchmesser, nehmen also die Form einer flachen Bikonvexlinse an, die am Äquator einen scharfen Rand zeigt. Mit zunehmender Kontraktion muß auch die Rotationsgeschwindigkeit zunehmen; da aber der Nebel kein im Raum isoliertes Gebilde ist, so treten Ebbe- und Flutwirkungen benachbarter Himmelskörper hinzu, so daß der Äquator der rotierenden Masse eine elliptische Gestalt annimmt und bei weiterer Zusammenziehung Materie vom Äquator des Nebels in den Weltraum ausgestoßen wird. Die Ausströmung erfolgt dann, wie namentlich die Spiralnebel zeigen, an zwei gegenüberliegenden Stellen; die ausgestoßene Materie erscheint infolge der Abkühlung als ein nichtleuchtender Streifen von größerer oder geringerer Ausdehnung. Diese Vorgänge sind in ihren verschiedenen Stadien auf photographischen Aufnahmen, deren der Aufsatz mehrere bringt, deutlich sichtbar. In den durch Ausströmung entstandenen Armen der Spiralnebel sind Bewegungen nachgewiesen, die auf eine Umlaufdauer von Tausenden von Jahren schließen lassen. Die Dichtigkeit des Kernes in diesen Nebeln wird auf die Ordnung 10^{-16} g/cm³ geschätzt, also auf ein Vakuum, das in keinem unserer Laboratorien erreichbar ist. Aus dem

Zusammenwirken von Expansionskraft und Gravitation ergibt sich dann eine Zusammenballung von Massenteilen und damit ein Zerfall des Nebels in Einzelsterne, deren Zahl in die Millionen gehen kann. Die so gebildeten Sterne bleiben entweder als Sternfamilie beieinander, wie z. B. die Sternwolke im Herkules, oder sie mischen sich unter das Heer der übrigen Sterne, zwischen denen sie entstanden sind und die selber aus solchen Nebeln hervorgegangen sind.

Diese Vorstellungen stimmen mit denen von Kant und Laplace überein bis auf einen Punkt, nämlich den, daß die Entwicklung eines Nebels nicht nur ein System wie unser Sonnensystem, sondern ein viel größeres Gebilde ergibt. Innerhalb dieses Gebildes ist das Auftreten von Doppelsternen oder mehrfachen Sternen der einfachste mit der Zunahme der Rotationsgeschwindigkeit stattfindende Vorgang, der daher auch bei einem hohen Prozentsatz der Sterne verwirklicht erscheint. Dagegen ist die Ausbildung eines Planetensystems wie des unseren zunächst schwer zu verstehen. Man kann sich vorstellen, daß die Rotationsgeschwindigkeit nicht groß genug war, um zu einer Spaltung in zwei oder mehr Sterne zu führen. Allem Anschein nach ist indessen die Zahl solcher langsam rotierender Sterne sehr gering. Ja es ist uns überhaupt durch Beobachtung kein System bekannt, das mit unserem Sonnensystem vergleichbar wäre, was bei der Kleinheit der Planeten im Vergleich mit der Sonne nicht wundernehmen kann, wie auch eine leichte Rechnung die Unmöglichkeit der Wahrnehmung von solchen erweist. Nur theoretische Überlegungen können hier zu einer Erklärung führen.

Die Eigentümlichkeit unseres Systems besteht darin, daß sich die Konfiguration des gesamten Planetensystems in dem Bau des Jupiter und Saturn mit ihren Trabanten noch einmal wiederholt, so daß jede Erklärung des ganzen Systems auch auf diese Teilsysteme anwendbar sein muß. Das gemeinsame Merkmal aller ist, daß der Zentralkörper an Masse die Gesamtheit der Massen seiner Satelliten weit überragt; so ist die Sonnenmasse 1047mal so groß als die Masse ihres größten Trabanten, des Jupiter, und dessen Masse wiederum ist 11400mal so groß als die seines größten Mondes. Auch bei der Erde und ihrem Mond kehrt dieselbe Ungleichheit wieder, indem sich ihre Massen wie 81:1 verhalten. Ferner ist, wo eine größere Zahl von Trabanten vorhanden ist, von den näheren zu den entfernteren erst ein Anstieg der Massen und dann wieder ein Abstieg zu konstatieren, so vor allem beim Planetensystem selbst, abgesehen davon, daß Mars durch seine Kleinheit eine Ausnahme macht. Ferner ist bemerkenswert, daß zwar die Bahnen der Planeten nahezu in eine Ebene fallen, daß aber der Sonnenäquator nicht mit dieser Ebene zusammenfällt, sondern mit ihr einen Winkel von etwa 7° bildet. Diese beiden Anomalien machen den Versuch einer Erklärung besonders schwierig. Man muß daraus schließen, daß unser Sonnensystem sich nicht einfach aus einer ungestörten

rotierenden Masse entwickelt hat. Vielmehr muß eine Störung stattgefunden haben, als deren Grund man die Annäherung an einen anderen Stern vermuten könnte, dem sich unser Sonnensystem auf seinem Wege durch den Weltraum so weit genähert haben müßte, daß Gravitationswirkungen von ausreichendem Betrag ins Spiel traten. Da das Alter unserer Erde nach den Folgerungen aus der Geologie und der Radioaktivität auf 800 bis 1100 Millionen Jahre geschätzt wird, so könnte im Lauf dieser Zeit eine solche Annäherung erfolgt sein, doch ist sehr unwahrscheinlich, daß sie beträchtlich genug war, um den erforderlichen Effekt zu bewirken. Eher ist die Ursache in einer früheren Periode zu suchen, als das Sonnensystem noch als Einzelstern neben anderen in dem Arm eines Spiralnebels sich befand und seine Dichte noch verschwindend gering bei entsprechend größerer Ausdehnung war. Hier kann die Anziehung eines benachbarten Gassterns eine flutartige Erhebung hervorgerufen haben, die sich weit in den Raum hinaus erstreckte und beim Nachlassen der Gravitation mit der Entfernung eine Verdickung in den mittleren Teilen erfuhr, so daß sich die Vorbedingungen für die Bildung von Planeten in der oben beschriebenen Folge erfüllt fanden, sobald die Kondensation der Materie in diesen Teilen erfolgte. Ähnliches kann sich bei den einzelnen größeren Planetenmassen wiederholt haben, was zur Bildung der Trabanten des Jupiter und des Saturn führte. Für diese Trabanten ist bei genauerer rechnungsmaßiger Betrachtung wahrscheinlich, daß sie von vornherein nicht als gasförmige, sondern als flüssige oder feste Kondensationen entstanden sind.

Was die Erde betrifft, die eine mittlere Stellung zwischen den mondlosen inneren und den mondreichen äußeren Planeten einnimmt, so ist zu vermuten, daß sie bei ihrer Entstehung schon teils flüssig, teils gasförmig war, während Mars, Jupiter, Saturn und Uranus gasförmig, Merkur und Venus flüssig oder fest gewesen sind. Bei Mars und Uranus ist in Anbetracht ihrer Kleinheit zu vermuten, daß sie einen größeren Teil ihrer Masse durch Zerstreung in den Raum verloren haben.

Mit diesen freilich auch hypothetischen Vorstellungen ist eine Ausgestaltung der von KANT und LAPLACE nur in großen Umrissen gegebenen Weltentstehungstheorien geboten, die sich eng an die heute bekannten Tatsachen anschließt und anscheinend keinen unüberwindlichen Einwürfen ausgesetzt ist.

P.

Quantentheorie, Atombau und Photochemie. Orig.-Bericht von Dr. ALFRED WENZEL, Brandenburg a. H.

Der Verlauf mancher chemischer Reaktionen wird entscheidend von gleichzeitiger Bestrahlung, d. h. von der Zufuhr elektromagnetischer Energie beeinflusst. Die Erforschung dieser Vorgänge, die Photochemie, hat von vornherein zwei Wege eingeschlagen, einen chemischen, der die Erkenntnis der Reaktionsprodukte fördert, und einen

physikalischen, der die Beziehungen dieser Lichtwirkungen zu den physikalischen Grundgesetzen aufdecken will. Für diese physikalische Photochemie sind vier Jahreszahlen von besonderer Bedeutung geworden, 1820, als GROTHUS auf die Beziehungen zwischen der chemischen Wirkung des Lichtes und seiner Absorption zum ersten Male hinwies, 1845, als DRAPER auf Grund von Experimenten erkannte, daß nur die absorbierte Strahlung chemisch wirksam sein kann, 1856, als BUNSEN und ROSCOE feststellten, daß bei der Bildung von Chlorwasserstoffsäure aus Chlorknallgas die photochemische Wirkung der absorbierten Strahlung proportional ist, und das Jahr 1905, als EINSTEIN die Quantenbeziehungen bei photochemischen Vorgängen entwickelte.

Nach der Einsteinschen Theorie des lichtelektrischen Effekts (1) ist zur Auslösung eines Elektrons die Absorption von einem Quantum $h \cdot \nu$ nötig, wobei h das Plancksche Wirkungsquantum und ν die Frequenz der Strahlung ist. Verallgemeinert man dies, so kommt man zu dem Ergebnis, daß nicht nur die Strahlung von der Frequenz ν von einem Gebilde mit der Eigenfrequenz ν aufgenommen wird, sondern unabhängig von der Eigenfrequenz des absorbierenden Gebildes stets ein Betrag eines ganzen Vielfachen von $h \cdot \nu$ absorbiert wird. Die entsprechende Auffassung der photochemischen Vorgänge führt zu einer Abgrenzung der an der Reaktion beteiligten Moleküle. Denn während man nach der klassischen Theorie annehmen mußte, daß alle vom Licht getroffenen Moleküle gleichmäßig an der Reaktion teilnehmen, läßt die Quantentheorie nur eine bestimmte Anzahl Molekel zur Absorption und damit zur Reaktion zu. Nach EINSTEIN wird jedesmal nur ein Quantum absorbiert; daher ist die Zahl der beteiligten Molekel auf die Zahl der in der Strahlung enthaltenen Energiequanten $h \cdot \nu$ beschränkt. Wird also die Strahlungsenergie E von der Wellenlänge λ (Frequenz $\nu = \frac{c}{\lambda}$, wobei c die Lichtgeschwindigkeit), d. h.

$$E = n \cdot h \cdot \nu$$

absorbiert, so ist n die Zahl der photochemisch wirksamen Moleküle. Hiernach besagt das photochemische Grundgesetz von EINSTEIN also, daß wenn ein Molekül überhaupt an der Absorption teilnimmt, es ein volles Quantum $h \cdot \nu$ absorbiert und sich dann auch an der chemischen Reaktion beteiligt. Dieser letzte Satz ist das sog. Einsteinsche „photochemische Äquivalenzgesetz“. Dabei ist die Beanspruchung der einzelnen Moleküle unabhängig von der Quantität der absorbierten Strahlung und nur von der Frequenz abhängig. Nach WARBURGS Angaben auf der Naturforscherversammlung in Innsbruck (2) ist für die Strahlung von der Wellenlänge $\lambda = 0,2 \mu$ die mittlere kinetische Translationsenergie eines Gasmoleküls bei 20°C nur der 163. Teil des Quantums dieser Wellenlänge und würde erst bei einer Temperaturerhöhung auf 47400° diesem Quantum gleich. Absorbiert ein Molekül also ein solches Quantum,

so gerät es in einen Zustand, zu dessen Erzeugung auf thermischem Wege ungeheuerere Temperaturen erforderlich wären. Je kürzer die Wellenlänge einer Strahlung, desto größer ist ihre Frequenz ν und damit auch das Quantum $h \cdot \nu$. So ist es erklärlich, daß gerade die kurzwelligeren Strahlen so stark photochemisch wirksam sind. Andererseits wird es so auch verständlich, daß selbst die schwächste Strahlung chemische Wirkungen hervorrufen kann, da die Wirkung auf das einzelne Molekül unabhängig von der Intensität der Strahlung nur durch ihre Frequenz ν bedingt wird.

Zur Bestätigung des Äquivalenzgesetzes, die nur in einzelnen Fällen möglich ist, wurde besonders die Photolyse, d. h. die Zerlegung eines Moleküls durch Einwirkung von Strahlen verwendet. Bei der Photolyse haben wir zweierlei Vorgänge zu unterscheiden, den primären, bei dem eine Verwandlung der vom Molekül aufgenommenen Energie stattfindet, und den sekundären, die sich mit den Produkten des primären Vorgangs vollziehen. Im allgemeinen ist nun die Zahl der Einzelvorgänge bei der Photolyse nicht gleich der Zahl der photolytisch beanspruchten Moleküle; meist kennt man ihr Verhältnis auch nicht. In diesen Fällen kann man den Gesamtvorgang nicht quantitativ auswerten. Nur wenn die Zahl der Primärvorgänge gleich der Zahl der photolytisch beanspruchten Moleküle ist, ist dies möglich, sofern man über die Sekundärprozesse geeignete Angaben machen kann. Dann verlangt das photochemische Äquivalenzgesetz, daß es zur Zersetzung eines Grammäquivalents nur der Absorption der Strahlungsenergie $A \cdot h \cdot \nu$ bedarf, worin A die Loschmidt'sche Zahl ist.

Die experimentelle Bestätigung dieses Gesetzes erfordert eine Auswahl solcher Vorgänge, deren sekundäre Reaktionen einfach und völlig bekannt sind. Bei der Durchführung der Versuche, die besonders in den Laboratorien von E. WARBURG (3) und W. NERNST (4) ausgeführt wurden, ist die Herstellung intensiver ultravioletter monochromatischer Strahlung notwendig, die mit Funken zwischen Zink- oder Magnesiumelektroden erzielt wird und deren absolute Messung in Kalorien mit geeichtem Flächenbolometer geschah. Dann ist die Zeitdauer der Einwirkung, die Absorption in der reagierenden Substanz und die umgesetzte Substanzmenge bzw. die Menge des Endproduktes zu bestimmen. Hierbei ist natürlich zu beachten, daß die gebildete Substanz nicht durch eigene Absorption der einwirkenden Strahlung die Absorptionsmessung fälscht. Daher ist es ratsam, das Reaktionsprodukt aus der Zersetzungszelle zu entfernen, um es der weiteren Bestrahlung zu entziehen.

Als Beispiel einer solchen photochemischen Messung sei die Photolyse des Jodwasserstoffes nach WARBURG (4) gewählt [vgl. auch W. GERLACH (5)], deren Reaktion in einem besonders großen Wellenbereich möglich ist. Der durch Kontaktwirkung an Platinasbest aus Jod und Wasserstoff bei 600° gebildete Jodwasserstoff wird in einer Quarzzone der Belichtung aus-

gesetzt. Hinter der Quarzzone befindet sich das Bolometer, mit dem die Strahlung nach Durchgang durch Wasserstoff, also vor dem Versuch, dann während des Versuchs nach Durchgang durch Jodwasserstoff und schließlich nach dem Versuch wieder nach Durchgang durch Wasserstoff gemessen wird. Hierdurch läßt sich der bei der Photolyse wirksame Teil der Strahlung berechnen. Die Menge des in einer Vorlage mit Flüssigkeit abgeschiedenen Jods wird mit

einer $\frac{n}{100}$ -Natriumthiosulfatlösung titrimetrisch festgestellt. Aus der gefundenen Jodmenge v läßt sich die spezifisch photochemische Wirkung φ d. h. das Verhältnis der gebildeten Jodmenge zur Gesamtstrahlungsenergie E in der Zeit t berechnen nach

$$\varphi = \frac{v}{E \cdot t}$$

In nachstehender Tabelle sind für drei Wellenlängen die Werte φ , die sich aus der Beobachtung und die sich aus der Berechnung nach dem Einsteinschen Gesetz ergeben, gegenübergestellt. Dabei wird $\varphi_{\text{ber.}}$ nach folgender Gleichung gefunden:

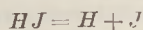
$$\varphi_{\text{ber.}} = \mu \cdot \frac{Q \cdot \lambda}{1,987 \cdot c_2} \quad (5)$$

worin μ die Zahl der durch Einwirkung der Strahlung von der Wellenlänge λ umgesetzten Moleküle, Q die Wärmetönung bei der Bildung eines Mols in Kalorien und c_2 die Exponentialkonstante des Strahlungsgesetzes ist.

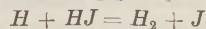
Spezifisch photochemische Wirkung
bei der Jodwasserstoffphotolyse.

λ in μ	0,207	0,253	0,282
$10^5 \cdot \varphi_{\text{beob.}}$	1,44	1,85	2,09
$10^5 \cdot \varphi_{\text{ber.}}$	0,73	0,89	1,01

Daß die berechneten Werte nur halb so groß sind wie die beobachteten, hat seinen Grund darin, daß nach der primären photolytischen Dissoziation HJ nach der Gleichung



noch die von der photochemischen Einwirkung der Strahlung unabhängige sekundäre Reaktion



vor sich geht. Gemessen wird die Ausbeute an Jod aus beiden Reaktionen, berechnet dagegen nur die photolytisch erzeugte Menge der ersten Reaktion; diese ist aber nur die Hälfte der Gesamtmenge. Demnach bestätigt dieses Beispiel das Äquivalenzgesetz quantitativ sowohl bezüglich der Zunahme der spezifisch photochemischen Wirkung φ mit der Wellenlänge der Strahlung als auch bezüglich der absoluten Größe von φ .

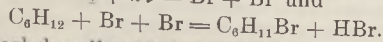
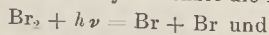
Wesentlich für die Gültigkeit des Gesetzes ist, daß die Dissoziationsenergie, d. h. die zur Zerlegung des beanspruchten Moleküls erforderliche Energie, gleich oder kleiner ist als das Energie-

quantum $h \cdot \nu$ der zur Photolyse verwendeten Strahlung. Ist Q die Dissoziationswärme pro Mol., A die Loschmidtsche Zahl, so muß nach EINSTEIN die Bedingung erfüllt sein:

$$Q \leq A \cdot h \cdot \nu.$$

Wie bei obiger Jodwasserstoffphotolyse ist dies nach WARBURG auch der Fall bei der Bildung von Ozon aus Sauerstoff von etwa 50 kg/qcm Druck durch Strahlung von der Wellenlänge 0,207 μ . Hierbei ist als primäre photolytische Reaktion anzusehen: $O_2 = O + O$ und als sekundäre $2O + 2O_2 = 2O_3$. Ferner hat WARBURG die Gültigkeit des Gesetzes von EINSTEIN nachgewiesen am gasförmigen Bromwasserstoff mit der Primärreaktion $BrH = Br + H$ und der sekundären $H + BrH = Br + H_2$ und $Br + Br = Br_2$.

Ebenso gelang es L. PUSCH (4), das Brommolekül photolytisch zu zerlegen, wobei auch das moleküll photolytisch bestätigt wurde. Einsteinsche Äquivalenzgesetz bestätigt wurde. Die Dissoziationswärme beträgt hierbei 46 000 kal. pro Mol. Um das Br-Atom nachweisen zu können, mischt er das Br mit Benzol oder Benzol oder Hexahydrobenzol und ließ auf diese Mischung die Strahlen wirken. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß diese Substanzen unter Belichtung ein Bromdampf-Wasserstoffgemisch entfärben. Die genannten Stoffe dienen also als „Akzeptoren“ für die dissoziierten Brommoleküle. Dem Vorgang entsprechen im Hexahydrobenzol die Reaktionen:



Nach derselben Methode hat W. NODDACK (4) die Zersetzung von Chlor, das in flüssigem Trichlorbrommethan als Akzeptor gelöst war, durch Licht von der Wellenlänge 0,410–0,449 μ vorgenommen und das photochemische Gesetz bestätigt gefunden. Die Reaktionen verlaufen hierbei nach den Gleichungen: primär (photolytisch): $Cl_2 = Cl + Cl$ und sekundär: $2Cl + 2CCl_2Br = 2CCl_4 + Br_2$. Auch die Zerlegung der Monochloressigsäure in wässriger Lösung, wie sie W. NODDACK und E. RUDBERG (4) vorgenommen haben, erweiterte das Material zur Bestätigung des Äquivalenzgesetzes.

Nicht bestätigt wurde das Gesetz bisher bei der Photosynthese des Chlorwasserstoffs. Zwar hat NERNST versucht, hierfür eine Erklärung auf Grund seines Wärmegesetzes zu geben, doch herrscht über den Vorgang selbst und über die Größe seiner Wärmetönung noch Unklarheit, weshalb hier von einer Besprechung derselben abgesehen werden muß. Das gleiche gilt für die Zerlegung des Bromsilbers durch Licht in der photographischen Platte. Wenn auch EGGERT und NODDACK sowie WEIGERT das Äquivalenzgesetz dabei bestätigt gefunden zu haben glauben, so wird dies von anderer Seite stark bezweifelt, zumal es P. P. KOCH (6) und STRÖMBERG gelungen ist, nachzuweisen, daß Licht auf reines Bromsilber, das nicht mit Gelatine in Berührung ist, nicht einwirkt.

Ist das aufgenommene Quantum kleiner als die zur Dissoziation des Moleküls erforderliche Energie, so hört die Gültigkeit des Äquivalenz-

gesetzes auf, wie WARBURG (2) an Ozonisierungsversuchen mit Strahlen größerer Wellenlänge u. a. nachgewiesen hat, selbst wenn man mit J. STARK, O. KLEIN und ROSSELAND sowie J. FRANCK (7) annimmt, daß das Molekül das aufgenommene Quantum an andere Moleküle, Atome oder Elektronen weitergibt. Von Bedeutung ist diese Annahme nur für die Erklärung der Sensibilisierung geworden. Man versteht darunter das Verfahren, eine Substanz für von ihr nicht absorbierte Strahlen dadurch empfindlich zu machen, daß man ihr eine andere diese Strahlenart absorbierende Substanz hinzusetzt. Erinnert sei hier nur an die Verschiebung der Empfindlichkeit der photographischen Platte ins Rote hinein durch Zusatz gewisser roter Farbstoffe (H. W. VOGEL).

Das gleiche Verfahren wandte K. F. BONHOEFFER (8) an, als er zur Desozonisierung von Ozon mit Strahlen der Wellenlänge 0,416 μ dem Ozon Chlor als Sensibilisator zusetzte. Er nahm dabei an, daß ein photochemisch beanspruchtes Chlormolekül beim Zusammenstoß mit einem Ozonmolekül dieses nach der Gleichung $O_3 = O_2 + O$ zerlegt und dann das letzte O wieder ein Ozonmolekül sekundär zerlegt nach der Gleichung $O + O_3 = 2O_2$. Unter dieser Annahme fand er bei diesem Prozeß das Äquivalenzgesetz bestätigt.

Welcher Art sind nun wohl die Zustände der Atome oder Moleküle, die durch die Einwirkung des Lichtes hervorgerufen werden? Hierüber herrscht noch große Unklarheit. W. GERLACH (5) macht, teilweise im Anschluß an STERN und VOLMER (9), einen Versuch, die Photolyse atomistisch zu deuten. Bekanntlich besteht das Wesen der Absorption nach der Bohrschen Atomtheorie darin, daß durch Zuführung von elektromagnetischer Energie ein Elektron auf eine Bahn gebracht wird, die vom Atomkern weiter entfernt liegt als die normale. Nur ganz bestimmte Bahnen sind nach BOHR möglich, nämlich nur solche, zu deren Erreichung das Elektron gerade ein Energiequantum aufnehmen muß. Befinden sich ein oder mehrere Elektronen auf höherquantigen Bahnen, so wollen wir mit GERLACH einen solchen Zustand eines Atoms einen Bohrschen Zustand nennen. Wir nehmen nun an, daß der Übergang des Atoms vom normalen in einen Bohrschen Zustand bei der Absorption von $h \cdot \nu$ und die primäre Reaktion der Photolyse das sind, was oben als photochemische Beanspruchung eines Moleküls bezeichnet wurde. Denn erst durch den Übergang des Moleküls in einen höherquantigen, also energiereicheren Zustand erhält es die ihm im nicht angeregten Zustand fehlende chemische Reaktionsfähigkeit. Die absorbierte Strahlungsenergie liefert also dem Molekül die zur Reaktion erforderliche Energie in der Weise, daß sie das normale Atom oder Molekül in einen physikalisch und chemisch veränderten Zustand überführt.

Will man sich ein Bild des Vorganges bei der photolytischen Dissoziation machen, so kann man annehmen, daß im normalen Zustand die Kräfte, die die beiden Atome zusammenhalten, durch die auf ihren normalen Bahnen kreisenden

Elektronen hervorgerufen werden. Springen diese Elektronen aber auf höhere Bahnen, so werden dadurch die Kräfte, die die Atome zusammenhalten, vermindert bzw. unter Umständen sogar aufgehoben und die Atome sind einzeln reaktionsfähig geworden. So einfach dieses Bild auch ist, so muß doch betont werden, daß zur quantitativen Diskussion, die allein nur beweiskräftig werden kann, noch die Molekulartheorie der Halogene sowie die Kenntnis ihres elektrischen und optischen Verhaltens gegen Elektronenstöße fehlt. Auf die weiteren Folgerungen aus dieser atomistischen Auffassung der photochemischen Prozesse, wie sie STERN und VOLMER (9) entwickelt haben, soll nicht weiter eingegangen werden, da hierfür noch keine experimentellen Belege vorhanden sind. Bei der Entwicklung einer Theorie der Photolyse auf Grund des Bohrschen Atommodells ist noch zu bedenken, daß es sich hier um die Absorption der Strahlung durch Moleküle handelt. Ob dabei die Energie als Rotationsenergie des Zweiatomsystems (Moleküls) oder als Schwingungsenergie oder dadurch aufgenommen wird, daß ein Elektron eines Atoms in eine höhere Bahn wie oben erläutert befördert wird, ist auch nicht entschieden. Ebenso ist auch über die Zeit, in der ein Atom in dem höherquantigen Zustand verweilen kann, ohne durch Ausstrahlung wieder in den normalen Zustand überzugehen, nichts bekannt; und doch ist gerade die Kenntnis dieser Zeit von Bedeutung, da das dissoziierte oder angeregte Atom zur weiteren Reaktion mit anderen Molekülen oder Atomen zusammentreffen muß.

Ein Rückblick auf das bisher auf diesem Gebiet Erreichte läßt erkennen, daß die Quantenhypothese für den Fall mit Erfolg auf die photochemischen Vorgänge angewandt worden ist, in dem sich die Produkte der Photolyse aus der absorbierten Strahlungsenergie vollständig berechnen lassen und die physikalischen Begleiterscheinungen der Reaktionen bekannt sind. Sofern, wie oben ausgeführt, die Dissoziationsenergie kleiner oder höchstens gleich dem absorbierten Wirkungsquantum ist, ist das photochemische Äquivalenzgesetz auch quantitativ bestätigt worden. Eine einwandfreie Darstellung der atomistischen oder molekularen Vorgänge bei photochemischen Prozessen auf Grund der Bohrschen Theorie steht aber noch aus.

Literatur.

1. A. Einstein, Ann. d. Phys. 17. 192. 1905; 37. 832. 1912; 38. 881. 1912. — Vgl. auch M. Bodenstein, Ergebnisse der exakten Naturw. 1. 210. 1921.
2. E. Warburg, Die Naturw. 12. 1058. 1924.
3. E. Warburg, Ber. d. Berl. Akad. 216. 1912; 314. 1916; 300. 1918. Zeitschr. f. Elektrochemie. 133. 1921.
4. L. Pusch, Zeitschr. f. Elektrochemie. 24. 336. 1918; W. Nernst, ebenda. 24. 335. 1918. Phys. Zeitschr. 21. 1920; W. Noddack, ebenda. 27. 359. 1921; E. Rudberg, Zeitschr. f. Physik. 24. 247. 1924.
5. W. Gerlach, Die experimentellen Grundlagen der Quantentheorie. Braunschweig S. 120. 1921.
6. P. P. Koch und F. Schrader. Zeitschr. f. Phys. 6. 126. 1921; R. Strömberg, Zeitschr. f. wissenschaftl. Photogr. 22. 165. 1923.
7. J. Stark, Phys. Zeitschr. 9. 898. 1908; O. Klein und S. Rosseland, Zeitschr. f. Physik. 4. 46. 1921; J. Franck, ebenda. 9. 259. 1922.
8. K. F. Bonhofer, ebenda. 13. 94. 1923.
9. O. Stern und M. Volmer. Zeitschr. f. wissenschaftl. Photogr. 19. 275. 1920.

4. Unterricht und Methode.

Schülerübungen im physikalischen Unterricht. Über diesen Gegenstand hat O. DOBROWOLNY in Wien auf der Innsbrucker Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte einen Vortrag unter dem Titel „Ein neuer Weg im physikalischen Unterricht“ gehalten.

Der Vortragende hat die Übungen als Arbeitsunterricht zur Grundlage des Unterrichts in der III. und IV. Klasse einer kurz vor dem Kriege gegründeten Realschule (bei uns Realgymnasium) gemacht, die nur über eine dürftige Apparatsammlung verfügte, und der es namentlich an besonderen Geräten für die Übungen völlig mangelte, so daß ein Arbeiten in gleicher Front ganz ausgeschlossen war. Es wurden die Klassen, die 30 Schüler umfaßten, in Abteilungen von je 15 geteilt, die getrennt von einander einmal in der Woche während zweier zusammenhängender Stunden übten, und zwar so, daß diese jedesmal Eckstunden (8–10 oder 11–1) waren. Jede Abteilung war in 5 Gruppen von je 3 Schülern geteilt, die mit 5 verschiedenen Aufgaben beschäftigt werden mußten, da für jede Aufgabe immer nur ein Apparat vorhanden war. So wurden in der IV. Klasse zu Anfang drei Aufgaben aus der Statik und zwei aus der Bewegungslehre gegeben; dabei wurde die Selbständigkeit der Schüler nur insoweit gewahrt, als sie nicht

in ein uferloses Suchen und zufälliges Erraten ausartete. Die Führung durch den Lehrer war also in mehr oder minder hohem Grade erforderlich; doch zeigte sich, daß wenn einmal an einer einfachen Maschine unter Mithilfe gearbeitet war, alle übrigen Maschinen selbständig behandelt werden konnten und daß die Bestimmung der spezifischen Wärme von Messing nach der Mischungsmethode von einigen Gruppen ohne Zutun des Lehrers ausgeführt werden konnte. Wurde eine Gruppe in einer kürzeren Zeit als zwei Stunden fertig, so wurde der Rest der Zeit durch Besprechung des Ergebnisses, eine Rechnung oder eine bereitgehaltene Reserveaufgabe ausgefüllt. In gewissen Zwischenräumen wurden Stunden lediglich zur Zusammenfassung des Stoffgebietes eingeschaltet.

Die schriftlichen Aufzeichnungen der Schüler betrachtet der Vortragende als einen ebenso wichtigen Teil der Schülerarbeit wie das Experiment selbst und hält sie für geeignet, den Teil des Sprachunterrichts, der sich mit der Bildung des Stils beschäftigt, in neue fruchtbare Bahnen zu lenken. Die schriftliche Wiedergabe zwingt zu konzentriertester Besinnung und auf diese komme es vor allem und überhaupt an. Den Schülern erschien diese Aufgabe weit schwerer als das Experimentieren, aber sie führten sie nach und

nach mit größtem Ernst und auch immer größerem Erfolge durch. Der Vortragende beruft sich hierzu auf einen Ausspruch von O. SPENGLER in seinem Buche „Der Neubau des deutschen Reiches“, wo er die Gründe darlegt, weshalb kein zweites Volk seine Muttersprache so elend spricht und schreibt wie das deutsche. „Keine feierliche Disposition, sondern das zwanglose Hinschreiben in einem Zuge, weil man die Sache selbst im Kopfe hat, das ist der Weg zum guten, d. h. selbstverständlichen Stil.“

Bei der praktischen Durchführung der Übungen hält der Vortragende zwei Maßnahmen für notwendig; er untersagt den Schülern, die Ergebnisse einer Gruppe den andern mitzuteilen und er verbietet den Gebrauch des Lehrbuches, das er den Schülern zum Beginn des Schuljahres sogar abnimmt, da die abstrakte Fassung des Lehrbuches leicht bei den Schülern Verwirrung erzeuge und die Auffassung des wirklich Erfahrungsmäßigen erschwere.

Dem Einwand, daß durch die Teilung in Gruppen die Gemeinschaftlichkeit der Arbeit gestört werde, begegnet der Vortragende mit dem Hinweis, daß auch die Gruppenteilung eine kleinere Arbeitsgemeinschaft ermögliche. Den Einwand einer zu großen Forderung an die Arbeitskraft des Lehrers widerlegt er durch sein eigenes Beispiel. Den Einwand endlich, daß bei dieser Methode ein so geringes Quantum von Lehrstoff „absolviert“ werde, erledigt er durch Betonung des Erziehungswertes, der seinem Verfahren innewohne. „Nicht das Wissen an und für sich ist das Wertvolle, sondern wie man

es erworben hat“. Nicht auf die Breite, sondern auf die Tiefe des Wissens komme es an. Auch sei es ihm gelungen, den vorgeschriebenen Lehrstoff im Einklang mit dem bestehenden Lehrplan in 40 Wochen oder 80 Übungsstunden zu bewältigen. —

Für die Oberstufe (Klasse VI) will der Vortragende so verfahren, daß er im ersten Halbjahr nur die Experimente anstellen läßt, im zweiten erst die für alle gemeinsame mathematische Betrachtung vornimmt. Bei der Nachhaltigkeit der durch eigene Versuche gewonnenen Eindrücke dürfe diese Teilung sich als unbedenklich erweisen. (Seine im Laufe des Winters gemachten Erfahrungen bestätigen diese Erwartung.) Der Verfasser schließt: „Wir leben in einer Zeit des Umsturzes auf allen Gebieten. Die Schule kann nicht am alten Flecke stehen bleiben. Sie stürzt mit und braucht die Männer, die sie mit aufrichten. Wir wollen alle Kraft zusammennehmen, um gute Baumeister zu sein, die sich ihrer Verantwortung um die Zukunft unseres nach neuem Leben ringenden Volkes bewußt sind.“ —

Es darf freilich nicht verschwiegen werden, daß die auf der Unterstufe angewandte Methode des Verfassers nur ein Notbehelf ist, der uns älteren, aus der ersten Zeit der Schülerübungen in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts wohlbekannt ist. Es ist durchaus anzustreben, daß überall, wo so frische Kräfte sich regen, auch die Mittel beschafft werden, um gemeinsame Übungen aller Schüler einer Klasse an derselben Aufgabe „in gleicher Front“ zu ermöglichen.

P.

5. Technik und mechanische Praxis.

Der Frequenzbereich von Sprache und Musik. Von K. W. WAGNER (*E.T.Z.* 45. Heft 19, 8. Mai 1924). Schon HELMHOLTZ hatte die Theorie aufgestellt, daß jeder Vokal den ihm eigentümlichen Klang dem Vorhandensein eines Tones oder mehrerer Töne von bestimmter absoluter Tonhöhe verdankt; für diese Beiröne hat der Physiologe HERMANN die treffende Bezeichnung „Formant“ geprägt. Diese Formanten haben jedoch keine ganz feste Schwingungszahl, sie verschieben sich vielmehr innerhalb eines gewissen Tonbereiches so, daß sie stets harmonisch zu dem jeweiligen Grundton bleiben. Dazu treten noch die für die Stimme des Singenden oder Sprechenden charakteristischen Obertöne, so daß es überaus schwierig war, die Richtigkeit der genialen Helmholtz'schen Theorie nachzuweisen; dies ist erst in neuester Zeit durch die Untersuchungen von CARL STUMPF (*Sitz.-Ber. d. preuß. Akad. d. Wiss.* 1918 u. 1921) und von D. C. MILLER (*The Science of musical sounds*, 2. ed., New York 1922) gelungen. Analysiert man den Klang des Vokals *a* in verschiedenen Tonlagen von 105 Hertz (Baß) bis 560 Hertz (Sopran), so findet man, daß stets der Hauptanteil der Schwingungsenergie auf das Frequenzgebiet um 900 Hertz entfällt. In Fig. 1 bezeichnet der kleine Kreis am An-

fang jeder Kurve den Grundton, die übrigen Punkte entsprechen den Obertönen; ähnliche charakteristische Formantregionen ergeben sich bei allen übrigen Vokalen und Doppellauten: so bei *i* zwei derartige Regionen bei 320 und 3100 Hertz. In

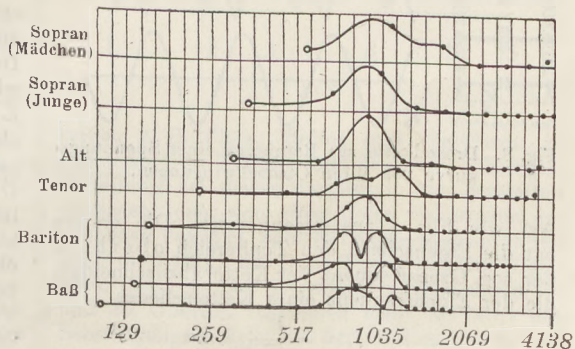


Fig. 1. Formantbereich des Vokals *a* in verschiedenen Tonlagen.

Fig. 2 sind die Hauptformanten zusammengestellt. Der sichere Nachweis, daß die Vokale aus den angegebenen Tönen bestehen, ist von STUMPF wie von MILLER durch die schon von HELMHOLTZ benützte Methode der Synthese erbracht worden,

indem sie jeden Vokal aus einfachen Pfeifentönen zusammensetzten. Es hat sich endlich gezeigt, daß es auch für die Konsonanten derartige Formantengebiete gibt, die etwa zwischen 900 und 4000 liegen und bei deren Ausfall der Konsonant unkenntlich oder doch stark verändert wird, durch deren Hinzutritt dagegen der Laut schärfer gekennzeichnet wird.

Besondere Bedeutung haben diese Ergebnisse für die Technik der Tonübertragung beim Fern-

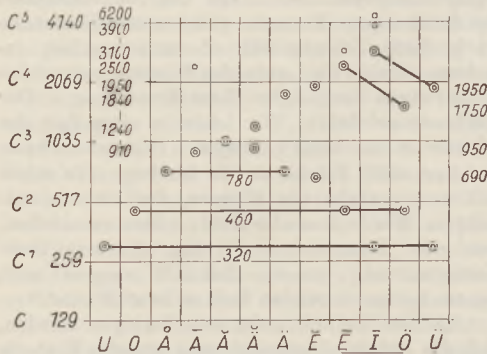


Fig. 2. Zusammenstellung der Formante der Vokale.

sprechen und bei der Radioübertragung gewonnen. Von dieser Seite her ist die Zusammensetzung der Vokale durch K. W. WAGNER mit ganz neuartigen Mitteln untersucht worden. Er bediente sich dazu der „Drosselketten“ und „Kondensatorketten“. Eine Drosselkette ist aus Selbstinduktionen und Kondensatoren in der aus Fig. 3 ersichtlichen Art, eine Kondensator-

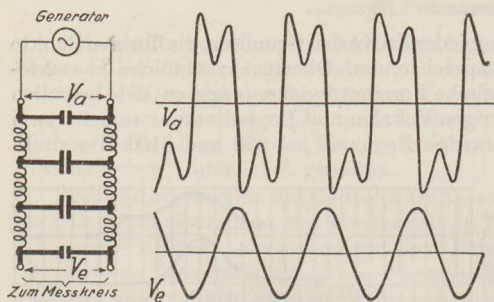


Fig. 3. Drosselkette zur Reinigung einer Spannungs-kurve von ihren Oberschwingungen.

Art wie Fig. 4 zusammengesetzt. Die erstere hat die Eigenschaft, den Tonbereich oberhalb der sog. Grenzfrequenz der Kette abzuschneiden, die der Eigenfrequenz eines Kettengliedes

$$f_0 = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}$$

gleichkommt. Die Kondensator-kette dagegen schneidet alle Töne ab, deren Höhen unterhalb einer Grenzfrequenz liegen, die bestimmt ist durch

$$f_0 = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$$

Es wurde nun zur Hervorbringung von Tönen ein sog. elektrisches Klavier (Schwingungserzeuger

mit Elektronenrohr) benutzt, bei dem durch Tasten verschiedene Schwingungskreise eingeschaltet werden, deren Frequenzen den Tönen einer Oktave entsprechen. Daneben war noch eine Taste für einen ganz hohen Ton und eine solche für einen ganz tiefen Ton vorhanden. Die Töne konnten durch einen Lautsprecher hörbar gemacht werden. Schaltete man in die Verbindung zum Lautsprecher die Drosselkette ein mit einer Grenzfrequenz, die etwas oberhalb des erwähnten Oktavenintervalls lag, so verschwand der hohe Ton, wenn er angegeben wurde, vollständig, die Töne der Oktave aber klangen sehr weich und flötenartig, weil ihre Obertöne auch durch die Drosselkette unterdrückt wurden. Ersetzte man dann die Drosselkette durch eine Kondensator-kette von gleicher Grenzfrequenz, so blieb der hohe Ton unverändert, in den Tönen der Oktave dagegen war der Grundton unterdrückt und die Obertöne allein noch hörbar. Eine graphische

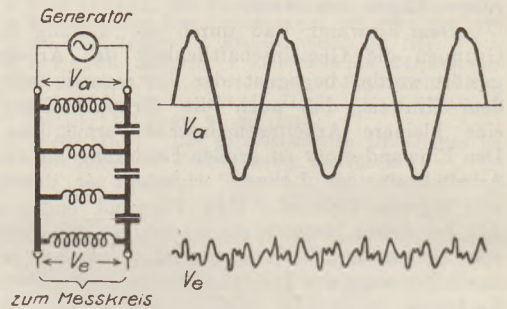


Fig. 4. Abdrosselung der Grundschwingung einer verzerrten Spannungs-kurve mittels Kondensator-kette.

Darstellung beider Arten von Vorgängen zeigen Fig. 3 und 4, wo V_a die ursprüngliche, V_e die Restschwingung bedeuten.

Schaltete man nun eine Drosselkette in eine Fernsprecheinrichtung ein, die aus einem im Nebenzimmer stehenden Aufnahmeapparat, einem Verstärker und dem hier befindlichen Lautsprecher besteht, und spricht in den Aufnahmeapparat Vokale, wobei die Grenzfrequenz der Drosselkette von oben her allmählich erniedrigt wird, so hört man die Vokale sich verändern. Z. B. verwandelt sich das E beim Abbau von oben herab in ein Ö, das zuerst nach E, später nach O anklängt. Bei 1300 Hertz ist ein reines O übrig geblieben; zuletzt geht dieses in ein leises U über. Auch von den anderen Vokalen bleibt unterhalb etwa 400 Hertz nur ein U übrig. Stellt man die Grenzfrequenz der Drosselkette auf etwa 1100 Hertz, so bleiben die dunklen Vokale bis zum A ein schließlich vollkommen erhalten. Dagegen bleiben von den helleren Vokalen nur die unteren Formanten übrig: somit geht Ä in AO, E in O, I in U über, ferner Ö in O und Ü in U.

Mit Hilfe der Kondensator-kette ist es anderseits möglich, die tiefen Tonkomponenten zu unterdrücken und dadurch die höheren Töne unmittelbar hörbar zu machen. Z. B. unterdrückt eine Kondensator-kette mit der Grenzfrequenz

1200 Hertz die Vokale *U*, *O* und *AO* vollständig, von *A* ist noch ein Rest leise hörbar; *A*, *E*, *I*, *Ö* und *Ü* werden bedeutend heller, ihr Klangcharakter bleibt aber vollständig erhalten.

Aus den Feststellungen über die Zusammensetzung der einzelnen Sprachlaute ergeben sich wichtige Schlußfolgerungen über den Einfluß des Frequenzbereiches auf die Verständlichkeit beim Fernsprechen. Zur vollkommenen Wiedergabe aller Feinheiten der Sprache sind die Schwingungen zwischen 100 und 10000 Hertz

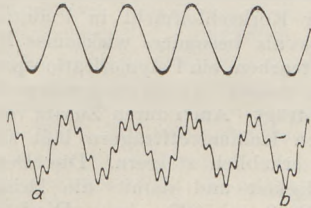


Fig. 5. Schwingungen der Stimmgabel.

erforderlich. Es wäre schwierig und jedenfalls recht kostspielig, die Sprechapparate und Leitungen für diesen weiten Frequenzbereich zu bauen. Glücklicherweise kann man auf den Tonbereich zwischen 4000 und 10000 Hertz verzichten, ohne daß die Güte und Verständlichkeit der Sprache merklich leidet.

Die Versuche zeigen und die Erfahrung hat gelehrt, daß die Fernsprechapparate und Leitungen Schwingungen bis etwa 3000 Hertz gleichmäßig

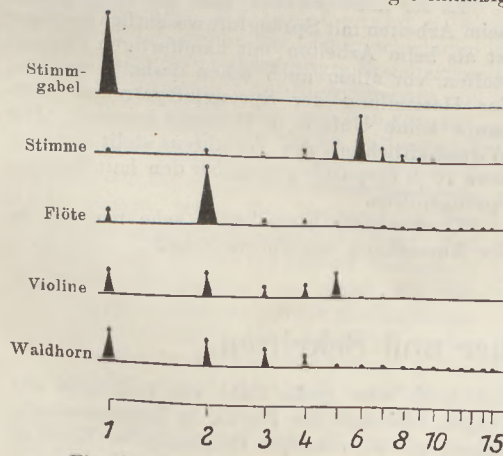


Fig. 6. Teiltöne und Energieverteilung in verschiedenen Schallquellen.

aufnehmen, fortleiten und wiedergeben müssen, wenn eine wirklich gute Verständigung erzielt werden soll. Beim Gesang wird eine gewisse Verfärbung der hellen Vokale und eine Abschwächung der Schärfe der Konsonanten weniger störend empfunden, so daß man die Wiedergabe noch kaum für beeinträchtigt hält, wenn der Tonbereich oberhalb 2000 durch die Drosselkette unterdrückt wird.

Höhere Anforderungen an die Genauigkeit der akustischen Übertragung, namentlich der

Instrumentalmusik, stellt der Rundfunk, da hier sowohl tiefere wie auch höhere Töne als bei der Sprache auftreten und der Klangcharakter der Instrumente möglichst erhalten bleiben soll, wofür die Wiedergabe von Tönen hoher Ordnung erforderlich ist, sowie von Begleitgeräuschen, denen wie den Konsonanten Tonbereiche hoher Frequenz entsprechen. Man hat ausklingende und andauernde Schwingungen zu unterscheiden, die ersteren entstehen beim Anschlagen schwingungsfähiger Körper (Stimmgabel, Glocke, Klavier)

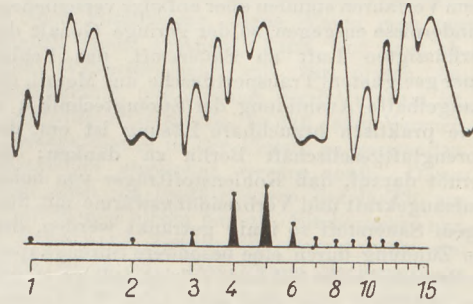


Fig. 7.

und haben im allgemeinen unharmonische Obertöne; die letzteren sind Eigenschwingungen, die z. B. durch Anblasen von Luftsäulen oder durch Anstreichen von Saiten entstehen, diese enthalten oft eine reiche Zahl harmonischer Obertöne und sind rein periodische Vorgänge.

Eine Stimmgabel zeigt bei weichem Anschlag eine reine Sinusbewegung, bei hartem Anschlag eine Kurve, bei der schon die erste Oberschwingung mit 6,25facher Frequenz des Grundtons bewirkt, daß eine bestimmte Schwingungsform erst nach etwa 4 Grundperioden wiederkehrt (*a* und *b* in Fig. 5). Andauernde Schwingungen rein harmonischen Charakters mit reichen Obertönen

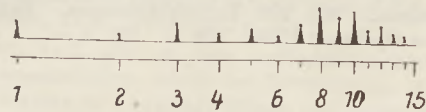


Fig. 8.

zeigen z. B. Flöte, Violine und Waldhorn; in Fig. 6 sind die Teiltöne und die relative Energieverteilung bei diesen dargestellt (der Stimmtone entspricht dem von einer tiefen Baßstimme gesungenen Vokal *a*). Zahlreiche Obertöne enthalten auch die Klänge der Oboe (Fig. 7) und der Klarinette (Fig. 8); bei der ersten machen der 8., 9. und 10. Oberton zusammen mehr als 50% der Schwingungsenergie, bei der zweiten der 4. und 5. Teilton etwa zwei Drittel der Schwingungsenergie aus. Man erkennt hieraus die Bedeutung der Beibehaltung der Obertöne für die Wiedergabe des Klanges. Waldhorn und Piston büßen ihren schönen vollen Klang vollkommen ein, wenn man mittels der Drosselkette den Tonbereich beim ersten auf 800 Hertz, beim zweiten auf 1300 Hertz einschränkt. Im allgemeinen ist es

für eine einigermaßen getreue Wiedergabe der Musik erforderlich, den Tonbereich von 30 bis 10000 Hertz zu übertragen. Dieser Forderung vermögen die Aufnahme- und Wiedergabeapparate zu genügen, die von der Siemens & Halske A.G. hergestellt werden. P.

Das Sprengluftverfahren¹⁾. Der Gedanke, zum Sprengen mit flüssiger Luft getränkte Kohlenstoffträger zu verwenden, rührt von CARL VON LINDE, dem Erfinder der Eismaschinen her. Dem Verfahren standen aber anfangs verschiedene Hindernisse entgegen, so der geringe Gehalt der verflüssigten Luft an Sauerstoff, das Fehlen einer geeigneten Transportflasche aus Metall, die mangelhafte Ausbildung der Sprengtechnik u. a. Eine praktisch brauchbare Lösung ist erst der Sprengluftgesellschaft Berlin zu danken; sie beruht darauf, daß Kohlenstoffträger von hoher Aufsaugkraft und Verbrennungswärme mit flüssigem Sauerstoff so innig getränkt werden, daß die Zündung durch eine besondere Sprengkapsel im Bruchteil einer Sekunde erfolgt, infolge wovon das gebildete Gas eine sehr hohe Temperatur besitzt und eine sehr hohe Sprengkraft entwickelt. Der Kohlenstoffträger wird in Patronenhülsen von durchlässigem Fließpapier kurz vor der Sprengung in flüssigen Sauerstoff getaucht und in getränktem Zustand in das Bohrloch eingeführt.

Für die Wirtschaftlichkeit einer Sprenganlage ist die Konstruktion der Transportgefäße für flüssigen Sauerstoff, die in der Regel 15 l enthalten, von Bedeutung, sie bestehen aus Messing und Neusilber, haben Kugelform mit langem Hals und sind in ein Mantelgefäß aus verzinktem Stahlblech unter Zwischenlagerung einer langen Spiralfeder eingebaut, so daß sie leicht auf und nieder schwingen können. Der Verlust durch Ver-

¹⁾ Nach Leopold Lisse, Das Sprengluftverfahren. Mit 108 Textabbildungen. Berlin, Julius Springer 1924. 109 S. Mk. 5.—

dampfung ist gering, er beträgt bei einer 15-Liter-Flasche in 24 Stunden nur 9%. Kurz vor der Sprengung wird der flüssige Sauerstoff in zylindrische oder rechteckige Tränkgefäße gefüllt, in denen sich die Patronen bereits befinden, die sich nur langsam mit dem flüssigen Sauerstoff unter Entweichen der in ihnen befindlichen Luft durchtränken. Die Patronen werden darauf in besonderen, gut isolierten, geschlossenen Traggefäßen „vor Ort“ gebracht.

Als Kohlenstoffträger benutzt man Ruß von besonderer Herstellungsart, harzfreies Holzschleimel oder Korksleimel in Puderform, und neuerdings als besonders wirksames Mittel das Sprengluftcarben, ein Polymerisationsprodukt des Acetylens, dessen Verbrennungswärme 9757 Kal. pro kg beträgt. Auch durch Zusatz von Carben zu anderen Kohlenstoffträgern läßt sich deren Wirkung erheblich steigern. Die Detonationsgeschwindigkeit und damit die Brisanz liegt zwischen 3000 und 5000 m/sec. Die Länge einer Patrone beträgt 300 mm, der Durchmesser nicht unter 30 mm. Zum Zweck der Zündung hat man in die Patronen schon vor dem Tränken mit Sauerstoff ein Röhrchen aus Pappe oder Metall eingeführt; in dieses schiebt man eine Sprengkapsel, die aus Resorzinat (D.R.P.) mit Aluminiumhülse besteht, und an die eine Zündschnur oder eine elektrische Zündleitung herangeführt wird; andere Sprengkapselfüllungen sind Knallquecksilber, Tetryl mit Knallquecksilber, Nitrokörper mit Knallquecksilber.

Es sei noch erwähnt, daß die Unfallgefahr beim Arbeiten mit Sprengluft wesentlich geringer ist als beim Arbeiten mit handfertigen Sprengstoffen, vor allem auch schon deshalb, weil bei der Herstellung der Sprengluftpatronen überhaupt keine Unfälle in Betracht kommen. Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens stellt sich auf etwa 70% Ersparnis gegenüber den handfertigen Sprengstoffen.

Über weitere Einzelheiten sehe man die in der Anmerkung angeführte Schrift. P.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Probleme der Astronomie. Festschrift für HUGO VON SEELIGER zum fünfundsiebzigsten Geburtstag. Mit 58 Abbildungen, 1 Bildnis und 3 Tafeln. IV u. 475 S. Berlin, Julius Springer, 1924. GM. 45.—

Wie schon der Titel zeigt, geht diese Schrift über den Rahmen einer üblichen Festschrift hinaus, sie gibt ein Gesamtbild von Hauptproblemen der heutigen astronomischen Forschung. Unter den 36 Mitarbeitern befinden sich namhafte ausländische Astronomen, neben österreichischen, holländischen, schwedischen, dänischen auch englische und amerikanische. Den Reigen eröffnet J. H. JEANS (London) über „*The Origin of the Solar System*“ (vgl. den Bericht in diesem Heft S. 93), ihm schließt sich EDDINGTON (Cambridge), „*The Interior of a Star*“ an. Außer diesen bezieht

sich noch eine große Zahl von Beiträgen auf Fragen, die mit der Physik in Zusammenhang stehen, wie die ruhenden Calciumlinien (KIENLE), effektive Wellenlängen der Sterne (EBERHARD), Strahlungsgleichgewicht der Sterne (v. ZEIPPEL), die Verteilung der Leuchtkräfte der Sterne (VAN RHIJN), die Verteilungsfunktion der absoluten Helligkeiten in ihrer Abhängigkeit vom Spektrum (HESS), die Verteilungsfunktion der absoluten Leuchtkräfte und die Grenzen des Sternsystems (SAMETINGER), Strahlungsgleichgewicht und Helligkeitsverteilung der Sonnenphotosphäre (EMDEN), Reizempfindungsgesetz und Farben-gleichung (E. ZINNER), lichtelektrische Photometrie (GUTHNICK), Ionisation und Atomtheorie (SCHNAUDER †). Andere Beiträge gehören der rein messenden und rechnenden Astronomie an;

man erfährt, daß die Capteinsche Theorie der zwei Sternströme aufgegeben werden muß (KOHLSCHÜTTER), daß die Forschungen über die Eigenbewegungen der Sterne noch sehr revisionsbedürftig sind (GROSSMANN), daß gewisse Sternleeren in der Milchstraße auf hypothetische Wolken zurückzuführen sein dürften (M. WOLF), daß wir uns von den Durchmessern der Fixsterne auf Grund des Strahlungsgesetzes bereits ein klares Bild machen können (BOTTLINGER) und vieles sonst. Über die Probleme der rechnenden Himmelsmechanik gibt BRENDL eine anschauliche Übersicht; ein kurzer Beitrag von H. KOPFF behandelt die Weiterentwicklung der Weltgeometrie (Relativitätstheorie) durch Zuordnung der Gesamtheit physikalischer Erscheinungen zu einem einzigen Tensorfeld. Vieles andere muß aus Rücksicht auf den Raum hier unerwähnt bleiben.

Der Gefeierte ist zwei Monate nach seinem 75. Geburtstag durch einen Herzschlag dahingerafft worden.

P.

Relativitätstheorie und Philosophie. Von Dr. HANS DRIESCH, ord. Prof. an der Universität Leipzig. „Wissen und Wirken“ Bd. 14. Karlsruhe, G. Braun G. m. b. H., 1924, 52 S. Geh. Mk. 1.—.

Der bekannte Philosoph stellt sich mit dieser Arbeit in die Reihe derer, die im Namen der Philosophie gegen die „naturlogische Ausdeutung“ der Tatsachen in der Relativitätstheorie Stellung genommen haben. Bei der speziellen R.-Th. ist es, wie bei Kraus, Müller, Lenard u. a., das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, das ihm als eine unberechtigte Erweiterung des Michelsonschen Versuchsergebnisses erscheint. Dieser Versuch zeigt nur, daß vom mitbewegten System (Erde) aus und bei mitbewegter Lichtquelle die Lichtgeschwindigkeit nach allen Seiten konstant ist; er gibt aber nichts über diese Geschwindigkeit, wenn die Beobachtung von einem anders bewegten System aus erfolgt. Man sollte daher den Michelsonschen Versuch — in „normaler Ausdeutung“ — durch die Mitführung des Äthers oder auch durch eine Emissionstheorie (Ritz) erklären. — Demgegenüber ist aber festzuhalten, daß der Fizeausche Versuch keine Mitführung des Äthers zeigt und die Beobachtungen de Sitters keine Abhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von der Bewegung der Lichtquelle ergeben haben. Nicht 1905, aber heute ist das Prinzip als durch Erfahrung begründet anzusehen, wie Thirring ausgeführt hat. Daß in ihm außerdem noch Definitionen stecken, hat Reichenbach in seinem letzten Buche nachgewiesen. Mit diesen Feststellungen erledigt sich der schwerwiegende Einwand DRIESCHS, daß die R.-Th. kein „Naturgesetz“ gibt, sondern nur der Ausdruck für die Beschränktheit der menschlichen Forschungsmittel ist, die uns z. B. nicht gestattet, absolute Bewegung festzustellen, obwohl wir sie logisch eindeutig denken können und müssen. Nicht berührt wird dadurch das, was D. sonst an philosophischen

Einwänden bringt (gegen die Verräumlichung der Zeit, gegen die „vielen“ Zeiten, gegen die Übertragung des Relativitätsgedankens auf die Wertlehre). Ebenso wie die spezielle wird die allgemeine R.-Th. abgelehnt, und zwar wegen der Verwendung nichteuklidischer Maßbeziehungen. Nach D. ist die Metageometrie eine logische Relationstheorie von sehr allgemeinem Charakter, aber nicht „Lehre vom Raum“, nicht Geometrie. Nur die analogiehafte Übertragung des Krümmungsbegriffs täuscht geometrische Verhältnisse vor. Der Raum ist wie die Farbe eine Qualität, eine reine Anschauung, deren Wesen man nur erschauen (nicht ansehen!) kann, und „mit absoluter Wesensevidenz“ gilt für diesen Anschauungsraum, der zugleich der Naturraum ist, die euklidische Geometrie, so daß jeder Versuch, die Metageometrie in der Physik zu verwenden, grundsätzlich abgelehnt werden muß. Daran können auch die Bestätigungen der R.-Th. aus der Astronomie nichts ändern. Sie beweisen nur, daß Einsteins Lehre rein formal nicht unmöglich ist (S. 48). Das formal Mathematische ist überhaupt bei Einstein zu stark ausgeprägt. Diese Physik ist „wirklichkeitsarm“, wie die axiomatisch behandelte Geometrie „wesensarm“ ist. „Ursachen-Forschung“ muß das Aufsuchen funktionaler Beziehungen ersetzen, wenn man nicht immer einen Teil für das Ganze ausgeben will. Hier muß die Philosophie das Regulativ für wissenschaftliche Lehren bilden. — Man wird diesen Ansichten in vieler Hinsicht zustimmen können, ob aber die Ablehnung metageometrischer Beziehungen in der Natur auf Grund der Evidenz überzeugend ist, darf wohl bezweifelt werden. Auch bleibt die Frage unerörtert, ob nicht die Forderung einfacher mathematischer Formulierung die Verwendung der nichteuklidischen Geometrie doch angezeigt sein läßt. Sellien.

Newton oder Einstein? Von Prof. F. HUBER. Leitmeritz, 1924. Selbstverlag. 64 S.

Der Verf. gibt in dem vorliegenden Heft einen anschaulichen Abriss der Entwicklung, die von Newton zu Einstein führte, und bespricht kurz neben den physikalischen auch die erkenntnistheoretischen und erkenntnispsychologischen Gründe, die bei den einzelnen Theorien eine Rolle spielten. Nur beim Michelsonschen Versuch wäre es vielleicht besser gewesen, die tatsächlich beobachteten Interferenzstreifen zu erwähnen und darauf hinzuweisen, daß nur bei der Drehung der Apparatur um 90° die Verschiebung der Streifen nicht in der theoretisch zu erwartenden Größe auftrat. — Des Verfassers eigener Weg zur Lösung der Schwierigkeiten besteht darin, daß die Zeit ungeändert bleibt, dafür aber die Lichtgeschwindigkeit c transformiert wird. Wie in der R.-Th. sucht der Verf. eine Transformationsgruppe, die den Ausdruck $x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$ invariant läßt, und findet, da er t nicht ändern will, eine der Lorentz-Transformation ähnliche Beziehung:

$$x' = k(x - vt); y' = y; z' = z; t' = t;$$

$$c' = k \left(c - \frac{vx}{ct} \right),$$

wobei k den bekannten Wert $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ hat.

Über die „Kürze und Einfachheit“ der gegebenen Ableitung, die analog der bei der Lorentz-Transformation ist, kann man allerdings anderer Meinung sein. (Man vergleiche die Ableitungen bei Planck und Einstein selbst!) Bei den angegebenen Gleichungen bleiben Raum und Zeit im Newtonschen Sinne erhalten, die Lorentz-Kontraktion ist nur scheinbar, aber das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ist nicht erfüllt. Dieses Prinzip ist aber heute bereits als eine bestimmte Folgerung aus Tatsachen anzusehen. *Sellien.*

Die Methoden der theoretischen Physik. Von FELIX AUERBACH. Mit 150 Figuren. 436 S. Leipzig. Akadem. Verlags-Ges. m. b. H., 1925. Mk. 13.—, geb. Mk. 15.—.

Das Werk will dem Studierenden eine allgemeine methodische Einführung bieten, ehe er zu dem Studium einzelner Gebiete der theoretischen Physik übergeht. Als Ziel der theoretischen Physik wird die Beschreibung der Tatsachen in so einfacher Weise, wie es mit der Vollständigkeit vereinbar ist, und wesentlich in mathematischer Form angesehen; erkenntnistheoretische Erwägungen, wie etwa über die Beziehungen der physikalischen Begriffe zum Kausalbegriff, treten ganz zurück, obwohl an einer Stelle, bei den Gleichungen höherer Grade, an letzteren angeknüpft wird. Die Einteilung des Stoffes geschieht ganz nach mathematischen Gesichtspunkten, auf kurze Darlegungen über die Begriffe und Prinzipien und die „wortsprachliche“ Methodik folgen Kapitel über elementare Gleichungen, über Differenzen-, Differential- und Integralrechnung, über gewöhnliche und partielle Differentialgleichungen, über Integral- und Funktionalgleichungen, über Molekulartheorie und statistische Methode, über geometrische, graphische und Vektormethoden. Eine solche Übersicht über die mathematischen Methoden gewährt dem Anfänger zugleich einen Ausblick in die Zusammenhänge, die sich bei formaler Gleichheit zwischen verschiedenen Gebieten eröffnen, aber andererseits treten gedankliche Zusammenhänge und sachliche Einsichten in das Wesen der theoretischen Physik dabei doch vielleicht etwas zu sehr zurück. *P.*

Die Physik. Von Dr. LEO GRAETZ. 2. verb. u. verm. Aufl. Mit 395 teils farbigen Abbildungen und 12 Tafeln. XII + 582 S. Berlin, de Gruyter & Co., 1923.

Dem sehr verbreiteten und beliebten Buche des Verf. „Die Elektrizität“ stellt sich dieses Werk würdig zur Seite. GRAETZ versteht es ausgezeichnet, einen naturwissenschaftlichen Gegenstand wissenschaftlich und doch allgemeinverständlich darzustellen. Dabei befaßt sich das Werk durchaus nicht etwa nur mit denjenigen

Seiten der Physik, die an der Oberfläche liegen; es bringt z. B. Betrachtungen über Energiequanten, Balmer'sches Gesetz, Ultramikroskop u. dgl. Der Verf. verwahrt sich mit Recht dagegen, daß ihm die Nichtberücksichtigung vieler Gegenstände zum Vorwurf gemacht werde. Über die Wahl kann man natürlich streiten. Dem Ref. erscheint es z. B. als ein Mangel, daß das Prinzip von der Erhaltung des Stoffes nicht erwähnt wird.

Während Papier und Druck gut sind, kann man das leider von den Abbildungen nicht immer behaupten, am wenigsten von den farbigen Tafeln; der schwarze Untergrund und die Farbenplatte decken sich bisweilen nur recht mangelhaft, und die Farbenwiedergabe pflegt in anderen Werken viel besser zu sein. Doch werden diese Mängel durch den Genuß, den die Darstellung gewährt, mehr als ausgeglichen. *Sp.*

Die Physik und ihre Bedeutung für die Menschheit. Von O. D. CHWOLSON. Aus dem Russischen übersetzt von GEORG KLUGE. Mit 33 Abbildungen. 277 S. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn A.-G., 1924. Mk. 10.80.

Das Werk gehört einer Reihe von Schriften an, die auf Anregung von M. GORKI herausgegeben sind, um die Verbreitung volkstümlicher Bildung zu fördern. Der Verfasser sieht den Hauptnutzen der Physik in der Befriedigung des Bequemlichkeitsbedürfnisses der Menschheit. Wenn man dieses Wort auch „im weitesten Sinne“ versteht, so dürfte damit doch nur eine mehr beiläufige Seite des Wertes der Physik bezeichnet sein, der vielmehr auch in praktischer Hinsicht eine ungemaine Steigerung des gesamten menschlichen Lebensinhalts bedeutet. Der Verfasser hebt aus diesem nur die Bereicherung des menschlichen Wissens hervor und widmet diesem dann allerdings fast den ganzen Inhalt des Buches. Mit großem Geschick versteht er es, die Grundlagen der Forschung allgemeinverständlich darzustellen und ihre Hauptergebnisse in das rechte Licht zu setzen. Namentlich auch das schwierige Kapitel des zweiten Hauptsatzes und der Entwertung der Energie ist wenigstens dem Bereich der Begreiflichkeit nähergerückt. Angesichts der Aussicht auf den Wärmetod der Welt vermag freilich auch der Verfasser keine befriedigende Auskunft zu geben. In der Frage des Weltäthers nimmt er den Standpunkt ein, daß die Wissenschaft den Äther nicht mehr braucht. Er läßt es aber unerklärt, wie man sich in der elektromagnetischen Lichttheorie die Kräfte im Raum denken soll. „Der Entstehungsmechanismus der elektrischen und magnetischen Feldspannungen ist nicht aufgedeckt worden.“ „Der Weltraum ist ein elektromagnetischer Raum und darin besteht seine primäre Grundeigenschaft.“ Ein Weltmedium ist nicht möglich und auch nicht erforderlich, „wenn man diese Eigenschaft als etwas Vorhandenes, Gegebenes betrachtet“. Diese Auffassung wird dem „gesunden Menschenverstand“ schwerlich einleuchten. Besonders verlogen sind im übrigen die Kapitel über Wärme, Strahlungsenergie, Struktur und Zerfall der Atome. *P.*

Einführung in die theoretische Physik. Mit besonderer Berücksichtigung ihrer modernen Probleme. Von ARTHUR HAAS, a. o. Prof. an der Universität Wien. II. Band. Mit 79 Abbildungen im Text und auf 2 Tafeln. 3. und 4. völlig umgearbeitete und vermehrte Auflage. 379 S. Berlin und Leipzig, Walter de Gruyter & Co., 1924. Mk. 8.50, geb. Mk. 10.—

In dem vorliegenden Bande ist die Theorie der Wärme, umfassend Statistik und Thermodynamik, fast unverändert geblieben. Die Relativitätstheorie ist durch Verwendung der im I. Band entwickelten Vektormethode erheblich vereinfacht worden. Eine starke Veränderung dagegen hat die Atomtheorie dadurch erfahren, daß das seither erschienene Buch des Verfassers „Atomtheorie“ mit geringen Änderungen in diese Auflage übernommen worden ist. Die schon früher gerühmten Vorzüge des Werkes, von denen der wesentlichste in der klaren Abgrenzung der mathematisch-formalen gegen die physikalisch-sachliche Seite des Gegenstandes besteht, haben u. a. den bemerkenswerten Erfolg gehabt, daß bereits eine englische Übersetzung, besorgt von T. VERSCHOYLE in Northwich, erschienen ist. Auch bei uns kann das Werk weiteren Erfolges sicher sein.

Mathematische Schwingungslehre. Von Dr. ERICH SCHNEIDER. Theorie der gewöhnlichen Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten sowie einiges über partielle Differentialgleichungen und Differenzgleichungen. Mit 49 Abbildungen. VI u. 194 S. Berlin, Julius Springer, 1924. GM. 8.40, geb. GM. 9.15.

Das Buch behandelt die Lehre der linearen Differentialgleichungen mit unveränderlichen Koeffizienten, und von den linearen Differentialgleichungen mit veränderlichen Koeffizienten nur diejenigen, die sich auf jene Differentialgleichungen zurückführen lassen. Von den partiellen Differentialgleichungen wird nur gezeigt, wie man sie in gewöhnliche Differentialgleichungen umwandeln kann. Von den Differentialgleichungen mit unveränderlichen Koeffizienten wird dargetan, daß sie sich den Differentialgleichungen entsprechend behandeln lassen.

Das Buch bringt, wie schon der Titel sagt, nur mathematische Schwingungslehre im engsten Sinn; nicht ist gezeigt, wie man, auf physikalische Tatsachen und Annahmen gestützt, die Differentialgleichungen aufstellt, und nur zuweilen ist angedeutet, wie man deren Ergebnisse im besondern auf die Schwingungslehre anwendet. Den Physikern, die sich bisher nicht eingehend mit Differentialgleichungen beschäftigt haben, nun aber durch ihre Arbeiten gezwungen werden, es doch zu tun, erleichtert das Buch das Nachprüfen der eignen Rechnungen, und es kann in dieser Hinsicht von Nutzen sein. *H. Hahn.*

Die Farbe. Sammelschrift für alle Zweige der Farbkunde. Herausgeber WILHELM OSTWALD. Leipzig, Verlag Unesma G. m. b. H. Heft 22—40.

22. Das geniale Alter. OSTWALD erklärt die auffälligen Leistungen im Zeichnen, die bei

acht- bis zehnjährigen Kindern oft beobachtet werden, daraus, daß diese Kinder noch den gesamten Inhalt neuer Seherlebnisse aufnehmen, bald darauf aber lernen, von dem schon Bekannten abzusehen.

23. Das Auge und die Schule. OSTWALD setzt dem Zeichenunterricht der Schule neue Aufgaben, die aus der Harmonie der Formen und Farben sich ergeben und zeigt, daß diese Umstellung den Zeichenunterricht nicht belasten, sondern erleichtern und fördern wird.

24. Lieblingsfarben der Kinder. CURT PAUL hat an 1149 Kindern festgestellt, daß zuerst eine Vorliebe für Rot sich zeigt, zu der später, und zwar bei Knaben früher als bei Mädchen, eine Vorliebe für Laubgrün tritt. Abgelehnt wurden allgemein Eisblau und Seegrün. OSTWALD schließt aus dem besseren Unterscheidungsvermögen im Rot und Laubgrün, daß die Vorliebe für diese Farben auch im reifen Alter bestehen bleibt.

25. OSTWALD gibt ein Verfahren zur Untersuchung gemischter Webstoffe auf ihre farbigen Anteile und zur Messung der Anteile.

26. Neue Forschungsmethoden zur Physiologie des Auges. OSTWALD lehnt die Benutzung homogener Lichter für Farbmischungsversuche und Farbwahrnehmungsprüfungen ab und zeigt, daß nur Körperfarben hierzu tauglich sind.

27. Über die wissenschaftlichen Aufgaben der Werkstelle für Farbkunde berichtet A. v. LAGORIO.

28. 29. 34. Farbenpyramide von J. H. LAMBERT. 116 Seiten. Neudruck der Arbeit LAMBERTS vom Jahre 1772 mit einer Einführung und Anmerkungen von W. OSTWALD.

30. Die Kunstwissenschaft und die Farbe. WALTER GRÄFF zeigt, wie man bei Gemälden die Farben angeben kann, welche Vorteile dabei OSTWALDS Farbbezeichnungen und Meßverfahren haben und wie man vergilbten Lack und ähnliche Entstellungen in Rechnung ziehen kann, um die ursprünglichen Farben zu ermitteln.

31. Die Lehre von der Deckung. OSTWALD gibt einige Fälle an, in denen das Verfahren von Heft 19 kein eindeutiges Ergebnis liefert. Zur Ergänzung wird der Begriff der Färbung eingeführt. Gemessen wird die Deckung an Aufstrichen auf schwarzem, die Färbung an Aufstrichen auf weißem Untergrund.

32. Mikrochemische Untersuchung des Malgrundes der Cusanischen Himmelskugel. OSTWALD beschreibt das Verfahren und Ergebnis seiner Untersuchung.

33. Das Farbenspiel und der Kreis der Künste. CHRISTIAN WINKLER leitet aus Gruppierungen der künstlerischen Betätigungen eine Lücke her zwischen Malerei und Musik, die er dem Farbenspiel zuweist, einer rhythmischen Wirkung von farbigen Lichtern, zu deren Verwirklichung einige vorläufige Versuche vorliegen.

34. Vgl. 28.

35. Neuere Fortschritte der Maltechnik. W. OSTWALD schildert Versuche, ein

gutes Bindemittel für Farben aus Stärke zu gewinnen und macht auf die vorzüglichen Eigenschaften des MT-Sichelleimes aufmerksam.

36. Natur und Kunst. OSTWALD beantwortet die Frage, ob in der Natur alle Farben harmonisch sind, dahin, daß der Begriff der Harmonie sich entwickelt und demnach ändert. Zuerst werden nur die einfachsten Gesetzmäßigkeiten und später immer verwickeltere als harmonisch empfunden. Er belegt das aus der Geschichte der Musik und mit anderen Beispielen.

37. Der Normenatlas und die Farbregel. OSTWALD schildert die Arbeiten zur Herstellung des neuen Normenatlas. In der 23 Seiten langen Abhandlung werden viele wichtige Erfahrungen mitgeteilt.

38. Über die Bezeichnungen der Farbtöne und der Farbharmonien. OSTWALD hat sich endlich entschlossen, die unvorteilhafte Einteilung des Farbkreises in 100 Teile zugunsten der 24stufigen Teilung fallen zu lassen. Er begründet die Änderung eingehend und gibt eine einfache Bezeichnung der Farbharmonien an.

39. Die logarithmische Grauleiter. OSTWALD erläutert, weshalb in den Anfängen der Farbmessung eine arithmetische Grauleiter nötig war, jetzt aber nur noch eine logarithmische gebraucht wird. Er teilt eine Umrechnungstabelle mit und ein einfaches Verfahren, Grauleitern zu prüfen und zur Messung dunkler Graustufen außerhalb der Leiter zu verwenden.

40. Farbenkugel oder Konstruktion des Verhältnisses aller Mischungen der Farben zueinander und ihrer vollständigen Affinität mit angehängtem Versuch einer Ableitung der Harmonie in den Zusammenstellungen der Farben von PHILIPP OTTO RUNGE. Neudruck dieser Abhandlung von 1810 mit zwei farbigen Tafeln und mit Anmerkungen von WILHELM OSTWALD. W. Vn.

Lehrbuch der Technischen Physik. Für fortgeschrittene Studenten und Ingenieure, unter Mitwirkung zahlreicher Fachgelehrter herausgegeben von Dr. GEORG GEHLHOFF, Direktor der Osram G. m. b. H., Kommanditges. Berlin, a. o. Professor an der Technischen Hochschule Berlin. Erster Band: Maße und Messen, Mechanik, Akustik und Thermodynamik. Mit 248 Abbildungen im Text. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1924. G.-M. 17.50, geb. G.-M. 20.—

Von dem auf zwei Bände veranschlagten Werk liegt vorläufig der erste Band zur Beurteilung vor. Das Buch ist in erster Linie für die Hand des Ingenieurs bestimmt; ob es diesen Zweck erfüllt, soll hier nicht erörtert werden. Uns drängt sich als erste Frage die auf, ob das Buch auch für einen Nichttechniker, den Physiklehrer einer höheren Lehranstalt, verständlich ist. Ich habe die Überzeugung gewonnen, daß weit aus das meiste auch für den nicht technisch vorgebildeten Physiker verständlich geschrieben ist. Sind doch hier in den allermeisten Fällen Gerät und Maschine untrennbar mit der Theorie verbunden und beides gleich ausführlich behandelt.

Man kann beinahe sagen, daß manche Abschnitte für den Physiker noch lehrreicher sind als für den Ingenieur. Das bezieht sich besonders auf die von Physikern geschriebenen Aufsätze.

Bevor auf die Einzeldarstellungen näher eingegangen wird, sei das Inhaltsverzeichnis vorn im Buch rühmend erwähnt, das eine klare Übersicht über alle Einzelfragen des Buches vorschickt. Ein alphabetisches Inhaltsverzeichnis darf später wohl am Ende des zweiten Bandes erwartet werden.

I. Maße und Messen von G. BERNDT (L. Loewe A.-G. Berlin). 32 Seiten. Der Verfasser zeigt hier, wie die Technik der Längen- und Winkelmessung zu den genauesten physikalischen Arbeitsweisen übergegangen ist und wesentlich zu deren Vervollkommnung beigetragen hat. Die Darstellung dieses Gebietes, an dem der Verfasser bahnbrechend mitgearbeitet hat, ist äußerst durchsichtig und vielseitig. Daß die Flächen- und Raummessung und besonders die Massen- und Zeitmessungen nur sehr kurz behandelt sind, dürfte indes dem heutigen Stand der Technik nicht ganz entsprechen.

II. Mechanik von L. HOPF und TH. v. KÄRMÁN (Technische Hochschule, Aachen). 107 Seiten. Die Unterabschnitte sind: 1. Grundbegriffe und Grundsätze der Mechanik, 2. Dynamik starrer Systeme, 3. Elastizität und Festigkeit, 4. Hydrodynamik, 5. Gleichgewicht und Bewegung von Gasen. Jedes Kapitel für sich ist ein Meisterwerk der Darstellung. Besonders hervorheben möchte ich das erste Kapitel, das auf 8 Seiten einen in sich geschlossenen Aufbau der Grundgedanken der Mechanik bietet bis hinauf zu den Lagrange'schen Gleichungen und dem Hamilton'schen Prinzip. Aus der Fülle der besprochenen technischen Anwendungen seien einige besonders wichtige herausgehoben: Der Kreisel; die Elastizität von Stäben, Platten, Rohren; Hysteresis und elastische Nachwirkungen; bleibende Formänderung und kristallinische Struktur. Wirbelbewegung in Flüssigkeiten, Tragflügel; Oberflächenwellen, Wellenwiderstand, Formwiderstand einer Flugzeugstrobe, Geschößbewegung.

III. Akustik von W. HAHNEMANN und H. RECHT (Signalgesellschaft, Kiel). 35 Seiten. Die beiden durch Einzelaufsätze bekannten Verfasser treten hier zum erstenmal mit einer zusammenhängenden Darstellung der durch sie ausgearbeiteten Grundlagen für den Bau von Schallgerät an die Öffentlichkeit. Die ganze Darstellung des Gebietes ist durchaus neu und eigenartig und bedeutet für die Lehre vom Schall einen tüchtigen Schritt vorwärts. Hier ist die Rayleigh'sche Strahlungstheorie mit den Forschungsergebnissen der elektrischen Wellen zu einem einheitlichen Ganzen verschmolzen. Ein besonderes, ausführlicheres Werk künden die Verfasser für später an. Hoffentlich erscheint es bald und bringt dann auch die Ableitung der hier nur mitgeteilten Rechnungsergebnisse und die Beschreibung der Versuche und ihrer Ergebnisse, damit auch andere in diesem Sinne mitarbeiten können.

IV. Thermodynamik. Dieser Abschnitt nimmt mit seinen 210 Seiten mehr als die Hälfte des ersten Bandes ein. Gerade hier treten die großen Fortschritte, die die Physik in den letzten Jahren gemacht hat, klar zutage. Der erste allgemeine Teil ist von WALTHER MEISSNER (Ph.-T. Reichsanstalt) bearbeitet. Er gibt auf 94 Seiten eine Übersicht über die drei Hauptsätze der Wärmelehre, über Thermometrie, Kalorimetrie, Wärmeausdehnung und Wärmeleitung und über die Änderung des Aggregatzustandes. Besonders schön ist hier die Darstellung der verschiedenen Meßmethoden und ihrer Ergebnisse, wobei das reichhaltige Material der Ph.-T. Reichsanstalt ausgiebig verwendet ist. Die erste Einführung in die Theorie ist, großen Vorbildern folgend, leider auch hier so dargestellt, als ob ein Wärmetheoretiker ohne jede Vorstellung von den Körpern und von der Wärme arbeitete. Die Behandlung des Stoffes, von hohem Standpunkt aus, mag für den Kenner manchen Kunstgenuß bieten; da das Buch aber ein Lehrbuch sein soll — und für den dritten, ja sogar für den zweiten Hauptsatz der Wärmelehre, ebenso wie für die Strahlungsgesetze gibt es wohl der Kenner nicht allzu viele — so kann man diese Art der Behandlung nicht billigen. Es sei aber ausdrücklich bemerkt, daß diese ablehnende Beurteilung sich nur auf einige wenige Seiten der Abhandlung bezieht; die übrigen Ausführungen sind sehr anziehend und klar geschrieben und behalten ihren hohen Wert.

Es folgen zum Schluß des Buches drei Abschnitte über Wärmetechnik, und zwar zunächst eine 66 Seiten umfassende Darstellung der Kraft- und Arbeitsmaschinen für flüssige und gasförmige Mittel von G. FLÜGEL (A.E.G. Turbinenfabrik). Es werden dabei als Kolbenmaschinen die Wassermotoren, die Dampf- und Verbrennungsmaschinen, die Pumpen, Gebläse und Verdichter und die Drehkolbenmaschinen behandelt. Dann folgen als Kreismaschinen die Wasser-, Wind-, Dampf- und Gasturbinen, Kreiselpumpen und Ventilatoren, Propeller und Kreisverdichter, und zuletzt wird der Dampfkessel, der Kondensator und der Kühler behandelt. Aus allem werden die Fragen herausgeholt, die der Physik zugänglich sind. Die Fülle des hier zusammengedrängten Stoffes wird bewältigt durch eine klare und weitgehende Zusammenfassung der den Maschinen gemeinsamen Eigenschaften. Dadurch wird freilich der Zusammenhang des über die einzelne Maschine zu Sagenden etwas zerrissen; aber beim Durchblättern stellt man leicht alles zusammen, was sich auf die einzelne Maschine bezieht. Da hierbei eine genaue Kenntnis der Maschinenausführungen vorausgesetzt wird, so kann ich die Befürchtung nicht unterdrücken, daß mancher Abschnitt dieses Teiles für den Nichttechniker unverständlich bleibt.

Der Abschnitt über Kältetechnik (44 Seiten) von E. ALTENKIRCH (Alt-Landsberg-Stüd) bespricht die verschiedenen Vorrichtungen, die der Erzeugung von Kälte dienen, recht ausführlich, wohl aus der Erfahrung heraus, daß diese Maschinen-

arten auch in Ingenieurkreisen weniger bekannt sind.

Der letzte Abschnitt über Explosionsvorgänge (10 Seiten) stammt aus der Feder von R. BECKER (Studiengesellschaft Berlin Grunewald). Er behandelt die Frage, wie der Physiker den Verbrennungs- und Detonationserscheinungen zu Leibe geht. Die klare und schlichte Darstellung macht das Lesen des Abschnittes sehr anziehend.

Der Gesamteindruck, den der erste Band des Werkes auslöst, ist so gewinnend, daß das Buch jedem Lehrer der Physik, der seinen Unterricht in neuzeitlichem Geiste erteilen will, warm empfohlen werden kann. Dr. Curt Fischer.

Heinrich Wilhelm Dove. Eine Naturforscher-Biographie von Dr. HANS NEUMANN. Liegnitz, H. Krumbhaar, 1925. 88 S. Mk. 2.50.

Einem Manne gewidmet, der mit der Devise „ganz zu sein in Einem und nicht halb in Vielen“, in erster Linie Forscher war und hinter der Wissenschaft alles andre zurückstellte, kann das Büchlein zur Lektüre warm empfohlen werden. Es handelt von dem Leben und Werden eines Mannes, dessen Verdienste um die Meteorologie gerade in neuester Zeit von neuem zu Ehren gekommen sind, der andererseits als Kristall-Optiker Wesentliches geleistet hat, dem endlich eine wichtige Rolle bei der Einführung des elektrischen Telegraphen in Preußen zufiel (er gehörte 1846—48 der Kommission an, die über die Einführung der elektrischen Telegraphen beriet). Die schwierigen Verhältnisse, mit denen Dove bei seinem Experimentalunterricht zu kämpfen hatte, werden heutigen Physiklehrern fast unglaublich erscheinen. Keil.

Natuurkunde in Leerlingen proeven. Een Handleiding voor de eerste Leerjaren en voor Zelvstudie. Door Dr. M. MINNAERT, observator aan 's Rijks Universiteit te Utrecht. 196 S. 135 Fig. Groningen, P. Noordhoff, 1924. fl. 2,40, geb. fl. 2,90.

Das Buch ist zur ersten Einführung für das jugendliche Alter bestimmt, insbesondere für die obersten Klassen der Volksschulen und die unteren Klassen höherer Schulen. Der Verfasser, der selbst eine akademische Stellung bekleidet, hat sich doch seit Jahren dieser Aufgabe mit besonderer Liebe gewidmet. Er will bei den Kindern die Initiative zu solchen Versuchen wecken, andererseits aber doch die Übungen in gleicher Front angestellt wissen, weil nur hierdurch die Gemeinsamkeit der Arbeit geschaffen wird, die der Klassenunterricht erfordert. Er kennt die Vorkarbeiten von Hahn, Langguth, Most und Elsässer, Rosenberg und hat sich auch die kritischen Bemerkungen von Kerschensteiner in „Wesen und Wert des naturwissenschaftlichen Unterrichts“ zu Herzen genommen. Die Auswahl betrifft naturgemäß nur die einfachsten, meist qualitativen Versuche aus den Hauptgebieten der Physik. Die Eigenart des Buchs besteht in der lebensvollen Art und Weise, in der der Text die Versuchsleitungen begleitet und überall darauf

aufmerksam macht, wo es etwas zum „Wundern“ gibt. Auch wo die Schule derartige Anregungen nicht bietet, wird ein gewecktes Kind an der Hand dieses Buches selbst Versuche anstellen können und daran seine Freude haben. P.

Die Eisenbahn im Bild. Eine Bilderreihe aus aller Welt. Herausgegeben von JOHN FUHLBERG-HORST. Erste Folge. 120 S. Stuttgart, Franckhs Technischer Verlag, Dieck & Co., 1924. Kart. Mk. 4.50, in Halbleinen geb. Mk. 6.—.

Das Buch gehört der beliebten Reihe „Wunder der Technik“ an, drei weitere Folgen sollen sich noch anschließen. Es bringt auf 120 Seiten mehrere hundert vorzüglich ausgeführte Abbildungen, die in bunter Reihe, größtenteils außer-europäischen Ursprungs, die aufregende und harte Arbeit des Streckenbaues und die bewundernswerten Kunstbauten, die Brücken, Tunnels und Trajekte, dem Auge vorführen. Schon ein flüchtiges Durchblättern des Buches ist wie eine Weltreise in Bildern. Das Buch eignet sich sehr zum Geschenk. P.

Die Grundbegriffe der modernen Chemie. Von Dr. F. WÄCHTER. 156 S. Wien und Leipzig, A. Hartleben. Geh. Mk. 3.—.

Die Schrift gibt eine in den Hauptzügen zutreffende Darstellung des heute allgemein in der Physik und Chemie angenommenen Weltbildes auf elektromagnetischer Grundlage, dem sie jedoch ein mechanisches entgegenstellen will. Ihre wesentlichsten Gedanken sind diese: Die Elektrizität ist wesensgleich mit der Wärme, man spricht von letzterer, wenn die Bewegungen der Moleküle bzw. Atome ungeordnet, von ersterer, wenn sie teilweise geordnet sind. Es ist daher auch falsch, das Potential, das der Temperatur entspricht, als Größe zu betrachten, die für den ganzen Körper dieselbe ist, vielmehr ist Potential wie Temperatur ein Mittelwert, das einzelne Atom oder Molekül hat ein höheres oder niederes Potential als der Durchschnitt, gemäß dem Maxwell'schen Verteilungssatz. Der „Äther“ ist kein leerer Raum, sondern ein gewöhnliches Gas mit dem Atomgewicht $1/1800$ (dem Elektronengewicht), er bewegt sich mit dem ganzen Planetensystem rotierend im gleichen Sinne, nicht jedoch im Weltraum. Daher der negative Ausfall des Michelsonversuchs bei positivem Ausfall der Aberration. Die chemische Affinität muß auf Gravitation zurückgeführt werden. Alle Elemente sind chemische Verbindungen aus Ätheratomen, die Vielseitigkeit ihrer Spektren erklärt sich durch die große Zahl von Bausteinen der sog. Atome, die schon bei Wasserstoff nahezu 1800 beträgt, u. a. m.

Der Verfasser will also bewußt das mechanische Weltbild erneuern. Er lehnt ausdrücklich die, wie er meint, nur von mathematischer Überkultur eingegebenen Versuche ab, Bewegungen ohne ein anschauliches Bewegtes, eine raumerfüllende Substanz also, vorzustellen. Der Begriff der Bewegung selber sei sinnlos, wenn nicht zuvor etwas da sei, was den Raum erfülle. Gegen dieses Urteil muß meines Erachtens Einspruch

erhoben werden. Wenn, wie der moderne physikalische Dynamismus annimmt, die Raumerfüllung selber (ebenso wie die Trägheit und die Schwere) ein Phänomen ist, das erst durch Bewegungen an sich punktueller oder linearer Kräfte oder Feldkomponenten oder was es nun sei, zustandekommt, so ist das zwar für den nur anschaulich denkenden Laien einigermaßen schwer vorzustellen, aber ein „Widerspruch“ liegt darin durchaus nicht, vielmehr nur eine bewußte Loslösung von einem Vorurteil der naiven sinnlichen Anschauung. Von zahlreichen anderen Punkten, wo der Verfasser meines Erachtens der modernen Physik, die er bekämpft, doch nicht ganz gerecht geworden, will ich schweigen. Es sei aber, obwohl ich seinen Reformversuch im ganzen für nicht gelungen halte, ausdrücklich bemerkt, daß die Schrift manche anscheinend recht brauchbare Anregung für weitere experimentelle Forschung enthält. So verdienen z. B. die S. 76 und S. 101 und 102 angegebenen Experimente, betreffend Thermoströme in homogenen Leitern und Elektrizitätsleitung durch Nichtelektrolyte oder Isolatoren, gewiß nähere Untersuchung. B. Bavink-Bielefeld.

Licht und Farbe in Kolloiden. Eine phänomenologische Monographie. I. Teil. Von WOLFGANG OSTWALD. (Handbuch der Kolloidwissenschaft in Einzeldarstellungen, Band I.) Mit 127 Textfiguren und 17 Tafeln. Dresden und Leipzig, Th. Steinkopff, 1924. IX + 556 S. G.-M. 32.—, geb. G.-M. 35.—.

Dieses Werk wurde von allen Freunden der Kolloidwissenschaft seit langem dringend erwartet. Die Unzahl der beobachteten optischen Erscheinungen kolloiddisperser Systeme hatte wohl überall den Wunsch nach einer ordnenden, zusammenfassenden Darstellung dieses Gebietes erweckt. Leider haben der Weltkrieg und die darauf folgenden Jahre der Unruhe die Arbeiten Wo. OSTWALDS, die er schon vor 1914 in Angriff genommen hatte, so lange hinausgezögert. Nun liegt aber der I. Teil des Werkes vor. Dieser behandelt in 7 Kapiteln die optische Heterogenität, Polarisation, Drehung, allgemeine Absorption, Heterogenitätsfarben und Brechung. Die Forschungsergebnisse sind bis zum Jahre 1914 berücksichtigt worden, das letzte Kapitel (Brechung und Doppelbrechung in Kolloiden) bringt auch noch jüngere Resultate.

Im einzelnen behandelt das erste Kapitel die Trübungserscheinungen kolloider Systeme, das zweite das Tyndallphänomen, das dritte die Ultramikroskopie. Im vierten Abschnitt werden die Erscheinungen der Polarisation, im fünften die Drehung der Polarisationsebene in Kolloiden dargestellt. Das sechste Kapitel ist der Betrachtung der allgemeinen Absorption in Kolloiden, den Brechungs-, Beugungs- und Oberflächenfarben gewidmet, während, wie schon oben erwähnt, das letzte Kapitel die Brechung und Doppelbrechung in Kolloiden behandelt. Ein ausführliches Namen- und Sachregister ist dem Bande angefügt.

In diesem Buche, das Wo. OSTWALD der Kolloidwissenschaft schenkt, liegt der Erfolg

einer ungeheuren Arbeit vor. Ein riesiges Gebiet, das für den einzelnen unübersehbar geworden, ist hier gesichtet worden. In meisterhafter Form sind die Resultate dieser Arbeit zusammenhängend und klar dargestellt. Eine außerordentlich große Zahl von Tabellen und Kurvenbildern, die zum erheblichen Teil vom Verfasser neu entworfen sind, gibt dem Buch einen besonderen Wert. Wo. OSTWALDS Werk ist ein unentbehrlicher Führer auf dem Gebiet optischer Erscheinungen in Kolloiden; wir wollen nur hoffen, daß der zweite Teil des Buches bald erscheint. *Petzold.*

Elektrochemisches Praktikum. Von Dr. ERICH MÜLLER, o. Prof. an der Technischen Hochschule Dresden. Vierte, veränderte Auflage. Mit 88 Abbildungen und 33 Schaltungsskizzen. Dresden und Leipzig, Th. Steinkopff, 1924. XII u. 264 S. Geb. Mk. 10.—

Die dritte Auflage ist im 4. Heft des 34. Jahrganges besprochen. Die beiden damals angefügten, praktisch und didaktisch wichtigen, analytischen Aufgaben sind in den Text einbezogen worden, andere Aufgaben sind modernisiert. Das vortreffliche Buch braucht keine besondere Empfehlung. Daß der Referent nach seiner pädagogischen und literarischen Erfahrung in einzelnen wichtigen Kapiteln (wie Messung der Leitfähigkeit und Gasketten) einige Aufgaben mehr bringen würde wie Löslichkeitsbestimmung, Bestimmung der H⁺-Ionenkonzentration, sei aber doch erwähnt.

W. A. Roth-Braunschweig.

Die Entwicklung der chemischen Technik bis zu den Anfängen der Großindustrie. Ein technologisch-historischer Versuch von Dr. phil. GUSTAV FESTER, a. o. Prof. an der Universität Frankfurt a. M. VIII u. 225 S. Berlin, Julius Springer, 1923. GM. 7.50, geb. GM. 9.—

Wer sich für die historische Entwicklung, für die kleinen Anfänge von etwas ganz Gewaltigem interessiert, findet in dem Buch eine Fülle von Material, das vom Verfasser auf Grund eigener Studien geschickt und gut lesbar zusammengestellt ist. Und es wäre zu wünschen, daß wieder eine Zeit des Selbstbesinnens und des historischen Interesses nach den Jahrzehnten riesigen Fortschritts einsetzte. — Es sei schon hier erwähnt, daß in diesem Jahr (bei Vieweg) eine sachverständige und gut kommentierte Übersetzung des Werkes erscheint, das einen vorzüglichen Querschnitt durch die gesamte Technik der Renaissancezeit gibt, der „*Protecnica*“ von Biringuccio. *W. A. Roth-Braunschweig.*

Stickstoffindustrie. Von Dr.-Ing. BRUNO WAESER. Fortschritte der chemischen Technologie in Einzeldarstellungen, herausgegeben von Prof. Dr. B. RASSOW, Band V. Berlin, Dresden und Leipzig, Th. Steinkopff, 1924. VI u. 128 S.

Auf keinem Gebiete der chemischen Technologie sind die Fortschritte in den letzten 25 Jahren so rapide gewesen, und auf keinem waren die Erfolge deutscher Wissenschaft und Technik für uns in Krieg und Frieden so einschneidend

wie auf dem Gebiete der Stickstoffindustrie. Stellen doch die neuen oder stark vergrößerten Werke in Oppau, Leuna, Trostberg, Piesteritz usw. neben den großen Aluminiumfabriken unser einziges wirtschaftliches Aktivum aus dem Weltkriege dar! Darum ist ein zusammenfassendes Werk über dies Gebiet aus so sachverständiger Hand und mit so reichem wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Material eine Fundgrube für jeden, der an der praktischen Auswertung naturwissenschaftlicher Forschung interessiert ist. Und eine ins Einzelne gehende Besprechung und Würdigung erübrigt sich. *W. A. Roth-Braunschweig.*

Nitroglycerin und Nitroglycerinsprengstoffe (Dynamite) mit besonderer Berücksichtigung des dem Nitroglycerin verwandten und homologen Salpetersäureester. Von Dr. PH. NAOÛM, Leiter des wissenschaftl. Labor. der Dynamit-Aktiengesellschaft vorm. Alfr. Nobel & Co. Hamburg. Mit 36 Abb. und 3 Taf. IX u. 416 S. Berlin, Julius Springer, 1924. Geb. GM. 18.—

Bei dem unbestrittenen Kulturwert der Sprengstofftechnik darf eine zusammenfassende Darstellung von dem Wesen, der Herstellung und Verwertung des sog. Nitroglycerins, das noch immer die Grundlage der wichtigsten Sprengstoffe bildet, auf ein besonderes Interesse rechnen. Kaum ein anderer war hierzu mehr berufen als der Verfasser, der seit 20 Jahren die im Titel erwähnte Stellung innehat. So ist das in theoretischer und praktischer Hinsicht hervorragend klar und gründlich abgefaßte Werk gleichermaßen für Wissenschaft und Technik ein Gewinn. Auch das umfassende praktische Wirken Alfred Nobels, seine großartige Erfindergebung sind wundervoll herausgearbeitet. Lebhafter Beifall werden in dieser Beziehung die wörtlichen Anführungen, z. B. die von Nobel formulierten vielfachen Patentansprüche finden. Aber auch der chemische Unterricht ist an dem Werk interessiert. In der Schulchemie und ihren Lehrbüchern ist es mit Recht üblich geworden, den Sprengstoffen ein besonderes Kapitel zu widmen. Hierfür sind vor allem der ausführliche geschichtliche Überblick und die zahlreichen experimentellen Angaben von unmittelbarem Wert. Alles in allem ist das Werk eine bedeutsame Bereicherung der chemischen Literatur. 0.

Kurzes Lehrbuch der Organischen Chemie. Von Prof. Dr. A. BERNHSEN, Geh. Hofrat und ord. Hon.-Professor an der Universität Heidelberg. 16. Aufl. Braunschweig, F. Vieweg & Solm A.-G., 1924. XV + 699 S. Mk. 10.—, geb. Mk. 12.—

Das in dieser Zeitschrift wiederholt (zuletzt 33, 34; 1920) angezeigte Buch hat in der vorliegenden Auflage, für die ein vollständiger Neusatz erforderlich war, eine sorgfältige Revision des Textes erfahren, auch wurden etliche für die Technik und die Gewerbe wichtige Verbindungen eingehender behandelt, wenn auch, entsprechend der ganzen Anlage des Buches, innerhalb knapper Grenzen. Trotzdem das Buch der Veranschaulichung durch Figuren ganz entbehrt und auch die instruktiven aber raumverbranchen-

den Strukturformeln spärlich anwendet — was beides für den Unterricht ins Gewicht fällt —, so weiß es doch durch die gedrängte aber klare Darstellung, sowie durch die große Fülle der gebotenen Einzelheiten das Interesse des Lesers zu gewinnen. Von Interesse ist die Angabe, daß von dem Buch u. a. auch eine griechische Übersetzung erschienen ist, in der aber der Übersetzer sich selbst als den Verfasser bezeichnet, während die Übersetzung eine wörtliche ist bis auf das Kapitel Kohlenhydrate, das ebenso wörtlich einem anderen deutschen Werke „entnommen“ ist. Die vorliegende Auflage sei von neuem der Beachtung empfohlen. O.

Musterverzeichnis von Einrichtungen und Lehrmitteln für den chemischen Unterricht. (Mitteilungen der Preußischen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Heft 8). 76 S., Leipzig, Quelle & Meyer, 1924.

Zur rechten Zeit, trotz der im Vorwort geäußerten Bedenken, erscheint dieses neue Heft der Hauptstelle. Eröffnen sich doch endlich nach 10-jähriger Pause Aussichten, die während der Kriegen- und Inflationszeit verödeten Lehrmittelsammlungen zu ergänzen. Bei dieser Aufbauarbeit will das Musterverzeichnis allen denen, die durch Bewilligung der nötigen Gelder oder als Verwalter der Schulsammlungen an dieser verantwortungsvollen Werke mitarbeiten, ein treuer Berater sein.

Nun zum Inhalt. Da das Verzeichnis in erster Linie bei der Neueinrichtung einer Sammlung Anleitung geben will, sind sehr beherzigenswerte Ratschläge für die Auswahl und den inneren Ausbau der Räume gegeben. Es folgen Zusammenstellungen der für allgemeine chemische Arbeiten nötigen Geräte und der vorrätig zu haltenden chemischen Stoffe. In weiteren Kapiteln sind Apparate beschrieben, die Einzelversuchen und besonderen Zweigen des Lehrstoffes, wie Elektrochemie u. a. dienen. (Hier dürften bei notwendig werdenden Einschränkungen noch am ehesten Abstriche zu machen sein.) Entsprechend der großen Bedeutung des Arbeitsunterrichtes ist die Ausrüstung für die Schülerübungen eingehend behandelt. In einem besonderen Anhang sind die Normierungsvorschläge des Vereins deutscher Chemiker zur Vereinheitlichung der Geräteabmessungen zusammengestellt. Wünschenswert wäre es, um ein Wort der Kritik anzuknüpfen, wenn bei einer

Neuaufgabe auch die bildhaften Lehrmittel (Wandtafeln und Lichtbilder) berücksichtigt würden. Sie sind für manche Abschnitte des Lehrstoffes, wie z. B. Technologie, trotz ihrer Unzulänglichkeiten kaum zu entbehren.

Alles in allem: Das vorliegende Heft gibt ein klares Bild der Anforderungen der Schulchemie und verrät die hingebende Arbeit hervorragender Sachkenner und erfahrener Schulmänner, die nicht in der Nachahmung von Universitätseinrichtungen das Heil sehen (was leider noch bei manchem Schullehrbuch der Chemie zu tadeln ist), sondern die die geistesbildende Kraft der Chemie mit besonderen, der Schule angepaßten Methoden ausschöpfen wollen. Möge daher das vorliegende Heft die weiteste Verbreitung finden! Franz Gomolka, Berlin-Tichterfelde.

Lehrbuch der anorganischen Chemie. Von KARL A. HOFMANN. 5. Auflage mit 109 Abb. und 7 farb. Spektraltafeln. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn A. G., 1924. Mk. 17.50, geb. Mk. 20.—.

Die neue Auflage des rühmlich bekannten Lehrbuches läßt an vielen Stellen die verbessernde und vervollkommnende Hand erkennen. Die neuesten Forschungen in Wissenschaft und Technik finden sich weitgehend berücksichtigt. Ob die Verringerung der Abbildungen (von 122 in Auflage 2 auf 109 in der jetzigen) ein Gewinn ist, bleibe dahingestellt; vielleicht wäre die Verbesserung einiger fortgefallener, gerade die neueren Anschauungen vom Atombau betreffender Abbildungen vorteilhafter gewesen. Das rechte Maß von Veranschaulichung — sowohl in experimentellen Dingen wie auch im Gebiet der Theorien (durch Kurvenbilder u. ä.) und der Technik — ist eine der wichtigsten Angelegenheiten aller didaktischen Übermittlung. Nach der experimentellen Seite hin ist in dieser Beziehung hier bereits Vorzügliches geleistet. Die Vertreter der Schulchemie können überhaupt von Glück sagen, daß ihnen in der Nachkriegszeit trotz aller Nöte so hervorragende Lehrbücher (vgl. noch TRAUTZ, *ds. Zeitschr.* 37, 208) zur Weiterbildung beschert worden sind; wohlgerneht zur Weiterbildung, zur Belehrung im einzelnen wie im ganzen, aber nicht zur Nachahmung des akademischen Lehrganges selbst. Hier muß die Schulchemie naturgemäß völlig eigene Wege aufsuchen. Sie kann aber aus solchen Lehrbüchern die mannigfaltigsten Anregungen erhalten, um den eigenen Unterricht immer lebendiger und fruchtbringender zu gestalten. O. Ohmann.

Aus Werkstätten.

Der neue V.G.W.-Schalter für Experimentierzwecke.

Von der Vereinigung Göttinger Werke für Feinmechanik, Optik und Elektrotechnik, G. m. b. H., Göttingen, Kurze Straße 17.

Die in Laboratorien benutzten Stromschalter sind fast immer Hebel- oder Kippschalter, wie sie an Schalttafeln und für ähnliche technische Zwecke be-

nutzt werden. Es ist klar, daß diese Schalter, die in Massenanfertigungen hergestellt werden, den Anforderungen, die bei wissenschaftlichen Versuchsarbeiten an sie gestellt werden müssen, nicht genügen. Wie oft kommt es vor, daß der Stromschalter die Ursache für mißlungene Versuche ist. Besonders störend wird beim Experimentieren empfunden, daß man gezwungen ist,

die üblichen Schalter entweder am Tischrand festzuklemmen und dadurch häufig komplizierte Leitungsführungen vorzunehmen, oder daß man den Schalter auf eine große und schwere Grundplatte montieren muß, um ihn auch auf der übrigen Tischfläche verwenden zu können.

Der neue V.G.W.-Schalter ist überall ohne Festklemmen oder Festschrauben zu verwenden und mit einer Hand zu bedienen, ohne daß er

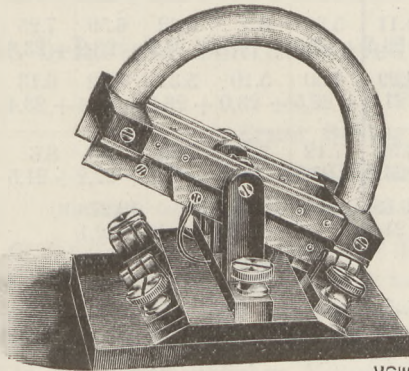


Fig. 1.

beim Ein- oder Ausschalten hochkippt. Mit diesem Vorteil verbindet er gefällige Form und genügt allen Ansprüchen, die für wissenschaftliche Arbeiten gestellt werden müssen. Das Schaltmesser ist abweichend von den übrigen Hebelschaltern nicht unmittelbar auf der Grundplatte, sondern auf einem 5 cm hohen Bock gelagert und wird durch einen gleicharmigen Hebel mit einem neuartigen bogenförmigen Griff aus Isoliermaterial bedient.

Durch die Konstruktion wird erreicht, daß beim Öffnen und Schließen des Schalters stets die wesentliche Komponente der Kraft einen Druck auf die Schalterunterlage ausübt und damit ein Hoch-

kippen verhindert. Dabei ist es einerlei, ob der Griff angefaßt, oder lediglich ein leichter Schlag mit der flachen Hand auf den Bügel geführt wird, was besonders ein sehr rasches Bedienen des Schalters gestattet. Der Schalter ist mit Doppelklemmen versehen, um ihn gleichzeitig in Versuchsschaltungen als bequeme Abzweigungsklemme benutzen zu können. Um die Drehachse des Schaltmessers von der Stromführung zu entlasten, ist er mit dem Schalterbock durch eine

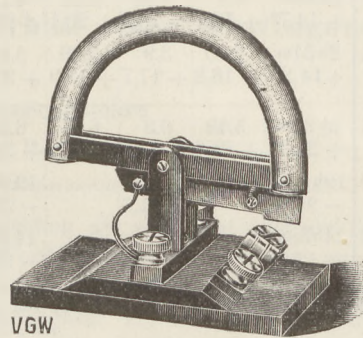


Fig. 2.

hochflexible Kupferlitze verbunden. Infolgedessen ist der Schalterwiderstand konstant und sehr gering (2 100 Ohm). Die Grundplatte besteht aus einem hochwertigen, unzerbrechlichen Isoliermaterial.

Der Schalter wird als einpoliger Stromschlüssel, einpoliger Umschalter, zweipoliger Stromschlüssel, zweipoliger Umschalter, Stromwender und mehrpoliger Schalter für Stromstärken bis zunächst 25 Ampere und Spannungen bis 500 Volt in bester Qualitätsarbeit hergestellt. Bei der Ausführung als Stromwender liegen die leicht abnehmbaren Überkreuzungen verdeckt in der Schaltergrundplatte.

Korrespondenz.

Zum Bavinksehen Oberklassenprogramm.

Herr H. HERMANN in Tübingen sendet hierzu eingehende Erörterungen, die wir aus Raumrücksichten nicht zum Abdruck bringen können. Herr HERMANN begrüßt die Darstellung des elektromagnetischen Feldes bei BAVINK. Was die Einführung in die Quantenlehre betrifft, so hält er den von BAVINK vorgezeichneten Weg für zweifellos gangbar, kann aber in O I der Oberrealschule mit Rücksicht auf die dort nicht gut zu kürzenden mathematischen Übungen die Zeit dafür nicht erübrigen und auch in U I sei der Umfang des Stoffes bereits so groß, daß für eine angemessene Behandlung der Quantenlehre keine Zeit bleibe.

Herr BAVINK spricht sich demgegenüber dahin aus, daß mathematische Übungsaufgaben aus dem Unterricht und auch aus der Reifepfprüfung grund-

sätzlich fortbleiben sollten, daß aber in den Lehrstunden auch an der realen Studienanstalt die Infinitesimalrechnung schon möglichst früh zur Anwendung kommen müsse. Die ausführlichen Lehrpläne seiner Anstalt hat er bereits an anderer Stelle (*Unterrichtsbl. f. Math. u. Naturw.*) veröffentlicht.

Zu der Mitteilung „Ein einfacher Versuch zum sog. Magnuseffekt“ in Heft 1, S. 35. X

In der Figur 4 ist der aerodynamische Überdruck auf der Unterseite der rotierenden Kugel durch die Anzahl der Stromlinien und nicht wie üblich durch die Breite der Stromlinienbänder dargestellt, entsprechend dem Kraftlinienbild des magnetischen und elektrischen Feldes, wo das größere Potential durch die größere Kraftliniendichte dargestellt wird. *K. Gentil, Elberfeld.*

Himmelserscheinungen im Mai und Juni 1925.

W. Z.: Welt-Zeit = Bürgerl. Zeit Greenwich. 0h W.Z. = Mitternacht bürgerl. Zeit Greenwich.
 Stundenzählung von 0h bis 24h. St. Z. = Bürgerl. Zeit Stargard = W. Z. + 1h.

W. Z.	Mai							Juni						
	0h	1	6	11	16	21	26	31	5	10	15	20	25	30
♂	AR	1h 24m	1.27	1.37	1.52	2.13	2.37	3.6	3.40	4.19	5.3	5.51	6.39	7.24
	D	+ 7,2°	+ 6,5	+ 6,8	+ 8,0	+ 9,9	+ 12,3	+ 15,1	+ 18,0	+ 20,7	+ 23,0	+ 24,5	+ 24,8	+ 23,9
♀	AR	2h 39m	3.3	3.28	3.53	4.19	4.45	5.11	5.38	6.5	6.32	6.59	7.25	7.51
	D	+ 14,7°	+ 16,7	+ 18,5	+ 20,1	+ 21,4	+ 22,5	+ 23,4	+ 24,0	+ 24,2	+ 24,2	+ 23,9	+ 23,3	+ 22,4
☉	AR	2h 31m	2.50	3.9	3.29	3.49	4.9	4.29	4.50	5.10	5.31	5.52	6.13	6.33
	D	+ 14,9°	+ 16,3	+ 17,7	+ 18,9	+ 20,0	+ 21,0	+ 21,8	+ 22,5	+ 23,0	+ 23,3	+ 23,4	+ 23,4	+ 23,2
♂	AR	5h 35m	5.49	6.3	6.17	6.31	6.45	6.59	7.12	7.26	7.39	7.53	8.6	8.19
	D	+ 24,5°	+ 24,6	+ 24,7	+ 24,6	+ 24,5	+ 24,3	+ 24,0	+ 23,7	+ 23,2	+ 22,7	+ 22,2	+ 21,5	+ 20,8
♃	AR	19h 37m		19.37		19.37		19.35		19.31		19.27		19.22
	D	- 21,6°		- 21,6		- 21,7		- 21,8		- 21,9		- 22,1		- 22,3
♂	AR	14h 38m				14.32				14.28				14.25
	D	- 12,6°				- 12,2				- 11,9				- 11,7

Δ = Sternzeit für 0h Welt-Zeit; für östl. bzw. westl. Länge λ° v. Greenwich: ± λ · 0.657s
 Zeitgl. = Mittl. Z. - Wahre Z.

Zeitgl.	14h	14.	15.	15.	15.	16.	16.	16.	17.	17.	17.	18.	18.
	{	33m 37s	53.20	13.2	32.45	52.30	12.11	31.54	51.36	11.19	31.2	50.45	10.27
{	-2m 51s	-3.24	-3.43	-3.48	-3.37	-3.14	-2.38	-1.52	-0.57	+0.3	+1.8	+2.13	+3.16

Breite v. Berlin (52° 30'). Länge v. Stargard. Aufgang u. Untergang d. ob. ©-Randes. St. Z.														
♃	Aufg.	4h 29m	4.21	4.12	4.3	3.56	3.49	3.44	3.40	3.37	3.36	3.36	3.37	3.40
	Unterg.	19h 26m	19.33	19.42	19.50	19.58	20.5	20.12	20.17	20.22	20.25	20.27	20.27	20.27
Breite v. Berlin (52° 30'). Länge v. Stargard. Aufgang u. Untergang d. ob. ©-Randes. St. Z.														
♃	Aufg.	10h 56m	16.47	23.9	2.3	3.55	6.51	11.59	18.15	23.34	1.19	3.24	7.35	13.15
	Unterg.	1h 51m	3.54	6.36	12.24	18.25	23.15	1.15	3.9	7.35	13.55	19.28	22.57	0.22

Mondphasen W. Z.	Neumond		Erstes Viertel		Vollmond		Letztes Viertel	
		Mai 22. 15h 48.2m	Mai 30. 20h 4.4m	Mai 8. 13h 42.6m	Mai 15. 5h 45.8m			
		Juni 21. 6h 16.9m	Juni 29. 9h 43.0m	Juni 6. 21h 47.7m	Juni 13. 12h 43.8m			

Verfinsterungen der Jupitertrabanten I, II, III, IV. E: Eintritt, A: Austritt. W. Z.

I		II		III		IV	
Mai 8.	1h 33.6m E	Juni 15.	23h 59.8m E	Mai 2.	2h 4.6m E	Mai 17.	0h 36.8m A
Mai 23.	23h 49.5m E	Juni 23.	1h 53.8m E	Mai 26.	23h 3.1m E	Mai 24.	1h 18.9m E
Mai 31.	1h 43.4m E	Juni 30.	3h 48.0m E	Juni 3.	1h 37.4m E	Juni 28.	21h 12.8m E
				Juni 27.	22h 39.8m E		

Tägliches Erscheinen und Verschwinden der Planeten. Breite v. Berlin. Länge v. Stargard

St. Z.	♂ Morgenstern	♀ Abendstern	♂ (Zw, K)	♃ (Steinbock)	♃ (Wg)
Mai 1.	—	—	Da 20,4h U 23,5h	A 1,0h Dm 3,5h	Da 20,6h Dm 3,3h
" 11.	A 3,7h Dm 3,8h	—	Da 20,7h U 23,3h	A 0,4h Dm 3,3h	Da 20,8h Dm 3,0h
" 21.	A 3,4h Dm 3,6h	(20,7h)	Da 21,0h U 23,1h	A 23,7h Dm 3,0h	Da 20,9h Dm 2,8h
" 31.	A 3,1h Dm 3,2h	Da 20,9h U 21,0h	Da 21,2h U 22,9h	A 23,0h Dm 2,8h	Da 21,1h Dm 2,5h
Juni 10.	(3,1h)	Da 21,1h U 21,4h	Da 21,4h U 22,6h	A 22,3h Dm 2,6h	Da 21,3h Dm 2,2h
" 20.	—	Da 21,1h U 21,6h	Da 21,4h U 22,3h	A 21,6h Dm 2,6h	Da 21,4h Dm 1,5h
" 30.	—	Da 21,1h U 21,6h	Da 21,4h U 21,9h	Da 21,5h Dm 2,6h	Da 21,6h Dm 0,9h

A = Aufgang; U = Untergang; Da und Dm = Erscheinen bzw. Verschwinden in der Dämmerung.
 W. Z. Merkur in gr. westl. Elong. 25° 50' Mai 16. 11h. Sternbedeckungen: Neptun, Mai 1. 22h 5.1m.
 Sommersonstium Juni 21. 23h. A. Weill.

Für die Redaktion verantwortlich: Geh. Studienrat Professor Dr. F. Poske, Berlin-Dahlem.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.

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