

Zeitschrift

für den

Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXIV. Jahrgang.

Fünftes Heft.

September 1921.

Die schulgemäße Behandlung der Innenverbrennungsmaschinen (Gaskraftmaschinen und Dieselmotoren).

Von Dr. R. Reinicke in Danzig-Langfuhr.

Poske sagt in seiner „Didaktik des physikalischen Unterrichts“ (§ 31, Abschn. 5):

„Auch . . . Explosionsmotoren dürfen nicht außer Acht bleiben. Die hier und da aufgetretene Meinung, als gehörten solche technischen Dinge nicht in den physikalischen Unterricht, vermag ich nicht zu teilen. Ein gut Teil der Lebenskraft unserer Wissenschaft beruht auf dieser mannigfaltigen Verknüpfung von Forschung und Technik, Wissenschaft und Leben. Unsere Jugend hat ein richtiges Gefühl für die Bedeutung dieses Zusammenhangs und wendet ihm ihr lebhaftestes Interesse zu. Ein solches Interesse dürfen wir nicht ignorieren, es gilt vielmehr, es nutzbar zu machen und daran die Flamme des Sinnes auch für die reine Forschung zu entzünden.“

Ich führe diese Worte hier an, weil ich meine eigene Anschauung nicht treffender hätte formulieren und begründen können. Es erscheint mir tief bedauerlich, daß im Lehrplan für die bayerischen Oberrealschulen vom Jahre 1907 ein anderer Standpunkt eingenommen wird, wohingegen der aus dem Jahre 1905 stammende Meraner Lehrplan für Physik neben der Behandlung der Dampfmaschine auch die der Gaskraftmaschine fordert. Man wende nicht ein, die zur Verfügung stehende Zeit reiche hierzu nicht aus. Aus ganz unangebrachter Pietät schleppen wir uns in der Schulphysik mit manchem überflüssigen Ballast herum, den wir nachgerade über Bord werfen könnten und müßten.

Angeregt zu dem vorliegenden Aufsatz wurde ich durch die in dieser Zeitschrift, 29, S. 49 (1916) abgedruckte Besprechung des Gleichdruckölmotors. Im Interesse einer klaren Übersicht über die nachfolgenden Ausführungen schicke ich die ihnen zugrunde liegende Gliederung des Stoffes voraus:

I. Kolbenmaschinen.

A. Einfach wirkende Maschinen.

I. Verpuffungsmaschinen.

1. Viertaktmaschinen,

a) einzylindrige,

b) zweizylindrige,

α) in Zwillingsanordnung,

β) in Tandemanordnung;

c) vierzylindrige.

2. Zweitaktmaschinen,

a) einzylindrige,

b) zweizylindrige,

α) mit zwei Kröpfungen,

β) mit einer Kröpfung.

II. Dieselmotoren.

1. Viertaktmaschinen,

a) einzylindrige,

b) mehrzylindrige.

2. Zweitaktmaschinen,

a) einzylindrige,

b) zweizylindrige.

3. Junkers-Gegenkolbenmaschine.

B. Doppelt wirkende Maschinen.

I. Verpuffungsmaschinen.

1. Viertaktmaschinen,

a) einzylindrige,

b) zweizylindrige.

2. Zweitaktmaschine von Körting.

II. Dieselmotoren.

II. Gasturbinen.

Die Benennungen der verschiedenen Teile des Kurbelgestänges sind dem Schüler von der Dampfmaschine her bekannt. Der Ausdruck „Stopfbüchse“ für den Teil der Zylinderwand, in dem die Kolbenstange gut abgedichtet nach außen hindurch geführt

wird, findet sich in Physikbüchern wohl noch sehr selten. Die Schubstange nennt man meistens leider Pleuel- oder auch Bleuelstange. Als „Kreuzkopf“ bezeichnet der Ingenieur das auf einer Gleitbahn geradlinig geführte Gelenk zwischen Kolbenstange und Schubstange. Unter „Hub“ versteht er den durch die Länge des Zylinders bedingten Kolbenweg. An Stelle der von der Dampfmaschine her bekannten Kurbel findet bei der Gaskraftmaschine meistens die Doppelkurbel oder „Kröpfung“ Verwendung (siehe z. B. Fig. 4), deren Radius natürlich gleich der halben Hublänge ist. Eine Welle mit Kröpfung bezeichnet man kurz als „gekröpft“.

Die von dem Franzosen Lenoir konstruierte Vorläuferin der Gaskraftmaschine braucht meines Erachtens im Unterricht nicht erwähnt zu werden. Man beginnt vielmehr zweckmäßig mit dem ersten wirklich gebrauchsfähigen einzylindrigen Viertakt-Gasmotor, wie ihn der Deutsche Otto im Jahre 1878 auf den Markt brachte. (Die in Lehrbüchern manchmal angegebene Jahreszahl 1865 bezieht sich auf eine ältere, noch nicht im Viertakt arbeitende Konstruktion desselben Erfinders.)

Die Ottosche Gasmaschine geht in gewisser Weise auf die alte atmosphärische Maschine zurück. Wie bei jener ist der Zylinder auf einer Seite offen, und der ganze Arbeitsvorgang spielt sich dementsprechend nur auf einer Kolbenseite ab. Das hat zunächst den Vorteil, daß von der anderen Kolbenseite her eine leichte

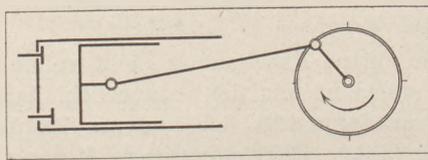


Fig. 1.



Fig. 2.

Kühlung möglich ist. Zu diesem Zwecke ist der Kolben als langer, hohler, sog. Tauchkolben (von der becherartigen Form) ausgebildet. Ferner erübrigt sich die beim Dampfzylinder erforderliche Stopfbüchse mit ihrem unvermeidlichen Reibungsverlust. Die Kolbenstange ist sehr kurz, und der Ansatz der Schubstange im Kreuzkopf erfolgt noch innerhalb des Kolbens. Der ganze Zylinder ist von einem Kühlmantel umgeben, um der hohen Innentemperatur überhaupt standzuhalten. Vielfach sind auch Welle, Schubstange und Kolben von Kühlwasser durchflossen. Die Zu- und Fortleitung des Gases

besorgen zwei ganz gleich gebaute Federventile, das sog. Ansaug- und das Ausstoßventil. Ihre Wirkungsweise erläutert man am besten an einem leicht zu bauenden Modell. Den Ausdruck „Nase“ sollte man aus naheliegenden Gründen durch den in der Technik gebräuchlichen „Nocken“ ersetzen.

Zur Besprechung der Arbeitsweise beim Gasmotor ist nach meinem Dafürhalten die einfache Figur nicht ausreichend. Mit dem funktionalen Denken ist es bei vielen Obersekundarn noch nicht sehr weit her, besonders bei der jetzigen durch den Krieg schwer geschädigten Generation. Es erscheint mir notwendig, daß die Schüler Kolben und Ventile wirklich in Bewegung sehen.

Zu dem Zwecke habe ich mir ein einfaches Holzmodell gebaut. Auf einem naturfarbenen Brett tritt der Querschnitt durch Zylinder und Kolben in Gestalt von schwarz angestrichenen Holzleisten plastisch hervor (Fig. 1). Links sitzen die beiden mit einiger Reibung beweglichen Ventile. Ein etwa in der Mitte des Zylinders senkrecht hindurchgeführter Schnitt möge die Anordnung der Leisten veranschaulichen (Fig. 2). Die Kröpfung wird einfach dargestellt durch einen aus dem Grundbrett herausgesägten und wieder eingesetzten Kreis, dessen Drehachse durch zwei auf die Rückseite des Grundbrettes genagelte kreuzförmige Leisten fixiert ist.

Beginnt dann der Kolben von der äußersten Linksstellung nach rechts zu gehen, so öffnet ein auf der Steuerwelle sitzender Nocken das (am Modell von Hand betätigte) Ansaugventil (als solches fungiert ein für allemal z. B. das obere), und der weiter gehende Kolben saugt das irgendwie vorher hergestellte explosible Gasgemisch, am einfachsten zunächst Leuchtgas + Luft, in den Zylinder hinein. Das Ausstoß-

ventil bleibt während dieses Kolbenhubes natürlich geschlossen. Zu Beginn des nächsten Hubes schließt sich auch das andere Ventil. Dabei wird das angesaugte Gasgemisch im Zylinder abgesperrt und durch den zurückgehenden Kolben bis auf etwa 6 Atm. verdichtet. Am Ende dieses zweiten Hubes erfolgt auf irgend eine Weise (meist auf elektrischem Wege) die Zündung und die dadurch eingeleitete Verbrennung (Verpuffung). Die hochgespannten Verbrennungsprodukte treiben den Kolben arbeitsverrichtend wieder nach außen. Zu Anfang des nächsten Hubes endlich öffnet sich das ebenfalls durch einen auf der Steuerwelle sitzenden Nocken zwangläufig betätigte Ausstoßventil, und der infolge Trägheit nach links zurückgehende Kolben treibt die expandierten Abgase vor sich her und hinaus. Dann schließt sich im nächsten Hub das Ausstoßventil, zugleich öffnet sich das Ansaugventil, und dasselbe Spiel beginnt von neuem.

Vier aufeinander folgende Hübe haben also eine ganz verschiedene Funktion: daher der Name Viertaktmotor. Von ihnen ist ein einziger wirklich arbeitsverrichtend, während die drei übrigen von untergeordneter Bedeutung sind und kurz als Leerhübe zusammengefaßt werden können. Ich habe es zweckmäßig gefunden, alle vier durch kurze Schlagwörter zu kennzeichnen, die nach den vorstehenden Erörterungen sogleich verständlich sind: Ansaug-, Verdichtungs-, Arbeits-, Ausstoßhub.

Da zwischen je zwei Arbeitshüben immer drei Leerhübe liegen, läuft die Maschine natürlich sehr ungleichmäßig. Ein schweres Schwungrad dient dazu, die Leerhübe überhaupt zu überwinden.

Eine Viertaktgasmaschine kann nicht ohne weiteres in Gang gesetzt werden, da ja vor dem ersten Arbeitshub Ansaug- und Verdichtungshub liegen. Andererseits ist der durch einen einzigen Arbeitshub gegebene Anstoß meist nicht ausreichend, um die drei folgenden Leerhübe zu bewältigen. Das „Anlassen“ geschieht bei den kleineren Motoren meistens von Hand, indem man das Schwungrad ein paarmal vorsichtig herumdreht, bis es sich von selbst weiter bewegt. Automobil- und Flugzeugmotoren werden angekurbelt, d. h. man spannt mit Hilfe einer sich später selber ausklinkenden Kurbel eine Feder, die beim Entspannen den Kolben in Bewegung setzt. Bei ganz großen Maschinen endlich erfolgt das Anlassen mit Hilfe von Druckluft, die mittels einer kleinen damit gekuppelten Kompressionspumpe beim letzten Laufen der Maschine durch diese selbst erzeugt worden ist. Diese inzwischen in einem kleinen besonderen Kessel aufgespeicherte Druckluft läßt man beim Inbetriebsetzen durch ein besonderes Ventil ins Innere des Zylinders treten, wo sie den Kolben vor sich her treibt und in entspanntem Zustande bei dessen Rückgang wieder ausgestoßen wird — also ganz ähnlich, wie bei der früheren einseitig wirkenden Dampfmaschine, nur daß an Stelle von Wasserdampf hier Druckluft arbeitet. Ist das Schwungrad durch eine Anzahl von aufeinander folgenden Anstößen allmählich in Schwung gekommen, so wird die Druckluft abgesperrt und die Gaszufuhr geöffnet: die Maschine beginnt jetzt normal zu arbeiten.

Die Bestimmung der Leistung mit Hilfe des Indikatordiagramms ist bereits gelegentlich der Besprechung der Dampfmaschine erwähnt worden. So wird der Schüler unschwer das Diagramm der Viertaktgasmaschine verstehen (Fig. 3), das der Lehrer an der Wandtafel unmittelbar unter dem aufgehängten und langsam bewegten Modell entstehen läßt.

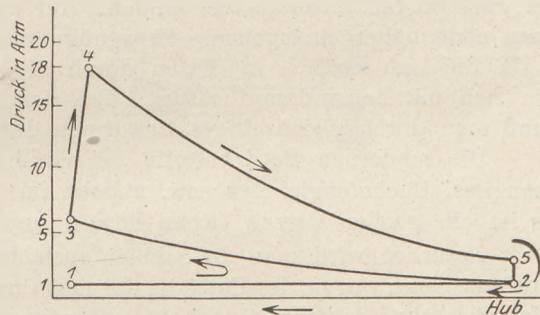


Fig. 3.

In 1 beginnt der Ansaughub; das Ansaugventil öffnet sich, um sich in 2 am Ende des Hubes wieder zu schließen. Der Verdichtungshub ist dargestellt durch den Kurventeil 2, 3. In 3 erfolgt die Zündung, wodurch eine ziemlich schnelle, immerhin nicht explosionsartig plötzliche, sondern sich zeitlich bis 4 hinziehende Druckerhöhung eingeleitet wird — der Teil 3, 4 verläuft nicht senkrecht, sondern schwach nach rechts geneigt. Die vielfach übliche Bezeichnung „Explosionsmotor“ sollte man aus diesem Grunde in der Schule unbedingt vermeiden. Vom Punkte 4 an erfolgt weitere Arbeitsleistung des sich jetzt nur noch unter Druckverminderung expandierenden Gases, bis in 5 sich das Ausstoßventil öffnet, was den Restdruck plötzlich bis auf 2 abfallen läßt. Von 2 bis 1 endlich erfolgt die Austreibung des verbrauchten Gases.

Das Diagramm zeigt aber noch mehr: Es gibt Aufschluß über die Leistung der Maschine. Da nicht, wie bei der Dampfmaschine, der Umweg über den Dampfkessel mit seinen unvermeidlichen Energieverlusten eingeschlagen wird, sondern der Brennstoff im Arbeitszylinder selber direkt verbrennt, so ergibt sich eine bessere Ausnutzung der im Brennmaterial steckenden Energie und damit eine erhöhte Wirtschaftlichkeit. Hier ist dann auch der Ort, um von Benzin-, Benzol-, Spiritus- und Petroleummotoren zu reden, die bekanntlich die betreffenden Flüssigkeiten sämtlich im gasförmigen Zustande verwenden. Auf die besondere Form der Vergaser braucht man nicht näher einzugehen. Es genügt, darauf hinzuweisen, daß man beim Benzin z. B. die Luft einfach in Blasen durch die Flüssigkeit hindurch treten läßt, wobei sie sich mit Benzindampf sättigt. Bei dem schwerer flüchtigen Petroleum dagegen muß man durch gleichzeitiges Erwärmen der Flüssigkeit nachhelfen.

Die modernen Betriebsstoffe bei Großgasmaschinen, wie Generatordruck- und -sauggas, Hochofengichtgas usw. müssen im Chemieunterricht behandelt werden, und es ist ein großer Vorzug, wenn Physik und Chemie in einer Hand vereinigt sind.

Natürlich wird man die Schüler auch darauf aufmerksam machen, daß die Gaskraftmaschine wegen des Fortfalls der meist umfangreichen Kesselanlagen viel weniger Platz benötigt, daß ihre Anschaffungskosten niedriger sind, daß sie ständig betriebsbereit ist usw.

Der bisher allein behandelten Einzylindermaschine haftet indessen der schon erwähnte, schwerwiegende Nachteil an, daß sie wegen der Zwischenleerhübe sehr ungleichmäßig läuft.

Diesem Mangel läßt sich in gewisser Weise dadurch abhelfen, daß man statt eines einzigen Zylinders deren zwei verwendet, deren Hübe um je 2 gegeneinander versetzt sind.

Dann haben beispielsweise gleichzeitig

Zylinder I: Ansaughub	Zylinder II: Arbeitshub
Verdichtungshub	Ausstoßhub
Arbeitshub	Ansaughub
Ausstoßhub	Verdichtungshub
Ansaughub	Arbeitshub usw.,

d. h. es wird nicht mehr wie bisher nur bei jedem vierten Hub, sondern schon bei jedem zweiten Arbeit geleistet.

Dabei kann die Kombination der beiden Zylinder in verschiedener Weise erfolgen.

Entweder man legt beide nebeneinander und verwendet eine doppelt gekröpfte Welle. Das ist die sog. zweizylindrige Zwillingmaschine (Fig. 4).

Beim Vorzeigen dieser Figur melden sich fast regelmäßig einige Zweifler, die, wohl in Erinnerung an um 90° gegeneinander versetzte Dampfmaschinenkurbeln, meinen, die Kröpfungen müßten um 180° gegeneinander verdreht sein (Fig. 5).

Ich habe eine entsprechende Figur, da ich sie später in anderem Zusammenhange brauche, in Bereitschaft und lasse einen der Schüler die dabei möglichen Hubkombinationen an der Wandtafel entwerfen:

Zylinder I: Ansaughub	Zylinder II: Ausstoß-	oder Verdichtungshub
Verdichtungshub	Ansaug-	„ Arbeitshub
Arbeitshub	Verdichtungs-	„ Ausstoßhub
Ausstoßhub	Arbeits-	„ Ansaughub
Ansaughub	Ausstoß-	„ Verdichtungshub
Verdichtungshub	Ansaug-	„ Arbeitshub
Arbeitshub	Verdichtungs-	„ Ausstoßhub usw.

Es folgen sonach bei entgegengesetzt gerichteten Kröpfungen immer zwei Arbeitshübe unmittelbar aufeinander, an die sich zwei Leerhübe anschließen. Eine solche Kombination aber würde natürlich nicht so vorteilhaft sein, wie die vorhin erwähnte mit zwei gleichsinnigen Kröpfungen.

Nach dieser Erfahrung — Jugend ist eben erfinderisch — verlegt fast unweigerlich einer der Jungen den zweiten Zylinder bei Beibehaltung der entgegengesetzten

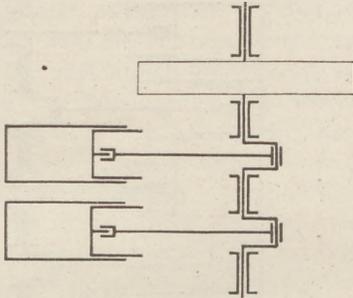


Fig. 4.

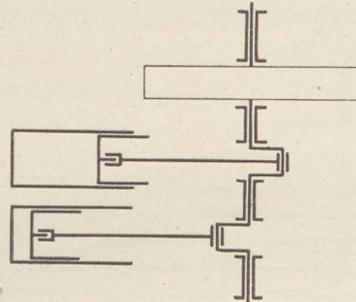


Fig. 5.

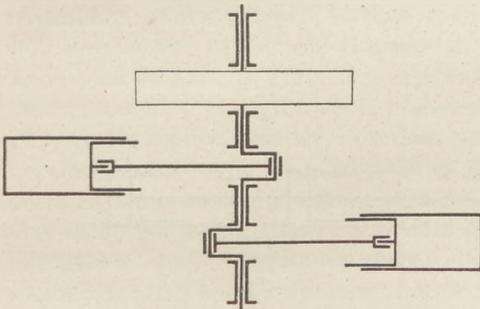


Fig. 6.

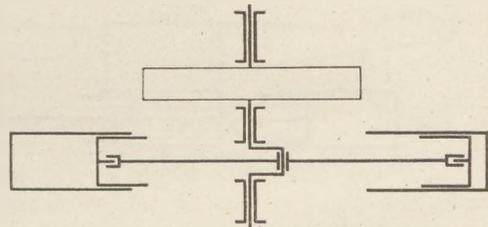


Fig. 7.

Kröpfungen auf die andere Seite, so daß das folgende Gebilde herauskommt (Fig. 6), dessen Nachteil der „Erfinder“ sofort einsieht, sobald er die Figur 6 vorgelegt bekommt.

Wirft der Lehrer jetzt die Frage auf, ob man nicht die beiden Zylinderkolben an einer einzigen Kröpfung angreifen lassen könne, so kann man mit mathematischer Sicherheit darauf rechnen, daß ein von Erfinderbegeisterung erfaßter Träumer wieder falsch zupackt und folgenden Vorschlag unterbreitet (Fig. 7), der aber bei näherem Zusehen aus demselben Grunde wie der vorige von der Mehrheit der aufmerksameren Jungen sofort verworfen wird. Überhaupt wird die große Mehrzahl der Schüler bei solchem Unterrichtsbetriebe von einer förmlichen Erfindertum und einer Teilnahme ergriffen, wie sie mir im gesamten Physik- und Chemieunterricht bisher kaum vorgekommen ist.

Merkwürdigerweise verfallen die Schüler selten auf die andere wirklich in der Praxis ausgeführte Kombination von zwei Zylindern, die sog. Tandemanordnung (Fig. 8), selbst dann nicht, wenn sie bereits bei den Dreifachexpansionsdampfmaschinen davon gehört haben. Die Möglichkeit, mit Hilfe einer Stopfbüchse zwei

Zylinder hintereinander zu legen, kommt ihnen offenbar in diesem Zusammenhange gar nicht in den Sinn. Die Tandemaschine eignet sich für einen längeren, relativ schmalen Maschinenraum. Sie hat den Vorzug, daß sie nur eine Kröpfung und dementsprechend eine kürzere Welle benötigt, als die Zwillingsmaschine. Demgegenüber ist als Nachteil zu verzeichnen, daß man eine Stopfbüchse verwenden muß.

Wenn bereits durch Anwendung von zwei Zylindern, sei es in Zwillings-, sei es in Tandemanordnung, ein gegenüber der Einzylindermaschine gleichmäßigerer Gang erzielt werden kann — zwischen je zwei Arbeitshüben liegt ja nur noch ein Leerhub — so ist nichts natürlicher, als daß man die noch vorhandene Lücke durch Verwendung einer größeren Anzahl von Zylindern ausfüllt. Dabei liegt es auf der Hand, daß man dem Viertakt entsprechend gleich vier Zylinder im ganzen verwendet. Es muß dann offenbar möglich sein, jeden einzelnen Hub als Arbeitshub auszugestalten.

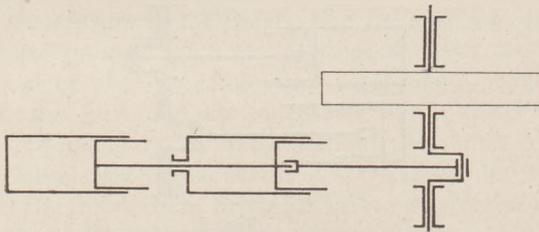


Fig. 8.

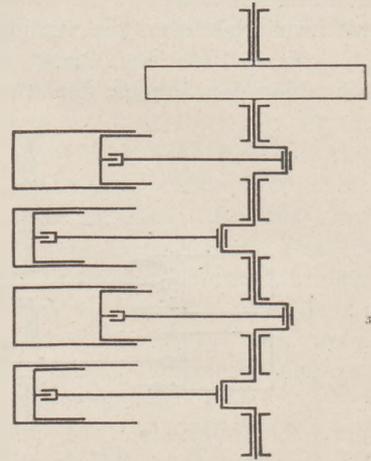


Fig. 9.

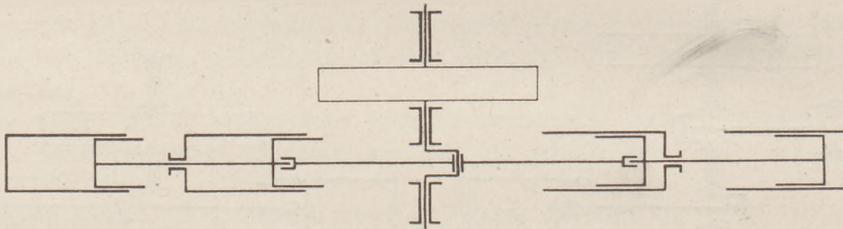


Fig. 10.

Wirklich ausgeführt werden die Doppelzwillingsanordnung mit vierfach gekröpfter Welle (Fig. 9), ferner die Doppeltandemaschine mit nur einfach gekröpfter Welle (Fig. 10), endlich die kombinierte Zwillings-tandemanordnung mit doppelter Kröpfung (Fig. 11).

Welche von diesen verschiedenen Konstruktionen man auch betrachtet: immer kann man bei Anwendung von vier Zylindern die Ventile so spielen lassen, daß ein Leerhub nicht mehr eingeschaltet ist.

Beispiel:

Zyl. I: Ansaughub	II: Verdichtungshub	III: Arbeitshub	IV: Ausstoßhub
Verdichtungshub	Arbeitshub	Ausstoßhub	Ansaughub
Arbeitshub	Ausstoßhub	Ansaughub	Verdichtungshub
Ausstoßhub	Ansaughub	Verdichtungshub	Arbeitshub usw.

Somit sollte man eigentlich meinen, daß in dem vierzylindrigen Viertaktmotor das Ideal einer Gaskraftmaschine erreicht ist.

Es bleibt indessen auch bei ihm der Übelstand bestehen, daß jeder einzelne Zylinder neben drei Leerhüben nur einen Arbeitshub hat, das vorhandene Material

also nur sehr unvollkommen ausgenutzt wird. Das für große Kraftleistungen natürlich schwere Gestänge könnte während der drei Leerhübe bedeutend leichter sein, wird also während drei Viertel der gesamten Betriebszeit ohne absolute Notwendigkeit mitgeschleppt und verzehrt dabei einen nicht geringen Bruchteil der überhaupt erzeugten Energie.

So ist es denn durchaus verständlich, daß schon bald nach der Erfindung des Viertaktmotors Bestrebungen einsetzten, diesen in einen Zweitaktmotor umzugestalten und so in der gleichen Zeit doppelt so viele Arbeitshübe zu ermöglichen, als beim Viertaktmotor gleicher Abmessungen. Wenngleich ich sonst sehr zu historischen Exkursen neige, bin ich doch der Meinung, daß dem Schüler gleich der fertige Zweitaktmotor, natürlich zunächst wieder als Einzylindermaschine, vorzustellen ist.

Bei ihm kommen der Ausstoß- sowie der Ansaughub der alten Viertaktmaschine in Fortfall. Es findet sich kein besonderes Ausstoßventil mehr, sondern die Verbrennungsgase entweichen durch in der Zylinderwandung ringsum angebrachte sog. Ausstoßschlitze, die der besonders lange Kolben für gewöhnlich verschließt und erst kurz vor Beendigung des Arbeitshubes freigibt. Der Ansaughub kann fortbleiben, weil mit der Maschinenwelle zwei besondere Pumpen gekoppelt sind, deren eine Luft, deren andere Gas komprimiert, die beide kurz nacheinander meist durch dasselbe einzig verbliebene Einlaßventil eintreten.

Um das Funktionieren des Zweitaktmotors vorzuführen, fertigt man sich am besten wieder ein Holzmodell.

Auch das früher in Figur 1 gezeichnete kann hierbei benutzt werden, wenn man schon vorgängig die Auspuffschlitze aus dem Grundbrett herauschneidet und bei Erörterung der Viertaktmaschine vorläufig wieder einsetzt. Damit dies nicht bei jedem einzelnen Schlitz besonders geschehen muß, verbindet man alle einzusetzenden Stücke untereinander durch zwei dahinter genagelte Leisten. Das untere Ventil, das ja früher als Ausstoßventil diente, fällt hier fort. Man kann es gegen ein eingeschobenes Zylinderrandleistenstück auswechseln. Oder aber man trennt die beiden Funktionen des einen Einlaßventils, behält demzufolge beide bereits im Modell vorhandenen Ventile bei und läßt das eine als Luft-, das andere als Gaseinlaßventil fungieren.

Das Modell sieht dann folgendermaßen aus (Fig. 12). An ihm lassen sich die Vorgänge leicht demonstrieren:

Bei links stehendem Kolben sei soeben die Verdichtung des Gas-Luft-Gemisches beendet. Im Totpunkt selber findet bei geschlossenen Ventilen Zündung statt, wodurch der Kolben arbeitverrichtend nach rechts geschleudert wird. Unmittelbar vor Erreichung der rechten Totpunktlage legt er dabei die Auspuffschlitze frei, aus denen die Verbrennungsgase, die immer noch eine Spannung von mehr als einer Atmosphäre besitzen, schnell ausströmen. Ein im Zylinder zurückbleibender Rest wird dadurch hinausgetrieben, daß kurz darauf ein Nocken das Luftventil öffnet und Preßluft eintreten läßt, die den Zylinder rein fegt. Jetzt öffnet sich auch das Gasventil und läßt Gasegemisch ins Innere treten, das aber nicht mehr wie vorher Gasreste und treibende Spülluft aus den offen stehenden Schlitzen entweichen kann, da der zurückkehrende Kolben diese mittlerweile verdeckt hat. Bei geschlossenen Ventilen kom-

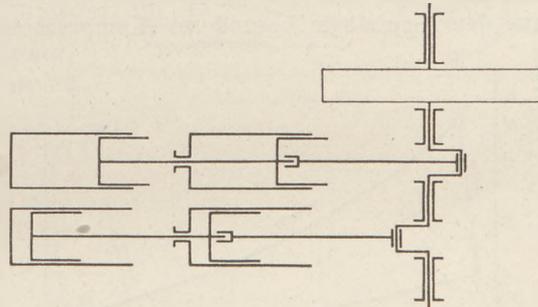


Fig. 11.

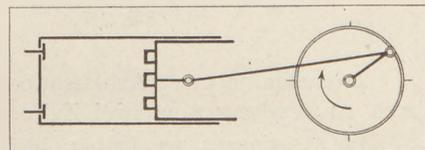


Fig. 12.

primiert er bei der Bewegung nach links das im Zylinder abgesperrte Gasgemisch, worauf im linken Totpunkt wieder Verpuffung erfolgt und der Kolben dadurch aufs neue nach rechts geht. Je zwei Arbeitshübe sind also hier durch einen einzigen Leerhub, den Verdichtungshub, getrennt.

Das Diagramm des Zweitaktmotors sieht demzufolge so aus (Fig. 13). Bei 1 schließen sich die beiden Ventile, unmittelbar darauf bei 1' auch die Auspuffschlitze, und es erfolgt von 1' bis 2 die Verdichtung des eingeschlossenen Gasgemisches. In 2 findet seine Verpuffung statt, der Druck steigt infolgedessen (genau wie früher beim Viertaktmotor) schnell an bis 3 und sinkt bei weiter gehendem Kolben ab bis 4. Hier erfolgt Freigabe der Schlitze, Ausspülen der Verbrennungsgase und Neufüllung, bis in 1 derselbe Vorgang sich wiederholt. Um einem leicht entstehenden Irrtum vorzubeugen, dem die Schüler anscheinend nach vorangegangener Lektüre von gewissen populären Darstellungen anheimfallen, tut der Lehrer gut, noch besonders darauf aufmerksam zu machen, daß der Verdichtungshub beim Zweitakt gegenüber dem Viertakt ganz und gar unverändert geblieben ist. Luft und Gas werden lediglich aus dem Grunde in besonderen Kompressoren vorkomprimiert, damit das Ausspülen

und Neuladen des Zylinders am Ende jedes Arbeitshubes äußerst schnell vor sich gehen kann.

So leistet denn die Zweitaktmaschine bei den gleichen Abmessungen in der gleichen Zeit fast das Doppelte wie die einzylindrige Viertaktmaschine. Dabei zeichnet sie sich dieser gegenüber von vornherein durch einen gleichmäßigeren Gang aus. Im großen und ganzen ist sie etwa der zweizylindrigen Viertaktmaschine gleichwertig.

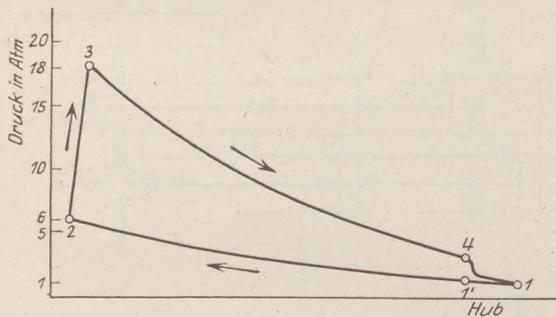


Fig. 13.

Zwischen je zwei Arbeitshüben aber liegt noch immer ein Leerhub, der wieder durch Anwendung von zwei Zylindern beseitigt werden kann.

Im Gegensatz zu früher bleibt jetzt indessen keine Wahl zwischen Zwillings- und Tandemanordnung. Die letztere ist aus naheliegenden Gründen überhaupt unbrauchbar, wie ein Vergleich mit Figur 8 zeigt¹⁾. Die Zwillingsmaschine mit zwei gleichsinnigen Kröpfungen (vgl. Fig. 4) wirkt genau ebenso und läßt sich daher gleichfalls nicht verwenden. Der erforderliche Hubunterschied kann vielmehr erzielt werden entweder mit zwei um 180° gegeneinander versetzten Kröpfungen nach Art von Figur 5 oder auch mit einer einzigen Kröpfung wie in Figur 7. Beide Arten von zweizylindrigen Zweitaktmaschinen werden tatsächlich gebaut.

Es wird auf diese Weise schon bei Kombination von zwei Zylindern das erreicht, was bei der Viertaktmaschine erst durch Anwendung von vier Zylindern möglich war: jeder einzelne Hub ist ein Arbeitshub. Dementsprechend hat man es natürlich nicht nötig, Zweitaktmaschinen mit mehr als zwei Zylindern zu bauen.

Angesichts der immer wachsenden Bedeutung, die der im Jahre 1897 von dem deutschen Ingenieur ROBERT DIESEL erdachte und nach ihm benannte Dieselmotor im modernen Wirtschaftsleben sich erobert und insbesondere bei der jedem unserer Jungen bekannten großen Rolle, die er im verflorenen Kriege auf den U-Booten gespielt hat, muß auch er in der Schule Erwähnung finden. Er gliedert sich durchaus organisch in den bisherigen Zusammenhang ein, ist er doch in gewisser Weise eine Fortbildung zunächst des Viertaktgasmotors.

¹⁾ Man denke sich im folgenden in die zitierten Figuren die Ausstoßschlitze hineingezeichnet.

Daß in Wirklichkeit die ältesten Motoren dieser Art nach dem Zweitaktssystem arbeiteten, darf man im Schulunterricht aus didaktischen Gründen wohl ruhig unter-schlagen.

Der Dieselmotor hat also wieder den alten Viertakt mit Ansaug-, Verdichtungs-, Arbeits- und Ausstoßhub. Es finden sich auch das Ansaug- und das Ausstoßventil wieder. Im Ansaughub wird aber hier nicht ein explosives Gasgemisch in den Zylinder befördert, sondern einfach Luft. Während ferner jenes Gasgemisch im darauf folgenden Verdichtungshub eine Kompression bis auf höchstens 6 Atm. ohne Gefahr einer für die Maschine verderblichen Frühzündung gestattet, wird die Luft beim Dieselmotor bis auf etwa 35 Atm. zusammengepreßt. Im Zustande größter Ver-dichtung erfolgt durch ein besonderes drittes Ventil, das sog. Einspritzventil, das Einführen des in diesem Falle flüssigen Brenn-stoffes in feinsten Verteilung unter etwa 65 Atm. Druck. Einer besonderen Zündung bedarf es hier nicht, der Brennstoff entzündet sich vielmehr bei der durch das starke Komprimieren der Luft erzeugten hohen Temperatur von über 600° von selbst und schleudert in dem nun folgenden Arbeitshub den Kolben nach rechts. Am Ende dieses Hubes öffnet sich wieder das Ausstoßventil, und der zurückkehrende Kolben treibt die Verbrennungsprodukte hinaus.

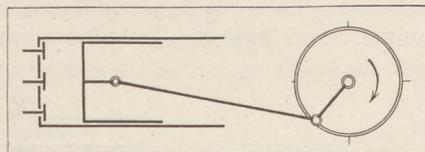


Fig. 14.

Eine kleine Abänderung an meinem in Figur 1 abgebildeten Holzmodell macht daraus einen Dieselmotor, an dem man wieder die verschiedenen Vorgänge verifizieren kann. An der Stirnseite des Zylinders nämlich findet sich zwischen den beiden Ventilen eine bisher durch ein geradliniges Leistenstück verschlossen gewesene Aussparung, die es gestattet, ein drittes Ventil, eben das Einspritzventil, einzufügen. Das Modell

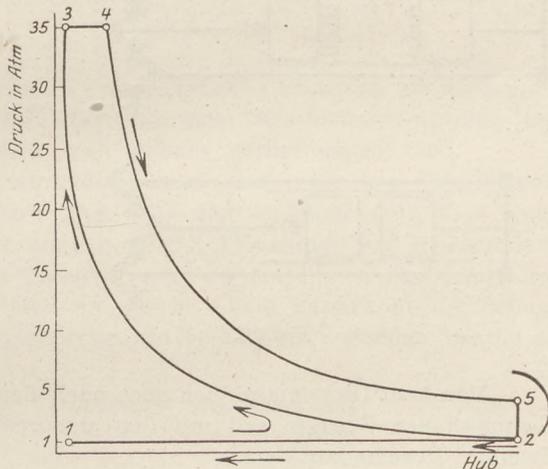


Fig. 15.

des Dieselmotors sieht dann so aus (Fig. 14). Unmittelbar unter ihm läßt man an der Wandtafel bei bewegtem Kolben wieder das entsprechende Diagramm, am besten im gleichen Maßstabe wie früher, erstehen (Fig. 15).

Die Strecke 1, 2 entspricht dem Ansaughub, 2, 3 repräsentiert wieder den Verdichtungshub. In 3 wird das Einspritzventil geöffnet, das bis 4 offen bleibt, während der Kolben zurückgeht. Während der Kurventeil 3, 4 bei den beiden Gasmotoren (Figg. 3 und 13) steil anstieg — ein Zeichen dafür, daß bei (nahezu) konstant bleibendem Volumen der Druck sehr schnell anwuchs — verläuft die Kurve hier horizontal: daher die häufig gebrauchte Bezeichnung „Gleichdruckmaschine“. Dieser wesentliche Unterschied gegenüber dem Gasmotor ist in folgendem begründet: Wenn dort die Zündung erfolgt, so befindet sich die Gesamtmenge des überhaupt in diesem Augenblicke zur Verfügung stehenden Brennstoffes bereits im Zylinder, und zwar in innigem Gemisch mit Luft. Dementsprechend findet eine außerordentlich schnelle Verbrennung, eben eine Verpuffung, durch die ganze Masse hindurch statt. Ganz anders beim Dieselmotor. Im Moment 3 existiert zunächst überhaupt noch kein Brennstoff im Zylinder. Es beginnt erst soeben seine Einführung in feinsten Verteilung. Jedes Teilchen aber verbrennt sofort, sobald es mit der sehr heißen

Luft in Berührung kommt, und da die Brennstoffzufuhr eine Weile andauert, so zieht sich auch der Verbrennungsvorgang in die Länge. Eine Drucksteigerung aber kann währenddessen nicht mehr vor sich gehen, da sich ja die Verbrennungsprodukte bereits vom Moment 3 an auszudehnen beginnen und dabei ihren Druck vermindern. Die Brennstoffeinspritzung wird eben derartig reguliert, daß die Druckverminderung von 3 bis 4 gerade ausgeglichen wird. Von 4 ab dehnt sich das Gas weiter arbeitsverrichtend aus, während neuer Brennstoff nicht mehr eingeführt wird, verliert also dabei ständig an Spannung, bis sich in 5 das Ausstoßventil öffnet und ziemlich plötzlich einen Druckausgleich mit der Atmosphäre herbeiführt — Kurvenabfall 5, 2 —, bis endlich der im vierten Hube zurückkehrende Kolben der Kurve 2, 1 entsprechend die entspannten Gase vor sich her und durch das Ausstoßventil ins Freie schiebt.

Der Dieselmotor ermöglicht die bisher vollkommenste Ausnutzung der in einem gegebenen flüssigen Brennstoff steckenden Energie und leistet beispielsweise mehr als doppelt so viel wie die Dampfmaschine bester Konstruktion. Er ist auch der Gasmaschine

in dieser Beziehung überlegen, was im wesentlichen auf das Arbeiten mit viel höheren Temperaturen zurückzuführen ist. Es kommt hinzu, daß er es eben vermöge dieser Tatsache gestattet, billige (in der Chemie zu besprechende) Öle zu verwenden, mit denen man früher nichts Rechtes anzufangen wußte.

Der einzylindrige Viertakt-Dieselmotor hat aber natürlich denselben Nachteil, wie die Viertakt-Gasmaschine: Da von vier Hübten immer nur einer ein wirklicher Arbeitshub ist, läuft er ungleichmäßig. Die früher beim Viertakt-Gasmotor erörterten Kombinationsmöglichkeiten von zwei oder vier Zylindern gelten in genau derselben Weise hier.

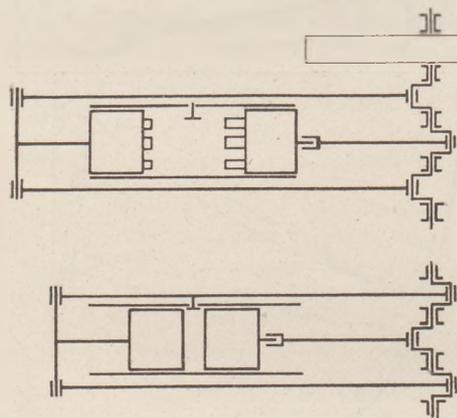


Fig. 16.

Man baut Dieselmotoren auch nach dem Zweitaktssystem — das über Zweitakt-Gasmaschinen Gesagte gilt mit den entsprechenden kleinen Abänderungen für den Zweitakt-Dieselmotor.

Eine höchst geniale Fortbildung des letzteren ist die sog. Gegenkolbenzweitaktmaschine des deutschen Ingenieurs Prof. Junkers (Fig. 16).

Sie besitzt einen beiderseits offenen, sehr langen Zylinder, in dem sich statt eines einzigen Kolbens deren zwei bewegen, und zwar immer in der Weise, daß sie sich gleichzeitig einander nähern oder voneinander entfernen. Dies wird bewerkstelligt durch eine dreifach gekröpfte Welle. An der mittleren Kröpfung greift direkt die Schubstange des einen Kolbens an. Die beiden äußeren Kröpfungen sind gegen sie um 180° versetzt und tragen statt der gewöhnlichen Schubstange je eine sehr lange Zugstange. Beide sind an ihrem Ende durch eine beiderseits in einer Gleitbahn geführte Querstange miteinander verbunden, in deren Mitte endlich die Schubstange des zweiten Kolbens angesetzt ist. Daneben sind wieder eine besondere Verdichtungs- und Spülluftpumpe sowie eine zweite stärker wirkende zum Einspritzen des Brennstoffes vorhanden.

Nehmen wir an, die beiden Kolben seien soeben in ihrer inneren Totpunktlage angelangt (untere Figur). Dabei befindet sich zwischen ihnen hochkomprimierte Luft. In diesem Moment öffnet sich ein in der Mitte der Zylinderwand zwischen den Kolben befindliches seitliches Einspritzventil und läßt etwas flüssigen Brennstoff ins Innere treten, der sich entzündet und beide Kolben nach außen treibt (obere Figur). Hierbei legt zunächst der rechte Kolben nahe seiner äußeren Totpunktlage eine Schlitzreihe frei,

Der deutschen Firma Körting ist es indessen gelungen, auch einen doppelt wirkenden Zweitaktgasmotor zu konstruieren (Fig. 18). In dem natürlich beiderseits geschlossenen, langen Zylinder, der in der Mitte eine Schlitzreihe trägt, bewegt sich der nahezu halb so lange Kolben. Die Kolbenstange führt unter Zuhilfenahme einer Stopfbüchse zu einem Kreuzkopf, in dem die Schubstange sich anschließt. Welle, Schubstange, Kolbenstange sowie Kolben sind hohl und gut wassergekühlt. Daneben sind, wie bei allen Zweitaktmaschinen, noch eine besondere Verdichtungs- und Pumpenpumpe für Gas sowie eine solche für Luft mittels besonderer Kurbel an die Welle angeschlossen.

In der oberen Figur ist der Kolben gerade in der rechten Totpunktlage dargestellt. Als er sich vorher infolge der in der linken Kammer erfolgten Verpuffung nach rechts bewegte, hat er zunächst die Ausstoßschlitze freigelegt, durch die die Verbrennungsgase ausgetreten sind. Unmittelbar darauf hat sich das linke Luftventil geöffnet, das Spülluft in den Zylinder hat eintreten lassen, wodurch die letzten verbliebenen Gasreste hinausgefegt worden sind. Kurz danach ist die frische Ladung durch das Gaseinlaßventil ins Zylinderinnere geströmt und hat bei ihrem Vordringen

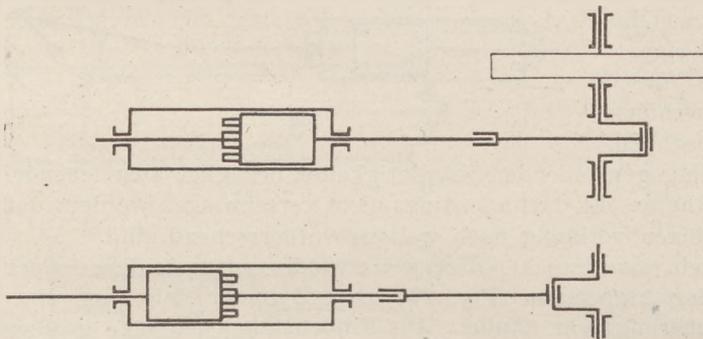


Fig. 18.

die Ausstoßschlitze durch den rückkehrenden Kolben bereits wieder verschlossen gefunden. In der rechten Kammer nämlich ist das hier vordem komprimierte Gas-Luft-Gemisch zur Verpuffung gebracht worden. Nahe der linken Totpunktlage des Kolbens (untere Figur) werden die Verbrennungsgase durch die dann rechts vom Kolben freigegebenen

Ausstoßschlitze ins Freie geleitet usw., während das mittlerweile in der linken Kammer komprimierte Ladungsgemisch unmittelbar danach verpufft und den Kolben wieder nach rechts wirft.

Bei der doppelt wirkenden Zweitaktmaschine von Körting wird mit anderen Worten bereits bei Verwendung eines einzigen Arbeitszylinders bei jedem einzelnen Kolbenhube Arbeit geleistet, und so ist denn diese Maschine eigentlich das Ideal einer Gaskraftmaschine.

An sich würde sie durchaus geeignet sein zur Umstellung auf Diesetrieb — es ist mir aber nicht bekannt geworden, daß eine derartige Maschine bisher tatsächlich gebaut worden ist.

Gegenüber allen bisher behandelten Kolbenmaschinen treten die Gasturbinen, die neuerdings allem Anschein nach das Versuchsstadium bereits hinter sich haben (Holzwarth), in ihrer Bedeutung bisher noch derartig zurück, daß man sie im Unterricht mit ein paar Worten abtun kann. Immerhin glaube ich, daß, wie in unseren Tagen die Dampfturbine in raschem Siegeszug die Kolbendampfmaschine allenthalben verdrängt, dereinst die Zeit kommen wird, wo die Gasturbine der Kolben-gasmaschine ein ähnliches Schicksal bereitet.

Zum Schluß brauche ich wohl kaum noch hinzuzufügen, daß natürlich alle Modelle und Zeichnungen nur ein im Schulunterricht allerdings aus verschiedenen Gründen unentbehrlicher Notbehelf sind. Und so gebe ich denn den dringenden Rat, die Schüler nach erfolgter Vorbereitung auf das zu Sehende so oft wie nur irgend zugänglich in die Betriebe hinein zu führen und ihnen wirkliche Maschinen zu zeigen.

Eine neue sehr wirksame lineare Thermosäule.

Von H. Keefer in Reutlingen.

Für viele physikalische Zwecke kann man sich statt des nur sehr schwer mit einfachen Mitteln herzustellenden Bolometers mit Vorteil auch der einfacher gebauten linearen Thermosäule bedienen, welche besonders durch H. RUBENS¹⁾ auf eine hohe Leistungsfähigkeit gebracht worden ist. Diese Säule wird von der Firma Keiser und Schmidt in Berlin in den Handel gebracht. Verfasser hat nun versucht, angeregt durch den interessanten Aufsatz in dieser Zeitschrift (32, 1919, S. 7—13) „das Thermoelement als Demonstrationsthermometer“ von E. GÜNTHER, zunächst nur für die qualitative Vorführung der Wärmestrahlungserscheinungen im Klassenunterricht, eine einfache aber wirksame Thermosäule mit recht geringer Wärmekapazität, aus eigenen Mitteln und damit billig selbst herzustellen. Dieser Versuch ist über Erwarten geglückt. Wenn auch die selbstgefertigten Säulen in Bezug auf ihre technische Ausführung den bekannten Thermosäulen von NOBILI und RUBENS erheblich nachstehen, so hat sich doch gezeigt, daß ihre Empfindlichkeit den erwähnten Anforderungen im Unterricht der Mittelschule vollständig genügt, ja daß sie sich sogar auch für quantitative Messungen sehr gut eignen, sofern dem Experimentator für diesen Fall ein hochempfindliches Galvanometer zur Verfügung steht.

1. Verfasser fertigte die ersten Säulen aus $\frac{1}{2}$ mm breiten Kupfer- und Eisenlamettafäden. Zur Herstellung einer Säule benötigt man ein etwa 3—4 mm breites und ebenso dickes Vierkantstäbchen aus Hartholz, auf welches man in 20—30 etwa 1 mm voneinander abstehenden Windungen den Kupferlamettafaden wickelt. Anfang und Ende des Fadens lötet man an nicht zu dicken, isolierten Kupferdrähtchen fest, die man dann noch durch enge Löcher des Stäbchens hindurchzieht. Nun werden die kurzen Lamettastücke zweier gegenüberliegender Seitenflächen des Stäbchens abgeschmirgelt und dann gut mit Schnellot verzinkt. Dazu ist ein kleiner, handlicher LötKolben und etwas Geschicklichkeit erforderlich, wenn dabei das hölzerne Stäbchen nicht zu sehr angebrannt werden soll. Auf die beiden anderen Seitenflächen des Stäbchens werden schmale Glimmerstreifen mit Klebwachs oder Schellack aufge kittet. Jetzt wickelt man den zweiten Eisenlamettafaden in entgegengesetztem Sinne wie den ersten Faden so auf das Stäbchen, daß die beiden Fäden auf den Seitenflächen mit den bereits verzinnten Lamettastücken berührend nebeneinander oder noch besser aufeinander zu liegen kommen (Fig. 1). Ist bei der Herstellung des Instrumentchens ein Schüler behilflich, so kann dieser während des Wickelns das Verlöten beider Fäden in den Berührungsstellen nacheinander vornehmen. In diesem Falle hat man am Ende der Arbeit die Gewißheit, daß bei sämtlichen Lötstellen eine vollständige Verbindung der Fäden erreicht ist. Hat man jedoch die Anfertigung der Säule allein auszuführen, so wickelt man zunächst den zweiten Faden vollständig auf und zieht ihn durch ein Loch im Stäbchen hindurch fest, wobei man sehr darauf achten muß, daß beide Fäden sich gleichmäßig berühren, so daß jetzt ein gutes Verlöten beider möglich ist. Zuletzt befestigt man auch an

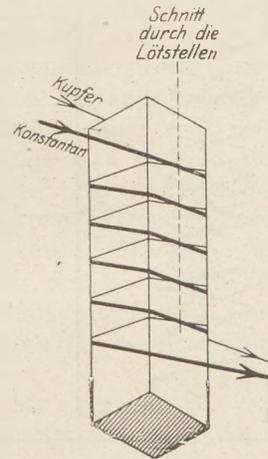


Fig. 1.

¹⁾ Rubens. Zeitschr. f. Instr. 18, 67, Fig. 2, 1898 und d. Zeitschr. 11, 126 (1898).

²⁾ Nobili, Pogg. Ann. 36, 525 (1835).

den Enden dieses zweiten Fadens geeignete, isolierte Kupferdrähtchen. Um ein Verschieben der Fäden auf den Seiten des Stäbchens, wo die Glimmerstreifen liegen, zu verhindern, befestigt man dort mit kleinen Drahtstiften etwa 5 mm breite, dünne Brettchen. Sodann schneidet man sämtliche Lötstellen gleichmäßig in der Mitte und in der Richtung des Stabes durch und erhält so 4 Reihen Lötstellen, auf jeder Seite zwei, wovon je eine vordere (I) und eine hintere Reihe (II) so zusammengehören, wie es Fig. 2 zeigt. Die beiden Reihen jeder Seite schaltet man nun aber vorteilhaft parallel, wie es Fig. 3 angibt, wo die Punkte 1, 2, 3, . . . etwa die vorderen, die Punkte 1', 2', 3', . . . dann die hinteren, einander gegenüberstehenden Lötstellenpaare bedeuten. Demnach können auf jeder Seite 40 bis 60 Lötstellen zur Geltung kommen, die auf einer Strecke von höchstens 10 cm Länge liegen. Wenn die Säule soweit

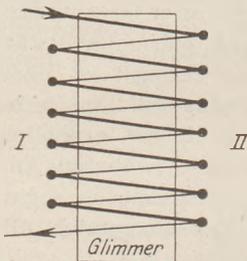


Fig. 2.

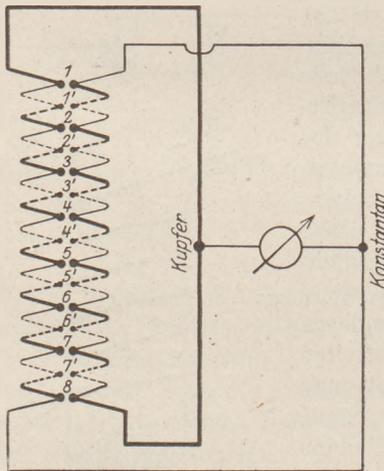


Fig. 3.

fertig ist, so überzeugt man sich noch vom einwandfreien Stromdurchgang und beruht dann die Lötstellen über einer schwach brennenden Petroleumflamme. Dadurch wird, wie schon Lebedew¹⁾ zeigte, die Empfindlichkeit der Säule erheblich gesteigert. Zur bequemeren Handhabung baut man die ganze Vorrichtung in ein kleines Holzkästchen ein, dessen Seitenwände die Säule eng umschließen. Auf den Seitenflächen, wo die Lötstellen sitzen, bringt man schmale Schieber an, um eine Seite vor der Einwirkung der Wärmestrahlung zu schützen, wenn die andere Seite der Bestrahlung ausgesetzt ist. Eine Erhöhung der Wirksamkeit kann dadurch erzielt werden, daß man der einen Seite der Thermosäule einen kleinen Metalltrichter aufsetzt, dessen innere Fläche einen Teil der auf sie fallenden Strahlen nach der Grundfläche der Säule hin spiegelt. Die Öffnung dieses Trichters kehrt man dann natürlich der Seite zu, von welcher die Strömung der strahlenden Energie kommt. Die hierbei auftretende Erwärmung der Lötstellen ruft einen elektrischen Strom hervor, dessen Stärke von einem hochempfindlichen Galvanometer gemessen wird und dann als Maß der strahlenden Energie dienen kann²⁾.

Eine noch wirksamere Thermosäule derselben Konstruktion hat Verfasser mit 0,1 mm dicken Kupfer- und Konstantandrähten gebaut; sie kommt den bekannten fabrikmäßig hergestellten, linearen Thermosäulen an Empfindlichkeit vollständig gleich. Jeder Physiklehrer, der über einen solchen empfindlichen Wärmestrahlungsmesser noch nicht ver-

fügt, wohl aber über ein empfindliches Spiegelgalvanometer, sollte nach diesen Angaben des Verfassers die Herstellung einer Thermosäule versuchen. Die aufgewendete Mühe würde sich sicher lohnen.

2. Die beste der gefertigten Säulen fand nun zu folgenden Versuchen Verwendung:

Der Nachweis der Ausbreitung und Reflexion der dunklen Wärmestrahlen wurde erbracht unter Zuhilfenahme des Leslieschen Würfels und der großen metallenen Hohlspiegel des Kabinetts.

¹⁾ Lebedew, *Drud* A. 9, 209, 1901.

²⁾ Vergl. hierüber auch Grimsehl's Lehrbuch der Physik, I. Bd., 1914. S. 911/12.

Ganz bequem konnten auch die Leslieschen Versuche vorgeführt werden, die dem Studium der Abhängigkeit der Wärmestrahlung von der Beschaffenheit der Oberfläche dienen.

Ebenso ließen sich auch die Versuche mit athermanen und diathermanen Körpern mit aller Deutlichkeit zeigen.

Auch die Wärmewirkung im roten und ultraroten Teil eines von einem gewöhnlichen Glasprisma erzeugten Spektrums ließ sich mit der Thermosäule mit Sicherheit nachweisen. Das Galvanometer gab auf einer 4 m entfernten Skala im Maximum einen Ausschlag von 40 cm.

Die warme Hand verursachte schon in einer Entfernung von $\frac{1}{2}$ m vor der Säule einen Galvanometerausschlag von 10 bis 20 cm.

Nicht unerwähnt bleiben soll der Versuch, der dem Verfasser zum Nachweis der Abkühlung bei Luftverdünnung diente. Zu diesem Zweck wurde die Thermosäule unter den Rezipienten gebracht und durch dünne, weiche Kristallametta an das Galvanometer angeschlossen. Dabei lagen die Lamettafäden zwischen Luftpumpenteller und Rezipient und bedingten selbstverständlich undichten Abschluß. Aber trotzdem zeigte sich schon bei den ersten Kolbenzügen ein Ausschlag des Galvanometers, der Abkühlung bedeutete. Ließ man die Luft rasch wieder einströmen, so trat Erwärmung ein.

Will man quantitative Versuche, etwa spektrometrische Strahlungsmessungen vornehmen, so fertigt man sich aus naheliegenden Gründen noch eine zweite, vollständig lineare Thermosäule ebenfalls aus 0,1 mm dicken Kupfer- und Konstantan- oder Eisen- und Konstantandrähten und legt dabei die Windungen so eng als nur möglich aneinander; man kann ganz gut 20—25 Lötstellen auf ca 3—4 cm Stablänge anordnen. Wieder schneidet man dann die Lötstellen in scharfer gerader Linie mitten durch und beseitigt die eine Hälfte der doppelteiligen Thermosäule vollständig, die dann selbst wieder, da sie in dem eingelegten Glimmerstreifen einen Halt besitzt, als Thermosäule irgendwie montiert werden und für andere Zwecke Verwendung finden kann. Man kann für spektrometrische Zwecke aber auch beide Hälften in Parallelschaltung zusammen verwenden; nur muß man dann dafür sorgen, daß die gegenüberliegenden Lötstellen einer Seite des Stäbchens (Fig. 3) durch Verschiebung in eine gerade Linie gelangen. Dies läßt sich auch leicht erreichen, wenn man den aufgewickelten Drähten etwas Spielraum läßt. Verfasser hat sich, ohne viel Mühe und von praktisch veranlagten Schülern unterstützt, für die verschiedensten physikalischen Versuche besondere Thermosäulen der beschriebenen Art selbst hergestellt, die meistens mit den erforderlichen Nebenapparaten für bestimmte Vorführungen im Unterricht dauernd zusammengestellt bleiben.

3. Für alle diese Versuche muß, wie schon erwähnt, das Galvanometer recht empfindlich sein. Verfasser benützte auch hiefür ein selbstgefertigtes Instrumentchen, ein Drehspul-Spiegelgalvanometer nach den Angaben von Adam gebaut (vergl. hierzu: Hahn's Handbuch für phys. Schülerübungen, S. 345/6), nur mit dem Unterschied, daß die Drehspule auf einen kreisrunden, etwa $\frac{1}{2}$ cm breiten, dünnen Aluminiumring aufgewickelt ist, in welchen eine genügend große Eisenkugel zur Verstärkung des Magnetfeldes hereinragt. Als Aufhängung dient ein sehr schmaler Kupferlamettafaden und als Zuleitung von unten eine aus solcher Lametta eng und etwa 10 cm lang gewickelte Spiralfeder. Die Spule hat ungefähr 50 bis 60 Windungen 0,05 mm dicken Kupferdrahtes und besitzt starke, elektromagnetische Dämpfung, dank dem sehr guten Hufeisenmagneten, der von der Firma Gebr. Holder, Maschinenfabrik Metzingen (Wttbg.), zu dem sehr geringen Preis von 12 Mk. für das Stück bezogen werden kann. Der Galvanometerspiegel ist ein kleiner Hohlspiegel [10(mm)²], der von der geraden Glühspirale einer Wotan-Halbwatt-Lampe (32 HK., 6 V.) ein helles und scharfes Bildchen auf einer 4 m entfernten Skala entwirft. Das Instrumentchen hat sich sehr gut bewährt, zeigt Konstanz des Nullpunktes und besitzt eine

Stromempfindlichkeit von 10^{-8} Amp. für 1 mm Ausschlag bei 1 m Skalenabstand. In den vom Verfasser geleiteten Schülerübungen sind 4 selbstgefertigte Galvanometer dieser Bauart im Gebrauch.

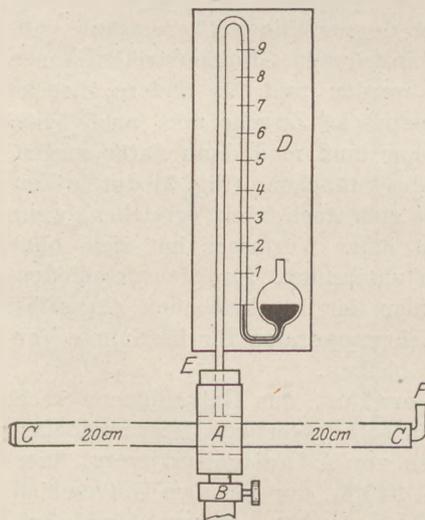
Zu weiteren Angaben über die Herstellungsweise der Thermosäule wie auch über den Bau des Galvanometers ist der Verfasser auf Anfragen stets gern bereit¹⁾.
Reutlingen, im Mai 1921.

¹⁾ Die physikalischen Werkstätten (Phywe) in Göttingen haben sich bereit erklärt, die Herstellung des Apparates zu übernehmen. Eine entsprechende Beschreibung desselben wird dann später noch in der von dieser Firma verlegten Zeitschrift „Die praktische Schul-Physik“ gegeben werden. Es steht zu hoffen, daß die genannte Firma es versuchen wird, eine Steigerung der Empfindlichkeit der Säule nach dem Vorgange von LEBEDEW durch Einbauen des Instrumentes in ein Glasgefäß, in welchem der Druck nur etwa 0,001 mm beträgt, zu erreichen.

Schwungmaschinenaufsatz zum Bestimmen der Fliehkraft der Luft.

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

Das mit starker Bodenplatte versehene Rohrstück *A* von 15 mm Weite kann mittels des zentrisch eingesetzten Zapfens *B* in die Spindel der Schwungmaschine geschraubt werden. Quer hindurch ist das in seiner Mitte angebohrte Rohr *C* von 0,8 cm Weite und 40 cm Länge eingelötet. Die in schnelle Umdrehung versetzte Vorrichtung schleudert die in den Rohrarmen *C* befindliche Luft nach außen, und in *A* tritt lebhaftes Saugen ein, was sich mittels Rauch leicht feststellen läßt, besonders hübsch unter Verwendung einer in einen durchbohrten Verschußkork eingebrachten brennenden Zigarrette.



Zum Messen der Saugkraft dient das Manometer *D* von der aus der Figur ersichtlichen Einrichtung. Das auf einem Brettchen befestigte Manometerrohr ist nur 2 mm weit, die Kugel mindestens 20 mm. Als Füllung dient zweckmäßig durch Alkana rot gefärbtes Benzin (0,74). Die Steighöhe wird an einem hintergelegten Streifen Millimeterpapier mit kräftig nachgezogenen Zentimeterstrichen abgelesen.

Das Manometer läßt sich mittels eines hinter dem Brett angesetzten fingerdicken Holzstiels in die Klammer eines Bunsenstativs so befestigen, daß der abwärts gerichtete Stengel des Manometerrohrs vertikal in die zentrische

Bohrung eines Verschußkorks *E* taucht. Wenn die Bohrung recht sorgfältig hergestellt und mit etwas Öl angefeuchtet worden, wird bei der Rotation von *A* das Manometer erschütterungsfrei bleiben und trotz geringen Reibungswiderstandes keine Beiluft haben. —

Bevor wir unsern Apparat für messende Versuche in Gang bringen, müssen wir uns darüber klar werden, welche Steighöhe wir bei bestimmter Umdrehungszahl zu erwarten haben. Die Größe der Fliehkraft der in den Rohrarmen befindlichen Luft ergibt sich in derselben Weise wie bei der Aufgabe: Wie groß ist die Fliehkraft eines dünnen Prismas von der Länge *l*, dem Querschnitt *q*, der Stoffdichte *d*, welches sich um seinen Endpunkt an einer zu ihm senkrechten Achse dreht. Nach

der Zentrifugalformel ergibt sich ohne weiteres in Grammen, wenn n die Umdrehungszahl in der Sekunde,

$$p = 4\pi^2 \cdot qld \cdot l/2 \cdot n^2/g.$$

Sei $q = 1$ und l für Zimmertemperatur 0,00122, so wird bei $l = 20$ cm

$$p = 0,00976 \cdot n^2$$

entsprechend einer Wassersäule von ebensoviel Zentimetern. Man ersieht daraus, daß, um gut ablesbare Steighöhen zu erzielen, die Umdrehungsgeschwindigkeit schon recht hoch getrieben werden muß. Denn für $n = 10$ wird p nur 0,98 cm Wasser oder 1,32 Benzin.

Natürlich läßt sich die erforderliche Gleichmäßigkeit der Drehgeschwindigkeit aus freier Hand nur schlecht hervorbringen. Mir stand am Realgymnasium zu Brandenburg ein für das städtische 220-voltige Gleichstromnetz eingerichteter 200-Watt-Motor zu Gebote, welcher bei voller Spannung 30 Umdrehungen macht, aber auch mit Klemmspannungen bis 50 V. hinab, wie sie von der Schalttafel aus durch Abzweigung entnommen werden, gut läuft. Die Zentrifugalmaschinenspindel ist mit dreistufiger Schnurrolle versehen. Der Motor arbeitet auf die größte der Rollen, während das Schwungrad mit der kleinsten durch Schnur verbunden bleibt, unter dem Übersetzungsverhältnis 1:10,7. Die Umlaufzeit des Schwungrades läßt sich leicht mit der Stoppuhr feststellen, und damit auch die Umdrehungszahl des Zentrifugalaufsatzes.

Man experimentierte nun immer bei drei bestimmten Kurbelstellungen der Schalttafel, für welche die nachstehenden Werte von n ein für alle Male ermittelt waren.

$$\begin{array}{r} n = 11,46 \quad 16,1 \quad 21,4 \\ n^2 = 131 \quad 259 \quad 458. \end{array}$$

Die nach obiger Formel berechneten Steighöhen im Manometer für Wasser oder Benzin mußten sein:

$$\begin{array}{r} 1,27 \quad 2,52 \quad 4,97 \\ 1,74 \quad 3,42 \quad 6,13. \end{array}$$

Nach dieser Vorbereitung mit den Messungen beginnend, beobachtet man Manometerausschläge, die nicht in Übereinstimmung mit der Theorie sind, sondern nahezu im Verhältnis 3:4 zu groß. Es muß also außer der Fliehkraft noch eine andere saugende Kraft im Spiel sein, für welche das Quadratgesetz ebenfalls Geltung hat, deren Ursprung von den Schülern auf Grund mancher in ihrem Erfahrungsbereich liegenden Tatsachen in der saugenden Wirkung von Luftströmen, welche über eine Öffnung hinwegstreichen, leicht erkannt wird. Die Rohrenden unseres Apparats fahren ja mit 14,5—27 m Geschwindigkeit durch die Luft. Sogleich kommt man von selbst auf den Gedanken, daß der Apparat auch die Möglichkeit bietet, sich über die Eigenart aërodynamischer Saugkräfte Aufschluß zu verschaffen, wenn man an der Mündung des stillstehenden Rohrs mittels eines wagrecht eingespannten Glasrohrs kräftig vorbeibläst. Noch übersichtlicher werden diese Versuche, wenn man ein kurzes Winkelrohr E (Fig. 1) mittels eines Schlauchabschnitts in das Rohr C einsetzt. Je nach der Stellung des herausragenden Schenkels ist die Saugwirkung sehr verschieden. Am kräftigsten, wenn F senkrecht gerichtet ist. Aber auch bei wagrechtlicher Lage, in der Stromrichtung, verbleibt noch eine nur wenig geringere Hebung des Manometerfadens. Natürlich zeigt sich umgekehrt eine Druckwirkung, wenn F gegen den Strom gedreht wird. Mithin muß es eine bestimmte Schrägstellung geben, bei der weder Saugen noch Drücken stattfindet. Dieser Grenzfall tritt ein, wenn F ungefähr mit 70° gegen die Windrichtung steht. Damit ist ein Weg gefunden, die störende aërodynamische Wirkung zu beseitigen. In der Tat zeigt das Manometer,

wenn man den Apparat bei der gedachten Stellung von F' laufen läßt, mit befriedigender Genauigkeit die in obiger Tafel zusammengestellten, allein von der Zentrifugalkraft bewirkten Saughöhen.

Somit hat das behandelte Zentrifugalproblem in anschaulicher und beweiskräftiger Weise seine Lösung und experimentelle Bestätigung gefunden. Der dabei wegen des Auftretens aerodynamischer Kräfte notwendig gewordene Umweg gab zu lehrreichen Seitenausblickten gute Gelegenheit.

Hinzugefügt sei, daß man, wenn auch weniger sicher, jene störende Wirkung in der Weise unschädlich machen kann, daß man statt des einfachen Winkelrohrs F' ein T -Röhrchen verwendet, und zwar unter horizontaler Lage seiner beiden Schenkel. Beim Laufen des Apparats muß dann am vorderen Schenkel eine Pressung, am hinteren ein Saugen eintreten. Dadurch, daß man nun beide Schenkel mit Watte ausstopft, läßt sich der quer hindurchstreichende Luftstrom so verlangsamen, daß seine Saugwirkung auf die Mündung des Schwungrohrs verschwindet.

Bei der den Versuchen angeschlossenen Besprechung der vielfachen Verwendungen fortgeschleuderter Luftmassen muß selbstverständlich auch der neuzeitlichen Turbo-gebläse gedacht werden. Vorab ist dabei zu betonen, daß die Saugkraft nicht nur mit der Umlaufzahl, sondern auch mit der Armlänge quadratisch anwächst, so daß z. B. bei 80 cm Radius und 40 Umläufen eine 64 mal größere Wirkung eintreten muß als bei unserem Apparat, mithin einer Wassersäule von $5 \cdot 64 = 320$ cm das Gleichgewicht hält. Werden also zehn solche Stufen nach dem Konstruktionschema des Turbogeblasses hintereinander geschaltet, so kommen Pressungen von mehr als 3 Atmosphären zur Entwicklung.

Gasvolumetrische Unterrichtsversuche mit der Glühdrahtpipette.

Von P. Rischbieth in Hamburg.

In zwei früheren Veröffentlichungen (*ds. Zeitschr.* 15, 75 ff. und 22, 19 ff.) habe ich eine größere Zahl von quantitativen Unterrichtsversuchen beschrieben, die sich in einfacher Weise und in kurzer Zeit mit einer den Bedürfnissen des Unterrichts angepaßten Gasbürette ausführen lassen. In letzter Zeit habe ich nun gefunden, daß sich manche der früheren und verschiedene neue quantitative Gasversuche in fast noch einfacherer und schönerer Weise ausführen lassen dadurch, daß man die Gase wie bei der Winklerschen Bestimmung des H und CH_4 im Gasrest mit einer innerhalb einer Gaspipette a , Fig. 1, glühenden Platindrahtspirale b in Berührung bringt, und zwar so, daß man das eine Gas langsam zu dem anderen hinzutreten läßt. In gewisser Analogie mit dem Thermitverfahren beginnt dann die Reaktion bei einem sehr geringen Partialdruck des einen der beiden Gase und verläuft ohne Heftigkeit. Man behält sozusagen den Vorgang fest in der Hand. Von der gewöhnlichen Hempelschen Pipette unterscheidet sich die unsrige dadurch, daß die tief nach unten gebogene Kapillare fortgefallen ist zugunsten eines kapillaren Glashahnes. In der Kapillare bleiben nämlich leicht Flüssigkeitsreste zurück, die die Pipette gefährden, wenn sie während der Reaktion an den oberen heißen Teil der Pipette gelangen. Der Hahn ist notwendig, um die Pipette mit dem einen Gase abzuschließen, wenn das zweite Gas in der Bürette abgemessen wird. Er kann fehlen, wenn man einen kapillaren Dreiweghahn hat an Stelle des gewöhnlichen Dreiwegstückes der Fig. 1. Die Spirale wird am einfachsten am oberen Ende zweier Kupferdrähte befestigt, die isoliert durch eine Glasröhre gehen und am anderen Ende eine beliebige Anordnung zur Befestigung der Leitungsdrähte besitzen. Die Glasröhre geht durch einen Stopfen hindurch und wird mit diesem in die untere Öffnung d der Gaspipette eingeführt. Die Gasbürette f

ist die früher beschriebene ungekröpfte, möglichst genau 100 ccm fassende, die sich bei zahllosen Versuchen vortrefflich bewährt hat. Mit diesem einfachen Apparat kann

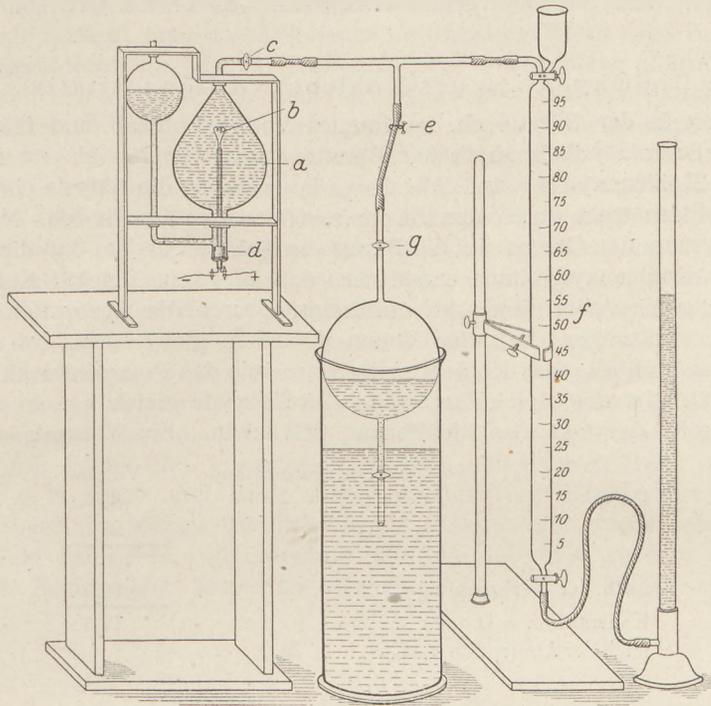


Fig. 1.

man eine Fülle grundlegender quantitativer Gasversuche ausführen, von denen ich im folgenden einige kurz beschreiben will.

1. Synthese des Wassers (quantitativ)¹⁾. Analyse der Luft.

Man mißt in der Bürette etwa 60 ccm, 80 ccm oder 100 ccm, je nach Größe der Gaspipette, genau ab und führt sie in die Pipette über, worauf man den Glasshahn *c* schließt. Sodann leitet man durch einen am Kippschen Apparat befestigten längeren Schlauch, nachdem man daraus die Luft verdrängt hat, Wasserstoff im Überschuß, also bei 100 ccm Luft etwa 25–30 ccm, durch das Dreiwegestück in die Bürette, schließt Klemme *e* und stellt das Volum fest. Man bringt nun durch Öffnen und allmähliches Verstärken des elektrischen Stromes die Platindrahtspirale in helle Rotglut und läßt nach dem Öffnen von *c* langsam und ruhig den Wasserstoff in die Pipette einströmen. Nachdem sich der obere Teil der Pipette etwas abgekühlt hat, zieht man den Gasrest in die Bürette zurück und bestimmt die Kontraktion. Es zeigt sich, daß sie das Dreifache des in der Luft enthaltenen Sauerstoffs ausmacht. Der Sauerstoffgehalt feuchtigkeitsgesättigter Luft bei Zimmertemperatur ist 20,4. Ein Versuch ergab folgende Zahlen:

	Bürettenstand	Volum
Luft		100
H.	44,3	55,7
		<hr/> 155,7
nach der Verbrennung	5,4	94,6
		<hr/> 61,1
Kontraktion		20,4
darin O		<hr/> 40,7
also H		40,7

O : H = 20,4 : 40,7 = 1 : 2,0.

¹⁾ Vgl. auch Friedrich C. G. Müller, diese Zeitschr. 20, 11.

Setzt man das Verhältnis von Wasserstoff und Sauerstoff bei der Wasserbildung als bekannt voraus, so gibt derselbe Versuch die Analyse der Luft, indem ein Drittel der Kontraktion dem Sauerstoffgehalt entspricht. Es ergibt sich dann die obige Zahl 20,4.

2. Die Oxydation des Kohlenoxyds (quantitativ).

Man sperrt in der Bürette ein bestimmtes Volum Luft ab und führt es in die Pipette über. Sodann mißt man in der Bürette etwas weniger als zwei Fünftel des Luftvolums an Kohlenoxyd ab und läßt dieses langsam in die Bürette eintreten, nachdem man den Platindraht durch den Strom zur Rotglut gebracht hat. Nach der Verbrennung zieht man den Gasrest in die Bürette zurück und findet, daß die Kontraktion der Hälfte des Kohlenoxydvolums entspricht, daß also ein Molekül Kohlenoxyd bei der Verbrennung ein Atom Sauerstoff aufnimmt. Durch die Absorption des Kohlendioxyds kann man zeigen, daß das Volum desselben gleich dem des angewandten Kohlenoxyds ist, daß also das Kohlenoxyd ebenso wie das Dioxydmolekül ein Kohlenstoffatom besitzt. Ist das Molekulargewicht des Dioxyds gleich 44, so muß das des Monoxyds 28 sein, das Gas also die Formel CO haben. Ein Versuch ergab:

	Bürettenstand	Volum
Luft	—	80
CO	75	25
		<hr/> 105
nach der Verbrennung	7,5	<hr/> 92,5
Kontraktion = O		12,5
nach der Absorption des CO ₂	31,0	
CO ₂		23,5

CO : O = 25 : 12,5 = 2 : 1.

3. Synthese des Chlorwasserstoffes.

Die Zusammensetzung des Chlorwasserstoffes wird zumeist durch die Elektrolyse der Salzsäure ermittelt. Die beschriebene Glühdrahtmethode gestattet es nun, in kurzer Zeit vor der Klasse zu zeigen, daß bei der Bildung des Chlorwasserstoffes gleiche Volumina Chlor und Wasserstoff sich miteinander verbinden¹⁾.

Man mißt 100 cm Wasserstoff in der Bürette, die mit Salzwasser gefüllt ist, genau ab und führt das Gas in die Pipette über. Dann läßt man aus der Vorratskugel etwa 30 cem Chlor in die Bürette treten, stellt das Volum fest und läßt es, nachdem man den Platindraht zur hellen Rotglut gebracht hat, mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 cem/Sek. in die Pipette einströmen. Man erkennt an dem stärkeren Glühen des Drahtes, daß der Prozeß exotherm verläuft. Es findet keinerlei Explosion statt, wenn man, wie eben angegeben verfährt. Den Rest des Wasserstoffs zieht man, nachdem sich die Pipette etwas abgekühlt hat, in die Bürette zurück. Ein Versuch mit einer kleinen Pipette ergab folgendes Resultat:

	Bürettenstand	Volum
H		49,6
Cl	81,3	18,7
		<hr/> 68,3
nach der Reaktion	69,9	<hr/> 30,1
Kontraktion		38,2
darin Cl		18,7
also H		19,5

$$\text{Cl} : \text{H} = 18,7 : 19,5 = 1 : 1,04.$$

¹⁾ Man vgl. auch das Verfahren nach A. W. Hofmann mit einer im Verhältnis 2 : 1 getheilten Röhre in O. Ohmanns Leitfaden d. Chem., 7. Aufl., S. 106.

Ich bemerke, daß der Platindraht durch das Chlor nicht im mindesten angegriffen wird. Die Reaktion vollzieht sich in einer gewissen Entfernung vom Platindraht.

Auch im direkten Sonnenlicht kann man die Synthese sich vollziehen lassen. In diesem Falle ersetzt man die Gaspipette zweckmäßig durch eine Doppelhahnkugel oder Gassammelröhre, wie sie zur Aufnahme von Gasen dient. Die Kugel steht in einem gewöhnlichen Zylinder, in dem sich Salzwasser als Sperrflüssigkeit befindet. Man leitet zuerst 100 ccm Wasserstoff aus der dadurch ganz gefüllten Bürette in die Hahnkugel und schließt den oberen Hahn *g*. Sodann füllt man die möglichst von Wassertropfen befreite Bürette vollständig mit Chlor, das man aus Kaliumpermanganat und Salzsäure schnell und bequem entwickeln kann. Ich pflege nun mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe mit zwischengeschalteter Flasche den Rest des Sperrwassers aus der Halbkugel abzusaugen und den unteren Hahn abzuschließen, damit hernach nicht zu viel Chlor durch das Wasser absorbiert wird. Dann verbindet man die Hahnkugel durch ein kurzes Schlauchstück mit der Gasbürette und läßt durch vorsichtiges Öffnen des Büettenhahns das Chlor langsam in etwa einer Minute in die Hahnkugel treten, wobei diese den direkten Strahlen der Sonne ausgesetzt ist. Beim Eintreten des Chlors beginnt sofort die Reaktion. Die Farbe verschwindet und Salzsäurenebel treten auf. Am Schluß des Versuchs öffnet man den unteren Hahn der Kugel unter Wasser und zieht dann durch Senken des Niveaurohres den Gasrest in die Bürette zurück. Die geringe Menge übrigbleibenden Wasserstoffs erklärt sich daraus, daß das Chlor nicht ganz frei von Salzsäure ist und daß eine geringe Absorption des Chlors durch Sperrwasser kaum zu vermeiden ist. Ein Versuch ergab folgendes Resultat:

	Büettenstand	Volum
H		100
Cl		100
		<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>
		200
nach der Reaktion	91,7	8,3

Von 200 ccm waren also 192 ccm in HCl verwandelt. Man würde das Resultat noch verbessern können, wenn man sorgfältig gereinigtes Chlor verwendet.

4. Volumetrische Analyse des Stickoxydes.

Stickoxyd wird durch glühende Metalle zu Stickstoff reduziert, worauf z. B. die Anwendung der Kupferspirale in der Elementaranalyse beruht. Aber auch Wasserstoff reduziert das Stickoxyd in der Glühdrahtpipette. In den meisten Fällen geht aber die Reaktion über den Stickstoff hinaus zum Ammoniak, ohne daß es gelingt, alles Stickoxyd in Ammoniak zu verwandeln. Zum Zweck einer Analyse des Stickoxyds verfährt man daher besser wie früher beschrieben (*ds. Zeitschr. 12, S. 28 ff.*). Um die Reduktion in der Glühdrahtpipette auszuführen, führt man ein abgemessenes Volum, z. B. 100 ccm, Wasserstoff in die Pipette über, bringt den Draht zum Glühen und läßt nun 30 ccm Stickoxyd langsam in die Bürette einströmen. Es ist nicht geraten, ein Gemisch von Stickoxyd und Wasserstoff zu erhitzen, da hierbei in einem Falle explosionsartige Verpuffung eintrat.

Ein Versuch ergab folgendes Resultat:

	Büettenstand	Volum
H		100
NO		30
		<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>
		130
nach der Reduktion	58,8	41,2
Kontraktion		88,8
Nach d. Absorpt. d. H durch Pallad.	94,2	5,8 = N.

Hiernach ist also nur etwas mehr als ein Drittel des angewandten Stickoxyds zu Stickstoff reduziert.

5. Dissoziation des Stickstoffoxyduls.

Wenn man versucht, wie eben beim Stickstoffoxyd, das Stickstoffoxydul zu reduzieren, so beobachtet man gelegentlich beim Erglühen des Platindrahtes eine interessante Erscheinung. Sobald der Draht glüht, entsteht in seiner Nähe eine gelbliche Flamme, die sich langsam nach oben bewegt und erlischt. Das Gas färbt sich vorübergehend — offenbar durch Stickstoffoxyde — braun, um bald wieder farblos zu werden. Dabei hat sich das Volum vergrößert, aber um weit weniger, als sich nach der Gleichung berechnet. In einem Versuche dehnten sich 50 ccm NO auf 66,4 ccm. Von dem Gemische wurden durch die Phosphorpipette 18,5 Sauerstoff gleich 74% der Theorie absorbiert.

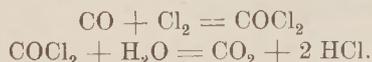
Diese Erscheinungen sind schon von Grove und später von Dixon in England, in Deutschland von Buff und A. W. Hofmann beobachtet, bis auf die merkwürdige Flammenerscheinung. Es ist dazu nötig, daß die Erhitzung schnell geschieht. Der Versuch wie oben verläuft in Sekunden, während die früheren Beobachter bei Verwendung von Schwachstrom Stunden gebrauchten.

6. Dissoziation des Methans (qualitativ).

Bei heller Rotglut des Platindrahtes wird auch das Methan teilweise in seine Bestandteile zerlegt. Auf der Oberfläche des Platindrahtes scheidet sich Kohle aus, während das Volum sich vergrößert, da ein Raumteil Methan zwei Raumteile Wasserstoff enthält. Die Volumzunahme und der Prozeß gelangen sehr bald zum Stillstand. In einem Versuche vergrößerte sich das Volum von 50 auf 63,7 ccm, d. h. mehr als 27% des Gases waren dissoziiert. Auch diesen Versuch kann man in wenigen Minuten vor der Klasse ausführen.

7. Synthese des Phosgens und des Nitroxylchlorids (quantitativ).

Handelt es sich um Prozesse, die bei gewöhnlicher Temperatur vor sich gehen, so ist als Reaktionsraum eine etwa 200—300 ccm fassende, mit zwei Glashähnen mit Rohransätzen versehene Glaskugel bequem, die in einem mit Wasser gefüllten Glaszylinder steht. Um z. B. Phosgen herzustellen und zu analysieren, leitet man 100 ccm CO, das man in der Gasbürette abgemessen hat, unmittelbar aus der Bürette in die Hahnkugel. Danach läßt man aus einer mit Chlor gefüllten Bürette 100 ccm des Gases in die Hahnkugel strömen. Das Gasgemisch zeigt noch die grünliche Farbe des Chlors. Setzt man die Kugel dem direkten Sonnenlicht aus, so ist die Farbe in wenigen Augenblicken verschwunden. Das bei der Umsetzung mit Wasser entstehende Salzsäuregas löst sich im Sperrwasser auf. Zieht man jetzt durch Senken des Niveaufäßes das übrig bleibende Gas in die Bürette zurück, so findet man, daß das gebildete Kohlendioxyd nahezu den Raum des angewandten Kohlenoxyds einnimmt. Das Chlor hat hier, wie so oft, oxydierend gewirkt, indem das niedere Oxyd auf dem Umwege über das Phosgen in das höhere Oxyd übergeführt wurde.



Bei gewöhnlicher Temperatur und ohne direktes Sonnenlicht verbindet sich ein Volum Stickoxyd mit einem Volum Chlor, wobei von 200 ccm Gasmischung nur wenige Kubikzentimeter übrig bleiben. Nach der Gleichung



sollte nur die Hälfte des Volums des Stickoxyds an Chlor gebraucht werden. Vermutlich dient hier der Chlorüberschuß zur weiteren Oxydation der aus dem Nitroxylchlorid mit Wasser entstehenden salpetrigen Säure.

8. Synthese des Schwefeltrioxyds (qualitativ).

Die Oxydation des Schwefeldioxyds durch Sauerstoff in Gegenwart von Platin als Katalysator läßt sich mit diesem Apparat leicht zeigen, wenn man 100 ccm Sauerstoff in der Glühdrahtpipette über einer Lösung von SO_2 in Wasser absperrt und den Draht langsam erhitzt. Eben bevor der Draht glüht, treten dicke Nebel vom Trioxyd auf. Diese lösen sich, wie besonders aus den Arbeiten von Knietzsch bekannt ist, nur langsam in Wasser auf, ein Grund dafür, daß die Umsetzung von SO_2 in SO_3 unter diesen Umständen nicht sehr schnell vor sich geht. Von Zeit zu Zeit führt man das Gas- und Nebelgemisch in die Bürette zurück und überzeugt sich, daß das Sauerstoff-Volum sich vermindert hat. Es gelingt in einer Viertelstunde etwa 20 ccm Sauerstoff in Schwefelsäure überzuführen.

9. Über die Reduktion von Kohlendioxyd durch Wasserstoff und das sog. Wassergasgleichgewicht.

Die Reduktion von Kohlendioxyd wird meistens mit leichten Metallen, wie Kalium, Calcium und Magnesium ausgeführt und führt dann zu Kohle und dem betr. Metalloxyd. Schon vor längerer Zeit (*ds. Zeitschr. Jahrg. 15, 1902, S. 84*) habe ich einen einfachen Versuch beschrieben, der zeigt, daß glühendes Eisen Kohlendioxyd unter Bildung von Kohlenoxyd reduziert. Über die Einwirkung von Wasserstoff auf Kohlendioxyd findet man in den meisten Lehrbüchern so gut wie nichts, während die ältere Literatur über diesen Gegenstand voller Widersprüche ist. Horstmann hat zuerst klar ausgesprochen, daß die Gleichung $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ umkehrbar ist und zu einem Gleichgewicht führt. In mühsamen Untersuchungen wurde die Konstante $\frac{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]^1}{[\text{CO}_2][\text{H}_2]} = K$ zu 4,5—5 bei 2500° gefunden. Aus den beiden Gleichungen $\text{CO} + \text{O} = \text{CO}_2 + 68370 \text{ cal}$ und $\text{H}_2 + \text{O} = \text{H}_2\text{O} + 57650 \text{ cal}$ ergibt sich durch Addition $\text{CO}_2 + \text{H}_2 = \text{CO} + \text{H}_2\text{O} - 10720 \text{ cal}$, d. h. die Reduktion des Kohlendioxyds kann nur unter Wärmezufuhr erfolgen. In unserer Glühdrahtpipette vollzieht sich nun dieser Vorgang mit der größten Leichtigkeit. Der Platindraht wirkt offenbar in viererlei Weise, nämlich temperaturerhöhend, volumvergrößernd, energieübertragend und katalytisch, d. h. reaktionsbeschleunigend. In weniger als 1 Minute sind 70—80% des Kohlendioxyds reduziert. Er gestattet auch insofern eine Bestätigung des Massenwirkungsgesetzes, als man leicht zeigen kann, daß durch erhöhte Wasserstoffkonzentration die Kohlendioxydmenge noch weiter zurückgedrängt wird. Will man durch den Versuch die Volumverhältnisse der beteiligten Stoffe ermitteln, so kann dieses durch die Absorption des zurückbleibenden Kohlendioxyds und Kohlenoxyds leicht geschehen. Die Gleichung zeigt, daß die vier Stoffe mit gleichen Molekülen bei der Reaktion beteiligt sind, woraus bekanntlich die Theorie folgert, daß die Gleichgewichtskonstante der Reaktion vom Druck unabhängig ist.

Die Ausführung des Versuchs gestaltet sich äußerst einfach und nimmt im Unterricht nur wenige Minuten in Anspruch. Man mißt in der Bürette 60 ccm Wasserstoff ab, führt in die Pipette über und sperrt diese ab. Sodann mißt man 60 ccm Kohlendioxyd ab, läßt es in die Pipette treten und bringt den Draht zum Glühen. Zunächst dehnt sich das Gas infolge der Erwärmung durch den glühenden Draht stark aus, bis bei heller Rotglut des Drahtes die Reaktion und damit die Volumkontraktion beginnt. Nach etwa 30—40 Sekunden nimmt das Volum wieder zu, wie man an dem Niveau in der Sperrwasserkugel deutlich beobachten kann. In diesem Augenblicke ist das Gleichgewicht hergestellt, und die zugeführte Wärme wirkt nun ausdehnend. Während des Vorganges beobachtet man eine Zunahme der Temperatur und damit auch erhöhte Glut des Drahtes. Dies hat zwei Ursachen: Einmal nämlich wird Wasserstoff verbraucht, der infolge seines bedeutenden Wärmeleitungsvermögens die Wärme

¹⁾ Die eckigen Klammern bedeuten Konzentrationen, d. h. Mole im Liter.

schneller abführt als andere Gase. Zum andern wird dadurch, daß mit dem Fortschreiten der Reaktion immer weniger Energie für die Reaktion verbraucht wird, Wärme für Temperaturerhöhung disponibel. Es ist geraten, die Hand am Hebel des Rheostaten zu behalten, da der Draht, welcher etwa 0,5 mm stark sein soll, durchschmelzen könnte. Der Draht, ursprünglich rotglühend, erstrahlt bald in höchster Weißglut. Da der obere Teil der Pipette sich stark erwärmt, so wartet man mit der Zurückführung des Gasgemenges einige Augenblicke. Dann vertauscht man die Glühdrahtpipette mit einer gewöhnlichen Gaspipette mit Kalilauge und bestimmt den Rest des Kohlendioxyds und, wenn man will, durch eine Kupferchlorürpipette das gebildete Kohlenoxyd. Will man dieses nur durch die blaue Flamme, mit der es verbrennt, nachweisen, so darf man das Niveaugefaß der Bürette nicht zu hoch halten, da die Flamme erlischt, wenn der Druck, unter dem das Gas ausströmt, wesentlich größer ist als der der Atmosphäre. Ein Versuch hatte folgendes Ergebnis:

	Bürettenstand	Volum	
H		60	
Cl		60	
		<hr/> 120	
nach der Reduktion	26	74	
Kontraktion = H-Verbrauch		46	= 77%
nach der Absorption des CO ₂	39,4		
CO ₂ -Rest		13,4	
nach der Absorption des CO	85		
CO		45,6	= 76% des CO ₂
H-Rest		15	

Es ergibt sich also aus diesem Versuch, daß

1. aus 1 Mol. CO₂ 1 Mol. CO entsteht,
2. auf 1 Mol. CO₂ 1 Mol. H₂ kommt, ersterem also 1 Atom O entzogen wird,
3. wenn gleiche Vol. CO₂ und H₂ aufeinander wirken, $\frac{3}{4}$ unter diesen Umständen umgesetzt werden.

Geht man vom Kohlenoxyd aus und läßt dieses über Wasser etwa 2 Minuten in Berührung mit dem Glühdraht, so stellt sich von der anderen Seite dasselbe Gleichgewicht her, wie der folgende Versuch zeigt:

	Bürettenstand	Volum
CO	40	60
nach dem Erhitzen	28,6	71,4
nach der Absorption des CO ₂	41,7	
CO ₂		13,1
nach der Absorption des CO	84,9	
CO		43,2
Rest H		15,2.

Zusammenstellung: Aus 60 ccm CO₂ und 60 ccm H₂ entstehen:

$$\text{CO} = 45,6 \quad \text{CO}_2 = 13,4 \quad \text{H}_2 = 15,0.$$

Aus 60 ccm CO entstehen:

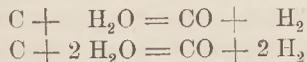
$$\text{CO} = 43,2 \quad \text{CO}_2 = 13,1 \quad \text{H}_2 = 15,1.$$

Der folgende Versuch zeigt den Einfluß überschüssigen Wasserstoffs im Sinne des Massenwirkungsgesetzes

	Bürettenstand	Volum	
H	20	80	
CO ₂	4,5	15,5	
		<hr/> 95,5	
nach der Reduktion	18,2		
Kontraktion = H-Verbrauch		13,7	= 88% des CO ₂
nach der Absorption des CO ₂	19,5		
CO ₂ -Rest		1,3	
nach der Absorption des CO	33,5		
CO		14	= 90% des CO ₂ .

Es sind hier also bei einem Überschuß des H im Verhältnis 5 Vol. H zu 1 Vol. CO 90% des CO₂ in CO umgesetzt.

Unsere Gleichung besitzt nicht nur ein theoretisches, sondern auch ein erhebliches praktisches Interesse, da sie sowohl für die Herstellung des Wassergases, als auch beim Zerfall von organischen Sprengstoffen in Betracht kommt. Sie kann aus den beiden Gleichungen für die Wassergasbildung



durch Elimination von C rein theoretisch abgeleitet werden und bringt dadurch zum Ausdruck, daß dieser Vorgang von der Kohlenstoffdampfkonzentration unabhängig ist. Die aus ihr nach dem Massenwirkungsgesetz sich ergebende Konstante

$$\frac{[CO][H_2O]}{[CO_2][H_2]} = K,$$

das sog. Wassergasgleichgewicht, kann als Summe der Dissoziation des Kohlendioxyds in Kohlenoxyd und Sauerstoff und derjenigen des Wassers in seine Elemente aufgefaßt werden und demnach aus den bekannten Gleichgewichtskonstanten dieser beiden Reaktionen errechnet werden.

$$\frac{\frac{[H_2O]^2}{[H_2]^2[O_2]}}{[CO_2]^2} = \frac{K'}{K''} \quad \text{oder} \quad \frac{[H_2O] \cdot [CO]}{[H_2][CO_2]} = \sqrt{\frac{K'}{K''}} = K.$$

Das so bestimmte K ist für 1000 0,68, für 1400 2,12, für 2000 4,45, während O. Hahn (*Zeitschr. f. phys. Chem.* 44, S. 513) 2,5 bei 1400° und Hoitsema (*Zeitschr. f. phys. Chem.* 1898, 25) 4,5—4 bei 2500 auf experimentellem Wege erhält. Würde es gelingen, bei unserem Versuch die Wasserdampfkonzentration auf einfache Art zu ermitteln, so wäre damit auch die Zahl K bestimmt. Dadurch wäre dem experimentellen Klassenunterricht ein neues Gebiet erschlossen¹⁾.

Glühdrahtpipette, Gasbürette und Zubehör liefert die Firma Emil Dittmar & Vierth, Hamburg 15, in guter Ausführung.

¹⁾ Nach während der Drucklegung ausgeführten Versuchen, über die demnächst berichtet werden soll, ergibt sich für K der Wert 2,1—2,5.

Kleine Mitteilungen.

Eine vereinfachte Zweifeder-Wage.

Von Bruno Kolbe in Reval.

Die in dieser Zeitschrift (*Bd. 25, S. 144*) abgebildete und beschriebene Zweifeder-Wage sollte auch zu Demonstrationen dienen. Der Bequemlichkeit wegen waren zwei Wagen von verschiedener Empfindlichkeit an einem Stativ vereinigt. — Für Schülerübungen empfahl ich auf der letzten Seite eine vereinfachte Form. Diese habe ich seitdem in gegen 100 Exemplaren angefertigt, die sich in Schulen Rußlands und Estlands gut bewährt haben. Daher gebe ich im folgenden eine genauere Beschreibung dieses „Typ B“, um so mehr, als meine erwähnte Notiz anscheinend übersehen worden ist, wie Versuche, die Zweifeder-Wage zu vereinfachen¹⁾, zeigen.

In einem mit zwei Ösen *Ö* an der Wand zu befestigenden Brettchen *B*, Fig. 1 (110 × 110 × 20 mm) ist ein nach vorn vorragender Galgen *G* (vgl. Fig. 2) eingestellt und durch eine Schraube (*S*) fixiert; der Galgen trägt das horizontale Stäbchen *O*, woran die Spiralfedern *m m* und das Skalenlineal (Reißschiene 750 × 55 × 2 mm)

¹⁾ K. Rosenberg, diese Zeitschr. 1918, S. 131.

hängen. Das Lineal hängt an einem Stift, der durch das gabelförmige Ende des Stäbchens geführt ist. Über das Lineal (L) ist eine aus starkem Papier gefertigte Hülse geschoben, welche auf der einen Seite mit weißem Schreibpapier oder besser mit quadriertem Millimeter-Papier beklebt ist und glatt gebügelt wurde. Sie muß sich mit leichter Reibung verschieben lassen, aber in jeder Stellung beharren (andernfalls verwende man eine der gebräuchlichen Drahtklemmen). Auf der Hülse wird die Gramm-Skala angebracht, indem man von 10 zu 10 g (oder für empfindliche Wagen von 5 zu 5 g) eicht und die Abstände in 10 (resp. 5) gleiche Teile teilt (falls $1\text{ g} \geq 5\text{ mm}$ ist, kann jedes Gramm noch in Fünftel geteilt werden). Diese Skalenhülse ist auf dem Lineal verschiebbar (z. B. zum Trieren beim Gebrauch eines Pyknometers). Ehe man an das endgültige Eichen geht, bestimme man das erforderliche Gewicht der Wagschale. Fast alle Drahtspiralen haben die Eigentümlichkeit, daß erst von einer gewissen Belastung an die Längenzunahmen proportional den Gewichtszunahmen sind (wie man beim Eichen leicht erkennt). Die Wagschale muß also ein solches Gewicht haben, daß bei den Spiralfedern die Proportionalität beginnt; aus diesem Grunde scheint mir K. RICHTERS Versuchsanordnung (*ds. Zeitschr.* 32, S. 135), bei welcher die Wagschale und der Metallzeiger entfernt werden, nicht ganz einwandfrei.

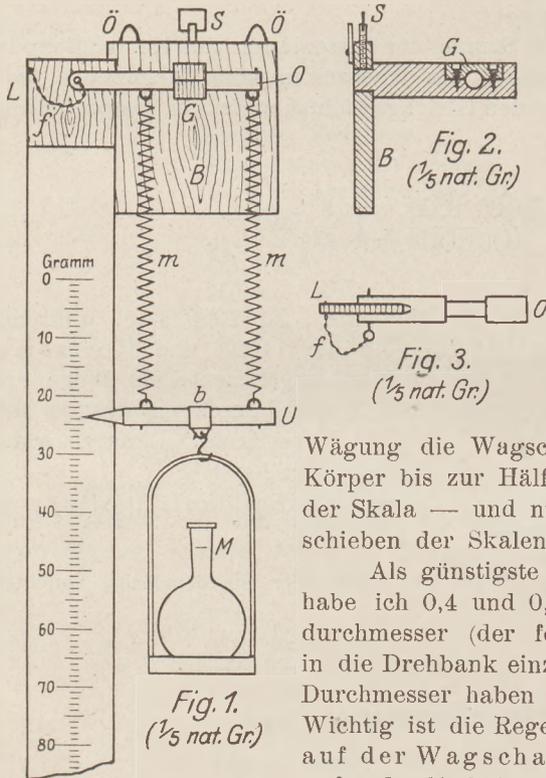


Fig. 1.
($\frac{1}{5}$ nat. Gr.)

Fig. 3.
($\frac{1}{5}$ nat. Gr.)

Bei den meisten Federwagen konnte ich auch beobachten, daß die Wage richtiger zeigt, wenn man vor der Wägung die Wagschale einmal herabzieht — für leichtere Körper bis zur Hälfte, für schwerere bis zum unteren Ende der Skala — und nun die Lage des Nullpunktes (durch Verschieben der Skalenhülse) korrigiert.

Als günstigste Dicke der Stahldrähte für die Spiralen habe ich 0,4 und 0,55 mm gefunden, bei einem Windungsdurchmesser (der fertigen Spirale) von 10–12 mm. Der in die Drehbank einzuspannende Dorn muß etwa den halben Durchmesser haben (glatter Stahlstab, 200–300 Windungen). Wichtig ist die Regel: Lasse nie die Belastung länger auf der Wagschale, als zur sorgfältigen Ablesung erforderlich ist, und schütze die Spiralfedern vor Feuchtigkeit. —

Anfangs hatte der Zeiger meiner Federwagen die Form einer zweizinkigen Gabel, um das Skalenlineal umfassen zu können; später kam ich ganz davon ab und fand es praktischer, die Reißschiene ~ 55 mm breit zu nehmen und die kleinen Teilstriiche in die Mitte zu setzen. Als Zeiger dient die zugespitzte Verlängerung des Holzstäbchens (U), welche so geformt ist, daß sie mit der äußersten Spitze leicht die Skala berührt, wodurch die Schwankungen gedämpft werden, ohne daß die Empfindlichkeit merklich leidet.

Will man diese Zweifeder-Wage auf dem Tisch aufstellen, so braucht man nur die obere Schraube (S) zu lockern und den herausgezogenen Galgen (G) in den Arm eines Retortenhalters von genügender Länge einzuklemmen.

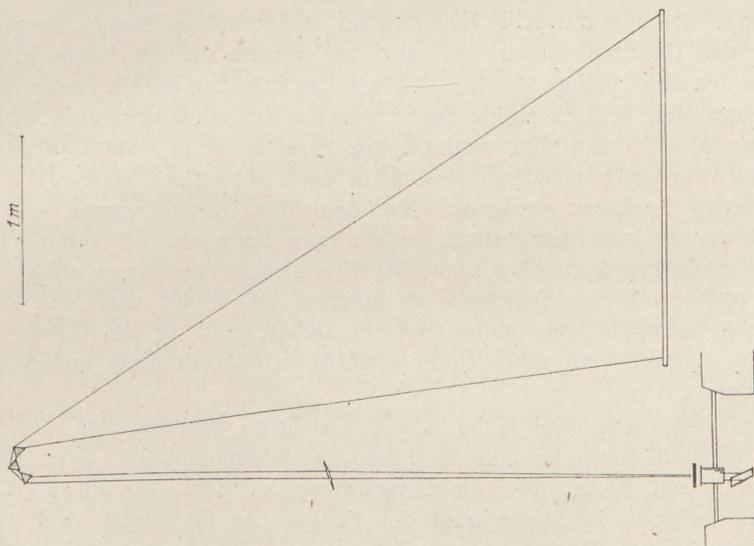
Für die meisten Demonstrationen reichen zwei Federwagen aus: a) für 0–250 g ($1\text{ g} \sim 1\text{ mm}$) und b) 0–125 g ($1\text{ g} \sim 5\text{ mm}$). Für Schülerübungen hat es sich bewährt, von a und b je fünf Exemplare herzustellen.

Zum Nachweis des Archimedischen Prinzips benutze ich zwei Prismen aus Al und Pb, je $20 \times 20 \times 50$ mm (Vol = $20,0$ cm³). Ersteres hänge ich an den Haken der empfindlicheren und letzteres an den der unempfindlicheren Wage und verschiebe bei jeder die Skala so, daß eine runde Zahl angezeigt wird (z. B. Al 50,0 und Pb 200,0). — Dann tauche ich sie ins Wasser und — beide verschieden schwere Körper von je 20 cm³ Inhalt verlieren $20,0$ g an Gewicht! Zur Kontrolle werden dann noch die anderen Prismen verwandt. — Dieser Versuch scheint mir überzeugend genug, besonders, wenn man ihn mit anderen Flüssigkeiten (mit vorher bestimmtem spezifischem Gewicht) wiederholt (Schülerpraktikum).

Ein objektives Sonnenspektrum.

Von Dr. H. Hermann in Tübingen.

Unsere Anstalt besaß einen Handheliostaten, Spiegel 6×14 cm, mit ansteckbarem Spaltrohr, aber ohne Aufstellung für denselben. Ein Fenster hat einen kleinen für sich zu öffnenden Teilflügel. Es wurde eine Bretterwand hergestellt, welche bis über die Höhe dieses Fensterchens reicht und mit einem Loch für den Heliostaten versehen ist; die Verdunkelungsrollwand wurde bis zur Oberkante der Bretterwand herabgelassen. Das Spaltrohr wurde auf besonderem Stativ (Präzisionsstativteile von Mechaniker Bühler in Tübingen) befestigt (andernfalls würde der Spalt beim Drehen



des Heliostaten sich mitgedreht haben). Vorhanden war ferner ein Spektroskop mit drei 60grädigen Flintprismen, Durchtrittsflächen kreisförmig von 3 cm Durchmesser. Sie besitzen infolge der Politurkrümmung eine Linsenwirkung von zusammen etwa $1\frac{1}{2}$ Dioptrie. Entfernt man daher das Fernrohr, so erhält man ein objektives Spektrum in 6 m Abstand. Man könnte auf dem Spalt ein reelles Sonnenbild entwerfen; die zu benützende Linse müßte dasselbe Öffnungsverhältnis haben, wie die des Spaltrohrs des Spektroskops. Dabei kommt viel überflüssiges Sonnenlicht ins Zimmer und muß abgeblendet werden. Einfacher entfernt man daher auch das Spaltrohr des Spektroskops und benutzt dasjenige des Heliostaten. Die natürliche Divergenz der Sonnenstrahlen gibt dem aus dem Spalt tretenden Lichtbündel eine für den Versuch passende, etwas überschüssige Breite in etwa 2,75 m Abstand vom Spalt. Man stellt daher in diesem Abstand ein Brillenglas von $+0,5$ Dioptrien auf. Mit Spaltweite 1 mm er-

hält man in 4 m Abstand vom Spektroskop ein lichtstarkes Spektrum, in welchem etwa 100 Fraunhofersche Linien auftreten. Man macht die Linien scharf, indem man die Linse verschiebt oder bequemer um einen senkrechten Durchmesser ihres Randkreises dreht, wodurch ihre Brechkraft astigmatisch vermehrt wird. Sollte man ein solches Brillenglas nicht sofort erhalten können und die Zeit drängen, so müßte man aus den gangbareren eine sammelnde mit einer um eine halbe Nummer schwächeren zerstreuen verbinden. In diesem Fall läßt sich (durch Schrägstellen der zerstreuen- den Linse) die Brechkraft der Verbindung auch astigmatisch vermindern¹⁾.

Das Spektrum ist gegen 2 m lang. Die Auflösung ist für ein so großes Spektrum mäßig; doch sind die D-Linien auf 1,1 mm Abstand getrennt. Allerdings ist „leere“ Dispersion angewandt. Der hierdurch erreichte Gewinn ist ein Gewinn an Schönheit. Ein kurzes Spektrum wirkt nicht schön, weil Eindrücke einander zu nahe liegender Farben sich gegenseitig stören. Ein Spektrum von der angegebenen Länge dagegen ist eine Pracht, die dem Schüler lebenslang in Erinnerung bleiben wird.

Die nebenstehende Skizze zeigt den Strahlengang. Die Anforderungen an die Genauigkeit des Aufbaues sind wegen der beträchtlichen Spaltweite nicht hoch, so daß ich den anfangs benutzten Stelltisch mit Wasserwage jetzt weglasse.

Zum Auffangen verwende ich die weiß gestrichene Rückseite der früheren Galvanometerskala; sie phosphoresziert etwas im Ultraviolett. Alle Linien, auch im Sichtbaren bis über die Mitte desselben, werden deutlicher auf einem Bariumplatin- cyanürschirm. Am leichtesten zu finden ist das HK-Paar (Calcium, die stärksten Sonnenlinien, in älteren Büchern auch HH₁ genannt). Zum Nachweis des Infrarot auf Sidotschirm (bezogen von C. A. F. Kahlbaum, Adlershof bei Berlin), Format 9×12 cm, muß man einen Gehilfen haben, welcher den Schirm in die Sonne trägt und ihn leuchtend in den Saal bringt. In der Gegend des Infrarot ist ein Stativ bereitgestellt, in welches man den Schirm einklemmt. Der Schirm muß erheblich höher sein als das Spektrum, damit man den verdunkelten Streifen ohne Selbsttäuschung erkennt; das von Hahn angegebene Zerschneiden in zwei schmalere Hälften²⁾ ist also nur für sehr niedrige Spektren geeignet. Nachdem das Infrarot gegen eine Minute gewirkt hat, betrachtet man den Schirm, indem man durch einen Pyramidenstumpf nach Art der Röntgenkryptoskope das Licht des Spektrums vom Auge abhält. Auch vermeide man vorher auf das Spektrum zu starren. So findet man die Verdunkelung auf dem noch schwach leuchtenden Schirm sicher, und in derselben, bei meinem Spektrum eine Spanne vom roten Ende entfernt, wiederum nicht ausgelöschte Stellen (Ψ -Liniengend).

Es lohnt sich nicht, viel Mühe auf das richtige Schrägstellen des Schirmes zu verwenden, da man durch Drehen der Linse rasch nacheinander jede Gegend scharf erhalten kann. Man kann aber die Berechnung der Schnittweiten als Schulaufgabe stellen. Steht der Spalt im Brennpunkt der Brillenlinse für Violett und werden deren Maßzahlen mit kleinen Buchstaben geschrieben, so ist die reziproke virtuelle Bild- weite der roten Strahlen

$$\frac{1}{f_{\text{rot}}} - \frac{1}{f_{\text{violett}}} = \frac{1}{f_{\text{v}}} \left(1 - \frac{n_{\text{r}} - 1}{n_{\text{v}} - 1} \right) = \frac{1}{f_{\text{v}}} \frac{n_{\text{v}} - n_{\text{r}}}{n_{\text{v}} - 1}$$

¹⁾ Der Astigmatismus einer schräg gestellten Linse oder eines ebenso verwandten Hohlspiegels findet auch vorteilhafte Anwendung beim objektiven Entwerfen von Linienspektren. Man kann mit sehr weitem Spalt beim Kohlebogen (den man mit Glas- oder Tonrohr „füttert“) oder ganz ohne Spalt bei einer Hanauer Quarzquecksilberlampe wohl objektive Spektren erhalten, sie sehen aber nicht gerade gut aus. Durch den genannten Kunstgriff gelingt es in beiden Fällen ein besseres Aussehen der Bilder der Lichtquelle zu erzwingen.

²⁾ Physikal. Freihandversuche III, Nr. 642. — Zur Benutzung des Schirmes für wissenschaftliche Zwecke ist Ignatieff, Annalen der Physik (4) 43, S. 1128, Fig. 2 ein Beispiel, das sich zum Vorzeigen eignet. Dasselbst auch Anleitung zum Härten der Sidotschirme mit Kanadabalsam.

Behandelt man die Linsenwirkung der drei Flintprismen wie die einer dünnen Linse und schreibt ihre Maßzahlen mit großen Buchstaben, so ist die reziproke Vereinigungsweite der roten Strahlen $\frac{1}{F_r} = \frac{1}{f_v} \frac{n_v - n_r}{n_v - 1}$; also das Schnittweitenverhältnis von Violett zu Rot

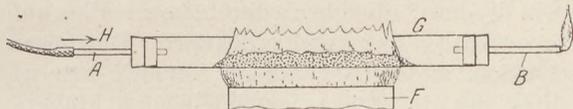
$$\frac{F_v}{F_r} = \frac{F_v}{f_v} \frac{n_v - n_r}{n_v - 1} = \frac{N_r - 1}{N_v - 1} = \frac{F_v}{f_r} \frac{n_v - n_r}{n_v - 1}$$

Mit Rosenbergs Zahlenwerten für Kron (kleine Buchstaben) und Flint (große Buchstaben) erhält man also $\frac{6277}{6711} = 3 \frac{208}{5466} = 0,937 - 0,113 = 0,824$.

Gutes und schlechtes Eisenpulver (*Ferrum pulveratum*) und die Regeneration des schlechten.

Von O. Ohmann in Berlin-Pankow.

Das Gelingen chemischer Versuche mit Metallen hängt oft genug von der Güte des seitens der Firmen gelieferten Materials ab; dies ist ganz besonders bei dem *Ferrum pulveratum* der Handlungen der Fall. Während des Krieges und auch nachher lieferten selbst angesehene Firmen ein recht mangelhaftes Material. Es fragt sich zunächst, wie man die ganz gleich aussehenden guten und schlechten Eisenpulver voneinander unterscheiden kann. Hierfür bewährt sich das folgende Verfahren: Nähert man einem eingespannten Hufeisenmagneten eine Schale mit Eisenpulver, sorgt dafür, daß zwischen den Polen eine Brücke entsteht und bewirkt durch schnelles wiederholtes Erschüttern (Klopfen mit dem Messer), daß die zuerst anhangende, kompakte und leicht abfällige Masse mehr strahlig und gefestigt wird, und berührt jetzt nur eine feine Spitze in der Nähe eines Pols mit der Glühnadel, so muß an diesem Pol die Masse bis in alle Strahlenspitzen lebhaft erglühen, es muß die Brücke überschritten werden und sich das Schauspiel am anderen Pole wiederholen. Gelingt dies gut, so ist solches Eisenpulver auch zu dem Magnetapparat des Verfassers



(zwecks Luftanalyse. *ds. Zeitschr.* 11, 268) vollkommen ausreichend. Bei dem erwähnten Kriegspulver

(bezogen von R. Schering, Berlin N) gelangen diese Versuche in keiner Weise, vielmehr fing das Pulver beim Berühren mit der Glühnadel und selbst der Bunsenflamme, beträchtlich zu rauchen an, indem fettige Dämpfe aufstiegen. Sogar der übliche Versuch mit dem Eisenpulver-Schwefelblumen-Gemisch versagte damit. Die Hoffnung, von der Firma Kahlbäum (Adlershof b. Berlin) ein besseres Pulver zu erhalten, schlug ebenfalls fehl; dieses gab sogar beim Sieben durch ein Drahtnetz ansehnliche Rückstände.

So führte die Not zu der Überlegung, wie man die bezogenen Mengen verbessern, vielleicht ganz regenerieren könne. Nach verschiedenen Versuchen, wobei Leuchtgas durch das erhitzte Eisenpulver geleitet wurde, erwies sich die Regeneration mittels Wasserstoff als am meisten brauchbar. Man fülle das durch ein feineres Drahtnetz gesiebte Eisenpulver in ein schwer schmelzbares Glasrohr (Figur), in welches man bei A getrocknetes Wasserstoffgas einströmen läßt, das man, nach Ausführen der Knallgasprobe, bei B entzündet. Man erwärme, etwa mit einem Heintzschens Brenner F zunächst mit fächernder Flamme und drehe dann beim intensiven Erhitzen das Rohr G, bei A anfassend, langsam hin und her, damit alle Teile des Eisenpulvers vom Erglühen genügend erfaßt werden. Nach Entfernen des Brenners mindere man den Wasserstoffgasstrom bis zum kleinsten Flämmchen, stelle ihn aber erst nach völligem Erkalten ganz ab. Das Endprodukt ist für die erwähnten Versuche gut brauchbar, erreicht aber die Beschaffenheit des früheren Friedenspulvers

nicht ganz. Da dieses Regenerieren besonders bei größeren Mengen ziemlich viel Zeit in Anspruch nimmt, wandte ich mich an die Firma Riedel, Britz b. Bln. mit der Anfrage, ob sie ein Eisenpulver herstellen könne, das bestimmten (den oben näher ausgeführten) Bedingungen entspricht. Daraufhin lieferte mir diese Firma ein ganz vorzügliches Material und übertrug den Kleinverkauf dieses „Ferr. pur. subt. pulv.“ dem Drogenhaus Schmilinsky & Hilgenberg¹⁾. Mit diesem Eisenpulver läßt sich auch die früher in dieser Zeitschrift (11, 135) von mir angegebene Entzündung des am Magneten hängenden Eisenpulvers (oder auch Eisen-Kaliumchlorat-Gemisches) mittels des elektrischen Funkens ausführen. Mit dem nach obiger Vorschrift regenerierten Eisenpulver gelingt dieser Versuch meist erst nach einigen Versagern. Die Erfahrung hat übrigens ergeben, daß die verhältnismäßig schwache Erwärmung des Magneten diesem nicht schadet. — Jetzt bezog ich auch ein ebenfalls vorzügliches, leider noch teureres Eisenpulver von der Firma Merck in Darmstadt.

Notwendig ist noch eine Bemerkung zur Aufbewahrung. Gutes Eisenpulver darf, auch im physikalischen Kabinett, niemals offen stehen, vielmehr ist die Flasche nach jeder Entnahme baldmöglichst fest zu verschließen und es ist vor dem Wegstellen sowohl die Korkbohreröffnung wie auch der Rand, am besten die ganze obere Fläche des Korkes mit geschmeidigem Plastilin abzudichten.

¹⁾ Berlin W 8, Kronenstr. 36. Preis zur Zeit M. 3,— für 100 g, M. 25,— für 1 kg.

Für die Praxis.

Zur Totalreflexion. Von **W. Pfeifer** in Offenbach a. M. Man beleuchte einen wassergefüllten Glastrog mittels einer Liliputbogenlampe (ohne Linse) und erzeuge auf einem vor dem Glastrog aufgestellten transparenten Schirm ein Schattenbild, das man durch Verschieben der Bogenlampe möglichst deutlich einstellt. Taucht man eine oben mit dem Finger verschlossene Glasröhre in das Wasser, so erscheint die Röhre auf dem Schirm als vollkommen schwarzer Streifen. Die luftgefüllte Röhre ist in diesem Fall lichtundurchlässig; alles auffallende Licht wird an der Trennungsfäche Wasser-Luft total reflektiert. Die beleuchtete Seite der Glasröhre glänzt wie bei einem anderen bekannten Versuch hell wie ein Spiegel. Läßt man dann durch Lüften des die Röhre verschließenden Fingers langsam Wasser einströmen, so verschwindet der schwarze Schatten der Röhre auf dem Schirm: die wassererfüllte Röhre ist lichtdurchlässig; ihre Konturen kann man nur noch ganz schwach erkennen. — Der Versuch erfordert keine Verdunkelung des Zimmers.

Zum Röhrensummer. Von **R. Horkheimer** in Rottenburg am Neckar. Als Röhrensummer kann unter Umständen auch ein Röhrenverstärker ohne weiteres dienen. Ich machte bei Versuchen mit einem selbstgebauten Verstärker mit einer Röhre (dessen Bau sich allerdings nicht lohnt) die Beobachtung, daß, wenn der Anschlußstecker zum Empfänger in die Telephonbuchsen des Verstärkers gesteckt wird, Schwingungen von Hörbarkeitsfrequenz entstehen, die man im Telephon wahrnehmen kann, wenn man es zu den Buchsen parallel schaltet. Geringere Frequenz, aber größere Schwingungsleistung erhielt ich, wenn ich Stecker, Telephonbuchsen (d. i. Transformator-Primärwicklung) und Telephon in Serie schaltete; das Gitter erhält eine negative Vorspannung, bestehend aus einem kleinen Trockenelement von 1,5 Volt zwischen Kathode und Transformator-Sekundärseite. Der Transformator hat als Übersetzungsverhältnis 1 : 5, bei primär 3000 Windungen von 0,18 mm Kupferdraht. Die Tonhöhe ist abhängig von der Anodenspannung. Je geringer dieselbe (untere Grenze ungefähr 25 Volt bei der Röhrentype E.V.N. 171), desto höher der Ton. Die Anodenspannung wurde einer Trockenbatterie von 60 Elementen 30 × 60 mm entnommen, an der man die Spannung bequem variieren kann (Spannung 90 Volt, Preis ca. M. 120,—).

Berichte.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Das Ätherproblem in der neueren Physik.

Durch die Entwicklung der Relativitätstheorie hat das Ätherproblem von neuem das Interesse auf sich gelenkt. Sowohl die spezielle wie auch die allgemeine Einsteinsche Theorie nehmen zur Ätherfrage Stellung, und gerade hier haben ihre Entscheidungen in weiten Kreisen der Physiker lebhaften Widerspruch gefunden. Zu denen, die der Einsteinschen Theorie in der Stellung zum Äther nicht folgen, gehört neben *Lenard*, *Gehrcke*, *Lorentz* u. a. vor allem *E. Wiechert*, der in den *Göttinger Nachrichten* (Dez. 1920) in einem längeren Aufsatz „Der Äther im Weltbild der Physik“ seinen gegenteiligen Standpunkt dargelegt hat. Die Ausführungen *Wiecherts* sind um so bedeutsamer, als sie nicht nur von neuen Gesichtspunkten aus die Gedankengänge der oben genannten Forscher unterstützen, sondern vor allem auch, weil sie sich mit vielen Einwänden begegnen, die von fachphilosophischer Seite aus gegen die Relativitätstheorie erhoben sind, so daß man heute geradezu von einer Spaltung der Forscher in zwei Lager sprechen kann, die sich um die genannten einerseits, um *Einstein* andererseits gruppieren.

Zwei Denkmotive liegen der modernen Äthertheorie zugrunde. Um die endliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes zu erklären, lag der Gedanke nahe, das Licht als eine Erscheinung aufzufassen, die sich als Zustand von einer Stelle zur benachbarten fortpflanzt. Der Geist der Zeit forderte dann für diese so erschlossene Nahewirkung sofort eine mechanische Erklärung: das Licht wurde als Bewegungsvorgang in einem körperlichen Medium — dem Äther — gedeutet. So erscheint denn auch schon bei *Huygens* neben dem Gedanken der Nahewirkung der Äther als Körper und zugleich die Forderung, „die Ursache aller natürlichen Wirkungen auf mechanische Gründe zurückzuführen.“

Durch die Verdinglichung des Äthers entstanden aber viele Schwierigkeiten. Es sei nur an die verschiedenen Deutungen des Äthers bei *Huygens*, *Fresnel*, *Lord Kelvin* u. a. erinnert; an die Modelle, die man ersann, um den Lichtäther mechanisch zu begreifen, und von denen *Einstein* mit Recht sagen konnte, daß die Vorgänge einfach, die Modelle aber höchst komplex waren; es sei vor allem der neuesten Schwierigkeiten gedacht, die zur Relativitätstheorie (R.Th.) führten: es sind die erfolglosen Versuche, den Bewegungszustand der gewöhnlichen Körper gegen den ebenfalls als körperlich gedachten Äther nachzuweisen.

Es gelang zwar *Lorentz*, diesen Versuchen auf Grund seiner Theorie des ruhenden Äthers zu genügen, wenn er die „Ortszeit“ und die bekannte „Kontraktionshypothese“ hinzunahm. Der Äther ist dann der absolut ruhende Körper, der alle bewegten Körper — und natürlich auch Maßstäbe — so deformiert, daß die Bewegung gegen ihn nicht nachgewiesen werden kann.

Diese Stellung des Äthers erschien vielen Physikern nicht haltbar. Man suchte nach einem anderen Ausweg aus den Schwierigkeiten. *Einsteins* spezielle R.Th. stellt einen solchen Ausweg dar. Durch das Relativitätsprinzip, nach dem im bewegten System für den mitbewegten Beobachter alles ebenso verläuft wie im ruhenden System für den ruhenden Beobachter, war dem *Michelsonschen* Versuch ohne weiteres genügt. Der *Fizeausche* Versuch aber erklärt sich, wenn man bedenkt, daß hier der Beobachter relativ zur Erde ruht, während der zu beobachtende Vorgang in einem zur Erde bewegten System (Luftstrom) verläuft. Die Anwendung des *Einsteinschen* Additionstheorems der Geschwindigkeiten gibt sofort die richtigen Werte.

Bei dieser Darstellung geht der Äther weder als absolut ruhendes System, noch als Ursache der Kontraktion ein, die Kontraktion ist nur für den nicht mitbewegten Beobachter vorhanden und kommt dadurch zustande, daß dieser ruhende Beobachter die Vorgänge im bewegten System sozusagen auf sein eigenes System projiziert. Kurz hat man das so ausgedrückt, daß die R.Th. den Äther abgeschafft habe.

Nun hat *Einstein* allerdings selbst in seinem *Leydener* Vortrag über „Äther und Relativitätstheorie“ (*Springer*, 1920) ausgeführt (S. 8 ff.), daß die Leugnung des Äthers nicht unbedingt notwendig sei. Man muß dem Äther nur die mechanische Eigenschaft eines Bewegungszustandes durch Abstraktion nehmen. Er gibt folgenden Vergleich (S. 9): man betrachte Wellen auf einer Wasserfläche. Man kann dann entweder nur die Veränderung der Wasseroberfläche gegen die Luft beschreiben, oder aber man kann mit kleinen Schwimkörpern die Bewegung der einzelnen Wasserteilchen beobachten. Gäbe es nun prinzipiell solche Körperchen nicht, so hätte man „keinen Anlaß zu der Annahme, daß das Wasser aus beweglichen Teilchen bestehe. Aber man könnte es gleichwohl als Medium bezeichnen“. So kann man den Äther beibehalten, aber man darf nichts über seinen Bewegungszustand aussagen wollen, darf also nicht annehmen, daß er „aus zeitlich verfolgbaren Teilchen“ be-

steht. Damit aber verliert der Äther gerade die Eigenschaft, die man für die Erklärung der Lichtschwingungen gebraucht, er ist ein leeres Wort geworden. Aus diesem Grunde haben die meisten Anhänger der R.Th. wohl lieber ganz auf seine Einführung verzichtet. Die ihres Trägers beraubten elektromagnetischen Felder erscheinen ihnen als „letzte, nicht weiter zurückführbare Realitäten“ (S. 10), die an keinen Träger gebunden sind, genau so wie die Atome der ponderablen Materie (S. 8).

Eine gewisse Änderung der Stellung zum Ätherproblem tritt in der allgemeinen R.Th. ein. Das Raum-Zeit-Kontinuum bedingt das Verhalten der Massen in ihm, wird aber andererseits in seiner Metrik durch diese Massen bedingt. „Der Äther der A. R.Th. ist ein Medium, welches selbst aller mechanischen und kinematischen Eigenschaften bar ist, aber das mechanische (und elektromagnetische) Geschehen mitbestimmt.“ (Einstein a. a. O. S. 12.) Einstein fügt hinzu, daß das wesentlich Neue dieses Äthers ist, daß sein Zustand an jeder Stelle durch die ganze Umwelt bestimmt ist, während der Lorentzsche Äther bei Abwesenheit der elektromagnetischen Felder überall gleich und durch nichts außer ihm bedingt ist. Einstein nennt seinen Äther „Machschen Äther“. Man sieht aber wohl, daß man dieses Medium ebenso gut Raum oder metrisches Feld nennen könnte. An einen Körper denkt Einstein jedenfalls nicht, wie aus dem obigen Zitat hervorgeht, aber auch daraus erschlossen werden kann, daß er unter der Voraussetzung, daß die gewöhnliche Materie als singuläre Stelle im elektromagnetischen Feld aufgefaßt werden kann, als die Bestandteile der Welt das elektrische Feld und den Gravitationsäther angibt und bezeichnend hinzufügt: „oder wie man sie auch nennen könnte — Materie und Raum“ (S. 14).

Man darf diese Anschauungen Einsteins nicht als etwas völlig Neues in der Physik auffassen. Sie liegen ganz in einer Entwicklung der Ansichten über die theoretische Physik, die etwa seit 70 Jahren eingesetzt hat. Mach und nach ihm in seinem Sinne Petzoldt haben lange vor Einstein den dinglichen Äther abgelehnt und bekämpft; Poincaré (Wiss. u. Hyp. S. 212) glaubt, daß der Äther ohne Zweifel eines Tages als unnütz verworfen werden wird; Witte (Ann. d. Natur- u. Kulturphil. VIII, S. 135) wies darauf hin, daß der „Träger“ der Erscheinungen von keinem Physiker nachgewiesen worden sei. — Die Anhänger Einsteins haben meist seinen Standpunkt in der Ätherfrage geteilt, so Planck, Laue, besonders neuerdings Weyl (Raum — Zeit — Materie, 1.—4. Aufl.). In allgemeinen philosophischen Erörterungen hat E. Cassirer

vom Standpunkt des Neukantianismus sich gegen die Verdinglichung des Äthers eingesetzt (z. B. in „Substanzbegriff und Funktionsbegriff“ S. 216, wo er betont, daß der Äther kein Einzelding, sondern die Vereinigung und Konzentration objektiv gültiger, meßbarer Beziehungen ist, und dann vor allem in dem Buche „Zur Einsteinschen Relativitätstheorie“ 1921).

Von einem wesentlich anderen Standpunkt aus sieht Wiechert in dem oben angegebenen Aufsatz diese Verhältnisse. Er führt einen doppelten Begriff der Relativität ein, den der Körper- und den der Darstellungsrelativität. Man kommt zu dem ersten Begriff, wenn man bedenkt, daß nichts in der Welt völlig unabhängig von allem andern ist. Wenn wir auch die Verkettungen nicht immer wahrnehmen: sie sind doch da! Ein schwerer Körper in unserer Hand erscheint als etwas Selbständiges, und ist es doch nicht. Nimmt man die Hand fort, so fällt er zur Erde. Die Magnetnadel ist an die Erde gebunden durch eine dauernde Verknüpfung. Zwischen Anker und Magnet der Dynamomaschine herrscht eine Verkettung, die wir nicht sehen und die sich uns doch bemerkbar macht. Kurz: alles ist mit allem verkettet! Dies führt physikalisch zum Gedanken der Körperrelativität, wie ihn Mach entwickelt hat. Die Aufgabe der Physik ist es, die Körper anzugeben, die durch ihre Veränderungen die beobachteten Vorgänge erklärlich machen.

Verzichtet man aber auf die Angabe dieser Körper und beschränkt sich darauf, die beobachteten Tatsachen in Gesetze zu fassen und so zu beschreiben, so erhält man für die Relativität in der Welt keine Erklärung, sondern nur eine Darstellung. Auf diesem Standpunkt der Darstellungsrelativität bleibt Einstein stehen.

Die konsequente Durchführung der Körperrelativität, verbunden mit dem Gedanken der Nahewirkung, führt dann aber zum Äther als einem dinglichen Substrat der Welt, einem substantiellen Träger der Erscheinungen mit räumlichen und zeitlichen Eigenschaften (Wiechert S. 57/58). Solch ein dinglicher Äther stellt einmal die Verkettung zwischen den gewöhnlichen Dingen her, er erweist sich andererseits aber als der wesentlichste Bestandteil der physischen Welt. Die Gravitationstheorie (etwa in der Form von Einstein) zeigt nämlich, daß ganz geringe Änderungen des Weltuntergrundes (bei Einstein: des metrischen Feldes) genügen, um große Kräfte (Gravitation) hervorzubringen, daß aber umgekehrt selbst große Massen, wie die Sonne, nur geringe Änderungen des Äthers hervorrufen können, die sich in minimalen Änderungen der Lichtgeschwindigkeit kundtun (S. 64). „So erscheint der Äther der molekularen Materie gegenüber als übermächtig“ (a. a. O. S. 64).

Dieser Äther macht es sofort verständlich, daß die Materie in ihm höchstens die Geschwindigkeit annehmen kann, die dem Äther in seinen eigenen Bewegungen (Licht, elektrische Wellen) eigentümlich ist, d. h. die Lichtgeschwindigkeit erscheint als Grenzgeschwindigkeit. Dieser selbe Äther kann natürlich leicht die Materie zusammendrücken, wenn sie sich in ihm bewegt, so daß man eigentlich die Lorentz-Kontraktion hätte suchen müssen, wenn der Michelsonsche Versuch nicht schon auf sie geführt hätte (S. 66).

Unsere Sinnesorgane zeigen uns zwar nichts von diesem Äther, denn wir sind molekular aufgebaut, und nur für die molekulare Materie sind wohl auch unsere Sinnesorgane eingerichtet (S. 65).

Wiechert baut seine Theorie weiter aus. Offenbar sind Äther und Materie eng miteinander verknüpft. Am nächsten liegt es, die Materie als singuläre Stelle im Äther aufzufassen. Da wir nun den gewöhnlichen Atomen einen Energieinhalt zuschreiben, muß man das gleiche für den freien Äther tun. Die neueren Untersuchungen über den Aufbau der Atome zeigen, daß der Äther auch innerhalb der Atome wenig veränderte Eigenschaften hat. Man muß also annehmen, daß die geordnete Ätherenergie der Materie „von gleicher Größenordnung oder kleiner ist, wie die dem Äther im allgemeinen inwohnende Energie“ (S. 66). „So folgt im Hinblick auf den Bau der Elektronen, daß die Energiedichte im Äther mindestens vergleichbar mit $7 \cdot 10^{30}$ erg/cm³ zu schätzen ist.“ Daraus ergibt sich leicht mit Hilfe der Formel $m = \frac{E}{c^2}$ wo m die träge Masse, E die Energie und c die Lichtgeschwindigkeit ist, daß die „Massendichte des Äthers vergleichbar mit 10^{10} der Dichte des Wassers oder größer zu schätzen ist“ (S. 66).

Aus der engen Verketzung von Äther und Materie ergibt sich die Möglichkeit, daß auch zwischen beiden ein Energieaustausch eintritt, wie er uns zwischen gewöhnlichen Atomen bekannt ist. Ein Anzeichen für diese Möglichkeit liegt in den radioaktiven Erscheinungen. Bei diesen Umwandlungen, die durch keine gewöhnlichen Mittel beeinflusst werden können, könnte man, einen dem Zufall unterworfenen Energieaustausch zwischen Atom und Äther annehmen. — Die gleiche Annahme wäre auch von Nutzen bei der Frage nach der inneren Wärme der Gestirne. „Die bekannten Wärmequellen genügen kaum, um die Wärme, welche die Sonne jetzt aussendet, für einen Zeitraum von 20 Millionen Jahren zu decken, und doch ist aus der Erdgeschichte zu schließen, daß die Sonne schon sehr viel länger besteht. Es ist mir im hohen Grade wahrscheinlich, daß hier eine Überführung von Ätherenergie auf die Materie im Spiel ist“

(S. 67). Der Kreislauf wäre etwa folgender: Reste alter Weltkörper ballen sich zusammen, durch Übernahme von Ätherenergie steigt die Temperatur und führt schließlich zu instabilen Zuständen. Eine Katastrophe zerstört den Weltkörper und zerstreut wieder seine Materie. Begleitet werden die Zustände des Weltkörpers von Umwandlungen der Materie. In den Zeiten hoher Temperatur bilden sich die radioaktiven Atome, die nachher wieder zerfallen. Bei diesem Kreislauf ist ein Wärmetod der Welt nicht mehr zu befürchten. Der Äther erscheint als ein gewaltiger „Vorrat an physikalischem Leben“ (S. 68).

Nach diesen Beispielen wird klar, wie sich Wiechert die Rolle des Äthers denkt, und warum er die Darstellungsrelativität durch die Körperrelativität ersetzt wünscht. Die erstere hat nur formale Bedeutung, ist nur die „hypothetische Aussage über die Wirkungen der Körperrelativität“ (S. 60), durch die einzig und allein ein physikalisches Verständnis der Verhältnisse erzielt werden kann. Die Einsteinschen Theorien sind für Wiechert beide nur Theorien äquivalenter Darstellung, die die Aufgabe haben, gewissen beobachteten Tatsachen durch Standpunktswahl zu genügen.

Diesen Tatsachen muß nun aber auch mit den Mitteln der Äthertheorie genügt werden. Es handelt sich um die Versuche von Michelson, Eötvös usw., die von der Theorie umfaßt werden müssen. Dies gelingt durch die Einführung des „Satzes vom gleichen Anschein“, d. h. die Behauptung, „daß sich für den Beobachter, wenn das materielle System, dem er angehört, im ganzen eine Bewegungsänderung erfährt, infolge physikalischer Umwandlungen formal veränderte Maßbeziehungen über räumliche und zeitliche Vorgänge einstellen, welche ihm das Urteil über Länge, Gleichzeitigkeit und Zeitverlauf so umwandeln, daß ihm entweder ganz, oder für ein bestimmtes Erscheinungsgebiet die Veränderungen verhüllt werden“ (S. 40). Angewandt auf die Lichtfortpflanzung ist dieses Prinzip eine Formulierung der Lorentzschen Theorie. Die zur Erklärung des Michelsonschen Versuchs nötige Kontraktion bei Annahme des ruhenden Äthers verschwindet für den mitbewegten Beobachter dem Anschein nach, weil seine Meßinstrumente entsprechende Veränderungen erfahren. In „Wirklichkeit“, d. h. im ruhenden Äther, ist alles platt gedrückt. — Man sieht den Unterschied gegen die Auffassung bei Einstein.

Ebenso wird auch die A. R.Th. von Wiechert als Ausfluß des Anscheinsatzes gedeutet: „Das wesentliche Ergebnis der Einsteinschen A. R.Th. möchte ich darin sehen, daß sie lehrt, als die Ursache der Gravitation Unterschiede im Äther zu erkennen, welche sich in Änderungen

der zum Anscheinsatz gehörigen Maßbeziehungen von Ort zu Ort äußern, welche also insbesondere durch Änderung des Systems der Lichtschreitungen angezeigt werden“ (S. 49). Ähnlich S. 57: „Überblickt man die Einsteinsche Theorie im ganzen, so stellt sie sich dar als eine möglichst einfache Ausgestaltung des Anscheinsatzes unter der Voraussetzung, daß in dem fingierten vierdimensionalen Raum die Darstellung sich in bezug auf alle vier Koordinaten symmetrisch gestalten müsse.“

Wiechert kommt zu diesen Ergebnissen mit Hilfe einer von ihm entworfenen Gravitations-theorie. Diese beschränkt sich auf stationäre Felder und benutzt weiter die Annahme, daß etwaige Änderungen so langsam erfolgen, daß der Äther sich niemals merklich vom stationären Feld unterscheidet. Von der Lichtgeschwindigkeit wird angenommen, daß sie an jeder einzelnen Stelle nach allen Seiten gleich groß ist, daß sie aber im übrigen von Ort zu Ort variiert. Die Atome der Materie sollen sich wie die Elektronen verhalten. Dann gelten die Lagrangeschen Gleichungen im homogenen Maßfeld mit den Werten der Elektronentheorie für die vorkommenden Funktionen (M. Abraham und Lorentz), und man kann nach dem Vorgange von Abraham auch das inhomogene Maßfeld in die Theorie einbeziehen, wenn man die Hypothese macht, daß alle Gleichungen auch bei veränderlicher Lichtgeschwindigkeit ihre Gültigkeit behalten. Die Einführung einiger Konstanten führt dann zur Formulierung der Theorie. Es ergibt sich: „Die Gravitation erscheint nach der Theorie verursacht durch das Zusammenwirken zweier Anteile. Der vorherrschende Anteil ist analog der Kraft, die in einer nichtleitenden Flüssigkeit mit von Ort zu Ort variabler Dielektrizitätskonstanten einen elektrischen Körper von Stellen niederer zu Stellen höherer Dielektrizitätskonstanten treibt. Der andere Anteil ist analog der Kraft, welche in einer Flüssigkeit mit von Ort zu Ort veränderlichem Druck eingebettete Körper von Stellen höheren zu Stellen niederen Druckes treibt“ (S. 50).

Diese Theorie ergibt den Anscheinsatz auch für das Gravitationsfeld. Die Maßstäbe und Uhren ändern sich so, daß der Bewegungszustand nicht nachweisbar ist. Ebenso wie die A. R. Th. führt sie auf die Lichtablenkung, Rotverschiebung und Perihelbewegung, und Wiechert kann zeigen, daß er den beobachteten Werten bei diesen Vorgängen, mit „durchaus ‚vernünftig‘ scheinenden Werten“ seiner Grundkonstanten genügen kann.

Das wichtigste Moment ist bei allen diesen Überlegungen die Auffassung, daß der Anscheinsatz aus der Verkettung von Materie und Äther verständlich gemacht wird. Von einer Gleich-

wertigkeit der Koordinatensysteme wie bei Einstein kann daher keine Rede sein, weil der Äther auf jeden Fall ein ausgezeichnetes System definiert. Wiechert führt das z. B. an dem bekannten Kastenexperiment Einsteins durch, das zur Äquivalenzhypothese führte. Für Einstein ist es dem „Wesen“, nicht nur dem „Anschein“ nach gleich, ob der Beobachter glaubt, in einem Schwerfeld oder in einem beschleunigten Koordinatensystem zu sein. Für Wiechert liegt ein wesentlicher Unterschied vor. Im stationären Schwerfeld ist alles in Wirklichkeit so, wie es ist; alles ruht. Wird aber der Kasten beschleunigt, ohne Schwerfeld, so schrumpft alles zusammen, die Geschwindigkeit des Kastens wächst dauernd, und nur dem „Anschein“ nach ist nichts davon im Kasten festzustellen, weil die Meßinstrumente sich entsprechend mitändern. —

Die Anschauungen Wiecherts stehen nicht allein. In vielem stimmen sie mit denen von Lorentz überein. Dieser hat zwar den Fortschritt der speziellen R. Th. gegenüber seinen eigenen Arbeiten anerkannt, aber noch 1910 hat er in Göttingen (vergl. Das Relativitätsprinzip, Tenbner, S. 75) bemerkt, daß er den Äther als absolut-ruhendes, ausgezeichnetes System nicht fallen lassen möchte, und daß für ihn dann das Relativitätsprinzip den Sinn hat: es läßt sich durch Beobachtungen nicht feststellen, ob man sich in diesem ausgezeichneten System befindet oder nicht (S. 75). Er kann dann eine absolut-geltende Zeitskala und die absolute Gleichzeitigkeit beibehalten, nämlich die im Äther geltende, nur ist es nicht möglich, nachzuweisen, ob man gerade sie benutzt. — Man sieht die Ähnlichkeit mit dem „Anscheinsatz“ von Wiechert. Die Übereinstimmung wird noch größer, wenn man Lorentz' Stellung zum Äther berücksichtigt. Auch er schreibt dem Äther eine Einwirkung auf die Moleküle zu, so daß bei Bewegung eine Kontraktion der gewöhnlichen Körper eintreten muß (a. a. O. S. 3).

Damit stellt sich Lorentz auf die Seite der Physiker, die nach mechanischer Erklärung der Erscheinungen suchen und nur diese als „physikalisch“ gelten lassen wollen. Unter diesen Forschern kann man wieder zwei Gruppen unterscheiden: die einen wenden sich gegen den Formalismus, der in der Darstellungsweise Einsteins steckt, die anderen suchen nach positiver Ausgestaltung der Äthervorstellung.

So spricht Weinstein („Kräfte und Spannungen“, Vieweg, S. 62) von der „Neigung der Relativitätslehre, vorhanden Angenommenes durch Erscheinendes zu ersetzen“, nennt Voigt (Kult. d. Geg., Physik, S. 730) das Prinzip „ersichtlich eminent phänomenologisch, ein Destillat aus gewissen Erfahrungsstatsachen“, und

findet Gehrcke („Die Rel. Theorie“, Berlin 1920, S. 17) die „Denkrichtung der Relativitätstheoretiker auf den mathematischen Ausbau und die formalistische Struktur der Theorie gerichtet, und nicht auf die erkenntnistheoretische Vertiefung und Klarstellung.“

Neben dieser Ablehnung des Formalismus steht fast stets die Forderung des dinglichen Äthers als „kausale Erklärung“ der Erscheinungen. Das hat neuerdings wieder O. Kraus in einer gedankenreichen und ausführlichen Arbeit „Fiktion und Hypothese in der Einsteinschen Relativitätstheorie“ (Ann. d. Philos. II. Bd., 3. Heft, Leipzig 1921: „Zur Relativitätstheorie“) betont. Auch für ihn hat das Relativitätsprinzip nur fiktiven Charakter, ist ein Mittel der Darstellung. Der Äther muß beibehalten werden, ebenso die absolute Zeit und die Lorentzkontraktion als „reelle“ Verkürzung. „Die Lorentzkontraktion als Realität gedeutet, ist der Versuch einer Kausalerklärung des Michelsonexperiments“ (S. 470). Man kann den dazu notwendigen Äther zwar nicht nachweisen, er wird „erschlossen“ (S. 364); nur seine Zustände und deren Veränderungen unterliegen der Beobachtung.

Sehr bedeutsam ist neben dieser Arbeit besonders der Vortrag Lenards „Über Relativitätsprinzip, Äther, Gravitation“ (Leipzig 1918; 2. vermehrte Aufl. 1920). Neben Einwänden gegen die A. R. T., besonders gegen die Gravitationsfelder ohne Gravitationszentrum, die bisher nicht experimentell nachgewiesen sind (S. 22), tritt Lenard besonders für den Äther ein. Zwar glaubt er nicht, daß man den Äther mechanisch begreifen kann, wenn man ihn als Medium annimmt (S. 31). Er schlägt deshalb einen „räumlich diskontinuierlich bewegten, durchdringlichen Äther“ vor, gibt ein elektromagnetisches Gravitationsmodell an, bei dem „die Gravitation unmittelbar als magnetische Kraft, wirkend zwischen den Dynamiden [= um positive Quanten kreisende Elektronen], aus welchen die Atome der Materie bestehen“ (S. 30), erscheint. Lenard führt seine Gedanken qualitativ durch, bemerkt aber, daß es für die Theorie von größter Bedeutung wäre, wenn es gelänge, aus dem angegebenen Äthermechanismus die Maxwell'schen Gleichungen als Spezialfall mathematisch herzuleiten (S. 34/35). Dies müßte erstrebt werden, da gerade die Unvollkommenheit des Äthermechanismus es gewesen ist, der die ganze Äthervorstellung in Mißkredit gebracht hat, andererseits aber nur durch diesen Mechanismus die Begreiflichkeit der Natur gewährleistet ist. Um allerdings die Vorstellung eines diskontinuierlichen Äthers klar zu machen, wird man nicht umhin können, außer diesem Äther noch einen „Metäther“, ein kontinuierliches Medium, anzunehmen, der die

Teile des Äthers zwingt, die von der Theorie geforderten Bedingungen zu erfüllen (S. 35).

In dieser speziellen Ausführung geht Lenard andere Wege als Wiechert. Er kommt ihm aber sehr nahe, wenn man die allgemeinen Bemerkungen ins Auge faßt. — Den Gegensatz von Darstellungs- und Körperrelativität findet man bei Lenard als Gegensatz zwischen Bildern 1. und 2. Art. Die der 1. Art erschöpfen sich darin, „quantitative Beziehungen zwischen beobachtbaren Größen zu sein“, die der 2. Art suchen alle Vorgänge in der Natur „als bloße Bewegungsvorgänge, d. i. Ortsveränderungen ein für allemal gegebenen Stoffes“ zu begreifen. Gibt also die erstere Anschauung Gleichungen, so die letztere mechanische Modelle. Da diese, wenigstens wenn sie vollendet sind, eine Weiterentwicklung der Gleichungen darstellen, so tritt Lenard für sie ein (S. 25/26, Anm. 15) und lehnt die bloße Darstellungsrelativität Einsteins ab: „Denn wir wollen als Naturforscher nicht die mathematische Zulässigkeit oder Zweckmäßigkeit von Koordinatenwahlen untersuchen, sondern wir wollen zu widerspruchsfreier Abbildung der Wirklichkeit gelangen“ (S. 15, Anm. 8a).—

In schroffem Gegensatz stehen sich die Meinungen gegenüber. „Darstellungs- und Körperrelativität“, „Bilder 1. und 2. Art“, „beschreibende und erklärende Physik“, „Funktionsbegriffe und Substanzbegriffe“: alles im Grunde Namen für denselben Gedanken!

In zweifacher Weise kann man hierzu Stellung nehmen. Man kann in diesem Gegensatz eine verschiedene Art des physikalischen Arbeitens und Denkens sehen — dann faßt man ihn psychologisch, praktisch, als Sache der Neigung und der Gewohnheit —; man kann aber hinter ihm auch eine erkenntnistheoretische Gegensätzlichkeit erblicken — und dann handelt es sich nicht um den Physiker und seine Arbeitsweise, sondern um die Physik, um ihr Objekt, ihren Gegenstandsbegriff.

Die erste Ansicht findet man oft in den Kreisen der Physiker vertreten, die darauf hinweisen, wie nützlich die Äthervorstellung ist, wie ihre Anschaulichkeit zu neuen Entdeckungen führt, die aber daneben bei anders gearteten Forschern die mehr mathematische Methode gelten lassen. So sagt Wiechert mehr als einmal, daß es sich wenigstens zum Teil um Fragen des physikalischen Empfindens, der Neigung, des Geschmackes handelt, und ähnliche Wendungen findet man bei Lorentz und Lenard. Auch Gehrckes Arbeit über „Die Stellung der Mathematik zur Relativitätstheorie“ (Beiträge zur Philos. des Deutschen Idealismus, Bd. II, Heft 1, S. 13—19) zeigt diese Tendenz, denn auch er versucht zu zeigen, daß es aus der ganzen Ent-

wicklung der Mathematik im letzten Jahrhundert psychologisch wohl verständlich ist, wenn eine Denkrichtung wie die der Relativitätstheorie derartig an Boden gewinnen konnte. — So erscheinen die Anhänger Einsteins als die Physiker, denen es nur um mathematische Äquivalenzen, nicht aber auf physikalische Realitäten ankommt (Kraus, a. a. O. S. 366). Man versteht den „Reiz der R. Th.“ (Lenard S. 6), aber man sieht in ihr keine rechte Physik. — Es wiederholt sich also, worauf K. Joël (Voss. Ztg. vom 24. 8. 20.) hingewiesen hat, das Schicksal, das van t' Hoff's Schrift „La chimie dans l'espace“ bei ihrem Erscheinen hatte: Diese Schrift auch nur halbwegs eingehend zu kritisieren, ist nicht möglich, weil die Phantasiespielereien darin ganz und gar des tatsächlichen Bodens entbehren und dem nüchternen Forscher rein unverständlich sind.“ (Nach Joël im Maiheft des Journals für prakt. Chemie 1877.) So schroff sind die Urteile natürlich heute nicht. —

Neben den angeführten erkenntnispsychologischen Bemerkungen finden sich aber bei fast allen Forschern auch erkenntnistheoretische und seinsphilosophische. Das ist ausschlaggebend, denn es geht hier nicht um Prinzipien der Physiker, sondern der Physik! Die Grundbegriffe als solche, nicht ihre Verwendung im persönlichen Forschen des einzelnen treten in verschiedener Fassung und Bewertung auf und ergeben die Gegensätzlichkeit.

Das Problem, um das es sich bei der Ätherfrage im wesentlichen dreht, ist das der Realität. Damit wird die Frage zu einer philosophischen und die Entscheidung zu einer schwierigen. Es wird gut sein, erst einmal die wichtigsten möglichen Stellungnahmen zu charakterisieren. Das ist nun, wie E. Franz in einer wertvollen Studie über „Das Realitätsproblem in der Erfahrungslehre Kants (Kantstudien“ Erg.-Heft 45, 1919) gezeigt hat, möglich, und zwar nach einem bestimmten Prinzip.

Nennt man das, was uns in der Erfahrung gegeben ist, mit Kant die „Erscheinung“, so liegt in diesem Begriff, daß etwas da sein muß, was erscheint, wenn nicht „Erscheinung“ gleich „Schein“ gesetzt werden soll: Kant nennt es „Ding an sich“. Ding und Erscheinung stehen also in Korrelation. Man kann diese Korrelation erkenntnistheoretisch fassen; das ergibt nach Riehl und Franz die Kant eigentümliche Auffassung: das Ding ist da, es wird aber nur in der Form der Erscheinung erkannt. „Das Ding an sich ist in der Erfahrung gegenwärtig als deren Wirklichkeit, in anderer Bedeutung ist es freilich transzendent, sofern es über das Bewußtsein des Erkennenden hinausliegt.“ (Franz, a. a. O. S. 18). Die Existenz des Dinges kann man

weder erfahren noch beweisen (S. 31), sie ist ein „letztes unmittelbares Vertrauen“, das wir der Erfahrung entgegenbringen. Die Einheit der Wirklichkeit bleibt so gewahrt; eine Verdopplung der Welt erhält man erst, wenn man die Korrelation zu einer metaphysischen macht. Dann steht eine „wahre“ Welt der Dinge an sich einer „scheinbaren“ Welt der Erscheinungen gegenüber (Schopenhauer).

Nun liegt aber für die Existenz der Dinge kein Beweis vor. Man hat deshalb das Ding an sich fallen gelassen und ist bei dem isolierten Begriff der Erscheinung stehen geblieben. Drei neue Möglichkeiten kommen hier für uns in Betracht.

Die erkenntnistheoretische Auffassung des isolierten Erscheinungsbegriffs findet sich in den Richtungen des Neukantianismus, besonders der Marburger Schule. Die Erscheinung ist „der unbestimmte Gegenstand der empirischen Anschauung“, der erst durch begriffliche Arbeit zum Objekt wird, wie es die Wissenschaft benutzt. Das sinnlich Gegebene wird durch die fortschreitende Erkenntnis und Arbeit der Wissenschaft bestimmt. Erst durch das Bestimmen, durch das Denken wird das Gegebene zum Sein, zur Wirklichkeit. Dieses Sein ist daher nichts Festes, sondern ein Prozeß logischer Setzungen (vergl. hierzu auch O. Ewald, Welche wirkl. Fortschritte hat die Metaphysik seit Hegels und Herbarts Zeiten in Deutschland gemacht? Erg.-Heft d. Kantstudien [53], 1920), eine „unendliche Relation des Irrationalen zum Rationalen, des unbestimmten X der Erfahrung zum bestimmenden Begriff“ (Ewald S. 60). Jede metaphysische, darüber hinausgehende Setzung eines Seins ist von diesem Standpunkt aus abzulehnen.

Aber auch den selbständigen Begriff der Erscheinung kann man metaphysisch fassen. Dann kann man entweder die Erscheinung einfach gleich dem Ding an sich setzen — und erhält den naiven Realismus —, oder man ersetzt die Erscheinung durch die psychologischen Elemente, durch die sie dem erkennenden Subjekt gegeben ist, — und kommt zum Positivismus. —

Von diesem Schema aus kann man nun eine erkenntnistheoretische Darstellung des im 1. Teil geschilderten Gegensatzes geben.

Einstein bleibt offenbar beim isolierten Erscheinungsbegriff stehen, nimmt zum Dingproblem keine Stellung und beschränkt sich darauf, den „Gegenstand“ der Physik durch Gesetze zu konstituieren. Daraus wird sein Formalismus erklärlich. Die „Wertgleichheit“ wird ihm zur „Wesensgleichheit“, da ja das Wesen des „Gegenstandes“ sich in den Gesetzen und zugeordneten Zahlenwerten erschöpft. — Die Stellung ist analog wie man sie bei der Lichttheorie einnahm.

Das Licht ist eine elektromagnetische Erscheinung, weil es dieselben Gesetze befolgt wie die elektrischen Wellen. —

Aus diesem Grunde ist es leicht begreiflich, daß geschichtlich sowohl der Positivismus wie auch der Neukantianismus die neue Theorie für sich in Anspruch nehmen konnten. Daß Raum und Zeit relativ seien, daß der Äther kein Ding sei: das waren alte Behauptungen Machs, und erfreut sah man in der R.Th. ein Zeichen, daß die Erkenntnislehre des Positivismus auch den neuesten Entwicklungen der Physik gerecht werden konnte. Aber Cassirer konnte auf ähnliches hinweisen. War doch auch für ihn der Äther nur ein „Instrument des Denkens“, um die Erscheinungen zu entwirren (Substanzbegr. S. 220), hatte doch auch er von der Physik gesagt: „Alle Physik betrachtet die Erscheinungen unter dem Gesichtspunkt und der Voraussetzung ihrer Meßbarkeit. Sie sucht das Gefüge des Seins und des Geschehens zuletzt in ein reines Gefüge, in eine Ordnung von Zahlen aufzulösen.“ — Dann aber erscheint die A. R.Th. als letzte Konsequenz dieses physikalischen Gegenstandsbegriffs (Zur Relativitätstheorie S. 117 ff.).

Will man zwischen beiden Auffassungen entscheiden, so geht das nur auf Grund einer weitergehenden Kritik, für die hier der Raum fehlt. Erwähnt sei nur ein Einwand B. Bauchs gegen den Positivismus, der tief in das Wesen der Sache geht: es ist die vom Positivismus begangene „Verwechslung des empirisch-psychologischen Bewußtseins von den logischen Gesetzmäßigkeiten mit diesen logischen Gesetzmäßigkeiten selbst“. (Studien z. d. exakten Wiss. S. 247). Doch trifft auch dies nur den strengen Positivismus. [Vergl. hierzu auch eine neue Arbeit M. Schlicks, Kritizistische oder empiristische Deutung der neuen Physik; Kantstudien Bd. XXVI, Heft 1 2, 1921.] —

Im Gegensatz zu Einstein geht Wiechert auf das Dingproblem ein, er fordert den Realismus, der auch bei Kant seinen Ausdruck gefunden hat. Von dieser Überzeugung ans verdinglicht er den Äther. Während aber das

erstere sich wohl verteidigen läßt, ergibt sich bei dem zweiten eine Schwierigkeit. Ein Körper, der so wirkt, daß man seine Wirkung nicht nachweisen kann, ist auf jeden Fall ein eigenartiger Körper. Ihn gar zur wahren Materie machen, legt einen Einwurf nahe, den H. Poincaré schon früher gegen Wiechert erhoben hat: „Mit welchem Recht dehnt man auf den Äther unter dem Vorwand, daß dies die wahre Materie sei, die mechanischen Eigenschaften aus, die nur an der gewöhnlichen Materie, die doch die falsche ist, beobachtet sind?“ (Wiss. u. Hyp. S. 167).

Das führt dann sofort auch zu Wiecherts Stellung zum Gegenstandsproblem. Der Äther als Gegenstand der Physik soll mechanisch begriffen werden, d. h. durch die Gesetze der Mechanik konstituiert werden. Die Forderung findet sich nicht explizit bei Wiechert, sondern bei Leonard, der nach einem Gravitationsmodell sucht, während Wiechert auf diese Einzelheiten nicht eingeht. Man kann diese Forderung als eine Aufgabe der Physik ansehen, die noch zu lösen ist. Namhafte Forscher halten eine praktisch-brauchbare Lösung nicht für möglich. Logisch gesehen ist sie auf jeden Fall eine Beschränkung des Gegenstandsbegriffs, für die zwingende Gründe gesucht werden müßten, und man begreift, daß viele nach den Mißerfolgen der mechanischen Deutungsversuche des Äthers mit H. Poincaré der Meinung sind, daß nicht der Mechanismus, sondern die Einheit der Natur überhaupt das Ziel der Wissenschaft ist. (Wiss. u. Hyp. S. 177). —

Eine Fülle von Gesichtspunkten trifft beim Ätherproblem zusammen. Physikalische, philosophische, erkenntnispsychologische Gründe kommen zur Geltung, nicht immer klar unterschieden und getrennt. Das macht die Frage so schwierig. Nimmt man hinzu, daß es sich teilweise um letzte philosophische Einstellungen handelt, so wird man verstehen, wie dieses Problem die Geister immer wieder in Bann schlug und die entscheidende Stellungnahme so gewaltig erschwert und noch erschwert. —
Sellien.

3. Geschichte und Erkenntnislehre.

Zum hundertsten Geburtstag von Hermann von Helmholtz. Zur Jahrhundertfeier des 31. August 1821 ist ein Gedenkheft der Zeitschrift „Die Naturwissenschaften“ (Heft 35) im Verlag von Julius Springer erschienen¹⁾. Es ist mit einem Lichtbild nach Lenbach geschmückt und enthält Beiträge von J. v. Kries (Freiburg) über Helmholtz als Physiologen, W. Wien (München) über Helmholtz als Physiker, W. Nernst

(Berlin) über die elektrochemischen Arbeiten von Helmholtz, A. Riehl (Berlin) über Helmholtz als Erkenntnistheoretiker, E. Goldstein (Berlin) Erinnerungen eines Laboratoriumspraktikanten.

W. WIEN kennzeichnet die physikalischen Forschungen von Helmholtz besonders durch die von ihm angewandte Arbeitsmethode der Verallgemeinerung, die einen ungemein scharfen Blick dafür voraussetzt, in welchen Fällen eine solche Verallgemeinerung mit der Wirklichkeit zusammenstimmt. Schon die Entdeckung des

¹⁾ 40 S. M. 6,—.

Energiegesetzes bestand in der Ausdehnung eines in der Mechanik längst bekannten Satzes auf die anderen Gebiete der Physik. Hierher gehört auch die Aufdeckung der Möglichkeit einer nicht-euklidischen Geometrie, ferner die Aufstellung der allgemeinsten Form des elektrodynamischen Grundgesetzes, die allerdings noch nicht die endgültige Lösung brachte, aber doch zur Entscheidung des Streits zwischen Fern- und Nahwirkung wesentlich beigetragen hat. Auch die Untersuchungen über das Prinzip der kleinsten Wirkung, die den Abschluß der wissenschaftlichen Arbeit von Helmholtz bildeten, entsprangen dem gleichen Streben nach Verallgemeinerung.

Der Verfasser lenkt dann die Aufmerksamkeit auf eine Reihe von Untersuchungen, die sich auf die Lösung einer einzelnen Aufgabe beziehen, und bei denen besonders das ungewöhnliche mathematische Können des Meisters ins Auge fällt. Es sind dies die Arbeiten über Wirbelbewegungen in Flüssigkeiten und über Luftschwingungen in offenen Röhren, dann die Bestimmung der Flüssigkeitsbewegung in einem freien Flüssigkeitsstrahl und die Untersuchung über die Wellen an der Grenze von Luftschichten verschiedener Dichte.

Wir folgen dem Verfasser nicht in die weitere Kennzeichnung der zahllosen Arbeiten, in denen die theoretische Forschung sich an experimentelle Probleme anschließt oder umgekehrt zu Experimentaluntersuchungen Anlaß gibt. Von hohem Interesse aber ist es, die Beziehungen aufzusehen, die die Helmholtzschen Forschungen mit der Gegenwart verknüpfen. Bekannt ist, daß Helmholtz aus dem Prinzip der Erhaltung der Energie die elektrischen Schwingungen beim Entladen einer Leydener Flasche vorausgesagt hat, und daß seine elektrodynamische Theorie Heinrich Hertz veranlaßt hat, seine Versuche zur Erzeugung elektrischer Wellen anzustellen, sowie daß dieselbe Theorie auch von Bedeutung geworden ist für die Entwicklung der elektromagnetischen Lichttheorie, insofern die Bedingungen an der Grenze zweier Körper ohne weiteres zu den erfahrungsgemäßen Gesetzen der Reflexion und der Brechung des Lichtes führen. Seine Forschungen über die elektrolytischen Vorgänge bilden die Grundlage der heutigen Elektrochemie, und in der Rede über Faradays Ideen über Elektrizität findet sich schon der Gedanke ausgesprochen: „Wenn wir Atome der chemischen Elemente annehmen, so können wir nicht umhin, weiter zu schließen, daß auch die Elektrizität, positive sowohl wie negative, in bestimmte elementare Quanten geteilt ist, die sich wie Atome der Elektrizität verhalten“. Die hierin enthaltene Idee der Elektronen hat erst viele Jahre später Einfluß gewonnen und der Wissenschaft neue Wege gewiesen. —

W. NERNST hebt hervor, Helmholtz habe frühzeitig erkannt, daß der Weg zur Erkenntnis wichtiger Energieprobleme über elektrochemische Fragen führe. Schon die „Erhaltung der Kraft“ von 1847 enthält auch den ersten Versuch einer elektrochemischen Thermodynamik. Helmholtz setzt hier, allerdings irrtümlich, die durch den Strom erzeugte Wärme gleich der durch den chemischen Prozeß zu erzeugenden. Aber er selbst hat 35 Jahre später (in der Thermodynamik chemischer Vorgänge von 1882) klar erkannt, daß zwischen der von einem chemischen Prozeß zu gewinnenden äußeren Arbeit und der damit verbundenen Wärmeentwicklung streng zu unterscheiden ist, und daß der Unterschied beider Größen sich durch das Produkt aus absoluter Temperatur und Temperaturkoeffizient der ersteren Größe darstellen läßt. So wurde Helmholtz einer der Schöpfer der heutigen chemischen und zugleich elektrochemischen Thermodynamik. Seine Annahme von 1847 trifft nur für solche galvanische Elemente zu, die keinen oder nur einen sehr kleinen Temperaturkoeffizienten der elektromotorischen Kraft besitzen. Auch die Studie über Konzentrationsketten (1877) war für die Thermodynamik der galvanischen Elemente von der größten Bedeutung; H. löste hier zum erstenmal das Problem, eine EMK aus anderweitigen der Messung zugänglichen Größen zu berechnen. Für die Erforschung des Mechanismus der Stromerzeugung ferner war der Gedanke der elektrischen Doppelschicht an der Berührungsfläche zweier Leiter, die eine Potentialdifferenz aufweisen, von außerordentlicher Fruchtbarkeit. Dieser führte in dem besonderen Fall der Berührung von Quecksilber und Elektrolyt zu der exakten Bestimmung der Potentialdifferenz zwischen beiden. Über die Entstehung der Doppelschicht hat erst die neuere osmotische Theorie der Stromerzeugung Licht verbreitet. Der Verfasser verschweigt auch nicht, daß H. an der vollen Auswertung seines genialen Gedankens dadurch gehindert wurde, daß er sich wohl nie eingehend mit komplizierteren chemischen Fragen, namentlich mit der Theorie des chemischen Gleichgewichts, beschäftigt hatte. Andererseits hat er mit größter Klarheit große künftige Entwicklungen vorausgeahnt. So betont er 1880 gelegentlich, daß der freien Bewegung der Ionen in einem Elektrolyten keine anderen Kräfte entgegenstehen als elektrostatische und antizipiert damit die Hypothese der elektrolytischen Dissoziation; in der Faradayvorlesung hat er, wie schon erwähnt, die Elektronenlehre vorausgeschaut. —

A. RIEHL sagt hinsichtlich der erkenntnistheoretischen Forschungen von Helmholtz: „Indem H. an seine klassischen Untersuchungen zur

Lehre der Gesichtswahrnehmungen erkenntnistheoretische Folgerungen knüpfte und die überlieferten Begriffe von Materie und Kraft der Kritik unterwarf, ward er zum Mitbegründer einer neuen Epoche der Philosophie, die er 1855 mit dem Kants Andenken gewidmeten Vortrag über das Sehen des Menschen eröffnete.“ H. übersetzte die Grundanschauungen Kants in die Sprache der Sinnesphysiologie, sie damit zugleich, wie wir heute sehen, umdeutend. Der leitende Gesichtspunkt dabei war die Analogie von Kants Formen des Anschauens und Denkens mit den spezifischen Sinnesenergien. H. selbst glaubte die theoretische Darstellung Kants durch sinnesphysiologische Ausführungen sicherzustellen. Indessen hat Kant selbst Anschauungsformen und Empfindungsarten streng unterschieden. Zur Kantischen Raumlehre stand H. in einem gewissen Gegensatz, sah aber seine empiristische Raumtheorie nicht als unvereinbar mit der Kantischen Lehre an. Nur sein berechtigtes Mißtrauen gegen alles metaphysische Scheinwissen hat H. in einen gewissen Gegensatz zur Kantischen Raumlehre gebracht, der von den Prinzipien seiner eigenen Erkenntnistheorie nicht gefordert erscheint. Der Herausgeber der 3. Auflage der „Physiologischen Optik“ hat überzeugend nachgewiesen, daß für einen wesentlichen Teil von Helmholtz' Lehre, die Lokalisationstheorie, die Kantische Lehre von der Einheitlichkeit und Unveränderlichkeit der Raumvorstellung die einfachste und verständlichste Grundlage bildet.

In bezug auf die Erkenntnistheorie der Naturwissenschaft erklärt H. ausdrücklich, „schon die ersten elementaren Vorstellungen enthalten in sich ein Denken und gehen nach den Gesetzen des Denkens vor sich; alles was in der Anschauung zu dem rohen Material der Empfindungen hinzukommt, kann in Denken aufgelöst werden“. In der Frage nach der Übereinstimmung von Vorstellung und Objekt legt H. alles Gewicht auf den Begriff der Gesetzlichkeit. „Das Gesetzmäßige ist die wesentliche Voraussetzung für den Charakter des Wirklichen.“ Mit anderen Worten, die Gesetzmäßigkeit ist nicht erst ein Ergebnis, sondern die Voraussetzung der Erfahrung. Die Voraussetzung der Gesetzlichkeit in Natur und Wirklichkeit ist auch gleichbedeutend mit der Voraussetzung des Kausalsatzes, und diese mit der Aufgabe, die Wirklichkeit zu begreifen. H. ist ein unbedingter Vertreter der kausalen Naturforschung. Er steht auch auf dem Boden der realistischen Naturauffassung und verwirft die Meinung moderner Kantianer, daß Kants Ding an sich nur einen transscendentalen Schein bedeute, als unkantisch und wissenschaftlich unhaltbar. Er hält fest an der Vorstellung wirklicher, von unserem Denken unabhängiger Objekte;

wie auch an der objektiven Geltung der räumlichen und zeitlichen Beziehungen. Er empfand auch die Befriedigung, die nur dem philosophisch gesinnten Naturforscher zuteil wird, „den ungeheuren Reichtum der Natur als ein gesetzmäßig geordnetes Ganzes, als ein Spiegelbild des gesetzmäßigen Denkens unseres eigenen Geistes zu überschauen“. H. hat aber auch nie verkannt, daß der Philosophie neben den Erkenntnisproblemen der Naturforschung auch eine analoge Aufgabe in bezug auf die Geisteswissenschaften zufällt. Aus beidem zusammen erst erwächst das Bild der Welt und des Lebens, die philosophische Weltanschauung. —

Auf die sehr umfangreiche Würdigung, die Helmholtz als Physiologe aus der Feder von J. VON KRIES erfährt, können wir leider aus Mangel an Raum nicht eingehen und verweisen auf die Schrift selbst. Auch die Mitteilungen von E. GOLDSTEIN lassen sich nicht im Auszuge wiedergeben, sie tragen eine überaus eindrucksvolle persönliche Färbung und bringen neue Züge zu dem Bilde von Helmholtz als Mensch und Lehrer. P.

Physik und Hypothese. In einer kürzlich erschienenen Schrift dieses Titels¹⁾ behandelt HUGO DINGLER das Thema seiner „Grundlagen der Physik“ (vgl. ds. Zeitschr. 33, 190) von der induktiven Seite her, indem er die Unhaltbarkeit des Empirismus aufzeigt, der die Naturgesetze aus der bloßen Beobachtung und dem Experiment ableiten zu können meint. Der Verfasser stellt die zentrale Frage: Liegen die allgemeinen Naturgesetze irgendwie in der Natur vorgegeben vor, so daß sie nur irgendwie aus derselben entnommen zu werden brauchen, oder aber kommen sie auf einem anderen Wege zustande, und welches ist dieser Weg? (S. 11.) Er nähert sich dann der Lösung dieses Problems durch Erörterungen über die Rolle, die der Name Körper für die Grundlagen der Geometrie spielt. Es ergibt sich dabei, daß wir als „starr“ einen Körper zu bezeichnen haben, der genau den Gesetzen der euklidischen Geometrie gehorcht (S. 29). Als solcher ist er nicht der Beobachtung und nicht der Natur entnommen, er bildet vielmehr (nach B. ERDMANN'S Bezeichnung) eine empirische Idee, deren Schöpfer wir selber sind. Wie dies im genaueren dargestellt wird, möge man in dem Buche nachlesen. Der starre Körper bedeutet für die Geometrie

¹⁾ Physik und Hypothese. Versuch einer induktiven Wissenschaftslehre nebst einer kritischen Analyse der Fundamente der Relativitätstheorie. Von Dr. HUGO DINGLER, a. o. Prof. a. d. Univ. München. Berlin und Leipzig 1921. Verein. wiss. Verl. 200 S. M. 30,—.

dasselbe, wie der Nullpunkt des Thermometers für die Thermometrie. Die euklidischen Gesetze gelten nunmehr mit absoluter Genauigkeit, da sie mit solcher von uns der Wirklichkeit auferlegt werden. Dabei ist wichtig, zu beachten, daß wir es nicht mit einer bloßen Hypothese zu tun haben, sondern mit einer Festsetzung, die durch Gründe allgemeinerer Art als zweckdienlich zu erweisen ist. Die Anwendung der so gewonnenen Norm auf die Wirklichkeit vollzieht sich nach dem Grundsatz der „Exhaustion“ durch immer vollkommenere Erfassung aller die etwaigen Abweichungen bedingenden Umstände. Hierbei bleibt denn auch, was für die Beurteilung der neuesten Form der Relativitätstheorie wichtig ist, kein Raum mehr für die Annahme eines nicht-euklidischen Raumes.

Wie sich diese Anschauung von den Grundlagen der Geometrie auf die Physik übertragen läßt, dies zu zeigen ist die Hauptaufgabe des vorliegenden Buches. Dem starren Körper dort entspricht hier, was der Verfasser die „Konstitutionshypothese“ nennt. Beobachtung und Experiment liefern dem Physiker eine Fülle von Beziehungen zwischen den Gegenständen der Erfahrung, dadurch wird die Welt in eine große Zahl zunächst zusammenhangloser Gebiete zerlegt. Die Wissenschaft aber verlangt nach einer großen gemeinsamen Substruktion für die Gesamtheit dieser Gebiete (S. 54). Hierzu dient die Hypothese in einer besonderen, näher zu erläuternden Form.

Die zu beantwortende Grundfrage ist diese: Kann in der empirisch gewonnenen Physik irgend eine Erklärung der gefundenen Tatsachen eindeutig empirisch gefunden werden? Eine derartige Erklärung muß die Ableitbarkeit der Erscheinungen eines gegebenen Gebietes aus einer gemeinsamen Voraussetzung ermöglichen, hierzu dient zunächst die gewöhnliche Form der Hypothese, die den logischen Zusammenhang einer Gruppe von Sätzen als einen Teil ihres eigenen logischen Zusammenhangs aufweisen muß (S. 78). Der logische Sinn einer solchen Hypothese ist, aus einer Gruppe von Erscheinungen eines Gebietes diejenigen herauszusuchen, aus denen die übrigen abgeleitet werden können, oder aber eine Gruppe von Annahmen zu finden, aus denen sämtliche Erscheinungen der Gruppe logisch abgeleitet werden können (S. 79). In der Regel wird das letztere erforderlich sein. Es muß einen Weg geben, auf dem es möglich ist, die einfachste Annahmengruppe aufzufinden, die das Verlangte leistet. Eine solche Annahmengruppe kann als Minimalhypothese bezeichnet werden. Es wird auch Minimalhypothesen geben können, die für zwei und mehr Gebiete gemeinsam gelten. Schließlich tritt die Frage auf: Gibt es eine Universalhypothese, die für die Gesamtheit der Erscheinungen

überhaupt einen logischen Zusammenhang herstellt. Es läßt sich zeigen, daß eine solche Hypothese wesentlich nicht direkt beobachtbare Elemente und Abhängigkeiten enthalten muß. Bedient sich eine solche Hypothese gleichwohl wirklich anschaulicher Elementarvorgänge, so soll sie anschauliche Fundamentalthypothese oder „Konstitutionshypothese“ heißen. Durch eine Reihe scharfsinniger Überlegungen gelangt der Verfasser dazu, in dem Newtonschen Gravitationsgesetz den einfachsten möglichen Vorgang der Wirkung von Körpern aufeinander zu erkennen und dieses Gesetz als die eigentliche und fundamentale Konstitutionshypothese aufzuweisen. Ein rein empirischer Ursprung dieses Gesetzes ist schon insofern ausgeschlossen, als Begriff und Maßzahl der Masse selbst erst durch dieses Gesetz bestimmt werden. Das gefundene Resultat stimmt mit dem in den „Grundlagen der Physik“ aufgestellten Grundsatz der „reinen Synthese“ überein (*ds. Zeitschrift 33, 190*).

Damit erscheint nun auch die Behauptung DINGLERS bestätigt, daß wir die obersten Naturgesetze festlegen, ohne daß die Natur uns eine Wahl aufzwingt oder unseren Festsetzungen nachträglich widersprechen könnte. Es liegt hier indes kein bloßer Konventionalismus vor, wie ihn Poincaré in „Wissenschaft und Hypothese“ vertreten hat, sondern ein „kritischer Konventionalismus“, der sich durch den Grundsatz der Einfachheit leiten läßt¹⁾. Allerdings ist ergänzend zu DINGLERS Darlegungen zu bemerken, daß die Natur uns die Wahl zwar nicht geradezu aufzwingt, aber doch an die Hand gibt, so daß man wird sagen dürfen: Wir schöpfen die Gesetze auf Grund unvollkommener Induktion aus der Natur, um sie dieser dann als unbedingt verbindlich vorzuschreiben. Das Beharrungsgesetz bietet hierfür das klassische Beispiel.

Die Frage nach der Berechtigung dieses Verfahrens steht in engster Beziehung zu den Fragen der axiomatischen Methodik überhaupt. Der Verfasser geht darauf in dem Abschnitt „Der erkenntnistheoretische Kern“ (S. 112–129) näher ein. Er kann sich darauf berufen, daß für die Grundlagen unseres Denkens überhaupt keine zwingenden empirischen Grundlagen vorhanden sind, Denkregeln sich also auf keiner Weise empirisch feststellen lassen. Es bleibt also zur Begründung der Erkenntnis nur die bewußte synthetische Aufstellung von Denkregeln übrig. Diese Aufstellung gilt in letzter Instanz auf einen Willensakt zurück. Daß ich etwas will, muß ich als unmittelbar gewiß annehmen. Zu

¹⁾ Näheres in DINGLERS Aufsatz „Über den Begriff der ‚Einfachheit‘ in der Methodik der Physik und der exakten Wissenschaften“. Zeitschrift für Physik Bd. 3, 425–436; 1920.

dieser Grundlegung ist auch Leonard Nelson („Über das sogenannte Erkenntnisproblem“, Göttingen 1908) gelangt. Auch das ontologische Problem (die Frage der Realität der Außenwelt) tritt von diesem Standpunkt aus in die richtige Beleuchtung. Die einzige Begründungsart, die keinen kritischen Anfechtungen ausgesetzt ist, ist die „freiwillige Festsetzung“.

Indem die Physik einerseits den Begriff des starren Körpers, andererseits die Konstitutionshypothese des Newtonschen Gesetzes zu Maßbestimmungen für die gesamte mechanische Wirklichkeit wählt, vollzieht sie „nichts anderes als eine Eichung“ dieser Wirklichkeit in grandiosestem Maßstabe. Der Ausgangspunkt dieser Eichung ist der Raum der euklidischen Geometrie, das Newtonsche Gesetz aber (die Elementar-kausalität) ist die Maßeinheit, mittels der wir sozusagen alle Erscheinungen ausschöpfen. Die exakte Wissenschaft selbst kann betrachtet werden als „das Hineintragen einer einzigen ungeheueren, in alle Tiefen und Weiten reichenden Messungs-

skala in die Wirklichkeit“ (174). Auch wo sich etwa Abweichungen von dem Grundgesetz zeigen sollten, werden sie doch eben vermöge dieses Gesetzes in die Darstellung und Beherrschung der Wirklichkeit einbezogen.

Bemerkenswert sind noch die Auseinandersetzungen des Verfassers mit anderen philosophischen Standpunkten, besonders mit dem Fiktionalismus Vaihingers, dem gegenüber der Verfasser die Wirklichkeitsbedeutung seiner Lehre vertritt. Worte hoher Anerkennung findet der Verfasser namentlich für Ernst Mach, dessen Biologismus er freilich als eine schwache Seite seiner Philosophie ansieht.

Der Verfasser hat mit seinen bisherigen Forschungen die Grundlagen einer Methodenlehre der Physik geliefert, deren weiterer Ausgestaltung im einzelnen man mit Spannung entgegensehen darf. Seine Theorie führt auch zu einer kritischen Analyse der Grundlagen der Relativitätstheorie, auf die von anderer Seite noch näher eingegangen werden wird. P.

4. Unterricht und Methode.

Die Formen des physikalischen Unterrichts behandelt P. JOHANNESON in einer Studie zur physikalischen Didaktik (*Aus der Natur*, 17. Jahrg., Heft 7, 1921, S. 193—202). Er weist auf den Zusammenhang hin, der zwischen der Schule und der allgemeinen Kultur besteht und glaubt auch, die einander ablösenden Formen des physikalischen Unterrichts im letzten Jahrhundert aus den geistigen Wandlungen dieses Zeitalters begreifen zu sollen. Allerdings laufen im Anfang des Jahrhunderts kulturelle Strömungen verschiedenster Art neben- und durcheinander. Das humanistische Ideal des zum allgemeinen Menschentum erhobenen Griechentums, die Rousseausche Rückkehr zur Natur, die Aufklärung des 18. Jahrhunderts, das Freiheitsstreben der französischen Revolution, Fichtes Tatphilosophie, endlich die Anfänge der Romantik. Dazu treten noch das Aufblühen der Naturwissenschaften, eine positivistisch gewendete Geschichts- und Rechtswissenschaft, das Erstarren der Demokratie und die Ausbreitung der Volksbildung, endlich die kritische Richtung in der Philosophie.

Von diesen Strömungen hat die humanistische doch wohl nicht den Einfluß geübt, den der Verfasser ihr zuschreibt. Was von der aristotelischen Physik noch bis in das 19. Jahrhundert hinein reicht, ist vornehmlich ein Überrest aus der Zeit der Scholastik. Man kann sie humanistisch nennen, insofern sie mit selbstgeschaffenen Begriffen an die Tatsachen herantritt. Aber diese Begriffe (wie Dynamis und Energeia) waren, mit Whewell zu reden, den Tatsachen nicht hinreichend angepaßt, lieferten deshalb nicht mehr als

einen vorläufigen Rahmen für die Fülle des Erfahrungsmaterials. Mit der heutigen humanistischen Form des physikalischen Unterrichts hat diese wesentlich philologische Lehrform nichts gemein.

Eine bedeutsamere Rolle spielt der Rationalismus des Aufklärungszeitalters. Doch ist nicht zu vergessen, daß die rationalistische Richtung der Physik bis auf Descartes, den Vater der Aufklärung, zurückgeht und schon in Lehrbüchern des 17. Jahrhunderts hervortritt. Ihre eigentliche Stärke schöpft sie allerdings aus der didaktischen Methode Galileis und der mathematischen Methode Newtons. Von beiden sagt der Verfasser: „Sie waren trotz aller Wertschätzung der Erfahrung, trotz aller Fall- und Pendelversuche und trotz des *hypotheses non fingo* von der Illusion befangen, daß die wirkliche und letzte Einsicht in das Naturgeschehen durch die gedankliche Zergliederung gefunden werden müsse.“ Darf man dies wirklich als bloße Illusion bezeichnen? Wir sehen heute immer deutlicher, daß neben der experimentellen Untersuchung das Aufsuchen der Elementartatsachen durch gedankliche Zergliederung ein unentbehrliches Mittel der Forschung ist. Dies lehrt u. a. H. Dingers tiefgrabende Schrift über die Grundlagen der Physik (*ds. Zeitschr.* 33, 190). Die gedankliche Zerlegung wird daher immer, wie auch Ernst Mach betont hat, im Unterricht eine Rolle spielen müssen. Nur wo die rationalistische Richtung zu einem deduktiven Lehrsystem führt, ist sie als Unterrichtsprinzip abzulehnen.

In der Tat hat sich dem rationalistischen Verfahren gegenüber der Demonstrations-

unterricht seit dem Anfang des vorigen Jahrhundert mehr und mehr durchgesetzt. Maßgebend dafür war wohl nicht so sehr die Romantik mit ihrer der Anschauung geneigten gefühlsmäßigen Naturauffassung, als die sich häufenden Erfolge der empirischen Forschung zu jener Zeit, in Verbindung mit der realistischen Richtung der deutschen Pädagogik seit den Zeiten des Comenius. Der Demonstrationsunterricht trat mit dem Anspruch auf, daß er allein imstande sei, Klarheit und Bestimmtheit in die Auffassung der Naturvorgänge zu bringen; er meinte auf dem Wege durch die Sinne ein lebhafteres Erfassen und Durchdringen erzielen und damit die Aktivität der Schüler auf eine höhere Stufe heben zu können. Der Verfasser weist mit Recht darauf hin, daß dieses Ziel schwerlich durchweg erreicht worden sei. Vielfach sei nur eine Befriedigung der Schaulust eingetreten, ein unfruchtbares passives Aufnehmen gezeitigt, die Denktätigkeit eingeschlüfert worden.

Der experimentell demonstrierenden Lehrform verwandt ist der Historismus, er entspricht der Bedeutung, die die historische Betrachtung überhaupt in dem letzten, oft als historisches bezeichneten Jahrhundert gewonnen hat. Er will die Schüler in den Werdegang der physikalischen Erkenntnis einführen, wenschon dies zumeist nur in einer idealisierten, d. i. vereinfachten Form möglich ist. Er dient dem Zweck der Erkenntnisgewinnung zweifellos in vertiefter Weise als der reine Experimentalunterricht, dem leicht der Charakter des Zufälligen, willkürlich Herangezogenen anhaftet. Der Historismus ist dem Rationalismus verwandt, insofern er den Gang der Geschichte „nach vorgefaßten und somit rationellen Gesichtspunkten“ beurteilt. Aber dies gerade führt wieder zu einer gewissen Einseitigkeit, die es schwer macht, der historischen Lehrform nach ihrer vollen Universalität gerecht zu werden. Man erstrebt ein geistiges Nacherleben des Erkenntnisvorgangs der großen Forscher und verliert darüber leicht das andere Ziel, die Vertrautheit mit den Dingen und Vorgängen selbst, aus den Augen.

Ein wirkliches Nacherleben der Tätigkeit großer Forscher erfordert eine selbständige Betätigung der Schüler an den Objekten. Wie der Forscher die Gesetze aus den Naturerscheinungen induktiv gewinnt, so sollte es auch im Unterricht der Fall sein. So tritt ergänzend neben den Historismus die praktische Lehrform als neues didaktisches Verfahren, das seine Ausgestaltung in den physikalischen Schülerübungen findet. „Handelte es sich beim Historismus um ein Nacherleben des physikalischen Gedankenfortschritts, so wünscht die praktische Lehrform ein Neuerleben physikalischen Schaffens im Schüler wach zu rufen.“ „Sieht die eine Lehrform ihr Ideal im Erkennen des Ganzen und seiner inneren Zusammenhänge, so ist die andere auf das handgreifliche Wirken im engen Kreis gerichtet.“ Die Zöglinge werden sich je nach ihrer Eigenart verschieden gegenüber den beiden Lehrformen verhalten, die mehr rezeptiv beanlagten werden aus der ersten Lehrform, die mehr praktisch und schaffend beanlagten mehr aus der zweiten Anregung und Gewinn schöpfen. Daraus folgt schon, daß nicht eine der beiden Lehrformen ausschließlich befolgt werden darf, sondern daß jedem Schüler gemäß seiner Beanlagung der eine oder der andere Weg offen stehen sollte.

Auch die Frage, welche Lehrform die beste sei, ist nicht zugunsten einer bestimmten zu beantworten. Gewiß wird die Persönlichkeit des Lehrers von Einfluß darauf sein, ob das Verfahren mehr auslegend oder rechnend, vortragend oder vorführend, denkend oder handelnd, lehrend oder erziehend ist. Aber wir möchten doch diesem Umstand keinen entscheidenden Einfluß einräumen, da damit der Einseitigkeit und der Willkür leicht das Tor zu weit geöffnet wird. Wünschenswert ist vielmehr eine Synthese der verschiedenen Lehrformen, die je nach dem Gegenstand und der Altersstufe bald die eine, bald die andere in den Vordergrund stellt und damit auch den verschiedenen Individualitäten der Schüler gerecht wird. P.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Die Kultur der Gegenwart. III. Teil. III. Abteilung. III. Bd. Astronomie. Unter Redaktion v. J. HARTMANN. Bearbeitet von L. Ambronn, F. Boll, A. v. Flotow, F. K. Ginzel, K. Graff, P. Guthnick, J. Hartmann, J. v. Hepperger, H. Kobold, S. Oppenheim, E. Pringsheim. Mit 44 Abbildungen im Text und 8 Tafeln. Leipzig und Berlin B. G. Teubner 1921.

Der stattliche Band, der schon beim ersten Durchblättern durch Inhalt und Ausstattung für sich einnimmt, zeigt bei eingehendem Studium neben den Vorteilen auch die Übelstände, die durch Verteilen des Stoffes auf eine Reihe selbständiger Bearbeiter auftreten müssen; der gediegenen Fachkenntnis steht, abgesehen von Wiederholungen und Auslassungen, die prinzipiell verschiedene Art der Darstellung gegenüber.

Während namentlich das 1. Kapitel (Fr. Boll) und die beiden folgenden, von Fachmann wie von Laien, mit heller Freude begrüßt werden dürften, wendet sich das umfangreiche Kapitel 9, Physik der Fixsterne, (P. Gutlnick) mit seinem überreichen Inhalte, in dem zum ersten Male die neuesten Forschungsergebnisse zusammenfassend dargestellt werden, so gut wie ausschließlich an den Fachmann; und macht schließlich das letzte Kapitel den Versuch, auch die Kenntnis der Einsteinschen Gravitationstheorie zu vermitteln, ein bei aller Kunst der Darstellung nach Ansicht des Referenten aussichtsloses Unternehmen. Leider ist mit Abbildungen zu sehr gespart worden. So ist, an ziemlich belangloser Stelle, ein einziges Spektrum abgebildet; der Mangel an Spektren macht sich namentlich beim Studium des 9. Kapitels fühlbar. Stets aber möge der Leser bedenken, daß er kein eigentliches Lehrbuch vor sich hat, sondern eine Darstellung der astronomischen Forschungsergebnisse in ihrer „Einwirkung auf die Gestaltung unseres Lebens und ihrer jetzigen Beziehung zu anderen Wissensgebieten“. Gerade dadurch wird das schöne Werk dem Lehrer neben dem Lehrbuche die wertvollsten Dienste leisten und sei deshalb namentlich dem Leser dieser Zeitschrift aufs angelegentlichste empfohlen. *R. Emden.*

Grundzüge der Einsteinschen Relativitätstheorie. Von Dr. AUGUST KOPFF, a. o. Prof. d. Astron. an d. Univ. Heidelberg; Leipzig, Hirzel, 1921. 198 Seiten, geh. M. 36,—.

Zur Einführung in die Relativitätstheorie sind Dutzende populärer Schriften erschienen. Streng wissenschaftliche Werke über denselben Gegenstand aber sind zu zählen. Da füllt nun neben den Büchern von Laue und Weyl das neue Werk des Heidelberger Astronomen Prof. Dr. Kopff eine Lücke aus. Das Lauesche Buch behandelte bis jetzt nur die spezielle Theorie (eine Fortsetzung ist soeben erschienen), das von Weyl aber wird manchen recht schwer erscheinen. Es ist keine Einführung im gewöhnlichen Sinne des Wortes, sondern eine durchaus originelle Darstellung des Gegenstandes, eine bedeutsame, eigenartige Durchdringung. Kopffs Werk schließt sich dem Aufbau nach an Weyl an, beide Theorien werden besprochen, aber es soll eine Einführung sein und auf Weyl und die Originalarbeiten vorbereiten. Aus diesem Grunde ist der vollständige mathematische Apparat der neuen Theorie herangezogen, aber die Formeln und Lehrsätze werden abgeleitet, so daß jeder mit der höheren Mathematik der ersten Semester Vertraute sich sehr wohl durcharbeiten kann. Erleichtert wird dies durch das durchaus didaktische Vorgehen des Verfassers, der, wenn irgend möglich, vom bekannten Beispiel, vom vertrauten

Analogon ausgeht, ehe er die allgemeine Definition, den allgemeinen Satz ausspricht. So wird das Mathematische an der Theorie hervorgehoben — und mit Recht, denn es handelt sich um theoretische, mathematische Physik! Aber auch die physikalische Seite kommt zu ihrer Geltung. Die Versuche, die zu den Theorien führten, werden zwar nur kurz erwähnt; wohl weil sie sich in jeder Einführung finden und meist bekannt sind. Dafür ist aber ausführlich auf die Bestätigungsmöglichkeiten, besonders der allgemeinen Theorie, eingegangen. Hier wird viele Leser die vorsichtige Beurteilung der Versuchsergebnisse angenehm berühren. Die noch bestehenden Schwierigkeiten werden nicht verschwiegen. Daneben aber findet sich auch der Hinweis auf die Jugend der Theorie, ein Hinweis, der einmal ausgesprochen werden muß und davor bewahren kann, zu hohe Forderungen zu stellen. Für den Physiker — aber auch für den Philosophen, der den erkenntnistheoretischen Gehalt der Theorie untersuchen will — von besonderem Wert sind dann noch die scharfe Präzisierung der gemachten Voraussetzungen und die Klarstellung des Sinnes, den die Behauptungen der Relativitätstheorie haben. Das gilt z. B. von den Bemerkungen über die Lorentzkontraktion und den Gang der Uhren (S. 42 ff.), wo durch knappe Formulierungen so viele Mißverständnisse entstanden sind. Das gleiche gilt für die allgemeine Theorie (S. 128 ff.). — Im ganzen kann man wohl sagen, daß der Verf. seine Absicht erreicht hat. Das Buch ist jedem zu empfehlen, der sich in die Theorie hineinarbeiten will. *Sellien.*

Die Quantentheorie. Von F. REICHE. Berlin, Julius Springer, 1921. 231 Seiten. M. 34,—.

Reiches Buch ist ein klar und flüssig geschriebener Bericht über die Entstehung und Entwicklung der Quantentheorie. Eine Fülle von Stoff ist verarbeitet. Nach kurzer Darstellung der Probleme, die zum Versagen der klassischen Statistik führten, werden die verschiedenen Formen der Quantentheorie, ihr Eindringen in die Molekulartheorie der festen und gasförmigen Körper, ihre Bedeutung für die Theorie der optischen und der Röntgenspektren besprochen. Die Behandlung beschränkt sich auf die wesentlichen Grundgedanken. Es wird das Problem herausgearbeitet, die neue Lösung im Gedankengang und im Resultat gegeben, der Erfolg kritisch besprochen und der Vergleich mit den Erfahrungsdaten durchgeführt. Angaben über die Originalarbeiten mit den vollständigen Rechnungen enthält der fast 70 Seiten umfassende Anhang, in dem man auch die mathematische Ableitung einiger Hauptsätze der Theorie findet. — So ist das Buch kein Lehrbuch, aber ein guter Wegweiser für jeden, der in die Problemwelt der

Quantentheorie eindringen will. Darin besteht auch seine Bedeutung für den Unterricht. Man wird die Quantentheorie nicht behandeln, dazu ist sie noch zu wenig abgeschlossen — ist doch bis heute noch nicht einmal entschieden, ob die 1. oder 2. Plancksche Fassung der Theorie die richtige ist —, aber man wird an mehr als einer Stelle auf das Problem hinweisen können, das die Erfahrung bietet, und von dem aus der Weg zur neuen Theorie führt. Das wird z. B. der Fall sein bei der Zustandsgleichung, beim Dulong-Petitschen und beim Wiedemann-Franz'schen Gesetz, bei denen die Abweichungen von der Erfahrung mit Hilfe der alten Vorstellungen nicht zu begreifen sind. Hier findet man in Reiches Buch Tatsachenmaterial und Lösung.

Sellien.

Das Atom — ein räumliches Planetensystem. Von Dr. RUDOLF SCHMID, Assistent für Physik an der tierärztl. Hochschule in Wien. Mit 12 Abbildungen. 64 S. Leipzig und Wien, Franz Deuticke, 1921. Kr. 80,— oder M. 10,—.

Die Schrift ist mit augenscheinlicher Sachkenntnis verfaßt, und wer einen flüchtigen Überblick über die neuesten Forschungen haben will, mag sich mit dem hier Gebotenen begnügen. Ein wirkliches Verständnis kann nicht einmal ein physikalisch Geschulter, geschweige denn ein bloß Interessierter, aus einer solchen gedrängten Darstellung gewinnen. Auf nur vier Bogen sind behandelt: Atomtheorie, kinetische Gastheorie, Elektronentheorie, Radioaktivität, Röntgenspektren, Quantentheorie, Theorie der Serienspektren, Umwandlung der chemischen Elemente. Wer in das Gebiet eindringen will, wird doch zu ausführlicheren Werken greifen müssen.

P.

Physik und Erkenntnistheorie. Von E. GEHRCKE. Mit 4 Figuren im Text. 119 S. (Wissenschaft und Hypothese Bd. XXII). Leipzig, B. G. Teubner, 1921. M. 8,—, geb. M. 10,—.

Die Schrift ist dem verdienstvollen Schulmann Ernst Goldbeck gewidmet. Sie will in erster Linie anregen und in das Grenzgebiet von Physik und Erkenntnistheorie einführen. Das Grundproblem der Erkenntnistheorie selbst wird kaum berührt, auch der Definition der Wahrheit geht der Verfasser aus dem Wege. Als Kundgebung eines philosophisch orientierten, theoretisch wie praktisch geschulten Physikers aber wird die Schrift doch allgemeines Interesse erregen. Sie hebt u. a. den Unterschied physikalischer und mathematischer Größen hervor, betont die Bedeutung absoluter räumlicher Abmessungen, bekennt sich zur kausalen im Gegensatz zur konditionalen Naturbeschreibung, geht auf den Ursprung der physikalischen Begriffe ein und erörtert insbesondere die Begriffe Raum, Zeit,

Bewegung, Temperatur, Energie, Entropie, Kraft, Masse. In bezug auf Atome und Äther neigt der Verfasser augenscheinlich zur Anerkennung ihrer Realität. „Der Äther ist für den Physiker kein denkökonomischer oder aus anderen formalen Gründen zu behandelnder Einfall, sondern entweder eine Tatsache oder nichts: Gibt es wirklich einen Weltäther oder nicht? Welches sind seine wirklichen Eigenschaften? Das sind die wesentlichen Fragen, die zu beantworten Aufgabe der physikalischen Forschung ist.“

P.

Wirbelkristall und elektromagnetischer Mechanismus. Von Dr. CARL WESTPHAL. Mit 30 Abbildungen. 32 S. Braunschweig, Friedr. Vieweg u. Sohn, 1921. M. 4,—.

Die Schrift greift auf die Annahme eines atomistisch konstituierten Weltäthers zurück; die Dielektrika werden von Wirbelgebilden erfüllt gedacht, die den Äther bipolar ansaugen und äquatorial ausstoßen, die Metalle von Wirbelringen nach Art der bekannten Rauchringe, von denen je zwei coaxial zusammengeschlossen sind. Auf Grund dieser Annahmen versucht die Schrift die Grunderscheinungen der Elektrostatik und der Elektrodynamik abzuleiten. Die positiven und negativen Elektronen sind aus Wirbelringen zusammengesetzt und haben die Eigenschaft, aus Öffnungen ihrer Oberfläche andauernd Äther auszustoßen und in sich hineinanzusaugen. Hieraus läßt sich der Starkeffekt deuten, bei dem die heutige Oszillationstheorie des Elektrons versagt. Aus Wirbelkristallen verschiedener Ordnung setzen sich die Atome der Elemente zusammen. Auch eine Absorptionstheorie der Gravitation baut sich auf diese Annahme auf. Es sei erinnert, daß ähnliche Gedanken über die Konstitution des Äthers neuerdings auch von Lenard ausgesprochen worden sind.

P.

Lehrbuch der Physik nach Vorlesungen an der technischen Hochschule zu München. Von H. EBERT. II. Band, 1 Teil: Die elektrischen Energieformen. Mit 341 Abb. im Text. Fertiggestellt und herausgegeben von Dr. C. Heinke, ord. Prof. der Elektrotechnik a. d. techn. Hochschule zu München 685 S. Mk. 65,—, geb. Mk. 75,—. Berlin und Leipzig, Univ. Wiss. Verl. 1920.

Das Buch ist schon in dem Entwurf des 1913 verstorbenen Verfassers über den ursprünglich beabsichtigten Umfang hinausgewachsen; ein anderer Verlag hat sich das Verdienst erworben, das ausgezeichnete Werk fortzuführen. Der Herausgeber hat sich der Riesenarbeit unter Beihilfe anderer Forscher mit großer Hingebung unterzogen und dabei die Eigenart des Werks zu wahren gewußt. Diese besteht in erster Reihe darin, daß abweichend von den Werken über Experimentalphysik auch ein Teil des theoretischen Stoffs der Physik in das Buch hineingearbeitet

ist; immerhin wiegt das Experimentelle durchaus vor, und der Verfasser bewährt sich in der Gestaltung des Stoffs an der Hand zahlreicher geschickt gewählter Versuche als ein Meister der Didaktik, von dem auch für unseren Unterricht viel zu lernen ist. Bemerkenswert ist, daß in der Elektrostatik von Anfang an der Begriff der Elektronen benutzt wird, ebenso ist auch die Lehre von der strömenden Elektrizität auf die Elektronenbewegung aufgebaut; hiermit hängt zusammen, daß das Ohmsche Gesetz zuerst bei der Gasleitung, dann für Leiter 2. Klasse und zum Schluß erst für Leiter 1. Klasse aufgestellt wird. Daß das elektrische Potential als Ladungszustand definiert wird, ist eine willkommen zu heißende Übereinstimmung mit der Gepflogenheit des Schulunterrichts. Sehr ausführlich ist auch die magnetoelektrische Induktion unter dem Gesichtspunkte der Energieumwandlung behandelt. Die Induktion durch Dauerfelder, dann die durch Wechselfelder, endlich Wechselstromerscheinungen und elektrische Schwingungen werden eingehend und lichtvoll dargestellt. Das Buch ist eine wertvolle Bereicherung unserer Lehrbuchliteratur.

P.

Lehrbuch der Physik. Von E. GRIMSEHL. In zwei Bänden. I. Band: Mechanik, Wärmelehre, Akustik und Optik. 5. verb. u. vermehrte Auflage. Mit 1049 Figuren im Text, 10 Figuren auf 2 farbigen Tafeln und 1 Titelbild. 1029 S. — II. Band: Magnetismus und Elektrizität. 4. verb. u. verm. Auflage. Mit 548 Fig. im Text. 634 S. Beide Bände herausgegeben von W. Hillers und H. Starke. Leipzig, B. G. Teubner, 1920 und 1921. Bd. I M. 32,—, geb. M. 38,—. Bd. II M. 22,—, geb. M. 26,—.

Das Werk hat seit dem Tode Grimsehls unter der Hand des kenntnisreichen Herausgebers Hillers und unter der Mitwirkung des Aachener Hochschulprofessors Starke außerordentlich an Umfang und Inhalt gewonnen. Es ist immer mehr über seine ursprüngliche Bestimmung als Schulbuch hinausgewachsen und zu einem Hilfsbuch für den Studierenden der ersten Semester geworden, dem es den Stoff in überaus lichtvoller Weise darbietet. Auch der Lehrer der Physik findet darin die neuesten Forschungen in übersichtlicher Darstellung zusammengefaßt. Im ersten Bande ist besonders Rücksicht genommen auf die Bearbeitung der Begriffe Masse und Trägheit im Sinn der Relativitätstheorie, auf den erstaunlichen Ausbau der Atomtheorie und auf die Lehre von den Energiequanten. Im zweiten Bande sind hauptsächlich die Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlenerzeugung und der Röntgenstrahleninterferenzen von Einfluß auf die Umgestaltung des Textes gewesen, obwohl die darauf fußende moderne Theorie des Atom-

innern und insbesondere die Bohrsche Hypothese der Atomkonstitution noch viel Unbefriedigendes und zum Teil Widerspruchsvolles enthalten. Daß die Elektronentheorie stärker herangezogen wurde, ist zu begrüßen, ebenso daß die Nahwirkungslehren von Faraday und Maxwell noch mehr als früher in der Behandlung des elektrischen Feldes und der Dielektrika zur Geltung gebracht sind. Zahlreiche anderweitige Änderungen und Ergänzungen, die hier nicht einzeln aufgezählt werden können, tragen dazu bei, daß das Werk auf der Höhe der Zeit steht und dem Namen seines Urhebers Ehre macht.

P.

Grundriß der Physik für höhere Lehranstalten und Fachschulen sowie zum Selbstunterricht. Von Dr. KARL HAHN, Oberlehrer an der Oberrealschule auf der Uhlenhorst in Hamburg. Mit 326 Figuren. Leipzig-Berlin, Teubner, 1920. 274 S. M. 8,—, geb. M. 9,60, dazu 100% T.-Z.

Der Grundriß will die „Bausteine der Hauptpfeiler des physikalischen Systems“ bieten und den Stoff so auswählen, „daß die Fülle des Gebotenen den Blick nicht vom Ganzen ablenkt.“ Dieser anerkennenswerte Versuch ist gelungen. An Kleinigkeiten zu mäkeln, wäre unbillig, weil verschiedene Wege möglich sind, um alte Unterrichtsziele durch neue Lehrverfahren zu erreichen. Das Buch ist ein Leitfaden für den Lehrer und den Schüler. Der Lehrer findet keine eingehenden Beschreibungen von Versuchsanordnungen, die er nur nachzumachen hätte. Aber Abbildungen und Bemerkungen im Text weisen auf Versuche hin, die man aus Experimentierbüchern nach Belieben auswählen kann. Daß der Grundriß nach dieser Richtung hin kein bequemes Lehrbuch ist, darf ihm als Vorzug angerechnet werden. Die Anweisung „Praktikum“ an den entsprechenden Stellen deutet die Möglichkeit an, Schülerübungen in den Lehrgang einzuweben. Dabei ist an Grimsehls physikalische Schülerübungen in der Darstellung von B. Kröger gedacht. Die Fülle des Stoffes und die Eigenart seiner Behandlung wird Lehrern, die nicht versteinert sind, viele Anregungen bieten können. Besonders wertvoll sind die geschichtlichen Übersichten, die K. HAHN der Darstellung der einzelnen Erscheinungsgruppen folgen läßt, um den Stand unseres Wissens noch einmal historisch zu beleuchten. Dem Schüler gestattet der Leitfaden, die Endergebnisse auch dann in präziser Fassung nachzulesen, wenn der Gedankengang des Unterrichts sich nicht streng an das Buch anschließt. Die in Grimsehls Schule entstandene Arbeit ist von seinen Bestrebungen beeinflusst. Die Fallversuche z. B. werden im Treppenhaus ausgeführt, und die Fallmaschine ist beseitigt. Der Grundriß ist in der Schulbücher-Literatur als Gewinn zu bewerten. Muh.

Geschichte der organischen Chemie. Erster Band. Von CARL GRAEBE. Berlin, Julius Springer, 1920. X u. 406 S. M. 28,—, geb. M. 41,60.

Ein grundlegendes Werk, das eine viel empfundene Lücke ausfüllt. Der besonders durch seine Entdeckungen in der Farbstoffchemie bekannte Verfasser entwirft hier in acht Abschnitten ein lebensfrisches Bild des großartigen Werdeganges der organischen Chemie von Scheeles bereits tief eindringenden Arbeiten an bis zum Anfang der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts. Besonders gründlich wird das in der „Radikalthorie“ zu einem gewissen Abschluß kommende Ringen um die theoretischen Vorstellungen zur Konstitution wichtigster organischer Verbindungen geschildert, an welchem Liebig in hervorragendem Maße beteiligt war. Hier bildet das Buch eine wertvolle Ergänzung zu dem schönen Werk Volhards (*ds. Zeitschr.* 28, 59). Aber auch das erste Aufkeimen von Vorstellungen über die räumliche Lagerung der Atome (Laurent, Gmelin), die Kämpfe um die Gärungstheorie, die Entwicklung der Strukturchemie, die Entdeckungen im Gebiet der organischen Synthese u. v. a. finden eine vorzügliche Darstellung, deren hervorstechendstes Merkmal darin besteht, daß die Forscher selbst ausgiebig zu Worte kommen. Diese früher zu wenig geübte Form der Geschichtschreibung wirkt in besonderem Maße überzeugend. Auch die zahlreichen Quellenangaben unter dem Text, die vielfach noch durch biographische Notizen ergänzt werden, zeugen von der Gründlichkeit der Arbeit. Ein zweiter Band aus der Feder von Prof. HOESCH wird die Arbeit bis zur Gegenwart fortführen. Der vorliegende Band enthält nur ein Namenregister; dringend erwünscht ist, daß in dem zweiten Bande auch ein eingehendes, sich auf beide Teile erstreckendes Sachregister hinzukommt. Das Werk wird sich nicht nur die Organiker, sondern viel weitere Kreise zu Dank verpflichten. Es darf auch in keiner Anstaltsbibliothek fehlen und wird eine Zierde jeder Privatbibliothek bilden.

O. Ohmann.

Die Praxis des organischen Chemikers. Von Dr. L. GATTERMANN, Geh. Hofrat, Prof. a. d. Univ. Freiburg i. B. 15. verb. Aufl. Mit 95 Abb. u. 2 Taf. Berlin u. Leipzig, Ver. wiss. Verl. W. de Gruyter & Co. 1920. XII u. 368 S. Geb. M. 45,—.

Das Buch wurde hier nur bei seinem ersten Erscheinen besprochen (*ds. Z.* 8, 285). Wie die zahlreichen Auflagen beweisen, hat es sich inzwischen geradezu glänzend bewährt. Von den vielen Verbesserungen können wir hier nur angeben, daß der Grundzug des Buches, nicht nur praktische Vorschriften, sondern auch theoretische Erörterungen zu bieten, weiter durchgeführt und

daß, seit der 10. Aufl., auch die Elementaranalyse nach DENNSTÄDT in das Buch aufgenommen wurde. Der Umfang wurde nur mäßig (65 S.) vermehrt. Auch für den Unterricht und die Schülerübungen an den Realanstalten wird jeder aus dem vorzüglich gearbeiteten Buche die mannigfaltigsten Anregungen empfangen. O.

Leitfaden für den methodischen Unterricht in der Chemie. Von Dr. F. WILBRAND. 10. Aufl. Bearb. von Dr. A. KÜSEL, Altona. Mit 115 Abb. Hildesheim u. Leipzig 1919, A. LAX. 253 S.

Grundzüge der Chemie in chemischen Untersuchungen. Ausgabe A. 10. Aufl. Von demselben Verfasser und Bearbeiter. Mit 92 Abb. u. 1 Mineralientafel. 92 S.

Das Bemerkenswerteste an den neuen Ausgaben ist das stärkere Betonen der Mineralien und ihrer Formgestaltung. Das ist erfreulich, und hierdurch nähern sich die WILBRANDSchen Bücher anderen modernen Lehrbüchern. Sind doch gerade die Mineralien als Naturkörper Hauptrepräsentanten wichtigster Gruppen der chemischen Verbindungen, und ist ihre Kristallgestalt hierneben ihre vornehmste und schönste Eigenschaft, zu deren feinerer Ausarbeitung allerdings der mathematische Unterricht beitragen oder aber etwas von seiner Zeit hergeben müßte (vgl. *ds. Zeitschr.* 33, 194 a). Es wird notwendig sein, dies alles im Auge zu behalten, denn es sind Kräfte am Werke, die das Mineralogische und Kristallographische im chemischen Schulunterrichte unterdrücken wollen. Auch durch die ansehnliche Zahl neuer Figuren haben die Bücher nur gewonnen. Als einen Hauptmangel der WILBRANDSchen Bücher müssen wir jedoch die vollständige Vernachlässigung des historischen Moments bezeichnen. Gerade eine so schwierig zu lehrende Wissenschaft wie die Chemie bedarf dringend dieser belebenden, in besonderem Maße humanistisch wirkenden geschichtlichen Anknüpfungen, um den Werdegang dieser Wissenschaft wenigstens in den Hauptzügen hervortreten zu lassen. Andernfalls läuft die Schulchemie Gefahr, sich zu sehr in das rein Technologische zu verlieren oder aber sich zu einseitig auf das Fachwissenschaftliche und Formalistische einzustellen. Auch das Fehlen eines Registers ist in den sonst so bewährten Büchern ein erheblicher Mangel. O.

Chemie für Lehrer aller Schulgattungen. Von L. WUNDER, früherem Leiter und Physiklehrer des Landerziehungsheimes Schloß Bieberstein i. d. Rhön. Mit 181 Abb. I. Teil. Bd. II von „Der naturwiss. Unterr. auf der Grundlage des Arbeitsschulgedankens. Herausgeg. von Prof. Dr. A. PABST“. Hildesheim, Leipzig, A. Lax 1920. 199 S.

Der Verfasser, der als Physiklehrer an einem

Landerziehungsheim besondere Gelegenheit hatte, den Gedanken der Arbeitsschule in die Tat umzusetzen, hat seiner „Physik für Lehrer aller Schulgattungen“ nun auch eine „Chemie“ folgen lassen. Die Erwartung, darin etwa eine zusammenfassende praktische Anweisung darüber zu finden, wie sich ein chemischer Arbeitsunterricht im engeren Rahmen eines Landerziehungsheimes verwirklichen läßt, wird nicht erfüllt. Es wäre das sicher eine verdienstliche Aufgabe gewesen, namentlich im Hinblick auf die notwendige Umgestaltung des chemischen Unterrichts an den Volksschulen und Seminaren. Das Buch stellt vielmehr im wesentlichen nur ein umfangreicheres Lehrbuch dar, in welchem unter Einflechtung von reichlich 400 „Versuchen“ hauptsächlich die wichtigsten Tatsachen der „Allgemeinen und theoretischen Chemie“ (S. 1 bis 120) — beginnend mit den Verbrennungserscheinungen bis hin zu den Lösungsgesetzen und dem periodischen System — und im zweiten, „speziellen“ Abschnitt, der Wasserstoff und die Elemente der Sauerstoff- und der Chlorgruppe behandelt sind. Manches zeugt hier von Unterrichtserfahrung und praktischem Geschick; doch sind wir gerade in experimenteller Beziehung mit vielem nicht einverstanden, z. B. wenn lebhaft für die Anschaffung einer Wasserstoff-Stahlflasche eingetreten wird, dagegen gesagt wird, daß man „die sämtlichen Verbrennungserscheinungen leicht zeigen“ kann, wenn man den Sauerstoff selbst herstellt, und wenn nun diese Entwicklung im gewöhnlichen, hierzu ganz unzureichenden Probierglase durch Erhitzen des unsicheren Kalichloricum-Braunstein-Gemisches vorgenommen wird; oder wenn zur Selbsterstellung des Wasserstoffs Salzsäure statt der viel zweckmäßigeren Schwefelsäure verwendet wird. Auch der Unfallverhütung ist nicht immer genügend Rechnung getragen; z. B. beim Erhitzen des Sand-Mg-Gemisches und bei der Verbrennung des Phosphors unter Wasser, wobei der Sauerstoff erst aus untergeschichtetem KClO_3 mittels Auftropfen von H_2SO_4 entwickelt wird — ein komplizierter Versuch, der aber schon als 5. Versuch (S. 3) auftritt. Andererseits ist in dem Buch eine gewisse Frische der Darstellung lobend hervorzuheben. Letztere ist jedoch nicht frei von mancherlei Irrtümern; so wird beispielsweise die Bildungswärme für $\text{H}_2\text{O} = 68$ Kal. (welche Zahl bekanntlich für flüssiges Wasser gilt), für die des dampfförmigen Wassers gehalten, und so kommt denn durch Hinzufügen der Kondensationswärme von 9,6 Kal. (für „17,88“ g — welche Zahl auch durch das richtige Molgewicht 18,02 g zu ersetzen ist) die unmögliche Zahl von 77,6 Kal. zustande. Der Raum verbietet leider, die Vorzüge und die Mängel des Buches noch näher zu

begründen, und wir müssen uns damit begnügen, es der Beachtung zu empfehlen. O.

Ein Sonnenkompaß von P. LUCKEY. Elberfeld, Verlag von Baedeker. 50 Pfg.

Im Jahrgang 31 dieser Zeitschrift, S. 35—36, ist beschrieben, wie man bei Sonnenschein ein wagrechtes rechteckiges Blatt nach den Himmelsrichtungen orientieren kann. Dazu dient eine darauf gezeichnete Ellipse mit einer Stunden- teilung nach wahrer Sonnenzeit und einer Tages- skala auf der kleinen Achse. Diese Vorrichtung, zunächst für die Umgebung von Berlin bestimmt, war den letzten Sonderausgaben der astronomischen Tafel beigelegt. LUCKEY hat sie jetzt auf irgend einen Ort des Gebietes, wo MEZ gilt, verallgemeinert.

Zu dem Zweck hat er die Blätter, die den Breiten 44° , 48° , 52° , 56° entsprechen würden, in solchen Maßstäben hergestellt, daß die Tages- skalen bei allen dieselbe Größe erhalten, und sie dann zu einem einzigen Blatt vereinigt, auf dem nun eine Schar Ellipsen erscheint, die alle nach wahrer Sonnenzeit eingeteilt sind.

Zur Benutzung ist aber noch die wahre Sonnen- zeit (LUCKEY sagt wahre Ortszeit) nötig, die man bis 1810 unmittelbar an den Kirchturm-Uhren und Räderuhren fand. Heute ist sie schwieriger zu erhalten, da die genannten Uhren und die Eisen- bahn-Uhren Stargarder Zeit oder MEZ zeigen.

Es handle sich um die Nachbarschaft der Stadt Essen und den Tag Februar 21. Die Zeit- gleichung ist 14^m , also ist 12^h wahrer Sonnenzeit = $12^h 14^m$ Ortszeit. Essen liegt 7° östlich von Greenwich, also 8° westlich von Stargard, folglich zeigen in Essen die MEZ-Uhren $8 \cdot 4^m = 32^m$ mehr als Ortszeit, d. h. um 12^h wahre Sonnenzeit zeigen sie $12^h 46^m$. Die MEZ wird also durch Subtraktion von 46^m in wahre Sonnenzeit ver- wandelt. Hiermit ist die Bestimmung der NS- Richtung möglich, wenn man nur eine Liste der Zeitgleichung für jeden fünften Tag besitzt und Länge und Breite von Essen kennt.

LUCKEY schlägt dieses Verfahren der Addi- tion von 14 und 32 nicht ein, sondern wendet dafür drei lotrechte graphische Skalen an. Die Rückseite des Blattes trägt eine Doppel-Skala I nach Tagen, eine einfache Skala III für die geo- graphische Länge. Man soll einen Faden über zwei Punkte von I und III spannen, der dann auf der Doppel-Skala II die gesuchten 46^m ergibt.

Die Vorzüge dieses Verfahrens vor der im Kopf anzuführenden Addition dürften nicht sehr groß sein. Immerhin wird der letzte Schritt, die 46^m von der MEZ abzuziehen, nicht wieder auf Skalenrechnen übertragen, sondern direkt aus- geführt.

M. Koppe.

Himmelserscheinungen im November und Dezember 1921.

12h = Mittag, 0h und 24h = Mitternacht. (Berliner Zeit = MEZ - 0,1h).

MEZ	November						Dezember						
	0h	2	7	12	17	22	27	2	7	12	17	22	27
♈	AR	14h 13m	13,57	13,58	14,13	14,36	15,3	15,33	16,5	16,37	17,10	17,45	18,19
	D	- 13°	- 10	- 10	- 11	- 13	- 16	- 18	- 21	- 22	- 24	- 25	- 25
♉	AR	12h 58m	13,22	13,45	14,9	14,33	14,57	15,22	15,48	16,14	16,40	17,7	17,34
	D	- 4°	- 7	- 9	- 11	- 14	- 16	- 17	- 19	- 20	- 22	- 23	- 23
♊	AR	14h 26m	14,46	15,6	15,27	15,48	16,9	16,30	16,52	17,14	17,36	17,58	18,20
	D	- 14,5°	- 16,0	- 17,5	- 18,8	- 20,0	- 21,0	- 21,8	- 22,5	- 23,0	- 23,3	- 23,4	- 23,4
♋	AR	11h 52m	12,3	12,14	12,25	12,37	12,48	12,59	13,10	13,21	13,32	13,43	13,55
	D	2°	1	0	- 1	- 2	- 4	- 5	- 6	- 7	- 8	- 9	- 10
♌	AR		12h 34m		12,41		12,48		12,54		12,59		13,4
	D		- 2°		- 3		- 4		- 4		- 5		- 5
♍	AR			12h 20m					12,26				12,30
	D			0°					0				- 1

Δ = Sternzeit - mittl. ☉ Zeit, Zeitgl. = mittl. ☉ Zeit - wahre ☉ Zeit.

Δ	14h	15.	15.	15.	16.	16.	16.	17.	17.	17.	17.	18.
Zeitgl.	42m 43s	2,26	2,29	41,52	1,34	21,17	40,0	0,43	30,26	40,8	59,51	19,34
	16m 19s	-16,15	-15,51	-15,6	-14,0	-12,33	-10,48	-8,47	-6,34	-4,12	-1,44	+0,46

Breite von Berlin. Ortszeit. Je 5. Aufgang und folgender Untergang des oberen ☉ Randes.

☉ Aufg.	16h 57m	7,6	7,15	7,24	7,33	7,42	7,48	7,56	8,1	8,6	8,9	8,11
☉ Unterg.	16h 29m	16,20	16,13	16,5	15,59	15,53	15,50	15,47	15,46	15,47	15,48	15,51

Breite von Berlin. Ortszeit. Je 5. Aufgang und folgender Untergang des oberen ☾ Randes.

Nov.	☾ Aufgang	2d 9h 27m	7,12,59	12,14,56	17,17,59	22,23,50	28, 6, 4
	☾ Untergang	2d 18h 24m	7,23 10	13, 4,34	18,10, 1	23,13, 8	28,15,36
Dez.	☾ Aufgang	3d 10h 27m	8,12,36	13,14,59	18,20,10	24, 2,41	29, 7,46
	☾ Untergang	3d 19h 53m	9, 1, 8	14, 6,47	19,10,45	24,13, 3	29,16,40

Mondphasen MEZ	Neumond		Erstes Viertel		Vollmond		Letztes Viertel	
			Nov. 7d 16h 54m		Nov. 15,14,39		Nov. 22,12,41	
		Nov. 29d 14h 26m	Dez. 7, 14, 20		Dez. 15, 3,50		Dez. 21,20,54	
		Dez. 29d 6h 39m						

Der Mond tritt zu folgenden Zeiten (MEZ) in die abgerundeten Sternbilder des Tierkreises:

Sternbild	W	S	Z	K	L	J	Wg	Sp	Sz	Sb	Ws	Fs
Länge	25°	55°	85°	115°	145°	175°	205°	235°	265°	295°	325°	355°
Nov.	13,5d	15,8	18,0	20,1	22,2	24,3	26,5	28,7	3,0	6,1	8,6	11,1
Dez.	10,9d	13,2	15,3	17,4	19,5	21,5	23,7	26,0	28,3	30,7	2,2	8,4

Tägliches Erscheinen und Verschwinden der Planeten. Ortszeit. Breite von Berlin.

Tag	♀ Morgenstern vorm.	Tag	♀ Morgenstern vorm.	♂ (J, Wg) vorm.	♃ (Jungfrau) vorm.	♃ (Jungfrau) vorm. nachm.
Nov. 4	6,0h	Okt. 27	A 4,3h D _m 6,2h	A 2,9 D _m 5,6	A 4,2 D _m 5,7	A 3,7 v D _m 5,6
6	A 5,8h D _m 6,0	Nov. 16	A 5,4h D _m 6,7h	A 2,8 D _m 6,2	A 3,2 D _m 6,3	A 2,6 v D _m 6,2
16	A 5,4h D _m 6,3	Dez. 6	A 6,5h D _m 7,2h	A 2,6 D _m 6,6	A 2,2 D _m 6,7	A 1,4 v D _m 6,6
26	A 6,0h D _m 6,5	26	7,4h	A 2,5 D _m 6,9	A 1,2 D _m 7,0	A 0,2 v D _m 6,9
Dez. 4	6,6h	32		A 2,4 D _m 6,9	A 0,8 D _m 7,0	A 11,9 n D _m 6,9

A = Aufgang; U = Untergang; D_a = Abend-Dämm; D_m = Morgen-Dämm.

Wintersanfang Dezember 22, 10h (MEZ).

M. Koppe.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.