

## Friedrich C. G. Müller

zu seinem siebzigsten Geburtstage.

FRIEDRICH CARL GEORG MÜLLER ist am 27. Juni 1848 geboren. Er verlebte seine Kindheit in der Gutsmühle zu Schwöbber bei Hameln, wo schon die Voreltern des Vaters als Pächter gesessen hatten. Von denen hat er auch das Talent und die Neigung zu technischer Betätigung geerbt. Erst vom 16. Lebensjahr an besuchte er das Gymnasium zu Holzminden, wo er sich schon als Schüler mit dem Bau physikalischer Apparate und mit chemischen Versuchen beschäftigte. Von Ostern 1869 an studierte er in Göttingen vorwiegend Chemie, wurde Vorlesungsassistent von Wöhler und bearbeitete für die Doktorprüfung ein Thema der Benzolchemie, daneben hörte er physikalische, botanische, geologische und mathematische Vorlesungen. Seine Lehrtätigkeit begann er im August 1871 am Realgymnasium zu Osnabrück und übernahm sofort den ganzen physikalischen und chemischen Unterricht in den Oberklassen. Dort entstand auch die Programmabhandlung „Entwurf zu einem Physikkursus für die Prima des Realgymnasiums“ (Ostern 1874), sowie im selben Jahre ein Aufsatz über den pädagogischen Wert der Chemie (Weiskesche Zeitung für das höhere Unterrichtswesen). Schon in jener Zeit schuf MÜLLER auch eine Reihe von Apparaten: einen Rheostaten für wissenschaftliche Zwecke, ein Schulgalvanometer nach dem Prinzip der Tangentenbussole, sowie ein signalisierendes und registrierendes Gefäßbarometer, das auf der South Kensington-Ausstellung in London Anerkennung fand. Das Original des letztgenannten Apparats aus der Werkstatt von Wanke befindet sich jetzt im Deutschen Museum zu München.

Durch seine Veröffentlichungen lenkte MÜLLER die Aufmerksamkeit der Leitung des Osnabrücker Stahlwerks auf sich und übernahm die Betriebsanalysen von Stahl und Roheisen für dieses Werk. Damit begann eine ausgedehnte chemisch-technische Arbeitsperiode, die auch eine Reihe wertvoller wissenschaftlicher Veröffentlichungen zeitigte. So erkannte MÜLLER beim Studium des Bessemerprozesses den Einfluß des Siliciums auf die Güte des Schienenstahls und entdeckte das Eisenkarbid, dessen Auffindung öfter irrtümlich den Engländern zugeschrieben wurde. Nicht minder bedeutsam war seine Untersuchung der im Stahl eingeschlossenen Gase, unter denen er als Hauptbestandteil Wasserstoff, daneben Stickstoff nachwies. Eine große Zahl von Veröffentlichungen besonders in der Zeitschrift „Stahl und Eisen“ legen Zeugnis von seiner unermüdlichen Arbeit auf diesem Gebiet ab. Dennoch behielt er auch noch Zeit für vorwiegend wissenschaftliche Reisen übrig, die ihn in die größten rheinisch-westfälischen Stahlwerke, ja sogar nach Österreich, Belgien, Schweden, Frankreich und England führten. Den Abschluß dieser Stahlperiode bildete das große, auch ins Französische und Englische übersetzte Werk „Krupps Gußstahlfabrik“. —

Zu Ostern 1880 war MÜLLER an das Realgymnasium zu Brandenburg a. H. berufen worden und wandte sich von da an mehr und mehr dem Ausbau der physikalischen Unterrichtstechnik zu. Mit großer Energie schuf er sich allmählich im Laufe der Jahre geeignete Unterrichtsräume und eine wohleingerichtete Arbeitsstätte, aus der eine fast unüberschbare Reihe von neuen Unterrichtsmitteln hervorging.

Unsere Zeitschrift legt von ihrem ersten Jahrgang an Zeugnis von der reichen Erfindungskraft FR. MÜLLERS ab. An Fruchtbarkeit ist ihm nur Grimsehl zu vergleichen, den er in der Strenge der Forderungen, die er an die Genauigkeit eines messenden Schulversuchs stellt, noch übertrifft. Doch hatte er nicht wie Grimsehl den Drang, seine Erfindungen den Fachgenossen auf Versammlungen vorzuführen. Seine scharfsinnig ersonnenen Apparate sind deswegen noch lange nicht in dem Maße beachtet worden, wie sie es verdienen. Ein Teil davon ist in der 1906 erschienenen „Technik des physikalischen Unterrichts“ beschrieben, die daneben eine solche Fülle feiner unterrichtlicher Ratschläge enthält, daß sie auch unter den didaktischen Grundbüchern unserer Wissenschaft einen Ehrenplatz verdient. Er selbst bezeichnet als sein Hauptziel die schulmäßige Durchbildung des messenden Schalexperiments. Er sagt darüber: „Mit dem leider auch heute noch nicht ganz überwundenen Vorurteil, daß man beim Schulapparat auf Schärfe, Treue und strenge Gewissenhaftigkeit verzichten dürfe, sollte gründlich gebrochen werden. Ohne etwa mit den in Wissenschaft und Technik eingebürgerten Instrumenten in Wettbewerb zu treten, sollte ein gutes Schulinstrument erforderlichenfalls auch bei wissenschaftlichen Untersuchungen Verwendung finden können.“

Wir müssen uns hier darauf beschränken, von den zahlreichen Apparaten, die MÜLLER in dieser Zeitschrift bekannt gemacht hat, nur die hervorragendsten anzuführen. Aus der Mechanik ist vor allem der Universalapparat oder Reifenapparat (*diese Zeitschr.* 14, 71) zu nennen, über den das vorliegende Heft noch einige Mitteilungen bringt, ferner die feinen Rollen (*T* 71), die namentlich bei der Zusammensetzung von Kräften für genaue Versuche unentbehrlich sind; dann ein Apparat für die Ableitung des Hebelgesetzes (15, 9), ein Krahnusleger (27, 357), bei dem die Zugspannung akustisch bestimmt wird, eine Vorrichtung, um die Gesetze freifallender Körper und die Größe der Fallbeschleunigung zu ermitteln (28, 15), endlich eine Versuchsanordnung, um die Zentrifugalformel aus der Brennweite des Rotationshohlspiegels (24, 211) zu bestätigen.

Für die Wärmelehre konstruierte MÜLLER sein Demonstrationsthermometer (1, 23), sowie ein in mehreren Ausführungsformen vorliegendes Luftthermometer (2, 245; 8, 308); für hohe Temperaturen schuf er eine schulmäßige Form des Le Chatelierschen Thermoelementes (26, 2); auch konstruierte er einen Dampfkolben zur Veranschaulichung der Spannung hochsiedenden Wasserdampfes durch Hebung eines großen Gewichtes (20, 254). Die Optik verdankt ihm einen zweckmäßig gebauten Schulheliostaten (8, 354), der Elektrizität und dem Magnetismus hat er sich mit Vorliebe gewidmet. Den Anfang machte das exakt messende Wagegalvanometer (1, 182), dem er später ein hochempfindliches Lichtzeigerinstrumentarium für Galvanometrie und Magnetometrie (22, 1) folgen ließ. Besonders wertvoll wurde diese Vorrichtung für die Behandlung des elektromagnetischen Grundgesetzes (26, 273). Zur Ermittlung der Horizontalintensität des Erdmagnetismus konstruierte MÜLLER einen Pendeldynamometer (23, 17), der dann auch zur Messung anderer Magnetfelder diente und auch Stromstärken in absolutem Maße zu bestimmen ermöglichte. Die hierauf fußende Reproduktion des „Ampere“ im Klassenunterricht ist mit Recht als ein „Kabinettstück der Experimentierkunst“ bezeichnet worden. Auch eine „apparatlose“ Magnetometrie nach der Schwingungsmethode (30, 142) und ein Erdinduktor für Klassenversuche und Schülerübungen (*T* 313) schließen sich hier an. Für Strommessungen sind aus früherer Zeit besonders noch ein Trommelrheostat (10, 12) und ein Voltmeter zu nennen (11, 120; 14, 140). Für die Elektrostatik hat MÜLLER das schwierige Problem eines schulmäßigen Elektrometers unter Verwendung der Lichtzeignadel (29, 69) in höchst vollkommener Weise gelöst.

In der Chemie hat MÜLLER sein Interesse weniger den Wägungen als den Volummessungen zugewendet, wofür er durch seine metallurgischen Gasanalysen

besonders gut vorbereitet war. Ein Apparat für Gasanalyse ist schon in seiner ersten Programmabhandlung von 1891 sowie in d. Zeitschr. (4, 251) veröffentlicht. Zum Auf-fangen von Gasen konstruierte er besonders zweckmäßige Meßglocken (14, 332) von außerordentlich vielseitiger Verwendbarkeit. Unter den von ihm angegebenen chemi-schen Versuchen verdienen die Verbrennungen mit Hilfe einer eigens konstruierten Zünd-röhre (14, 333) besondere Erwähnung. Eine große Zahl quantitativer Schulversuche ist in zwei größeren Abhandlungen (3, 35 und 12, 27) zusammengestellt.

Die Erfahrungen auf gasanalytischen Gebiet führten MÜLLER auch zur Lösung einer technischen Preisaufgabe, der Erfindung des sogenannten Tenaxapparats zur Bestimmung des Gasgehalts von Gewässern, der zu einer Reihe wichtiger Arbeiten und Entdeckungen Anlaß gab. (Man vgl. d. Heft, S. 156.)

Mit dieser Aufzählung ist der Umfang des Schaffens von FR. MÜLLER bei weitem nicht erschöpft. Er ist noch heute so fruchtbar an Ideen und ausdauernd in deren Verwirklichung wie in jüngeren Jahren. Wir sind stolz darauf, ihn den Unsern nennen zu dürfen, und haben deß zum Zeichen ihm das vorliegende Heft gewidmet, dessen Aufsätze teils von ihm selbst herrühren, teils zu seinen Arbeiten in mehr oder weniger enger Beziehung stehen. Wir wünschen unserm verehrten Mitarbeiter, daß ihm noch eine lange und fruchtbare Schaffenszeit beschieden sein möge.

Hahn. Höfler. Ohmann. Poske.

## Über die Anwendbarkeit des Ohmschen Gesetzes auf die Influenzmaschine.

Von

Friedrich C. G. Müller in Brandenburg a. H.

Daß sich das Ohmsche Gesetz schon in der Elektrostatik unter Verwendung von Halbleitern und Entladungselektrometern vorbereitend entwickeln läßt, darf hier als bekannt vorausgesetzt werden, ebenso, wie es im weiteren Verlauf des Unterrichts nach Erledigung von Galvanometrie und Widerstandslehre eine gute experimentelle Be-handlung erfahren kann. Im Anschluß daran wird man, auf die elektrostatischen Versuche zurückkommend, zuvörderst mittels eines hochempfindlichen Lichtzeiger-galvanometers zeigen, wie stark denn die von einer Elektrisiermaschine oder Influenz-maschine gelieferten Ströme eigentlich sind. Weiter wird man darauf hinweisen, daß auch für diese im Vergleich zu ihren eindrucksvollen Spannungswirkungen unglaublich schwachen Ströme das Ohmsche Gesetz gültig sein muß und in der Weise zum Vor-schein kommen wird, daß nach Einschaltung eines Leitungswiderstandes  $l$  in den Maschinenstromkreis eine Klemmspannung  $e = Jl$  bestehen bleibt. Natürlich hat man wegen der Kleinheit von  $J$  ein möglichst großes  $l$  zu verwenden, wenn das Produkt beider einen mit den gewöhnlichen Hilfsmitteln der Schulsammlung meßbaren Betrag erreichen soll. Nehmen wir also unsern für die Eichung von Spiegelgalvanometern bereits unentbehrlich gewesenem Hunderttausend-Ohm-Widerstand aus Manganindraht, so wird die Holztsche Influenzmaschine mit ihren  $3 \cdot 10^{-5}$  Amp. gerade 3 Volt Klemm-spannung ergeben. Freilich ist diese auch mit dem empfindlichsten Blattelektroskop nicht unmittelbar nachweisbar. Aber wir nehmen, genau wie beim Voltaschen Grund-versuch, den trennbaren Kondensator zu Hilfe und erhalten dann Ausschläge, die dreimal größer sind, als bei einem Parallelversuch mit einem Daniell- oder Weston-Normalelement. Ist man im Besitz eines schulmäßigen Quadrantelektrometers, welches noch kleine Bruchteile eines Volt anzeigt, so läßt sich das Bestehen der Gleichung  $e = Jl$  bei diesen „elektrostatischen“ Strömen auch ohne Kondensator schnell und genau vor der Klasse zeigen.

Derartige Messungen zeigen nun nichts Neues und haben mehr den Wert von Übungsbeispielen. Dagegen stehen wir vor einer wirklich neuen Frage, wenn wir, ähnlich wie bei der Behandlung der galvanischen Kette, nicht allein die Außenleitungen, sondern den gesamten Stromkreis ins Auge fassen. Dürfen wir die für die galvanische Kette gültige Ohmsche Formel  $J = E/(W + l)$ , worin  $W$  den inneren Widerstand,  $E$  die bei offener Kette eintretende Höchstspannung bedeutet, auch auf die Influenzmaschine oder die Reibungselektriermaschine ausdehnen?

Man ist geneigt kurzerhand mit Nein zu antworten. Denn bei der Maschine gibt es ja keine innere Leitung; man kann keinen Fremdstrom hindurchschicken, wie durch eine galvanische Kette. Und doch sagt eine gründlichere Überlegung, daß im Maschinenstromkreis eine dem  $W$  entsprechende, durch Zahlen ausdrückbare Größe vorhanden sein muß, welche neben der aufgewendeten mechanischen Arbeit mitbestimmend für die Stromstärke ist. Sie wird ihren Sitz nicht in dem Körper der Glasscheibe haben, sondern in deren äußerster Oberfläche und als eine Art Kohäsion zu denken sein, mit der die elektrischen Elementarteilchen unter sich oder an dem ponderablen Träger festgehalten werden. Dann steht auch nichts im Wege, die Ohmsche Formel unter Vorbehalt auf den ganzen Stromkreis anzuwenden, und nachzuprüfen, ob das Experiment diese Annahme rechtfertigt. Dementsprechend soll aus dem Kurzschlußstrom  $J_0$  und dem durch einen Außenwiderstand  $l$  herabgeminderten Strom  $J_1$  das  $W$  und  $E$  wie bei der Untersuchung galvanischer Elemente nach den Formeln  $W = lJ_1/(J_0 - J_1)$  und  $E = WJ_0$  berechnet werden, und es muß sich zeigen, ob etwas Gereimtes dabei herauskommt oder nicht.

Ob eine solche abseits liegende und praktisch unerhebliche Untersuchung bisher schon durchgeführt worden ist, ist mir zweifelhaft. Ich kam darauf anlässlich einer Bemerkung von VOLKMANN bei seiner Auseinandersetzung mit POSKE über die didaktische Behandlung des Ohmschen Gesetzes<sup>1)</sup>. VOLKMANN behauptet dort, der Influenzmaschinenstrom erfahre durch Einschaltung von  $10^5$  Ohm „nicht die geringste Änderung“, das Ohmsche Gesetz sei mithin für „statisch hergestellte“ Ströme nicht gültig.

Jeder, den ein solcher Spruch *ex cathedra* nicht beirrt, sagt sich sofort: Wenn bei der Elektriermaschine trotz ihres hinter der Hunderttausend liegenden  $E$  nur ein  $J$  von wenigen Mikroampere zustande kommt, muß ein etwaiges  $W$  einige Milliarden Ohm betragen, gegen welche die eingeschalteten Hunderttausend Ohm ganz verschwinden, mithin den Strom nur um weniger als ein Zehntausendstel herabmindern können, was kein Galvanometer der Welt anzuzeigen vermag, selbst wenn es sich um einen vollkommen konstanten Strom handelte<sup>2)</sup>.

Demnach kann zur Aufklärung der angeregten Frage nur ein Vorschaltwiderstand von der Größenordnung der Milliarde Erfolg versprechen. Die Beschaffung eines solchen war also eine unerläßliche Vorarbeit. Zuerst verwendete ich sauber gedrehte Zylinder aus lufttrockenem Buchenholz von 3 cm Länge und 4 qcm Querschnitt, die nach Graphitierung der Endflächen einzeln oder zu zweien zwischen Stanniolbüschen und Spiegelglasklötzen fest in Holzschraubzwingen eingeklemmt wurden. Zur Bestimmung ihres Widerstands legte man sie an die 220voltige Stadtleitung zugleich mit einem feinen Drehspulgalvanometer mit Lichtzeigerablesung. Jeder Zylinder hatte einen mittleren Widerstand von  $3,5 \cdot 10^8$  Ohm, der sich aber von Tag zu Tage änderte und deshalb vor jeder Versuchsreihe von neuem bestimmt wurde. Aber es zeigte sich noch ein anderes ebenso unliebsames wie merkwürdiges Verhalten, daß nämlich der Widerstand beim Durchfließen von 10—20 Mikroampere binnen wenigen Minuten erheblich abnahm, um nach Unterbrechung des Stroms wieder langsam auf seine vorherige Größe anzuwachsen. Trotz alledem ließ sich schon mit diesen Holzwiderständen eine deutliche und bestimmte Herabminderung des Influenzmaschinenstroms nachweisen.

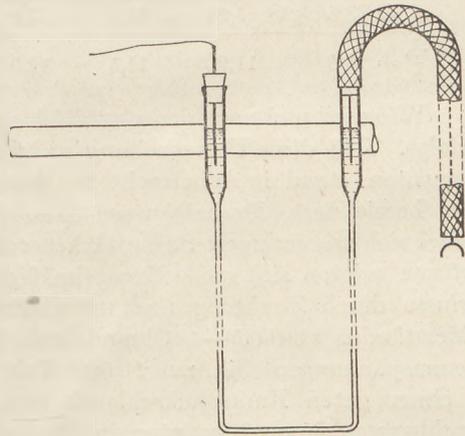
1) Aus der Natur, 13, Heft 4, 149.

2) Vgl. auch Poske, Aus der Natur, 14, Heft 2/3, S. 55.

Zur einwandsfreien Aufklärung der für die Influenzmaschine zwischen äußerem Widerstand und Stromstärke obwaltenden Beziehungen mußte also ein besseres Widerstandsmaterial ausfindig gemacht werden. Als solches erwies sich schwach verdünnter Alkohol. Die endgültige Form des Alkoholwiderstands zeigt Fig. 1. Die durch Ausziehen eines weiteren Glasrohrs hergestellte Kapillare ist etwa 0,8 mm weit und 80 cm lang. Die Eingußenden sind einer dicken Siegellackstange, die in ein Stativ eingespannt wird, angeschmolzen. Als Elektroden dienen 1 mm dicke Messingdrähte. Der mit der Maschine zu verbindende Zuleitungsdraht ist zur Vermeidung von Strahlungsverlusten durch einen gut isolierenden Kautschukschlauch gezogen und am freien Ende mit einem halbzyklindrischen dünnen Blech verlötet, das federnd auf den Stiel eines der beiden Konduktoren befestigt wird.

Ein solcher Widerstand ist, abgesehen von den Temperatureinflüssen, nahezu unveränderlich, auch unter Dauerstrom von 20 Mikroampere.

Neben einem guten Milliardenwiderstand verlangt unsere Aufgabe die Innehaltung bestimmter Stromstärken. Die Maschine von Hand nach dem Takt eines Metronoms zu drehen, erwies sich aus den weiterhin zu besprechenden Gründen als undurchführbar. Es mußte also ein Motorantrieb eingerichtet werden. Zu einem an die Stadtleitung zu legenden 220-Wattmotor unserer Sammlung verfertigte man ein vielstufiges Zwischengelege, so daß unter gleichzeitiger Betätigung der Schalttafeleinrichtung sich jede gewünschte Umlaufzahl der angetriebenen Influenzmaschine herausbringen ließ. Die reichlich lange Antriebsschnur wurde auf die Hartgummiwelle der Holtzschen Maschine gelegt, ohne den eigenen Schnurlauf abzunehmen. Es lief also das Kurbelrad mit und gestattete eine bequeme Zählung der Umdrehungen.



Die zu den folgenden Versuchen dienende Holtzsche Maschine mit 31 cm großer unbelegter Scheibe hat trotz ihres vierzigjährigen Dienstes eine vorzügliche Wirksamkeit bewahrt. Sie spricht während der günstigen Jahreszeit sicher an und liefert Flaschenfunken bis zu 14 cm Länge. Ihre Stromstärke bei Kurzschluß beträgt bei 3 Kurbelumdrehungen in der Sekunde  $38 \cdot 10^{-6} A$ , was seit Jahrzehnten alljährlich mindestens einmal vor der Klasse festgestellt worden ist. Die vorliegende Untersuchung bot natürlich eine besonders gute Gelegenheit, die Maschine gründlich kennen zu lernen. Das dabei benutzte Spulengalvanometer zeigt für 1 mm Ausschlag  $2,68 \cdot 10^{-8} A$  an, wovon noch Zehntel abschätzbar sind. Die 500 mm lange Skala reicht also nur bis 13 Mikroampere, weshalb in der Regel  $\frac{2}{3}$  des Stromes mittels eines Stöpselrheostaten zur Erde abgezweigt wurden.

Leider offenbarte die Maschine eine recht unangenehme Charaktereigenschaft. Ihr Strom fließt nicht ruhig, sondern wogt in unregelmäßiger Weise um  $1-2\%$  auf und ab; dazu kommen noch gelegentliche Stoßwellen von doppelter Stärke. Die mittlere Stromhöhe hält sich zum Glück ziemlich konstant. Bei jeder Ablesung bedarf man demnach einiger Minuten, um die Mittelstellung zu erkennen, und ist auch dann nur auf ganze Millimeter sicher. Eine Erklärung für das geschilderte Wogen des Stroms liegt in der Unregelmäßigkeit der an den Spitzenkämmen vorbei geschleuderten mehr oder weniger ionisierten Luftströmung.

Bezüglich des gesetzmäßigen Zusammenhangs zwischen Stromstärke und Umlaufzahl geht aus der großen Zahl zeitlich weit auseinanderliegender Versuchsreihen zunächst eindeutig hervor, daß einer bestimmten Umdrehungszahl immer die gleiche

Stromstärke zugehört, so oft man auch die Maschine neu erregt oder nach längerem Stillstand wieder in Gang setzt. Ausdrücklich bemerkt sei, daß sich dies auf Kurzschlußstrom mit verschwindend kleiner Klemmspannung bezieht. Wenn also eine bestimmte Funktionsbeziehung zwischen Stromstärke und Umlaufzahl besteht, so ist damit nicht gesagt, daß das eine einfache Proportionalität ist. Die Versuche zeigen vielmehr ausnahmslos, daß die Stromstärke merklich schneller wächst, als die Umlaufzahl. Diese Tatsache ist ganz unerwartet; man wird sie aus dem durch die Zeitverkürzung bedingten geringeren Strahlungsverlust erklären dürfen. In nachfolgender Tabelle sind die beiden letzten am 17. und 18. Januar 1918 ausgeführten Beobachtungsreihen zusammengestellt.

$n = 0,653$	0,910	1,57	2,20	25,8	3,00	0,504	
$J_0 = 7,10$	10,22	17,85	24,8	30,7	38,6	$5,84 \cdot 10^{-6}$	
$\frac{J_0}{n} = 10,7$	11,2	11,3	11,2	11,9	12,8	11,6	
$n = 2,86$	0,50	0,90	1,56	2,07	2,50	2,97	0,89
$J_0 = 38,8$	5,94	10,3	17,9	24,7	29,8	38,8	$10,1 \cdot 10^{-6}$
$\frac{J_0}{n} = 12,8$	11,9	11,5	12,0	11,9	11,9	13,0	11,4

Während und nach den geschilderten Vorarbeiten wurde die Hauptfrage ausdauernd verfolgt. Daß diese Untersuchung nicht so glatt verlaufen konnte, wie bei galvanischen Elementen, stand in Anbetracht des geschilderten, unbeständigen Stromcharakters von vorn herein fest. Deshalb wurden zu Anfang sichere Ergebnisse nur dann erzielt, falls es sich um geringere Stromstärken von 4—10 Mikroampere handelte. Bei stärkeren Strömen zeigten sich große Unregelmäßigkeiten. Die Hauptfehlerquelle bildeten Stromverluste durch Strahlung und unvollkommene Isolation. Denn bei den verwendeten Widerständen von 0,5—1 Ohmmilliarde bringt schon ein Strom von 10 Mikroampere Klemmspannungen bis zu 10000 Volt. Erst nachdem Elektrode und Zuleitung in einen guten Kautschukschlauch gezogen waren, trat Übereinstimmung der Beobachtungen ein und konnten im Dunkeln keine Ausstrahlungen mehr wahrgenommen werden.

Der Zuleiter blieb mit dem einen Konduktor in ständiger Verbindung, während der Ableiter über eine Fußklemme zum Galvanometer führte. In der Fußklemme war auch ein Drahtbügel befestigt, der durch Verschieben oder Zurückziehen der Klemme in oder außer Berührung mit dem Maschinenkonduktor gebracht wurde, um den Widerstand aus- oder einzuschalten. Die zweite Galvanometerklemme und der andere Maschinenkonduktor waren gut geerdet.

Bei mehreren Versuchsreihen wurde noch ein geeichtes Blattelektrometer, oder für Spannungen über 5000 V. ein Funkenmikrometer, zugleich mit dem Widerstande an die Maschine gelegt. Die von diesen Apparaten angezeigten Klemmspannungen entsprachen stets der Ohmschen Gleichung  $E = I \cdot l$ , woraus nebenbei auch hervorgeht, daß innerhalb des Alkoholfadens keine störenden Widerstandsänderungen infolge des Stromdurchgangs stattfinden. Sobald aber Ströme über  $35 \cdot 10^{-6}$  hindurchgingen, bildeten sich gelegentlich Gasblasen an den engsten Stellen der Kapillare.

Mit dem ersten gut gelungenen Widerstand von rund  $4,7 \cdot 10^8$  Ohm sind mehrere hundert Messungen durchgeführt worden, aus denen hervorgeht, daß die Differenz  $J_0 - J_1$  bei schwachen Strömen und Klemmspannungen unter 8000 V. der Stromstärke annähernd proportional ist, so daß der Quotient  $\frac{J_0}{J_1}$  konstant bei 1,02 liegt. Bei stärkeren Strömen aber wächst der Quotient erst langsam, dann schneller auf 1,04 und darüber.

Um die Möglichkeit zu bieten, sich selbst ein Urteil zu bilden, sei die letzte Versuchsreihe in nachfolgender Tafel vollständig mitgeteilt. Voran stehen die Galvano-

meterablesungen in Millimetern, dahinter die durch Multiplikation mit dem Reduktionsfaktor  $2,68 \cdot 10^{-8}$  erhaltenen Stromstärken in Mikroampere.

1.	109	107	$J_0 = 8,93$	2.	157	154	$J_0 = 12,68$	3.	277	266	$J_0 = 22,20$
	110	108,5	$J_1 = 8,73$		158	154,5	$J_1 = 12,40$		276	267	$J_1 = 21,55$
	113	111	$J_0/J_1 = 1,021$		158	154,5	$J_0/J_1 = 1,021$		275	269	$J_0/J_1 = 1,030$
	111	108,5	$J_1 l = 4130$		157,7	154,3	$J_1 l = 5850$		277	269	$J_1 l = 10200$
									276	268	
4.	385	370	$J_0 = 31,0$	5.	458	440	$J_0 = 36,8$				
	388	371	$J_1 = 29,9$		458	440	$J_1 = 35,3$				
	385	375	$J_0/J_1 = 1,037$		458	438	$J_0/J_1 = 1,042$				$l = 4,73 \cdot 10^8$ .
	386	372	$J_1 l = 14150$		458	439	$J_1 l = 16700$				
	386	373									

Als die Untersuchung bis soweit gediehen und mit der Niederschrift dieser Abhandlung begonnen war, kam das Bedenken, ob es wegen der allzu kleinen Differenz  $J_0 - J_1$  angehe, schon endgültige Folgerungen zu ziehen. Denn durch einen Ablesungsfehler von nur 1 % kann  $J_0 - J_1$  unter Umständen bis um 50 % fehlerhaft werden. Deshalb mußte die Arbeit von neuem aufgenommen werden unter Verwendung eines vielfach größeren Widerstands. Aber diese Vergrößerung stieß insofern auf Schwierigkeit, als sie nicht durch eine Verengung der Kapillare oder einen geringeren Wasserzusatz zum Alkohol erzielt werden konnte, wegen der schon erwähnten Blasenbildung an den engsten Stellen, sondern nur durch Verlängerung. Es gelang nun auch eine Kapillare von 120 cm Länge anzufertigen, deren Widerstand von  $2,18 \cdot 10^9$  Ohm 4,6 mal gegen den der früheren vergrößert ist.

Gleichzeitig wurde die Empfindlichkeit des Galvanometers durch Einhängen einer Spule größerer Windungszahl von  $2,68 \cdot 10^{-8}$  auf  $0,79 \cdot 10^{-8}$  für 1 mm Ausschlag gesteigert, um die Fehlergrenze bei der Bestimmung des Widerstands genügend herabzubringen. Jetzt zeigte das Galvanometer mit dem neuen Widerstande bei 220 V. Spannung 12,6 mm Ausschlag; der Ablesungsfehler bleibt also unter 1 %. Selbstverständlich wird bei der eigentlichen Untersuchung nur  $1/10$  des Stroms durch das Galvanometer geschickt.

Die nachstehende Tafel zeigt die mit der neuen Apparatenzusammenstellung erhaltenen Ergebnisse.

$J_0 = 2,92$	3,36	3,96	5,03	9,28	16,41	21,86	22,86
$J_1 = 2,80$	3,20	3,74	4,72	8,08	13,45	17,38	17,75
$J_0/J_1 = 1,042$	1,050	1,058	1,066	1,148	1,212	1,265	1,282
$J_1 l = 6120$	7330	8150	10280	17600	29300	37700	38800

Die neue Beobachtungsreihe bietet, wie man sieht, dasselbe Bild, wie die früheren. Der springende Punkt ist das Anwachsen des Quotienten  $J_0/J_1$ . Dadurch wird eine glatte Theorie unmöglich gemacht. Weit angenehmer wäre es gewesen, wenn er möglichst konstant gefunden wäre. Denn dann würde die Formel  $W = l J_1 / (J_0 - J_1)$  einen konstanten Wert von der Größenordnung  $8 \cdot 10^{10}$  ergeben und  $E = J_0 W$  wüchse proportional der Umdrehungszahl. Für kleine Stromstärken und kleine Klemmspannungen trifft dies nun auch annähernd zu. Vielleicht läßt sich daher diese einfache Voraussetzung dennoch festhalten und das zu starke Absinken der Stromstärke  $J_1$  durch störende Einflüsse erklären. Solche sind aber unzweifelhaft vorhanden in den durch Strahlung oder unvollkommene Isolation veranlaßten Stromverlusten innerhalb der Maschine selbst. Wie die für  $J_1 l$  aufgeführten Ziffern erweisen, steigen die Klemmspannungen meist über 10000 Volt und erreichen nahezu den Wert 40000. Da kann es nicht ohne Stromverluste abgehen. Außerdem sei nochmals daran erinnert, daß wegen der Kleinheit der Differenz der Wert von  $J_1 / (J_0 - J_1)$  sich bereits um viele Prozente ändert, wenn  $J_1$  infolge von Stromverlust nur um ein einziges Prozent hinabgedrückt wird. Wir dürfen also daran festhalten, daß auch für den Stromkreis der Influenzmaschine die Ohmsche Formel  $J = E / (W + l)$  ihre volle Berechtigung hat. Allerdings bedarf es noch

einer Auseinandersetzung wegen der Größe  $E$ . Beim galvanischen Element bedeutet  $E$  die bei offenem Stromkreis auftretende Höchstspannung, also eine bestimmte Naturkonstante, während bei der Influenzmaschine wie soeben festgestellt worden,  $E$  der Umdrehungszahl proportional ist. Nun liegt es jedoch nahe, auch hier die Höchstspannung als Maß der elektromotorischen Kraft anzusetzen. Diese Größe, welche in der Schlagweite zum Ausdruck kommt und bei schnellerem oder langsamerem Drehen gleich bleibt, wird bestimmt durch die Spannung der influenzierenden Papierbelegungen. Diese elektromotorische Kraft kann aber noch keinen Strom zustande bringen, weil die isolierende Glasschicht zwischen Belegung und Spitzenkamm liegt. Es ist etwa so, als wenn wir aus unserer Hochdruckwasserleitung das Wasser nicht durch einen geöffneten Hahn, sondern durch eine kleine rotierende Kapselpumpe ausfließen lassen. Es kommt also zu dem  $E$  noch die Umdrehungszahl als mitbestimmender Faktor hinzu. Wir werden also nunmehr die Ohmsche Formel so schreiben:  $J = n E / (W + l)$ . Der Zifferwert von  $n$  ist nach den mitgeteilten Beobachtungen ungefähr festzustellen, wenn wir  $E$  etwa zu 100 000 annehmen, entsprechend der bei günstigen Verhältnissen an unserer Maschine beobachteten Länge der Flaschenfunken.

Zum Schluß sei noch mitgeteilt, daß auch mit der Reibungselektrisiermaschine eine ähnliche Untersuchung geplant und begonnen worden ist. Unsere Maschine Weinholdscher Bauart mit 42 cm Scheibendurchmesser erhielt behufs Motorantrieb an Stelle der Kurbel eine Schnurscheibe von 10 cm Radius. Sie gibt in guter Verfassung bei 2 Umläufen in der Sekunde etwa 6 Mikroampere. Der Strom wogt in derselben Weise, wie es oben für den Influenzmaschinenstrom beschrieben worden ist. Aber es kommt noch ein weiterer störender Umstand hinzu: Der Strom sinkt bei andauerndem Drehen ziemlich schnell bis auf ein Drittel und weniger herab. Nach einigen Minuten Pause erholt sich die Maschine wieder. Vielleicht werde ich in einem späteren Aufsätze auf diese sehr merkwürdigen Ermüdungserscheinungen näher eingehen. Sie machten die beabsichtigte Untersuchung unmöglich. Aber ich konnte doch soviel feststellen, daß auch der Elektrisiermaschinenstrom beim Einschalten von  $10^9$  Ohm um 2 bis 4 % schwächer wird.

## Über die Gesetze der einfachen Schwingungen.

Von Hermann Hahn.

Es ist ein großes Verdienst von FRIEDRICH C. G. MÜLLER, daß er die Lehre von den einfachen Schwingungen für die Schule eigenartig und fruchtbringend bearbeitet hat<sup>1)</sup>. Ich knüpfe an sein ausgezeichnetes Verfahren an. Für die Ableitung der Schwingesetze stelle ich hier nur einen Gedankengang dar, ohne die schulgerechte Lehrart eingehend zu schildern.

1. Wir nehmen an, daß die Schüler durch eigene Versuche<sup>2)</sup> auf demselben Wege wie HOOKE gefunden haben, daß sich die Dehnungen  $\lambda$  einer ruhenden Schraubenfeder verhalten wie die Änderungen der Belastungen  $P$ , daß also

$$\frac{P}{\lambda} = f \quad \dots \dots \dots 1)$$

ist, wo  $f$  die „Starre“ der Feder bezeichnet. Die Arbeit, die die Feder um die winzige Länge  $d\lambda$  verlängert, sei  $dA$ . Während des winzigen Verlängerns ändert sich die Kraft  $P$  der Feder nicht; also ist

$$\frac{dA}{d\lambda} = P \quad \dots \dots \dots 2)$$

<sup>1)</sup> Diese Zeitschr. 2, 115, 1859 und 30, 65, 1917; Technik d. phys. Unterr. 78 ff.

<sup>2)</sup> HAHN, Handbuch d. physikalischen Schülerübungen<sup>2</sup> 35, Aufg. 1.

Aus den Beziehungen 1) und 2) erhalten wir die Differentialgleichung

$$\frac{dA}{d\lambda} = f\lambda \dots\dots\dots 3)$$

Durch Betrachtungen und Rechnungen ähnlich denen, durch die man beim freien Fall aus der Differentialgleichung

$$\frac{ds}{dt} = gt$$

das Wegegesetz

$$s = \frac{1}{2}gt^2$$

findet, leitet man aus der Gleichung 3) für die Federungsarbeit den Ausdruck

$$A = \frac{1}{2}f\lambda^2 \dots\dots\dots 4)$$

ab oder, da  $P = f\lambda$ ,

$$A = \frac{1}{2}P\lambda \dots\dots\dots 5)$$

Dieses Gesetz gewinnt man auch aus dem Schaubilde des Schülerversuchs, wenn man dabei  $P$  als Abszisse und  $\lambda$  als Ordinate wählt, oder auch unmittelbar durch einen besondern Schülerversuch<sup>1)</sup>.

2. Wir setzen voraus, daß die Schüler durch eigene Versuche untersucht haben, wie die Schwingungsdauer einer Schraubenfeder von der angehängten Masse  $m$  und von der Starre  $f$  der Feder abhängt, und dabei das Gesetz

$$\tau^2 \approx 40 \frac{m}{f}$$

gefunden haben. Es entsteht nun die Aufgabe, die Zahl 40 durch Rechnung zu erklären.

3. Wir nehmen an, daß alle Teilchen eines Körpers um ihre Gleichgewichtslagen in der gleichen Richtung schwingen, daß also die Verschiebungen nur von einer Veränderlichen abhängen, mithin die Bewegungen nur einen Freiheitsgrad haben. Also genügt zum Beschreiben der Bewegung des Körpers, ein einziges Teilchen als Bildstelle herauszugreifen, in seine Schwingungsrichtung die  $x$ -Achse zu legen und die Verschiebungen  $x$  von der Gleichgewichtslage des ausgewählten Teilchens an zu messen. Die Lagekraft, die den schwingenden Körper in die Gleichgewichtslage zurücktreibt, ist, wenn man  $x$  hinreichend klein annehmen darf,

$$P = -fx \dots\dots\dots 6)$$

wo  $f$  wieder die Starre des schwingenden Körpers bezeichnet. Die Macht (potentielle Energie) des Körpers ist

$$V = \frac{1}{2}fx^2 \dots\dots\dots 7)$$

und die Wucht (kinetische Energie) des Körpers, wenn wir seine Geschwindigkeit  $\dot{x}$  nennen,

$$U = \frac{1}{2}m\dot{x}^2 \dots\dots\dots 8)$$

Das gesamte Arbeitsvermögen (die totale Energie) des Körpers sei  $W$ ; dann ist

$$U + V = W \dots\dots\dots 9)$$

Bedeutet  $a$  die Schwingungsweite des Körpers, so ist, da in den Kehrpunkten ( $x = \pm a$ ) die Wucht verschwindet, das gesamte Arbeitsvermögen

$$W = \frac{1}{2}fa^2 \dots\dots\dots 10)$$

Aus der Gleichung 9) folgt

$$\frac{U}{W} + \frac{V}{W} = 1.$$

<sup>1)</sup> HAHN, a. a. O. 36, Aufg. 1. Verfahren 2. Über die Federungsarbeit findet man wertvolle Ausführungen in dem *Lehrbuch der Physik* von LUDWIG DRESSEL. Vgl. insbesondere auch H. A. LORENTZ, *Lehrb. d. Physik I*, 141, 164—175, 187—198, 286c, d und 414.

Hieraus gewinnen wir nun die Gleichungen für den Weg und die Geschwindigkeit mit einem Schlage; wir setzen

$$\frac{U}{W} = \cos^2 \varphi \quad \text{und} \quad \frac{V}{W} = \sin^2 \varphi. \dots \dots \dots 11)$$

Da es sich bei den einfachen Schwingungen um einen regelmäßig wiederkehrenden Vorgang handelt, wobei die Macht und die Wucht zwischen den Grenzen 0 und  $\frac{1}{2} f a^2$  schwanken, hat das Einführen der Winkelgrößen einen physikalischen Sinn. Die einfachste Annahme ist, daß  $\varphi$  durch eine Beziehung ersten Grades von der Zeit  $t$  abhängt, daß also der Gang

$$\varphi = nt + \varepsilon. \dots \dots \dots 12)$$

sei.

Ferner wissen wir (Gl. 10), daß das gesamte Arbeitsvermögen die Größe  $W = \frac{1}{2} f a^2$  hat. Mithin ist die Wucht

$$U = \frac{1}{2} f a^2 \cos^2 (nt + \varepsilon)$$

und die Macht

$$V = \frac{1}{2} f a^2 \sin^2 (nt + \varepsilon).$$

Aus den Gleichungen 8) und 7) folgt

$$\frac{1}{2} m \dot{x}^2 = \frac{1}{2} f a^2 \cos^2 (nt + \varepsilon) \dots \dots \dots 13)$$

und

$$\frac{1}{2} f x^2 = \frac{1}{2} f a^2 \sin^2 (nt + \varepsilon) \dots \dots \dots 14)$$

Aus der Gleichung 14) erhalten wir die Wegegleichung

$$x = a \sin (nt + \varepsilon) \dots \dots \dots 15)$$

und daraus durch Differentiieren oder ein Ersatzverfahren noch einmal die Geschwindigkeitsgleichung

$$\dot{x} = na \cos (nt + \varepsilon) \dots \dots \dots 16)$$

und auch die Beschleunigungsgleichung

$$\ddot{x} = -n^2 x \dots \dots \dots 17).$$

Aus der Kraftgleichung 6) folgt ebenfalls die Beschleunigungsgleichung

$$x = -\frac{f}{m} x.$$

Hiermit ist die einfache Schwingung im wesentlichen beschrieben.

Nach einer bestimmten Zeitspanne  $\tau$  wiederholt sich die ganze Folge der Erscheinungen. Mithin ergeben sich aus der Wegegleichung 15) und der Geschwindigkeitsgleichung 16)

$$\sin [n(t + \tau) + \varepsilon] = \sin (nt + \varepsilon)$$

$$\cos [n(t + \tau) + \varepsilon] = \cos (nt + \varepsilon)$$

und daraus, wenn  $\nu$  eine ganze Zahl bezeichnet,

$$n\tau = 2\nu\pi.$$

Bedeutet  $\tau$  die Dauer der Grundschwingung der Feder, so ist  $\nu = 1$ , also

$$n\tau = 2\pi \quad \text{oder} \quad \tau = \frac{2\pi}{n}.$$

Die Schwingungsdauer  $\tau$  gibt die Anzahl Sekunden an, die eine volle Schwingung dauert. Der umgekehrte Wert

$$N = \frac{1}{\tau} = \frac{n}{2\pi}$$

heißt die Schwingungszahl und gibt die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde an. Die Größe  $n = 2\pi N$  bezeichnet die Anzahl der Schwingungen in  $2\pi$  Sekunden

und führt den Namen Wippzahl oder Kreisfrequenz. Der Gangunterschied  $\varepsilon$  kommt nur bei zwei oder mehr gleichzeitigen Schwingungen des Körpers in Frage.

Aus der Geschwindigkeitsgleichung 16) folgt

$$\dot{x}^2 = n^2 a^2 \cos^2 (nt + \varepsilon)$$

und aus der Wuchtgleichung 13)

$$\ddot{x}^2 = \frac{f}{m} a^2 \cos^2 (nt + \varepsilon).$$

Mithin besteht die Beziehung

$$n^2 = \frac{f}{m},$$

woraus wir die gesuchte Schwingungsgleichung

$$\tau^2 = 4 \pi^2 \frac{m}{f}$$

gewinnen<sup>1)</sup>. Die Zahl 40 in der Beziehung

$$\tau^2 \approx 40 \frac{m}{f}$$

ist der Wert von  $4\pi^2$ , den die Schüler infolge der Beobachtungsfehler nur annähernd richtig gefunden haben.

## Die Schwingungsdauer einer Pfeife.

Von Dr. Curt Fischer in Berlin.

In einer Sitzung des Berliner Vereins zur Förderung des physikalischen Unterrichts, die in Brandenburg a. d. H. stattfand, zeigte uns FR. C. G. MÜLLER, wie er eine schwingende Schraubenfeder mit angehängter Belastung zur Einführung in die Lehre vom schwingenden Punkt benutzt. Die Schwingungsdauer  $\tau$  ist bekanntlich abhängig von der bewegten Masse  $M$  und von der Starre  $f$  der Feder, gemessen durch die Kraft, die nötig ist, die Feder um 1 cm zu verlängern. Es ist:

$$\tau = 2 \pi \sqrt{\frac{M}{f} \left[ \left( \frac{g}{\text{Dyn/cm}} \right)^{\frac{1}{2}} \right]}.$$

Die Schauversuche zeigten, daß eine Erhöhung der Masse auf das Vierfache die Schwingungsdauer verdoppelt. Die Federstarre änderte FR. C. G. MÜLLER auf folgende Art: Er benutzte vier möglichst gleiche Schraubenfedern. Diese konnte er verschieden anordnen. Jede Feder hat einzeln eine Starre von  $f$  Dyn/cm. Waren alle vier nebeneinander eingespannt, so war die Starre der Verbindung  $4f$ . Wurden zwei Federn hintereinander und diese Paare nebeneinander geschaltet, so hatten die vier Federn zusammen die gleiche Starre wie jede einzeln, d. h.  $f$  Dyn/cm. Alle vier hintereinander in einer Reihe ergaben endlich für die Federstarre den Wert  $\frac{1}{4}f$  Dyn/cm. Die verschiedenen Schwingungsdauern der drei Anordnungen verhielten sich bei gleicher Masse, der Gleichung entsprechend, wie 1:2:4. Versuche in dieser Form zeitigen nur dann gute Ergebnisse, wenn die Federmasse gegenüber der angehängten Masse zu vernachlässigen ist. Auf Grund von Versuchsergebnissen rechnete FR. C. G. MÜLLER immer etwa das 0,4 fache der Federmasse zur angehängten Masse hinzu, während

<sup>1)</sup> Aus der Kraftgleichung 6) erhält man

$$\ddot{x} = -\frac{f}{m} x$$

und daraus durch Vergleichen mit der Beschleunigungsgleichung 17) ebenfalls den Ausdruck für das Quadrat der Wippzahl und somit auch die Schwingungsgleichung.

in der Literatur<sup>1)</sup> für diese Verbesserung der Faktor  $\frac{1}{3}$  angegeben wird. Seit jener Zeit habe ich das Verhalten der Schraubenfeder bei Schwingungen rechnerisch näher untersucht, und zwar in etwas erweitertem Bereich. Bei den genannten Versuchen war der Hauptzweck, die einfache Schwingung eines einzelnen Punktes darzustellen. und das Augenmerk wurde deshalb ausschließlich auf die Bewegung des angehängten Gewichtes gerichtet. Nun kann aber auch die Bewegung der Feder in sich, d. h. die gegenseitige Abstandsänderung der einzelnen Windungen, als Veranschaulichungsmittel für eine stehende Welle verwendet werden. Es sei nur an die WEINHOLDSchen Spiralen oder an die 6 m lange Schraubenfeder von RICHARZ erinnert. Hier ist die schwingende Masse nicht an dem Endpunkt der Feder zu suchen, sondern sie ist über die ganze Länge verteilt. Meine Berechnungen, die demnächst an anderer Stelle veröffentlicht werden, erstreckten sich nun auf das ganze Gebiet zwischen den beiden genannten Grenzwerten. Es ergab sich, daß ein Zusatzglied, das zur Masse hinzugefügt wird, allein nicht ausreicht. Auch die Federstarre ist bei der schwingenden Feder eine andere, als bei der ruhenden. Der Ausdruck für die Schwingungsdauer nimmt die Form an:

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{M + \alpha m}{\beta f}}$$

Dabei bedeutet  $m$  die Masse der Feder. Die Faktoren  $\alpha$  und  $\beta$  können dargestellt werden als allein abhängig vom Verhältnis  $m/M$  der Federmasse zur angehängten Masse. Es wird z. B.,

wenn $M$ sehr groß gegen $m$ ist,	$\alpha = 0,333$	$\beta = 1$
„ $M = m$	„ $\alpha = 0,369$	$\beta = 1,014$
„ $M = 0$	„ $\alpha = 0,500$	$\beta = 1,234 = \frac{\pi^2}{8}$ .

Die Kenntnis dieser Faktoren  $\alpha$  und  $\beta$  ermöglicht in der Betrachtung einen stetigen Übergang von der Schwingung einer stark belasteten Feder zur Schwingung einer Feder ohne Belastung, aber mit verteilter Masse, oder allgemein eine stetige Überleitung von der Punktschwingung zur Körperschwingung. Die Zahlen gelten ebenso für stehende Längswellen, wie für Quer- und Drillwellen; auch die Schwingungsdauer offener elektrischer Schwingungserreger ist mit ihrer Hilfe zu berechnen. Hier soll im besondern die Schwingungsdauer des Grundtones einer gedackten Pfeife näher erörtert werden.

Wir denken uns die Luftsäule in einer gedackten Pfeife durch viele Querschnitte in Schichten zerlegt, die gegeneinander federn können. Dadurch ist der Vergleich mit den Windungsblättern einer unbelasteten Schraubenfeder hergestellt. Die Schwingungsdauer dieser Luftsäule muß dann genau wie bei einer solchen Feder zu berechnen sein aus:

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{\alpha \cdot m}{\beta \cdot f}} = 4 \sqrt{\frac{m}{f}} \dots \dots \dots 1)$$

da für  $M = 0$   $\alpha = \frac{1}{2}$  und  $\beta = \frac{\pi^2}{8}$  ist. Die Länge der Pfeife sei  $L_0$  cm, ihr Querschnitt  $q$  cm<sup>2</sup>, und  $\rho$  g/cm<sup>3</sup> sei die Dichte der Luft. Dann ist die Masse der in der Pfeife enthaltenen Luft:

$$m = \rho \cdot L_0 \cdot q \dots \dots \dots 2)$$

Ferner muß die Starre  $f$  bestimmt werden, gemessen durch die Kraft, die nötig ist, die Luftsäule  $L_0$  um 1 cm zu verlängern. Wir denken uns zu diesem Zweck in die Pfeife einen gewichtslosen Stempel gesetzt (Fig. 1), an dem eine Kraft  $K$  zieht. Die Länge wird dann  $L = L_0 + l$  und die Kraft  $K$  ist für die neue Lage des

<sup>1)</sup> Vgl. z. B. Poynting-Thomson, Textbook of Physics. Properties of Matter, p. 108.

Kolbens durch den Unterschied zwischen dem Anfangsdruck  $p_0$  im Innern und dem Enddruck  $p$  bestimmt:

$$K = (p_0 - p) q.$$

Nun ist aber nach dem Gasgesetz:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{L_0 \cdot q}{L \cdot q} = \frac{L_0}{L_0 + l},$$

und folglich:

$$p_0 - p = \frac{l}{L_0 + l} \cdot p_0.$$

So ergibt sich für die Starre der Luftsäule der Wert:

$$\xi = \frac{K}{l} = \frac{p_0 \cdot q}{L_0 + l} \dots \dots \dots 3)$$

Setzt man die Werte 2) und 3) in die Gleichung 1) für  $\tau$  ein, so wird:

$$\tau = 4 \sqrt{\rho \cdot L_0 \cdot q \cdot \frac{L_0 + l}{p_0 \cdot q}}.$$

Diese Gleichung zeigt die Unabhängigkeit der Schwingungsdauer vom Pfeifenquerschnitt. Wäre  $K$  als Druckkraft und nicht als Zugkraft angenommen worden, so würde an die Stelle von  $L_0 + l$  unter der Wurzel der Wert  $L_0 - l$  treten. Wir müssen also annehmen, daß  $l$  klein sei gegen  $L_0$ ; dann ist nach 3) die Starre der Luftsäule unabhängig von der Größe der Gestaltsänderung. Es ergibt sich dann die Endformel:

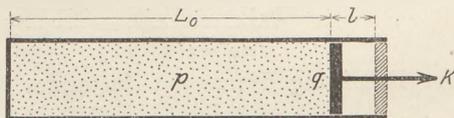


Fig 1.

$$\tau = 4 L_0 \sqrt{\frac{\rho}{p_0}} \dots \dots \dots 4)$$

Wir erhalten also auf diese Art die Newtonsche Gleichungsform, in der die Schwingungsdauer  $\tau$  durch die Pfeifenlänge  $L$ , die Luftdichte  $\rho$  und den Luftdruck  $p_0$  dargestellt ist. Der Laplacesche Faktor  $c_p/c_v$  fehlt darin.

Die ganze Ableitung enthält inhaltlich gar nichts Neues. Das aber, worauf hier besonders Wert gelegt wurde, ist eine scharfe Scheidung zwischen dem Anteil, den die schwingende Masse an dem Ausdruck für die Schwingungsdauer hat, und dem Anteil, den die Starre des schwingenden Mittels dazu liefert. Diese Scheidung erscheint mir, ebenso wie HERMANN HAHN<sup>1)</sup>, von ganz besonderer Bedeutung für das Verständnis der Schwingungsvorgänge. Masse und Starre sind zwei den federnden Körper kennzeichnende Begriffe und eignen sich wegen ihrer Anschaulichkeit besser als alle andern Größen zur Einführung in die Wellenlehre. Wie wenig geklärt die ganzen Schwingungsvorgänge im allgemeinen sind, tritt besonders zutage bei einer Durchsicht der Lehrbücher, wie sie das Auftreten des Faktors  $c_p/c_v$  darlegen. Die rechnenden Bücher türmen einen Berg von Gleichungen auf, um ihn dann wieder bis zur einfachen LAPLACESchen Formel abzubauen. Die experimentellen Leitfäden, soweit sie mir bekannt sind, suchen meist nur das Ergebnis der Rechnung begreiflich zu machen. Den klarsten Ausdruck dafür findet meines Erachtens E. MACH in seinem Leitfaden der Physik für Studierende (1891). Dort heißt es: „Nach LAPLACE kommt dies daher, daß in den verdichteten Teilen der Schallwelle die Temperatur ansteigt, in den verdünnten abfällt, so daß alle Druckdifferenzen, also alle be-

<sup>1)</sup> Vgl. unsere Arbeiten, die demnächst in den Mitteilungen der Kgl. Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht erscheinen werden.

wegenden Kräfte, dadurch im Verhältnis  $\frac{C}{c}$  der beiden spezifischen Wärmen vergrößert werden.“ In seinen Prinzipien der Wärmelehre gibt dann MACH auch einen, wie er sagt, einfachen Beweis. So einfach, daß man ihn in der Schule bringen könnte, ist der Beweis aber nicht. Der im folgenden wiedergegebene Versuch, ihn schulgerecht zu machen, zeigt nebenbei, daß der Weg dort nicht ganz der kürzeste ist.

Der Grund dafür, daß wir in dem Ausdruck 4) die fehlerhafte NEWTONSche Gleichung erhielten, liegt darin, daß bei einer Schwingung wegen mangelnden Wärmeausgleichs der Wert der Starre ein anderer ist, als bei langsamen Bewegungen. Das in dem Pfeifenrohr abgeschlossene Gas wurde von dem Anfangszustand  $(L_0, p_0, T)$  bei gleichbleibender Temperatur  $T$  übergeführt in den Zustand  $(L_0 + l, p_1, T)$  und es ergab sich (Gl. 3), daß die dazu erforderliche Kraft  $K_1$  den Wert hat:

$$K_1 = p_0 q \frac{l/L_0}{1 + l/L_0} \dots \dots \dots 5)$$

Bei einer Ausdehnung ohne Wärmezufuhr kühlt sich aber das Gas um die vorerst noch unbekannte Temperaturdistanz  $\vartheta_1$  ab. Es wird also jetzt aus dem Zustand  $(L_0, p_0, T)$  übergeführt in den Zustand  $(L_0 + l, p_2, T - \vartheta_1)$ . Die Gasgleichung ergibt für diesen Fall:

$$\frac{p_2 \cdot (L_0 + l) \cdot q}{p_0 \cdot L_0 \cdot q} = \frac{T - \vartheta_1}{T} \quad \text{oder} \quad \frac{p_2}{p_0} = \frac{L_0}{L_0 + l} \left(1 - \frac{\vartheta_1}{T}\right).$$

Zur Erhaltung des neuen Zustandes ist eine Kraft nötig von der Größe:

$$K_2 = (p_0 - p_2) q = p_0 \cdot q \frac{l/L_0 + \vartheta_1/T}{1 + l/L_0} \dots \dots \dots 6)$$

Der Vergleich von 5) und 6) zeigt, daß:

$$K_2 = K_1 \left(1 + \frac{\vartheta_1/T}{l/L_0}\right) \dots \dots \dots 7)$$

ist, und für die Werte der Starre ergibt sich entsprechend:

$$\tau_2 = \tau_1 \left(1 + \frac{\vartheta_1/T}{l/L_0}\right) \dots \dots \dots 8)$$

Es erübrigt nun noch die Frage nach  $\vartheta_1$ . Um wieviel Grad kühlt sich das Gas von der Temperatur  $T^0$  ab, wenn sein Raum von  $L_0 \cdot q$  auf  $(L_0 + l)q$  ohne Wärmeaustausch vergrößert wird?

Zur Veranschaulichung sei in einem Achsenkreuz die Temperatur  $T$  senkrecht zur jeweiligen Länge der Gassäule aufgetragen (Fig. 2).

Bei einer Raumvergrößerung ohne Wärmeaustausch fällt die Temperatur von  $A$  bis  $B$  um den Betrag  $\vartheta_1$ . Die jeweilige Temperatur sei durch die Linie  $a$  dargestellt.

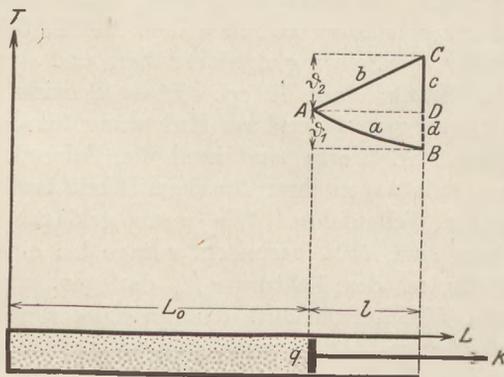


Fig. 2.

Vom Anfangszustand  $A$  kann aber auch auf folgende andere Weise der Endzustand  $B$  erreicht werden. Die Gassäule von der Länge  $L_0$  und der Temperatur  $T$  wird zuerst unter gleichbleibendem Druck  $p_c$  um  $\vartheta_2$  erwärmt, bis sie die Länge  $L_0 + l$  hat (Weg  $AC = b$ ). Dann wird sie ohne Änderung ihrer Länge  $L_0 + l$  wieder abgekühlt bis zu ihrer Ausgangstemperatur  $T$  (Weg  $CD = c$ ), und dann weiter um den Betrag  $\vartheta_1$  (Weg  $DB = d$ ). Da die Temperaturerhöhung  $\vartheta_2$  auf dem Wege  $b$  und die Temperaturerniedrigung auf dem Wege  $c$  sich aufheben, so ist das Gas nun wie vorher,

bei dem Wege  $a$  ohne Wärmeaustausch, auf die Temperatur  $T - \vartheta_1$  gebracht, der Endzustand des Gases bei  $B$  ist also der gleiche wie vorher. Nun wurde aber auf dem Wege  $a$  dem Gase keine Wärme zugeführt. Deshalb müssen sich auch die auf den Wegen  $b, c, d$  zu- und abgeführten Wärmemengen  $W$  gegenseitig aufheben, d. h. es ist:

$$\left. \begin{aligned} \bar{W}_b + \bar{W}_c + \bar{W}_d &= 0 \\ m c_p \vartheta_2 - m c_v \vartheta_2 - m c_v \vartheta_1 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 9)$$

Hierin ist  $\vartheta_2$  aus der Ausdehnung des Gases auf dem Wege  $b$  zu berechnen. Die Gasgleichung ergibt für gleichen Druck die Beziehung:

$$L_0 + l = L_0 \cdot \frac{T + \vartheta_2}{T},$$

woraus folgt:

$$\vartheta_2 = T \cdot \frac{l}{L_0} \dots \dots \dots 10)$$

Dieser Wert ist in Gleichung 9) einzusetzen, und daraus die Temperatur  $\vartheta_1$  zu berechnen; der Wert  $\vartheta_1$  ist dann endlich für Gleichung 8) zu verwenden. Folgender Weg führt schneller zum Ziel. Nach Einführung des Wertes  $\vartheta_2$  aus Gleichung 10) in Gleichung 9) erhält man:

$$c_p \cdot \frac{l}{L_0} = c_v \frac{l}{L_0} \left( 1 + \frac{\vartheta_1}{T} \right),$$

oder

$$\frac{c_p}{c_v} = 1 + \frac{\vartheta_1}{T}.$$

Daraus ist also sofort zu ersehen, daß der in Gleichung 8) auftretende Faktor von  $\tau$  gleich  $c_p : c_v$  ist. Es ist:

$$\tau_2 = \tau_1 \cdot \frac{c_p}{c_v} \dots \dots \dots 11)$$

Die Werte für die Starre der Luft ohne und mit Wärmeaustausch verhalten sich also wie die spezifischen Wärmen.

Kehren wir zu der Schwingungsdauer der Pfeife zurück, so ist nun also nicht der durch Gleichung 3) gegebene Wert  $\tau$  für die Starre der Luft in Gleichung 1) einzusetzen, sondern nach Gleichung 11) ein  $c_p/c_v$ mal so großer Wert. Es ergibt sich

$$\tau = 4 L_0 \sqrt{\frac{c_v}{c_p} \cdot \frac{\rho}{p_0}} \dots \dots \dots 12)$$

d. h. der LAPLACESCHE Ausdruck für die Schwingungsdauer einer Pfeife.

Die vorliegende Arbeit hatte, wie schon gesagt, den Zweck, eine reinliche Trennung zwischen der Masse und der Starre der Luft, den beiden Bestandteilen des Ausdruckes für die Schwingungsdauer, durchzuführen. Man ersieht, daß sich bei dieser Scheidung eine übersichtliche Darstellung ergibt, weil sich jeder neue Gedanke ohne Mitschleppen anderer für sich allein behandeln läßt. Im besondern sei noch hervorgehoben, daß von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles hier nicht ein einziges Mal die Rede war.

# Über meinen Universalapparat für Mechanik und eine vereinfachte Form desselben.

Von

Friedrich C. G. Müller in Brandenburg a. H.

Der 1901 in dieser Zeitschr. 14, 72 und später in meiner Technik des physikalischen Unterrichts beschriebene Apparat hat einige kritische Bemerkungen veranlaßt, zu denen im folgenden Stellung genommen werden soll. Die der angeführten Abhandlung entnommene Fig. 1 zeigt als Hauptbestandteil den aus 4 mm starkem Messingdraht hergestellten Ring *D*, welcher mit 4 Fäden *E* krinolinienartig an der sehr leichten, mit achsialem Stahlhütchen versehenen Trommel *C* hängend, fast reibungslos auf der Spitze *B* drehbar ist. Derselbe ist quadrantenweise mit farbigen Marken versehen, um mittels eines vorgestellten Visierstäbchens den Weg der umlaufenden Ringmaße unter Mitbenutzung eines Sekundenschlägers absehen zu können. Der Antrieb geschieht mittels eines um die Trommel *C* gewickelten Kokonfadens *H* und der feinen Rolle *I* durch ein Gewicht *G*. Am freien Ende des Fadens sitzt als Auflage für die scheibenförmigen Grammgewichte *G* ein Korkscheibchen, dessen nur wenige Zentigramme betragendes Gewicht den Reibungswiderständen gleich gemacht werden muß.

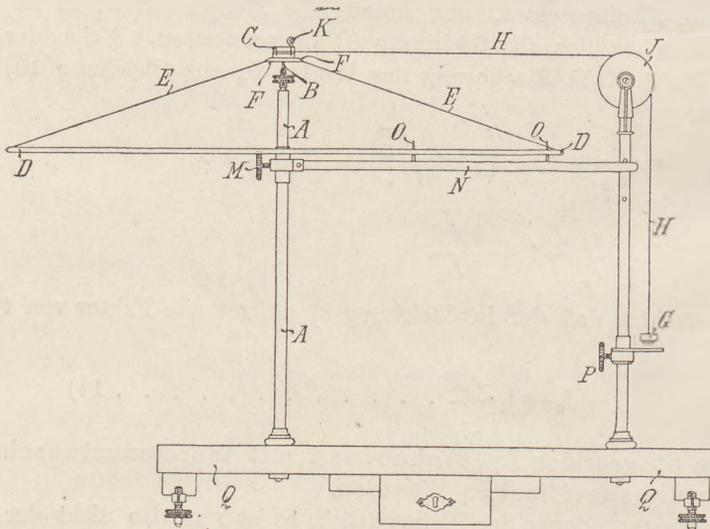


Fig. 1.

Der Schieber *P* mit entsprechendem Loch gestattet, das Antriebsgewicht an einem beliebigen Punkte abzuheben. Die Feststellung und impulsfreie Auslösung des Systems erzielt man mit

Hilfe des in verstellbarer Hülse *M* eingelenkten, mit den Hemmstiften *O* versehenen Hebels *N*. Zu den meisten Versuchen dient ein großer Ring von 25 cm Halbmesser, der bei meinem Exemplar 167 g wiegt. Außerdem gehören zum Apparat noch zwei Ringe halber Größe, der eine mit Gehänge versehen, der andere ganz frei.

Der Ring kommt bei aufgewickeltem aber unbelastetem Faden nicht von selbst in Bewegung, durchmißt aber nach kleinem Anstoß ganz gleichmäßig seine Kreisbahn. Bei guter Ausführung des Apparats und behutsamer Abgleichung des Reibungsgewichts läßt sich erreichen, daß der Ring beispielsweise in 20 Sekunden einen Viertelumlauf und in 80 genau einen ganzen vollendet.

Legt man ein Grammstück auf, so tritt gleichmäßig beschleunigte Bewegung ein, der erste Viertelumlauf dauert 18,2 Sekunden, nach 36,5 Sekunden passiert die Anfangsmarke, nach der dreifachen Zeit sind zwei Umläufe und ein viertel vollführt.

So tritt das Weggesetz  $\left(s = \frac{b}{2} t^2\right)$  genau in Erscheinung. Ebenso scharf ergibt sich unter Verwendung des Schiebers die Beziehung  $v = bt$ .

Nimmt man statt des großen Rings die beiden aufeinandergelegten kleinen, so werden in 18,2 Sekunden 4 Quadranten bei 1 g Antrieb zurückgelegt. Halbieren

wir die Masse, durch Abheben des letzten Ringes, so erfolgen in 18,2 Sekunden zwei ganze Umläufe. Die Beschleunigung ist also umgekehrt proportional der Masse.

Auch absolut genommen stimmen die erhaltenen Zahlen genau mit der Theorie. Die am Ringe wirksame beschleunigende Kraft ist  $pg \cdot \rho/r$ , wenn  $\rho$  den Trommelradius bedeutet, der jedoch bei unserm Apparat genau auf 1 cm gebracht worden ist.

Mithin  $b = \frac{pg}{rm}$ . Da für den ersten Umlauf  $2r\pi = \frac{1}{2} \frac{pg}{rm} T^2$ , folgt  $T = \sqrt{\frac{4\pi r^2 m}{pg}}$ ,

was für den großen Ring mit  $m = 167$  bei  $p = 1$  den Antrieb 36,5 ergibt.

Die Zahl 36,5 ist etwas unbequem. Könnten wir den Ring nicht so belasten, daß er genau 40 Sekunden zum ersten Umlauf gebrauchte? Aus der Formel berechnen die Schüler für  $T = 40$   $m = 200$ . Man hängt also 4 schmale Streifen Bleiblech von zusammen 33 g auf den Ring und der Erfolg entspricht genau der Vorausberechnung. Umgekehrt zeigt sich die Möglichkeit einer dynamischen Bestimmung von Massen. Vorstehende Angaben genügen für unsern heutigen Zweck.

Es ist nun schon bald nach der ersten Veröffentlichung bemerkt worden, daß bei der Theorie des Apparats noch Korrektionsglieder berücksichtigt werden müßten, z. B. das Trägheitsmoment der Rolle. Dieses beträgt indessen, da die Rolle 4,7 cm Durchmesser und 12,2 g Gewicht hat, 33,7, und die am Umfange gedachte Ersatzmasse also nur 6,1 g. Die Trommel wiegt ohne Hütchen 5 g. Somit stehen im ganzen 11 g gegenüber den  $25^2 \cdot 167 = 104200$  des großen Ringes.

Ferner ist darauf aufmerksam gemacht, daß die Fadenspannung streng genommen nicht  $pg$  Dyn sei, sondern aus dynamischen Gründen etwas geringer würde. Wie es mit diesem Abzug bestellt ist, geht ohne weiteres aus der obigen Angabe hervor, daß der erste Umlauf des großen Ringes 36 Sekunden dauert. Das Gewicht  $p$  senkt sich währenddem aber um 6,28 cm. Seine Beschleunigung ist also nur  $b = 0,0097$  cm/sec<sup>2</sup>, d. h. weniger als der hunderttausendste Teil der Fallbeschleunigung.

So leicht es sich hat zeigen lassen, daß gerade beim Ringapparat alle Korrektionsglieder weit unter der Grenze des Beobachtbaren bleiben, so schwerwiegend könnte der von berufener Seite ausgesprochene didaktische Einwand erscheinen: Es sei nicht zulässig, schon beim Beginn der Dynamik mit Drehbewegungen zu kommen. Demgegenüber fragen wir: Handelt es sich bei den ersten Versuchen mit dem Ringapparat wirklich um eine Drehbewegung? „Dreht“ sich die Masse des Ringes, oder vollführt sie eine fortschreitende Bewegung auf der Peripherie eines Kreises? Werden Winkel und Winkelgeschwindigkeiten gemessen oder Wegstrecken? Ich habe gelegentlich ein in Zentimeter geteiltes Papierband um die Ringe befestigt und die Wege in Zentimetern, nicht in Viertelkreisen ablesen lassen. Niemand sagt: Die Erde „dreht“ sich um die Sonne, oder die Lokomotive „dreht“ sich um den Krümmungsmittelpunkt der Bahnkurve. Letztere „bewegt“ sich auf krummer Bahn, und ihre Beschleunigung wird bei gleicher Triebkraft die gleiche sein auf gerader oder krummer Strecke. Mit einer geeigneten Spielzeuglokomotive läßt sich auf einem in sich geschlossenen kreisförmigen Geleise das Gesetz  $s = \frac{1}{2} k/m \cdot t^2$  gewiß recht gut erweisen. Diese Formel gilt unabhängig von der Gestalt der Bahn, vorausgesetzt daß die beschleunigende Kraft stets tangential gerichtet ist. Daß radiale Spannungen dabei auftreten, bleibt zunächst unbemerkt und unerörtert. Die kreisende Bewegung bietet technisch den großen Vorzug der Unbegrenztheit, weshalb der Ringapparat so leicht und handlich ist, in Vergleich mit der Atwoodschen Fallmaschine. —

Die im vorangehenden angedeuteten kritischen Erwägungen ließen es nun wünschenswert erscheinen, die Ringe meines Ringapparats außer durch Gewichte auch durch eine von Schwere und Hebelwirkung unabhängige Tangentialkraft unmittelbar antreiben zu lassen. Eine solche wurde in Gestalt eines am Ringumfang entlang blasenden Luftstrahls ausfindig gemacht. Der infolge der Luftreibung entstehende Antrieb ist bei konstanter Pressung völlig konstant und bleibt es bei

eingetretener Bewegung auch, da die nach einigen Umläufen erreichte Umlaufgeschwindigkeit gegen die Orkangeschwindigkeit des Luftstrahls verschwindet. In der Tat zeigt die Beobachtung in aller Schärfe die Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Daneben drängte sich schon bei den ersten Versuchreihen die Bemerkung auf, daß man hierbei bequemer und schneller experimentiert, als nach der alten Weise mittels Faden und Gewichtsantrieb. Denn erstens fällt das jedesmalige Aufwickeln des Fadens fort, zweitens kann die Triebkraft in jedem Augenblicke durch Freigeben oder Schließen der Ausflußöffnung mittels des Fingers an- oder abgestellt werden. Es bedarf also keiner Trommel und Rolle, nicht der Säule nebst dem Schieber daran, noch andererseits der Auslösevorrichtung. Damit ist aber auch gesagt, daß, wo die Umstände es fordern, an Stelle des vollständigen, ziemlich kostspieligen Ringapparats mit Gewichtsantrieb ein für relative Messungen ausreichender Ersatzapparat fast kostenlos in der Schulwerkstatt hergestellt werden kann.

Den Hauptbestandteil eines solchen Apparats, zwei Ringe von 25 cm Durchmesser aus 4-mm-Draht, verfertigt man, indem man ein Stück von  $\pi$ -facher Länge rund biegt und die Enden stumpf voreinander lötet, wobei zur Verstärkung entweder ein Plättchen in Sägeschnitte mit eingelötet oder ein Röhrchen von Schablonenblech herumgelegt wird.

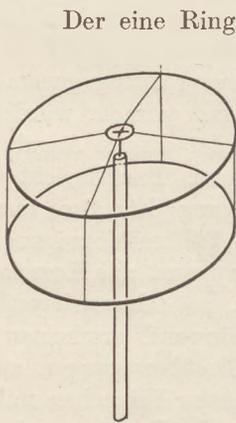


Fig. 2.

Fig. 2 es zeigt.

Als Aufhängespitze dient eine Stopfnadel, die nach der in dieser Zeitschr. 23, 9 gegebenen Anweisung sauber zugeschliffen und in einen Holzstab konaxial befestigt wird. Der Stab kann in einen Fuß eingesetzt oder in die Klemme eines Bunsenstativs vertikal eingespannt werden.

Die Betriebsluft liefert der akustische Blasebalg oder ein Wasserstrahlgebläse. Die Ausströmungsspitze sei bei einer Pressung von 10 cm Wasser etwa 2 mm weit, bei höherer Pressung entsprechend kleiner. Man probiert sie so aus, daß der Ring den ersten Umlauf in etwa 20 Sekunden vollendet, wobei die Öffnung 3—5 cm vor der Auftreffstelle des Strahls zu stehen kommt. Selbstverständlich muß das Blaserohr fest in ein Bunsenstativ eingeklemmt werden. Statt den Strahl unmittelbar auf den Ring wirken zu lassen, kann man ihn auch auf eine mit der Nabe verbundene Trommel richten, etwa eine konzentrisch aufgesetzte runde Pillenschachtel von 5 cm Durchmesser. Die erste Versuchsreihe gilt den Gesetzen der gleichmäßig beschleunigten Bewegung und dem dynamischen Grundgesetz. Man sucht es zweckmäßig bei Klassenversuchen dahin zu bringen, daß der erste Quadrant in 10 Sekunden zurückgelegt wird. Ein Visierstäbchen läßt das Vorübergehen der verschieden gefärbten Quadrantenmarken bis auf Zehntelsekunden genau absehen.

Nachdem so die Gesetze  $s = \frac{b}{2} t^2$ ,  $v = bt$  begründet und der Wert von  $b$  berechnet worden, verdoppelt man die Masse durch Zuhängen des zweiten Rings; nunmehr dreht sich das System in 20 Sekunden nicht ganz, sondern halb herum. Selbstverständlich darf während einer solchen zusammengehörigen Versuchsreihe die Einstellung des Blaserohrs und des Winddrucks keinerlei Veränderung erleiden, damit die aus der Formel zu berechnende Größe der Antriebskraft ihren bestimmten Wert beibehält. Mit Zugrundelegung dieses Werts werden zur Einübung noch einige Aufgaben behandelt. Man hängt an den Ring in gleichmäßiger Verteilung bestimmte Massen und bestätigt die vorausberechnete Umlaufszeit, oder man berechnet umgekehrt aus der beobachteten Umlaufszeit die Größe der angehängten Massen.

Der Apparat kann nach Erledigung der Grundgesetze zunächst auch bei der Behandlung der gleichmäßig verzögerten Bewegung und der Bestätigung des Satzes von der Äquivalenz von Arbeit und Bewegungsenergie gute Verwendung finden. Erteilt man dem Ringe eine negative Anfangsgeschwindigkeit, so tritt mit dem Anlassen des Luftstrahls eine verzögerte Bewegung ein, deren Verlauf aus den Passierzeiten der Quadrantenmarken auf graphischem Wege als das zeitliche Spiegelbild der gleichmäßig beschleunigten Bewegung erkannt wird. Allgemein läßt sich zeigen, daß die Bewegungsenergie  $\frac{mv^2}{2}$  sich um einen Betrag  $ks$  ändert, mag die Anfangsgeschwindigkeit positiv oder negativ sein. Keiner der bisherigen Schulapparate ist dieser Aufgabe gewachsen. Der Luftstrahlantrieb erweist sich also als eine Bereicherung des Experimentalunterrichts.

Unser vereinfachter Ringapparat kann ferner auch bei der experimentellen Begründung der Lehre vom Trägheitsmoment gute Dienste leisten, wenn auch nicht so unmittelbar, wie der Stammapparat mit Gewichtsantrieb. Man hängt mittels feiner Doppelhaken von 12—15 cm Länge zwei Ringe vom halben Durchmesser aufeinanderliegend an den Treibring und berechnet aus der dadurch herabgesetzten Umlaufszeit, daß die verzögernde Masse viermal kleiner erscheint, als die gleiche Masse des doppelt so großen Ringes. Soll also durch eine Masse am halben Radius die Winkelbeschleunigung in gleichem Maße herabgebracht werden, wie durch eine solche am ganzen Radius, so muß sie viermal größer sein, was übrigens auch theoretisch den Schülern leicht klar gemacht werden kann. Allgemein muß die für eine Masse  $m$  am Radius  $r$  an einem anderen Radius  $r_1$  anzubringende Ersatzmasse

$m_1 = m \left( \frac{r^2}{r_1^2} \right)$  sein. Zwei in verschiedenen Abständen vom Drehpunkt angebrachte

Massenpunkte haben also gleiche Trägheit, wenn  $mr^2 = m_1r_1^2$ . Die an den Radius  $r$  zu versetzende Ersatzmasse  $M$  für jeden Massenpunkt eines starren Systems ist  $mr^2$  und somit ist  $\sum mr^2 = M$  die Ersatzmasse des ganzen Massensystems. Jedes um eine Achse drehbare Massensystem kann also ersetzt werden durch einen Ring von 1 cm Radius von der Masse  $M$ . Nachdem in der angedeuteten Art der Begriff des Trägheitsmomentes  $M$  festgelegt worden, folgt die theoretische und experimentelle Bestimmung desselben für einfache Körpergebilde. Man fertigt dann solche aus dickem Draht oder dünnem Blech und hängt sie entweder unmittelbar an den Treibring oder legt sie auf den daran hängenden zweiten Ring. Selbstverständlich müssen sie so zurecht geschoben werden, daß der Treibring genau horizontal verbleibt. Von geraden Stäben ist ein Paar notwendig, die parallel zueinander, erst in möglichst geringem, darauf in größeren Abständen von der Mittelsäule gelegt werden. Blechscheiben müssen in zwei symmetrische Hälften verteilt sein und einen Ausschnitt für die Säule erhalten. So kann man sich eine größere Auswahl von Körpern bestimmten Trägheitsmomentes für Übungen und Übungsbeispiele verschaffen. Jeder

Fachlehrer, der sich den Apparat zugelegt hat, wird bald die Kunstgriffe finden, welche ein gutes Gelingen dieser Versuche sichern.

Der auf einer Spitze mit trägheitslosem Gehänge drehbare Drahttring bildet schließlich auch ein vorzügliches Hilfsmittel zur Begründung der Pendellehre. Zu dem Zweck läßt man mittels eines Hakens aus dünnem Stahlblech die Richtkraft eines möglichst langen durch Gewicht oder Feder gespannten Fadens auf den Ring einwirken. Der aus der Nullage gedrehte und sich selbst überlassene Ring vollführt bei kleinen Ausschlägen harmonische Schwingungen unter Versuchsbedingungen, die bei näherer Betrachtung denen des Fadenpendels gleichen. Die allgemeine Formel

für die Schwingungszeit  $T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{D}}$  wird in unserem Falle  $T = 2\pi \sqrt{\frac{mr^2}{m_1 g \cdot r}}$ , worin  $m_1$  die Masse des den Faden spannenden Gewichts bedeutet. Macht man letzteres

gleich dem Ringgewicht, so bleibt  $T = 2\pi \sqrt{\frac{r}{g}}$  und der Ring schwingt im Gleichtakt mit einem Fadenpendel von der Länge  $r$ . Selbstverständlich müssen für eine größere Richtkraft, die den Ring von der Spitze herabreißen würde, zwei gleichgespannte aus entgegengesetzter Richtung ziehende Fäden genommen werden.

Um endlich das Gegenbild des physischen Pendels zu erhalten, werden Draht- oder Blechgebilde von bestimmtem Trägheitsmoment auf den Ring gelegt oder an ihn gehängt, worauf die beobachtete Schwingungsdauer und die aus der Formel berechnete gut übereinstimmen.

Nach der vorstehenden kurzen Beschreibung und Auseinandersetzung kann jeder Fachlehrer den Apparat herstellen und vorführen. Technische Einzelheiten und Kunstgriffe ergeben sich beim Experimentieren von selbst. Selbstverständlich ist der vereinfachte Apparat, abgesehen von den Schwingversuchen, für absolute Messungen nicht geeignet und kann auch wegen des luftigen Charakters der Antriebskraft nicht die Genauigkeit und Treue aufweisen, wie der durch Gewicht angetriebene Stammapparat.

## Zur Theorie des mechanischen Universalapparats von Fr. C. G. Müller.

Von O. Figur in Berlin.

Der von FRIEDRICH C. G. MÜLLER angegebene Universalapparat hat sich als ein ausgezeichnetes Unterrichtsmittel erwiesen. Die außerordentliche Exaktheit der Versuchsergebnisse legt die Frage nahe, wie groß etwa die Genauigkeit der Versuche sein mag. Darum wird die nachstehende einfache theoretische Erörterung vielleicht nicht überflüssig sein.

In betreff der Konstruktion und der Verwendung des Apparats sei auf die im vorangehenden Aufsatz von FR. MÜLLER selbst gegebene Erläuterung und die dort abgedruckte Figur 1 verwiesen.

Der Drehbewegung des Ringes liegt das Drehgesetz: „Drehmoment der Kraft = Trägheitsmoment  $\times$  Winkelbeschleunigung“ zugrunde. Legt man nacheinander verschiedene Antriebsgewichte  $G$  auf, so muß nach diesem Gesetz die beobachtete tangentielle Drehbeschleunigung eines Ringpunktes sich proportional zu der auf das Ringsystem wirkenden Kraft, d. h. der unmittelbar vor der Trommel vorhandenen Fadenspannung, ändern, da der Kraftarm (der Trommelradius) konstant bleibt. Der Versuch liefert das Ergebnis, daß diese Beschleunigung dem Antriebsgewicht  $G$  proportional ist. Bei der Vorführung des Apparates erscheint mir der Hinweis nicht überflüssig, daß dem Begriffe nach die auf das Ringsystem wirkende Kraft, also die erwähnte Fadenspannung, mit dem Antriebsgewicht nicht identisch ist, auch wenn

die Rollenträgheit unberücksichtigt bleibt, weil ein Bruchteil des Gewichtes  $G$  zur Beschleunigung der Masse von  $G$  verwendet werden muß, und daß die Proportionalität der Drehbeschleunigung mit dem Antriebsgewicht nur den besonderen Größenverhältnissen des Apparats zu danken ist.

Ich lasse die einfache Theorie des Apparates folgen, um die Fadenspannung vor der Trommel sowie die tangentielle Drehbeschleunigung eines Ringpunktes als Funktionen des Antriebsgewichtes zu erhalten. Von Reibung, Luftwiderstand und Fadengewicht mag abgesehen werden. Dagegen soll die Rollenträgheit berücksichtigt werden. Es sei:

- $\mu$  = Masse des Antriebsgewichtes  $G$ ,
- $\sigma_1$  = Fadenspannung zwischen  $G$  und der Rolle,
- $r$  = Radius der Rolle,
- $j$  = Trägheitsmoment der Rolle,
- $\sigma_2$  = Fadenspannung zwischen Rolle und Trommel,
- $\varrho$  = Radius der Trommel,
- $R$  = Radius des Ringes,
- $J$  = Trägheitsmoment des ganzen drehbaren Ringsystems,
- $v, \dot{v}$  = Geschwindigkeit, bzw. Beschleunigung von  $\mu$ ,
- $\omega, \dot{\omega}$  = Winkelgeschwindigkeit, bzw. Winkelbeschleunigung des Ringes,
- $b$  = tangentielle Drehbeschleunigung eines Ringpunktes.

Dann ist:  $v = \varrho \cdot \omega$ ,  $\dot{v} = \varrho \cdot \dot{\omega}$ , und die Winkelgeschwindigkeit der Rolle ist  $\frac{v}{r} = \frac{\varrho}{r} \cdot \omega$ ,

ihre Winkelbeschleunigung also  $\frac{\varrho}{r} \cdot \dot{\omega}$ . Ferner ist  $b = R \cdot \dot{\omega}$ .

Erste Lösung: Ist  $l$  der in  $t$  sec von dem Antriebsgewicht zurückgelegte Weg, so fordert das Energieprinzip, daß die Abnahme der potentiellen Energie von  $\mu$  gleich der Summe aller entstehenden kinetischen Energien ist. Also:

$$\begin{aligned} \mu gl &= \frac{1}{2} \mu v^2 + \frac{1}{2} j \left( \frac{v}{r} \right)^2 + \frac{1}{2} J \omega^2 \quad \text{oder} \\ \mu gl &= \frac{1}{2} \mu \varrho^2 \omega^2 + \frac{1}{2} j \frac{\varrho^2}{r^2} \omega^2 + \frac{1}{2} J \omega^2 \quad \dots \dots \dots 1) \end{aligned}$$

Durch Differentiation erhält man:

$$\mu g \varrho \omega = \mu \varrho^2 \omega \dot{\omega} + j \frac{\varrho^2}{r^2} \omega \dot{\omega} + J \omega \dot{\omega},$$

woraus

$$\dot{\omega} = \frac{\varrho \mu g}{\mu \varrho^2 + j \frac{\varrho^2}{r^2} + J}, \quad b = \frac{R \varrho \mu g}{\mu \varrho^2 + j \frac{\varrho^2}{r^2} + J} \quad \dots \dots \dots 2)$$

folgt.

Auf das Ringsystem wirkt die Kraft  $\sigma_2$  am Kraftarm  $\varrho$ . Demnach ist  $\sigma_2 \varrho = J \dot{\omega}$ , somit nach 2):

$$\sigma_2 = \frac{J}{\mu \varrho^2 + j \frac{\varrho^2}{r^2} + J} \cdot \mu g \quad \dots \dots \dots 3)$$

Man erkennt, daß  $b$  zu  $\mu$  nicht proportional, ferner, daß die Kraft  $\sigma_2$  stets kleiner als das Antriebsgewicht  $\mu g$  ist.

Die Dauer  $T$  des ersten ganzen Umlaufs des Ringsystems findet man auf folgende Weise: Es sei  $s$  der Weg, den ein Punkt des Ringes in den ersten  $t$  sec zurücklegt. Dann ist nach 2)

$$\frac{d^2 s}{dt^2} = b = \frac{R \rho \mu g}{\mu \rho^2 + j \frac{\rho^2}{r^2} + J} = \text{const.}$$

In völliger Analogie zu den Gesetzen des freien Falles folgt hieraus durch zweimalige Integration  $s = \frac{1}{2} b t^2$ . Für  $t = T$  wird  $s = 2\pi R$ . Folglich:  $2\pi R = \frac{1}{2} b T^2$ , also

$$T = \sqrt{\frac{4\pi R}{b}} = \sqrt{\frac{4\pi}{\dot{\omega}}} \dots \dots \dots 4)$$

Zweite Lösung: Ohne das Energieprinzip zu benutzen, erhält man für die drei Unbekannten  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\dot{\omega}$  drei Gleichungen, wenn man das Grundgesetz der Mechanik, bzw. das Drehgesetz auf die drei Massenteile des Apparats (Antriebsgewicht, Rolle, Ringsystem) einzeln anwendet, auf folgende Weise:

Auf das Antriebsgewicht wirkt die Schwere  $\mu g$  abwärts, die Spannung  $\sigma_1$  aufwärts. Also ist

$$\mu g - \sigma_1 = \mu \rho \cdot \dot{\omega}.$$

Auf die Rolle wirkt  $\sigma_1$  im Sinne der Drehung,  $\sigma_2$  im entgegengesetzten Sinne. Daher ist:

$$(\sigma_1 - \sigma_2) r = j \cdot \frac{\rho}{r} \cdot \dot{\omega}.$$

Auf das Ringsystem wirkt  $\sigma_2$  am Kraftarm  $\rho$ . Folglich:

$$\sigma_2 \cdot \rho = J \dot{\omega}.$$

Aus diesen drei Gleichungen erhält man  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\dot{\omega}$  als Funktionen von  $\mu$ . Es ergibt sich wieder 2) und 3).

Soll die Fadenspannung  $\sigma_2$  an Größe dem Antriebsgewicht möglichst gleichkommen, so sind die Konstanten des Apparats so zu wählen, daß die im Nenner der rechten Seite von 3) neben  $J$  auftretenden Größen  $\mu \rho^2$  und  $j \frac{\rho^2}{r^2}$  möglichst klein gegen  $J$  sind.

Der Apparat ist nun in der Tat so gebaut, daß diese beiden Größen vernachlässigt werden dürfen. Man erhält dann folgende Annäherungsformeln:

$$\dot{\omega} \sim \frac{\rho}{J} \cdot \mu g; \quad b \sim \frac{R \rho}{J} \cdot \mu g; \quad \sigma_2 \sim \mu g; \quad T \sim \sqrt{\frac{4\pi J}{\rho \cdot \mu g}} \dots \dots \dots 5)$$

Einer Anregung der Schriftleitung folgend will ich noch zahlenmäßig nachweisen, daß in der Tat das in 2) auftretende Störungsmitglied

$$\delta = \mu \rho^2 + j \frac{\rho^2}{r^2} \dots \dots \dots 6)$$

sich in den Versuchsergebnissen nicht bemerkbar machen kann.

a) Phoronomische Versuche (MÜLLER, Technik S. 55). Diese sollen dartun, daß die Bewegung eines Ringpunktes gleichmäßig beschleunigt ist. Dies geschieht durch Messung der nach gewissen gleichmäßig wachsenden Zeitabschnitten zurückgelegten Wege und der nach diesen Zeitabschnitten erzielten Endgeschwindigkeiten. Da auch bei voller Berücksichtigung von  $\delta$  die Bewegung nach 2) sich als gleichmäßig beschleunigt herausstellen muß, so ist klar, daß in diesen Versuchsreihen ein störender Einfluß des Gliedes  $\delta$  nicht auftreten kann. Sogar bei beliebig großem  $\delta$  bleibt ja die Bewegung gleichmäßig beschleunigt.

b) Dynamische Versuche. Zur Berechnung der Störungsgröße

$$\varepsilon = j \frac{\rho^2}{r^2}$$

ist die Kenntnis des Trägheitsmomentes  $j$  der Rolle erforderlich. Nebenstehende Figur gibt in natürlicher Größe den Achsenschnitt der Rolle. Diese läßt sich als

Summe achsengleicher Zylinder auffassen. Das Trägheitsmoment eines homogenen geraden Kreiszylinders von der Masse  $m$  und dem Radius  $x$  in bezug auf seine Achse ist  $\frac{1}{2} m x^2$ . Demnach besitzt die Rolle das Trägheitsmoment  $j = \frac{1}{2} \Sigma m x^2$ . Da aber,  $x < r$ , so folgt:  $j < \frac{1}{2} r^2 \Sigma m$ , also:

$$\varepsilon < \frac{1}{2} \rho^2 \cdot \Sigma m \quad \dots \dots \dots 7)$$

$\Sigma m$  ist die Masse des ganzen Rollenkörpers. Es ergab sich für sie der Wert 18,52. Da ferner  $\rho = 1$  ist, so ist  $\varepsilon < 9,3$ .

Diese einfache Eingrenzung von  $\varepsilon$ , die weiter nichts als die Feststellung des Rollengewichts erfordert, genügt für unsere Zwecke. Es ist demnach

$$\delta < \mu + 9,3 \quad \dots \dots \dots 8)$$

Der in  $t$  sec von einem Punkt des Ringes zurückgelegte Weg ist mit Berücksichtigung von  $\delta$ :

$$s = \frac{1}{2} \frac{R \rho \mu g}{J + \delta} \cdot t^2 \quad \dots \dots \dots 9)$$

und ohne Berücksichtigung von  $\delta$ :

$$s' = \frac{1}{2} \frac{R \rho \mu g}{J} \cdot t^2 \quad \dots \dots \dots 10)$$

Daraus folgt  $\frac{s' - s}{s} = \frac{\delta}{J}$  und somit nach 8):

$$s' - s < \frac{\mu + 9,3}{J} \cdot s \quad \dots \dots \dots I)$$

Diese Formel gibt für beliebige  $\mu$  und  $J$  eine obere Grenze für die Abweichung an, die zwischen dem beobachteten und dem nach der Annäherungsformel 10) berechneten Wege zufolge der Vernachlässigung von  $\delta$  auftritt.

Entsprechend bildet man für die Messung der Zeit, die zu einem vorgegebenen Weg  $s$  gehört, aus der genauen Formel

$$t = \sqrt{\frac{2s(J + \delta)}{R \rho \mu g}}$$

und der Annäherungsformel

$$t' = \sqrt{\frac{2sJ}{R \rho \mu g}}$$

den Ausdruck

$$\frac{t - t'}{t} = \frac{\sqrt{J + \delta} - \sqrt{J}}{\sqrt{J + \delta}} = \frac{\delta}{\sqrt{J + \delta} \cdot (\sqrt{J + \delta} + \sqrt{J})}$$

Setzt man  $\sqrt{J}$  statt  $\sqrt{J + \delta}$ , so wird

$$\frac{t - t'}{t} < \frac{\delta}{2J}$$

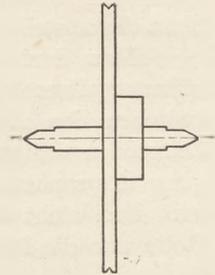
und somit

$$t - t' < \frac{\mu + 9,3}{2J} \cdot t \quad \dots \dots \dots II)$$

Läßt man z. B. auf den großen Ring ( $J = 125\,000$ ) 1 Gramm wirken, so erhält man nach I) und II) für einen Umlauf ( $s = 50 \pi$  cm,  $t = 40$  sec):  $s' - s < 0,02$  cm,  $t - t' < 0,002$  sec, und für vier Umläufe ( $s = 200 \pi$  cm,  $t = 80$  sec):  $s' - s < 0,06$  cm,  $t - t' < 0,004$  sec.

Nimmt man 10 Gramm statt 1 Gramm, so wird für einen Umlauf:  $s' - s < 0,03$  cm, für vier Umläufe  $s' - s < 0,1$  cm.

Die Abweichungen werden natürlich am größten ausfallen, wenn  $\mu$ ,  $s$ ,  $t$  möglichst groß,  $J$  möglichst klein gewählt wird. Läßt man z. B. den kleinen Aluminiumring



der von allen Versuchskörpern das geringste Trägheitsmoment ( $J \sim 4880$ ) besitzt, unter der Einwirkung von 10 Gramm vier Umläufe ( $s = 100 \pi$  cm,  $t = 5$  sec) ausführen, so wird  $s' - s < 1,3$  cm und  $t - t' < 0,01$  sec. Würde selbst die Abweichung 1,3 cm für  $s' - s$  erreicht, so wäre sie wegen der großen Geschwindigkeit des Ringes nicht festzustellen.

Man darf also bei allen in Betracht kommenden Berechnungen von den Annäherungsformeln 5) und 10) ausgehen, ohne daß deshalb merkliche Differenzen zwischen den theoretisch berechneten und den experimentell gefundenen Weg- und Zeitgrößen auftreten können. Zugleich ist damit dargetan, daß die Winkelbeschleunigung  $\dot{\omega}$  proportional zum Antriebsgewicht  $\mu$  und zum reziproken Trägheitsmoment  $J$  ist. Man sieht übrigens leicht aus Formel 2), daß ein großes Trägheitsmoment der Rolle nur die letztere Proportionalität ungünstig, die erstere sogar günstig beeinflusst.

## Nachweis der Fallgesetze mittels einer freifallenden photographischen Platte.

Von Dr. F. Schüt in Berlin (Arndt-Realschule).

Herr FR. C. G. MÜLLER hat in dieser Zeitschrift (28, 15) mitgeteilt, wie auf einer freifallenden Platte durch eine mit Schreibstift versehene elektromagnetisch erregte Stimmgabel eine Fallkurve aufgezeichnet werden kann. Das schöne Verfahren bietet gegenüber den sonst üblichen Methoden der Demonstration des Wegzeitgesetzes den großen Vorteil, daß wirklich der ungehemmte freie Fall selbst untersucht und das wichtige Gesetz auf eine recht durchsichtige und eindringliche Weise dargelegt wird. Außerdem kann  $g$  auf dem angegebenen Wege mit großer Genauigkeit bestimmt werden. Im folgenden soll gezeigt werden, wie sich das Verfahren bei Verwendung einer gewöhnlichen Stimmgabel und einer freifallenden photographischen Platte mit einfachen Hilfsmitteln und ohne größere experimentelle Schwierigkeiten gestalten läßt. Der Umstand, daß dabei die Versuche im verdunkelten Zimmer angestellt werden müssen, fällt nicht sehr ins Gewicht, da der eigentliche Fallversuch selbst nur wenige Sekunden dauert, und der Experimentiertisch während dieser Zeit durch eine rote Dunkelkammerlampe ausreichend erhellt werden kann.

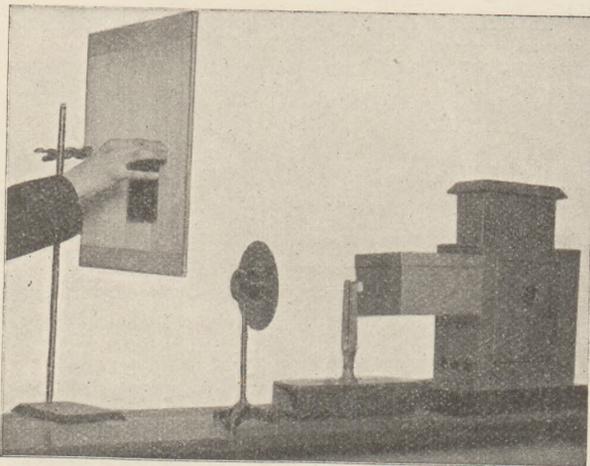


Fig. 1.

Den einfachen und übersichtlichen Apparatenaufbau zeigt Fig. 1. An dem einen Zinkenende einer Stimmgabel ist mit etwas Wachs ein mit einer sehr feinen Durchbohrung versehenes Kartonblättchen befestigt, das durch die Bogenlampe des Projektionsapparats unter Verwendung der Kondensorlinse intensiv beleuchtet wird. Ein Pappkasten dient zum Abblenden des Nebenlichts, das bei der Ausführung des Versuchs stören würde. Durch die Projektionslinse wird von der Öffnung im Kartonblättchen ein reelles Bild entworfen, das etwa 2 cm hinter und dicht unter einem vertikal eingespannten Reißbrett liegt. Die photographische Platte wird bei Aus-

führung des Versuches mit Daumen und Mittelfinger so gehalten, daß sie leicht senkrecht abfallen kann und beim Fall das Bild der Öffnung trifft. Die Hand findet dabei Stütze und Orientierung an dem Reißbrett, das zugleich als Lichtschirm dient. Die Stimmgabel läßt man von einem Schüler anstreichen. Der Versuch wird abgeändert durch Anwendung verschiedener Fallhöhen und verschiedene Belastung der photographischen Platte. Kleine Gewichte kann man mittels eines geschlitzten Korks anhängen. Empfehlenswert ist auch eine Aufnahme bei nicht erregter Stimmgabel. Selbstverständlich dient ein und dieselbe Platte zur Aufnahme mehrerer Schwingungskurven.

Um Schwingungskurven von Beginn des freien Falles an zu erhalten, habe ich die in Figur 2 dargestellte Fallvorrichtung konstruiert. Sie gibt dem aus der Projektionslinse austretenden Lichtbündel erst kurz vor Beginn des Falles den Weg frei — bei längerer vorheriger Lichteinwirkung würde der Kurvenanfang nicht deutlich ausfallen — und bewirkt, daß die photographische Platte genau senkrecht und ohne Drehung abfällt. Die Platte steckt in einem geschlitzten Kork, der auf einem Holzschieber festgeschraubt ist. Zieht man diesen mittels einer Schnur nach oben, so stößt der obere

Rand der photographischen Platte gegen zwei Metallstäbe, die durch Öffnungen des Schiebers ragen. Die Platte kommt dadurch zur Ruhe, nur der Schieber bewegt sich weiter und gibt nach dem Bruchteil einer Sekunde die Platte zum Falle frei. Die Länge des Schiebers ist so gewählt, daß er von der photogra-

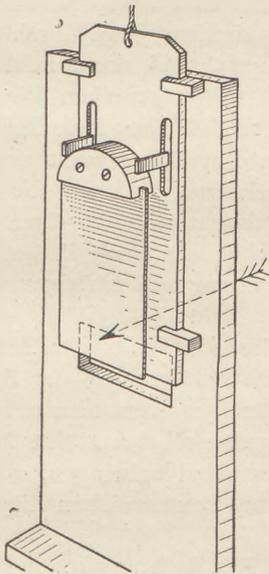


Fig. 2.

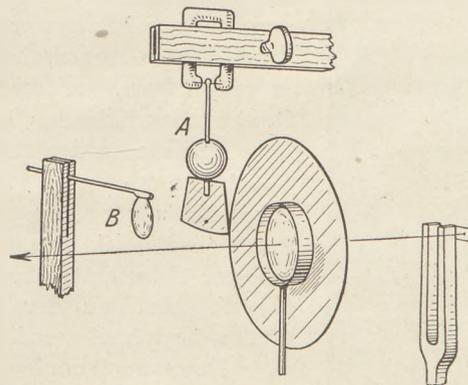


Fig. 3.

phischen Platte nur, um wenige Millimeter überragt wird. Stellt man das die Schwingungskurve erzeugende Bildchen so ein, daß es noch auf dem Schieber liegt und zwar etwa 2 mm von dem unteren Rande entfernt, wenn die photographische Platte gerade gegen die Metallstäbe stößt, so wird die Platte selbst erst unmittelbar vor Beginn des freien Falles belichtet werden. Ein rechteckiger Ausschnitt in der Vorderwand der ganzen Vorrichtung ermöglicht den Durchgang des aus der Projektionslinse austretenden Lichtbündels. Die ganze Fallvorrichtung wird mit der Wasserwaage so ausgerichtet, daß die Platte beim Anstoßen gegen die Stützen genau senkrecht hängt. Die Unterseite des Korks ist mit der Feile genau eben gearbeitet. Bei Ausführung des Versuches wird der Schieber zuerst sanft angezogen, bis man den Widerstand der Metallstäbe fühlt, und dann die Platte durch einen kräftigen Ruck aus dem Korken befreit. Der Versuch wird bei Anwendung verschiedener Belastungen mehrmals mit derselben photographischen Platte wiederholt.

Ich komme jetzt zur Verwertung der erhaltenen Schwingungskurven. Man projiziert mittels des Projektionsapparates zunächst nur eine Kurve auf den Wand-

schirm und überläßt die Schüler ganz dem starken Eindruck der überraschend schönen Zeichnung. Die vollendete Regelmäßigkeit des Linienzuges wird dem Schüler, der bislang nur die unbestimmte Vorstellung hatte, daß ein Körper zuerst langsam und dann schneller fällt, sogleich die Vermutung aufdrängen, daß hier irgendeine streng gesetzmäßige Beziehung zwischen den Fallwegen und Fallzeiten bestehe. Diese Gesetzmäßigkeit gilt es näher zu bestimmen! Zu dem Zwecke projiziere man mit Hilfe



Fig. 4.

einer zweiten Glastafel gleichzeitig mit der Kurve ein System paralleler wagerechter Geraden, deren Abstand gleichmäßig um denselben Betrag wächst. Der Schüler stellt durch Abzählen fest, daß zwischen je zwei Geraden die gleiche Zahl von Wellen liegt. Er erkennt mithin, daß die Wege in aufeinanderfolgenden gleichen Zeitabschnitten den gleichen Zuwachs aufweisen. Die bei Verwendung der Fallvorrichtung erhaltenen Schwingungskurven lehren auf demselben Wege die Beziehung zwischen den gesamten Fallwegen und den zugehörigen Zeiten:  $s = a \cdot t^2$ . Macht man nun die (einstweilen noch willkürliche) Annahme, daß die Geschwindigkeit  $v$  proportional der Zeit  $t$  wächst, und setzt man  $v = 2at$ , so kann man auf graphischem Wege durch Zeichnung der Geschwindigkeitskurve zeigen, daß dann in der Tat  $s = a \cdot t^2$  wird und der Wegzuwachs stets denselben Wert ( $2a$ ) hat. Jene Annahme, die ja besagt, daß der freie Fall eine gleichförmig beschleunigte Bewegung darstelle, erweist sich mithin als berechtigt. Platten mit mehreren Kurven, die durch verschiedene Belastungen zustande gekommen sind, zeigen weiter durch bloßen Augenschein eindringlicher, als lange Zahlenreihen es vermöchten, daß die Fallbeschleunigung unabhängig von dem Gewicht des fallenden Körpers ist.

Um die zu den Fallwegen gehörenden Zeiten ermitteln und  $g = 2a$  berechnen zu können, ist die Bestimmung der Schwingungszahl  $n$  der Stimmgabel nötig. Läßt man zu diesem Zwecke durch ein Pendel, dessen Schwingungsdauer bekannt ist, Zeichen auf der Schwingungskurve der Stimmgabel anbringen, so kann  $n$  nach Abzählen der zwischen drei Pendelzeichen liegenden Wellen berechnet werden.

Das etwa 9 cm lange Pendel (A, Fig. 3) ist zwischen Projektionslinse und photographischer Platte eingefügt. Seine Drehachse ist eine feine mit der Längsachse verlötete Nähnaedel, das Lager eine passend gebogene Glasröhre. Das Pendelgewicht trägt einen kleinen Kartonschirm, der in der Mitte dicht am unteren Rande eine feine Öffnung hat. Diese wird von dem oberen Teil des aus der Projektionslinse austretenden Lichtbündels hell beleuchtet und von der kleinen Sammellinse B, die mit Siegellack an einer Stricknaedel befestigt ist, reell abgebildet. Das Bild kann leicht mit dem die Schwingungskurve erzeugenden Bilde zur Deckung

gebracht werden. Die photographische Platte wird freihändig an der mit einer kleinen Öffnung versehenen Innenwand eines größeren Kastens entlang bewegt. Um für die Beleuchtung des Pendels die nötige Lichtmenge zu erhalten, wird der früher zur Ablendung benutzte Pappkasten fortgelassen.

Die Bestimmung von  $g$  soll an einem Beispiel (vgl. Fig. 4) erläutert werden. Die Ausmessung der Kurven erfolgte mit einem Millimetermaßstab, der mit zwei Kopierklammern auf der photographischen Platte befestigt war, unter Verwendung einer einfachen Lupe.  $n$  ergab sich zu 251,8. Als Zeitelement  $\Delta t$  wurde die Dauer

von 4 Stimmgabelschwingungen gewählt, also  $\Delta t = \frac{4}{251,8}$  sec. Die Fallwege  $\Delta s$  in den aufeinanderfolgenden Zeitelementen  $\Delta t$  betragen in mm: 1,3, 3,8, 6,2, 8,7, 11,1, 13,7, 16,1, 18,6, 21,0, 23,6, der Mittelwert der Wegzunahme 2,48 mm. Bei der gleichförmig beschleunigten Bewegungen stellen die „mittleren“ Geschwindigkeiten  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$  den wahren Wert der Geschwindigkeiten in den Zeitpunkten  $\frac{1}{2} \Delta t, \frac{3}{2} \Delta t \dots$  dar. Die Beschleunigung ist der Wegzuwachs in der Zeiteinheit, also

$$g = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = \frac{\Delta s_2 - \Delta s_1}{\Delta t^2}.$$

Bei Einführung des Mittelwerts 2,48 wird

$$g = \frac{2,48 \cdot 251,8^2}{10 \cdot 4^2} = 983 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2} \text{)}.$$

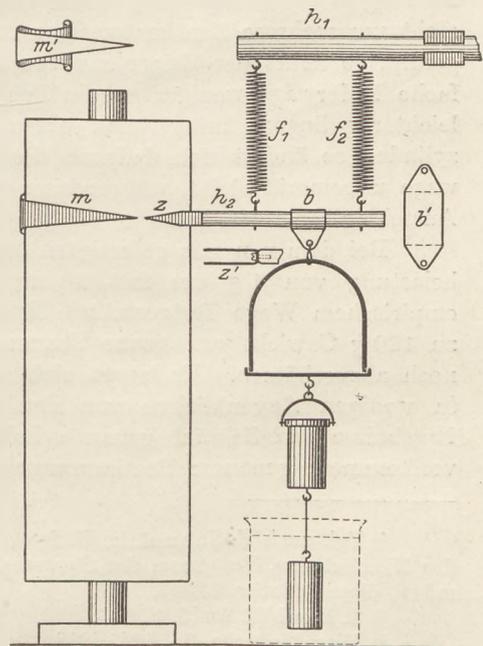
## Zum experimentellen Nachweis des Archimedischen Gesetzes.

Von

Dr. Karl Rosenberg, k. k. Hofrat und Landesschulinspektor in Graz.

Das Archimedische Gesetz vom Auftriebe eines in eine Flüssigkeit eingetauchten Körpers wird im elementaren Unterrichte gewöhnlich durch den bekannten Versuch mit Hohlzylinder und Vollzylinder an der Wage bestätigt. Schon der Umstand, daß man gerade für einen zylindrischen (prismatischen) Körper dabei die Erscheinung des Auftriebes durch eine höchst einfache rechnerische Betrachtung verfolgen und erklären kann, läßt den Versuch willkommen erscheinen. Allerdings wäre es aber sehr gewagt, aus diesem einzigen Beispiele das so wichtige Gesetz erschließen zu wollen. Es ist daher ein sehr beherzigenswerter Wink, den Dr. FIEDR. C. G. MÜLLER gibt, indem er empfiehlt, den Versuch „nicht bloß bei vertikaler, sondern auch bei schräger und bei wagrechter Lage des Zylinders“ anzustellen und später „auch mit Körpern von unregelmäßiger Gestalt“ zu wiederholen<sup>2)</sup>. In ungekünstelter Weise würde sich daran die geistreiche Erklärung Stevins anschließen lassen.

Für alle derartigen Versuche empfiehlt Dr. FRIEDR. C. G. MÜLLER a. a. O. in allen Fällen, bei denen es nicht auf größere Genauigkeit ankommt, die Verwendung einer Federwage an Stelle einer Hebelwage. Nicht allein die viel bessere Übersichtlichkeit des Versuches sowie seine leichtere und raschere Ausführung



<sup>1)</sup> Die Auswertung der Kurven kann natürlich auch auf anderen Wegen erfolgen. Bei dem sinnreichen Verfahren, das Herr FR. C. G. MÜLLER in dem eingangs erwähnten mir erst nachträglich bekannt gewordenen Aufsätze angibt, dürften wohl noch genauere Resultate zu erwarten sein. Doch bin ich zur Zeit, im Heeresdienst stehend, nicht in der Lage eine Auswertung dieser Art vornehmen zu können.

<sup>2)</sup> Technik d. phys. Unterrichts, S. 103 bis 104.

sprechen dafür, sondern auch didaktische Gesichtspunkte; für die dabei auszuführende „Kraftmessung“ ist die Federwage der geeigneterer Apparat<sup>1)</sup>.

Für einen derartigen Versuch, den ich in meinem Experimentierbuche beschrieben habe<sup>2)</sup>, verwende ich in letzterer Zeit mit besonderem Vorteile eine „Zweifederwage“<sup>3)</sup>, die eine Vereinfachung des von BRUNO KOLBE beschriebenen schönen Apparates<sup>3)</sup> ist und mit geringen Unkosten vom Fachlehrer selbst hergestellt werden kann.  $h_1$  und  $h_2$  sind zwei Holzstäbe, von denen der erste in der Klammer eines Bunsenstativs festgeklemmt wird. Beide Stäbe erscheinen durch zwei Spiralfedern  $f_1$  und  $f_2$  verbunden (je 100 Windungen aus 0,5 mm starkem harten Stahldrahte bei einem Windungsdurchmesser von etwa 1 cm). Da diese beiden Federn sich schwerlich in genau gleicher Weise ausdehnen dürften, erfolgt die Aufhängung der aus einem Drahtbügel und einem Blechstücke zusammengelöteten Wagschale an einem rund um den Holzstab  $h_1$  gebogenem Blechstückchen  $b$  ( $b'$  zeigt seine Form vor der Biegung); dasselbe wird so lange verschoben, bis der Holzstab  $h_2$  sich bei jeder Belastung in wagrechter Lage einstellt. Am vorderen Ende von  $h_2$  ist ein Zeiger  $z$  befestigt, der aus dünnem Bleche  $\square$  förmig gebogen wird ( $z'$  zeigt den Zeiger um  $90^\circ$  gedreht). Beide Zeigerspitzen fassen zwischen sich ein rechteckiges Blatt aus weißer Pappe, das in vertikaler Stellung an dem Stabe eines Bunsenstativs befestigt ist<sup>4)</sup>. Auf dem Pappestreifen kann eine Skala aufgezeichnet werden; für den in Rede stehenden Zweck genügt es übrigens — und ist es sogar vorzuziehen — die Anfangsstellung des Zeigers  $z$  durch eine federnde Marke  $m$  ( $m'$  zeigt ihre einfache Form) festzuhalten. Über die Ausführung des Versuches selbst ist sehr wenig zu sagen. Hohl und Vollzylinder werden mittels dünnen Drahtes so befestigt, daß der letztere in geringer Höhe über dem Experimentiertische schwebt. Wird nun ein mit Wasser gefülltes Becherglas darunter gesetzt, so hebt sich der Vollzylinder und die Spitze des Zeigers  $z$  steht um mehrere Zentimeter über der Marke  $m$ . Wird der Hohlzylinder mit Wasser gefüllt, so kehrt der Zeiger  $z$  genau in seine Anfangsstellung zurück. Da diese einfache Federwage weniger empfindlich ist als eine Hebelwage, wird der Versuch viel leichter gelingen; bringt man einen Tropfen zu viel oder zu wenig in den Hohlzylinder, so ändert sich dadurch die Belastung um etwa 0,05 g, was an der Federwage unbemerkt bleibt, während an der Hebelwage dadurch bereits ein beträchtlicher Ausschlag eintreten kann<sup>5)</sup>.

Bei dem von mir gefertigten Apparate strecken sich die Federn bei einer Mehrbelastung von 1 g um fast 2 mm; eine auf dem Pappestreifen gezeichnete (auf empirischem Wege festgestellte) Skala gestattet daher Wägungen von Körpern bis zu 120 g Gewicht auf ganze Gramm unmittelbar abzulesen und die Zehntelgramm noch abzuschätzen. Es lassen sich somit Bestimmungen des spezifischen Gewichtes in wenigen Augenblicken von den Schülern selbst durchführen, wobei man die Ergebnisse auf Zehntel genau erhalten kann. Für Unterrichtszwecke genügt dies vollkommen; genauere Bestimmungen gehören ins Schülerlaboratorium.

1) Vgl. auch E. Schusöik, Einige Apparate für den physik. Unterricht auf der Unterstufe der Mittelschulen, Programm der Staatsrealschule in Brünn 1900. — Ferner Prof. Akos Szathmári, diese Zeitschr. 5, 303, 1892.

2) 1. Band (3. Aufl.), S. 133.

3) Diese Zeitschr. 25, 144, 1912.

4) Am bequemsten wohl nach dem in meinem Experimentierbuche 1, 83, Fig. 29 angegebenen Verfahren, wodurch die Skala verschiebbar ist.

5) A. Weinhold, in dieser Zeitschr. 2, S. 35, 1888, gibt einen exakten Versuch hierfür an.

## Apparate zur Veranschaulichung der Messung des Sättigungsdruckes des Wasserdampfes.

Von  
Studienrat Dr. H. Böttger in Berlin.

Das statische Verfahren wird durch den in Fig. 1, das dynamische durch den in Fig. 2, das isotherme Verfahren durch den in Fig. 3 abgebildeten Apparat veranschaulicht.

1. Die Barometerröhre *A* (Fig. 1) von etwa 9 mm lichter Weite ist möglichst nahe an ihrem offenen Ende mittels des Gummipfropfens *C* in dem 900 mm langen Mantelrohr *B* befestigt, welches in der Nähe seines unteren Endes mit dem seitlichen Ausflußrohr *D* versehen ist. Dieses wird während des Versuches durch einen (nicht gezeichneten) Gummischlauch und Quetschhahn verschlossen. Die Röhre *B* wird durch ein kleines (ebenfalls nicht gezeichnetes) Drahtdreieck in ihrer vertikalen Lage gleich weit von den Wänden des Mantelrohres gehalten. Man kehrt das Mantelrohr mit der Barometerröhre zunächst um, füllt die letztere bis auf eine Länge von etwa 2 cm mit Quecksilber, sodann, nachdem die an der Wand anhaftenden Luftblasen entfernt sind,

vollständig mit ausgekochtem und erkaltem Wasser, verschließt sie mit dem Daumen und verfährt nunmehr wie beim Torricellischen Versuch. Alsdann füllt man das Mantelrohr mit Wasser und verschließt es durch den Pfropfen *E*, durch den das Thermometer *F* und die beiden rechtwinklig gebogenen Glasröhren *G* und *H* hindurchgeführt sind. Von ihnen reicht *G* bis in die Nähe des Pfropfens *C* und dient zum Einleiten des Dampfes von siedendem Wasser, durch den man das Wasser in *B* bis auf die an *F* abzulesende Versuchstemperatur erhitzt. Der vertikale Höhenunterschied zwischen der Quecksilberoberfläche in *A* und in einer nur Quecksilber enthaltenden Barometerröhre, die zusammen mit *A* in das Quecksilber der Schale taucht, mißt den Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei der Versuchstemperatur. Wird das Wasser in *B* bis zum Sieden erhitzt, so wird das Quecksilber aus *A* bis auf eine Säule von nur geringer Höhe verdrängt, woraus hervorgeht, daß der Sättigungsdruck des Wassers bei seinem Siedepunkt gleich dem Atmosphärendruck ist.

2. In Fig. 2 ist *A* ein 300 mm langes, 60 mm weites reagensglasähnliches Gefäß, welches zu  $\frac{2}{3}$  mit Wasser gefüllt ist und auf seinem Boden zur Vermeidung des Siedeverzugs eine Schicht Triergranaten enthält. Es kann auf einem Drahtnetz mit einer Einlage von Asbestpappe erhitzt werden und wird von der großen Klemme eines Universalstativs gehalten. Durch den Gummipfropfen *B* ist das Demonstrationsthermometer *C*, welches blau-

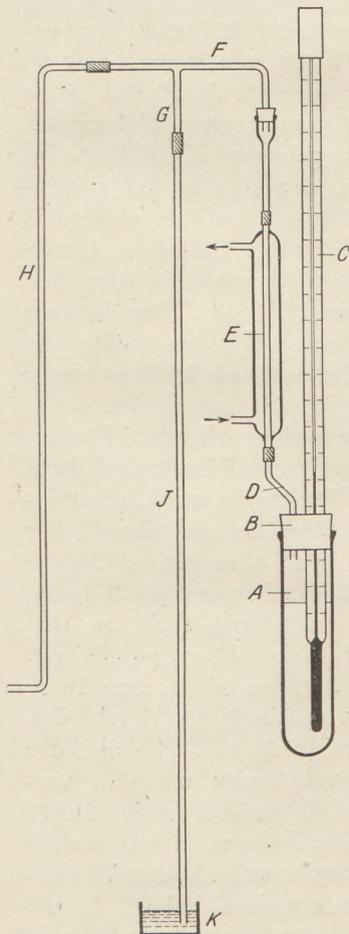


Fig. 2.

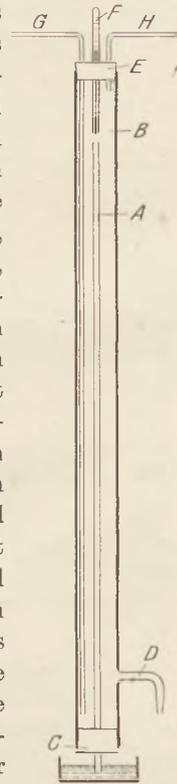


Fig. 1.

gefärbtes Toluol als Thermometerflüssigkeit enthält, und das verjüngte und entsprechend gebogene Kühlrohr *D* des Kühlers *E* hindurchgeführt; das obere Ende des Kühlrohres ist durch einen Gummipfropfen verschlossen, durch den das rechtwinkelig gebogene und an seinem horizontalen Teil mit dem vertikal nach unten gerichteten Ansatzrohr *G* versehene Glasrohr *F* hindurchgeführt ist. Der horizontale Schenkel von *F* kann durch das Rohr *H* mit der Wasserluftpumpe, das vertikale Ansatzrohr *G* durch die Glasröhre *J* mit der Schale *K* verbunden werden, die Quecksilber enthält und in der eine (in der Figur nicht gezeichnete) Barometerröhre steht. Man erhitzt das Wasser in *A* zunächst bis zum Sieden und reguliert die Geschwindigkeit des in *E* einströmenden Wassers so, daß kein Wasserdampf unverdichtet nach *F* gelangt. Dann entfernt man die Flamme und läßt das Wasser in *A* abkühlen (z. B. bis  $81^{\circ}$ ). Setzt man alsdann die Wasserluftpumpe in

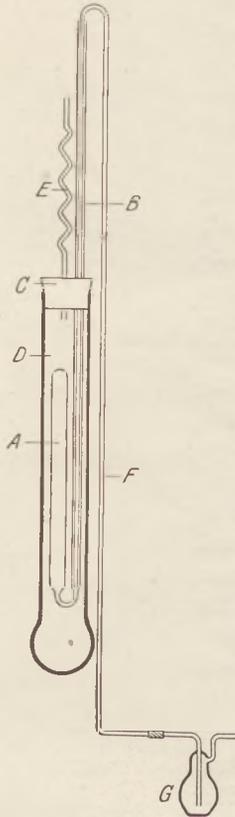


Fig. 3.

Betrieb, so steigt das Quecksilber in *J*, und bei einem bestimmten Verdünnungsgrad, den man aus dem vertikalen Höhenunterschied der Quecksilbersäulen in der Barometerröhre und in der Röhre *J* erkennt (er beträgt in dem gewählten Beispiel 38 cm), fängt das Wasser in *A* an lebhaft zu sieden, wobei das Thermometer und das Quecksilber in *J* innerhalb einer kurzen Zeit ihren Stand nicht ändern. Durch vorsichtiges Erwärmen von *A* kann man den Stand beider für längere Zeit unverändert erhalten.

3. Mit der etwa 300 mm langen, am oberen Ende verschlossenen Glasröhre *A* (Fig. 3), deren lichte Weite 20 mm beträgt, ist durch eine scharfe Biegung die 700 mm lange, halb so weite Glasröhre *B* verschmolzen, die ihrerseits durch den Kork *C* hindurchgeführt ist, welcher den 60 mm weiten Heizmantel *D* verschließt und das schraubenförmig gebogene Kondensationsrohr *E* trägt. In das Rohr *B* kann der kürzere, an seinem unteren Ende verjüngte Schenkel des Saughebers *F* so eingesetzt werden, daß, wenn die Biegung des Hebers auf dem Rande von *B* aufliegt, die untere Öffnung dieses Schenkels in derselben Höhe mit der Ansatzstelle von *B* an *A* liegt. Der längere Schenkel des Hebers ist horizontal umgebogen und führt zu dem längeren Rohr der Gaswaschflasche *G*, deren kürzeres Rohr mit der Wasserluftpumpe verbunden werden kann. Der Heizmantel *D* wird von der großen Klemme eines eisernen Stativs, das Rohr *B* noch besonders von einer kleinen Klemme gehalten, wobei der Boden von *D* auf einem Drahtnetz mit Asbesteinlage ruht und erhitzt werden kann. Man entfernt den Heber aus *B*, nimmt *C* aus *D* heraus, gießt in *B* eine geringe Menge

ausgekochtes Wasser und alsdann Quecksilber und entfernt durch passende Neigung der beiden miteinander verbundenen Röhren die in *A* enthaltene Luft, so daß außer einem Teil von *B* die Röhre *A* vollständig mit Quecksilber gefüllt ist, oberhalb dessen sich eine dünne Wasserschicht befindet. Als dann gießt man in *D* das als Heizflüssigkeit dienende Toluol (Sdp.  $110,3^{\circ}$ ), verschließt *D* durch den Pfropfen *C* und senkt den kürzeren Schenkel des Hebers in *B* ein. Sobald der Dampf des zum Sieden erhitzten Toluols die Röhre *A* vollständig umspült, verdampft ein Teil des in ihr enthaltenen Wassers und das Quecksilber steigt in *B*, bis der Niveauunterschied des in *B* und in *A* enthaltenen Quecksilbers (bei normalem Barometerstand) ungefähr 32 cm beträgt. Saugt man nunmehr mittels der Wasserluftpumpe an *G*, so daß das Quecksilber durch den Heber aus dem Rohr *B* in die Flasche *G* übertritt, so verdampft das gesamte in *A* enthaltene Wasser, der Wasser-

dampf entweicht zum größten Teil durch das in der Biegung enthaltene Quecksilber und  $A$  bleibt mit überhitztem Wasserdampf gefüllt, da seine Spannkraft bei  $110,3^{\circ}$  nur eine Atmosphäre beträgt. Nunmehr wird  $F$  entfernt und in  $B$  (am besten das in  $G$  befindliche warme) Quecksilber eingegossen. Der Wasserdampf verhält sich zunächst wie ein Gas, d. h. seine Spannkraft wächst in dem Maße, wie sein Volumen durch das in  $A$  eintretende Quecksilber verkleinert wird. Ist aber der Niveauunterschied der beiden Quecksilberoberflächen in  $A$  und  $B$  auf etwa 32 cm gewachsen, so findet beim weiteren Eingießen von Quecksilber keine Zunahme der Spannkraft mehr statt, und die Niveaudifferenz der Quecksilberoberflächen bleibt nunmehr unverändert. In  $A$  bemerkt man auf dem Quecksilberspiegel eine dünne Schicht flüssigen Wassers, deren Dicke in dem Maße zunimmt, wie man die Quecksilbermenge in  $A$  durch Eingießen des Metalls in  $B$  vergrößert, bis schließlich  $A$  vollständig mit Quecksilber gefüllt ist, oberhalb dessen sich flüssiges Wasser befindet.

## Über die elektrische Kapazität gerader Drähte.

Von

Kurt Speiermann in Berlin-Lichtenberg.

In dieser Zeitschrift (30, 249) hat FRIEDRICH C. G. MÜLLER einige Versuche über die Kapazität gerader Drähte mitgeteilt. Die Ergebnisse wurden schließlich mit den durch die theoretische Formel

$$c = \frac{l}{2 \log \text{nat} \frac{2l}{r}}$$

gelieferten Werten verglichen. In der Formel bedeutet  $l$  die Länge,  $r$  den Querschnittsradius des Drahtes,  $c$  die Kapazität. Eine bessere Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment gewährt die Formel

$$c = \frac{l}{2 \log \text{nat} \frac{l}{r}},$$

und das ist auch die von MAXWELL in dem Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus angegebene<sup>1)</sup>. Bei der theoretischen Ableitung dieser Formel wird der Draht als Rotationsellipsoid mit sehr großer Drehungsachse aufgefaßt und das Potential  $\varphi$ , das auf seiner Oberfläche konstanten Wert haben muß, aus der LAPLACEschen Gleichung  $\Delta\varphi = 0$  bestimmt.

Zweck der folgenden Zeilen ist es, eine direkte Ableitung der Formel zu geben. Wird der Draht von der Länge  $l$  und dem Querschnittsradius  $r$  mit der Elektrizitätsmenge  $E$  geladen, so ist, falls  $r$  dem  $l$  gegenüber hinreichend klein ist, die durchschnittliche Flächendichte  $h$  der Elektrizität

$$h = \frac{E}{2\pi r \cdot l}.$$

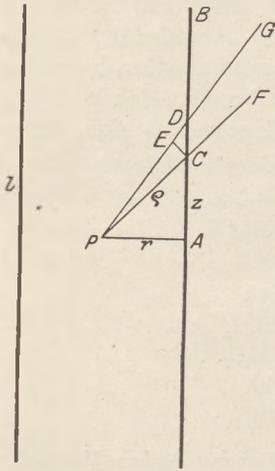
Nennt man nun das Potential des Drahtes in bezug auf den in der Mitte des Drahtes gelegenen Punkt  $P$   $\Phi$ , die Kapazität des Drahtes  $c$ , so ist

$$c = \frac{E}{\Phi} = \frac{2\pi r \cdot l \cdot h}{\Phi}.$$

<sup>1)</sup> Deutsche Ausgabe, S. 244.

<sup>2)</sup> Bei dieser Ableitung wird die Dichte  $h$  als konstant auf der Oberfläche des Drahtes angesehen.

Zur Berechnung von  $\Phi$  wurde in dem Achsenschnitt des Drahtes (siehe Figur) von  $P$  auf die Mantellinie  $AB$  des Drahtes das Lot  $PA$  gefällt und ein zylindrischer Streifen von der Breite  $CD = dz$  in der Entfernung  $z$  von  $A$  und  $q$  von  $P$  betrachtet. Das Potential  $d\Phi$  dieses Streifens in bezug auf  $P$  ist



$$d\Phi = \frac{2\pi r \cdot h \cdot dz}{q} = 2\pi r \cdot h \frac{dz}{\sqrt{r^2 + z^2}},$$

so daß

$$\Phi = 2\pi r h \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \frac{dz}{\sqrt{r^2 + z^2}} = 2\pi r h \left[ \log \text{nat} \left( z + \sqrt{r^2 + z^2} \right) \right]_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}}$$

$$= 2\pi r h \log \text{nat} \frac{\frac{l}{2} + \sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}}{-\frac{l}{2} + \sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}}.$$

Von dem Beitrag der kreisförmigen Endflächen des Drahtzylinders zu dem Wert des Potentials kann wegen der Kleinheit dieser Flächen abgesehen werden. Erweitert man den Bruch unter dem Logarithmus mit dem Zähler, so folgt

$$\Phi = 2\pi r \cdot h \log \text{nat} \left( \frac{\frac{l}{2} + \sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}}{r} \right)^2 = 4\pi r h \log \text{nat} \frac{\frac{l}{2} + \sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}}{r},$$

oder da  $r$  gegenüber  $l$  klein ist,

$$\Phi = 4\pi r h \log \text{nat} \frac{l}{r}.$$

Daraus aber ergibt sich

$$c = \frac{2\pi r \cdot l \cdot h}{\Phi} = \frac{l}{2 \log \text{nat} \frac{l}{r}}.$$

Will man die Integration durch eine Summation ersetzen, so führt vielleicht der folgende Weg am schnellsten zum Ziel.

Man betrachte zunächst die obere Hälfte des Drahtzylinders und denke sich den Mantel in  $n$  zylindrische Streifen so zerlegt, daß der Beitrag eines jeden Streifens zum Potential  $\varphi$  des halben Zylinders in bezug auf den Punkt  $P$  der gleiche ist.  $CD$  sei die Breite eines solchen Streifens, dann ist also

$$\frac{\varphi}{n} = 2\pi r \cdot h \cdot \frac{CD}{PC}.$$

Trägt man  $PC$  auf  $PD$  von  $P$  aus bis  $E$  ab und zieht  $EC$ , so folgt aus der Ähnlichkeit der Dreiecke  $CED$  und  $CAP$

$$DE:DC = CA:PC$$

oder

$$(DE + DC):(CA + PC) = DC:PC,$$

d. h.

$$\frac{\varphi}{n} = 2\pi r h \cdot \frac{DE + DC}{CA + PC}.$$

Verlängert man  $PC$  über  $C$  um  $CA$  bis  $F$ ,  $PD$  um  $DA$  über  $D$  bis  $G$  und bezeichnet die Summen der Strecken  $CA + PC$  mit  $s_i$ ,  $DA + PD$  mit  $s_{i+1}$  und entsprechend für die  $CD$  vorhergehenden und nachfolgenden zylindrischen Streifen, so ist

$$DE + DC = PG - PF = s_{i+1} - s_i$$

und daher, falls  $\frac{\varphi}{2\pi r h} = x$  gesetzt wird,

$$\frac{x}{n} = \frac{s_{i+1} - s_i}{s_i},$$

$$s_{i+1} = s_i \left(1 + \frac{x}{n}\right).$$

Für  $i = 0, 1, 2, \dots, n-1$  folgt  $s_1 = s_0 \left(1 + \frac{x}{n}\right)$ ,

$$s_2 = s_1 \left(1 + \frac{x}{n}\right) = s_0 \left(1 + \frac{x}{n}\right)^2,$$

$$s_n = s_0 \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n,$$

also, da  $s_n = BA + BP$  annähernd  $2BA = l$  und  $s_0 = AP = r$  ist,

$$l = r \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n,$$

woraus für  $\lim n = \infty$   $l = r \cdot e^x$ ,

$$x = \log \text{nat} \frac{l}{r},$$

$$\varphi = 2\pi r h \cdot \log \text{nat} \frac{l}{r},$$

und damit das Potential für den ganzen Zylinder

$$\Phi = 2\varphi = 4\pi r h \cdot \log \text{nat} \frac{l}{r}.$$

Die Gesamtladung  $E = 2\pi r \cdot l \cdot h$  ist  $c \cdot \Phi$ , so daß sich für die Kapazität  $c$  ergibt

$$c = \frac{E}{\Phi} = \frac{l}{2 \log \text{nat} \frac{l}{r}}.$$

Berechnet man nach dieser Formel für Drähte vom Querschnittsradius  $r = 0,3$  mm die Kapazitäten, so erhält man bei den Längen

$l = 100$	$50$	$33,3$	$25$	$12,5$ cm
$c = 6,16$	$3,37$	$2,28$	$1,86$	$1,04$ cm

gegenüber den von FR. C. G. Müller gefundenen Werten

$$c = 6,47 \quad 3,46 \quad 2,34 \quad 1,80 \quad 0,97 \text{ cm.}$$

Für Drähte von 50 cm Länge und einem Querschnittsradius liefert die Formel

bei $r = 2,5$	$1$	$0,6$	$0,3$	$0,1$	$0,05$	$0,025$ mm
$c = 4,72$	$4,02$	$3,72$	$3,37$	$2,94$	$2,71$	$2,52$ cm

gegenüber den experimentell bestimmten Werten

$$c = 4,72 \quad 4,15 \quad 3,88 \quad 3,46 \quad 2,93 \quad 2,86 \quad 2,82 \text{ cm,}$$

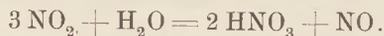
also wiederum in guter Übereinstimmung.

## Über die Verbrennung des Ammoniaks mit unzureichenden Sauerstoffmengen.

Von Dr. F. Raschig in Ludwigshafen a. Rh.

Die Verbrennung des Ammoniaks bei Sauerstoffüberschuß ist ein heutzutage bei uns an vielen Orten und in allergrößtem Maßstabe durchgeführter Vorgang. Alle Welt weiß, daß mit Hilfe dieses Verfahrens die ungeheuren Mengen von Salpeter und Salpetersäure erzeugt werden, die unsere Kriegsführung erfordert. Glücklicherweise war auch zur Zeit des Kriegsbeginnes die HABERSche Synthese des Ammoniaks aus Stickstoff und Wasserstoff durch BOSCH schon technisch ausführbar gestaltet worden und hatte bereits einen solchen Grad von Zuverlässigkeit erreicht, daß es nur noch eine Frage der aufzuwendenden Mittel war, wieviel Ammoniak Deutschland herstellen wollte und daß man sicher war, innerhalb einer nicht zu langen Zeit jede gewünschte Ammoniakmenge liefern zu können.

Über die chemische Seite dieser Ammoniakverbrennung herrscht aber keineswegs Klarheit. Man weiß wohl, daß dabei der Wasserstoff des Ammoniaks vollständig in Wasser übergeht und daß dabei aus dem Stickstoff eine gasförmige Substanz entsteht, die in wasserberieselten Türmen verdünnte Salpetersäure liefert. Die Natur dieser Substanz ist uns aber nicht bekannt. Die landläufige Ansicht, es handle sich hier um Stickoxyd, ist meines Erachtens falsch, sicher aber ist sie unbewiesen; denn noch niemand hat dieses angebliche Stickoxyd auffangen und untersuchen können. Eine solche Untersuchung würde auch sehr großen Schwierigkeiten begegnen, da stets Sauerstoffüberschüsse in den Verbrennungsprodukten des Ammoniaks vorhanden sind und sein müssen, wenn man nicht Gefahr laufen will, daß Stickstoff unverbrannt bleibt und im wertlosen elementaren Zustand verloren geht. Und mit Sauerstoff geht bekanntlich das farblose Stickoxyd sehr schnell in die bekannten gelbrot gefärbten nitrosen Gase über, die nun die Eigenschaft haben, in Berührung mit Wasser sich in Salpetersäure und Stickoxyd zu spalten



Was man also bei der Untersuchung finden wird, das werden immer nitrose Gase sein. Ob aber diese nitrosen Gase direkt bei der Ammoniak-Verbrennung entstehen oder erst hinterher durch Weiteroxydation zuerst entstehenden Stickoxyds, das ist nicht festgestellt. Für die praktische Ausnützung des Verfahrens ist diese Frage auch nebensächlich; die Hauptsache ist, daß aus dem Stickstoff des Ammoniaks fast quantitativ nitrose Gase entstehen, die man nach obiger Gleichung in Salpetersäure überführt; das dabei nach derselben Gleichung entstehende Stickoxyd oxydiert sich erneut zu Nitrose, die wiederum durch Wasser gespalten wird, und so verläuft der Prozeß fort, bis schließlich aller Stickstoff in Gestalt von Salpetersäure nutzbar gemacht worden ist.

Es ist vorhin schon gesagt worden, daß bei Sauerstoffmangel elementarer Stickstoff entsteht. In der Tat ist die über diese Reaktion verbreitete Ansicht wohl die, daß sie nach der Gleichung:



verläuft. Auch mein ehemaliger Lehrer, Dr. FRIEDRICH C. G. MÜLLER, der in dieser Zeitschrift 1913, Seite 169 einen einfachen Apparat beschreibt, mit dem man solche Verbrennung leicht vorführen kann, war dieser Ansicht und richtete den Apparat so ein, daß man den verschwundenen Sauerstoff und den gebildeten Stickstoff messen konnte. Er erwartete auf 3 Volumen verschwundenen Sauerstoffs 2 Volumen gebildeten Stickstoff. Zu seinem Erstaunen bekam er aber über 4 Volumen eines Gasgemisches, das zu etwas mehr als der Hälfte aus Stickstoff bestand. Der Rest war Wasserstoff.

Wie ist diese Wasserstoffbildung zu erklären? MÜLLER meint, daß sich unter dem Einfluß der hohen Flammentemperatur ein Teil des Ammoniaks in seine Elemente spalte und daß die Spaltungsprodukte Stickstoff und Wasserstoff sich dem durch Verbrennung entstandenen Stickstoff hinzufügen. Wenn neben 1 Vol. verbrannten Ammoniaks noch 0,3 Vol. dissoziieren, so entstände ein Gasgemenge von 59 0/0 N<sub>2</sub> und 41 0/0 H<sub>2</sub>, was ungefähr dem Analysenbefund entspricht.

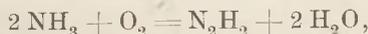
Das ist richtig. Für dieses Beispiel errechnet sich ein Sauerstoffverbrauch von 0,75 Vol. und eine erzeugte Gasmenge von 0,65 Vol. N<sub>2</sub> und 0,45 Vol. H<sub>2</sub>, zusammen also 1,1 Vol. Gasgemisch. Und ungefähr soviel hat MÜLLER auch erhalten.

Wenn aber wirklich unter den gedachten Umständen sich ein so großer Teil des Ammoniaks in Stickstoff und Wasserstoff spaltet, so sollte man eine gleiche Zersetzung auch erwarten müssen in dem Falle, daß Ammoniak mit Sauerstoffüberschuß verbrennt. Das ist aber, wenn überhaupt, so nur in sehr kleinem Maße der Fall; denn bei dieser Ammoniakverbrennung erhält man Salpetersäure-Ausbeuten, die 90 0/0 und darüber von den berechneten betragen. Es lag daher Anlaß vor, nach anderen Erklärungen für das von MÜLLER beobachtete Auftreten von Wasserstoff zu suchen.

Eine solche Erklärung wäre in der Annahme zu finden, daß die Ammoniakverbrennung bei Sauerstoffmangel nicht nach der recht verwickelten Gleichung



erfolgt, die sieben Moleküle miteinander in Reaktion treten läßt und daher schon von vornherein wenig innere Wahrscheinlichkeit besitzt, sondern nach der viel einfacheren

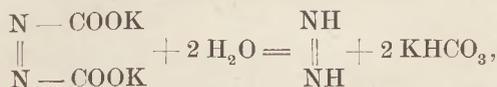


bei der nur drei Moleküle aufeinander wirken. Nach dieser Gleichung würde das hypothetische Diimid NH—NH entstehen, ein bisher unbekannter Körper, dessen Existenz aber nicht undenkbar ist, da man in den Azoverbindungen der organischen Chemie zahllose Abkömmlinge von ihm kennt.

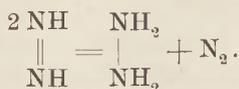
Auf zwei verschiedenen Wegen hat man schon gesucht zu Diimid zu gelangen. THIELE (*Liebigs Annalen* 271, 127) stellte einen einfachen Abkömmling dar, das azodicarbonsaure Kalium



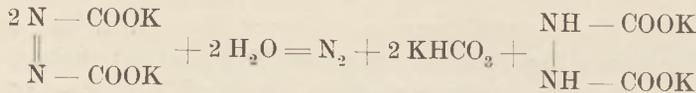
ein lebhaft gelb gefärbtes Salz; aber er versuchte vergebens daraus Diimid zu erhalten. Die gelbe wässrige Lösung dieses Salzes entfärbte sich unter Zersetzung schon nach wenigen Minuten, wobei genau der halbe Stickstoffgehalt als Gas entwich. Die rückbleibende Lösung lieferte beim Ansäuern Kohlensäure, enthielt also anscheinend Kaliumcarbonat, und wies dann die andere Hälfte des Stickstoffs als Hydrazin auf. THIELE nahm daher an, daß azodicarbonsaures Kalium beim Lösen in Wasser sich zwar in Diimid und Bicarbonat spalte:



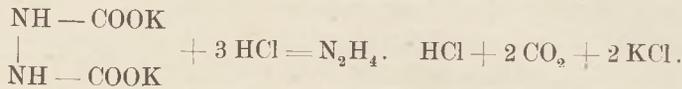
und Hydrazin zusammentreten:



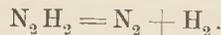
Es ist aber auch eine andere Erklärung seiner Beobachtungen möglich; es könnte nämlich zuerst aus azodicarbonsaurem Kalium Stickstoff, Bicarbonat und hydrazindicarbonsaures Kalium, ein gut bekanntes, farbloses Salz entstanden sein:



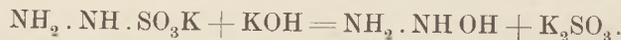
daß aber dann von dem unbeständigen Diimid sofort zwei Moleküle zu Stickstoff und erst beim Ausäuern spaltete dann dieses Salz Hydrazin ab:



Diese letztere Erklärungsweise scheint mir sogar wahrscheinlicher, da ich von einer anderen Seite aus dem Diimid nahe kam und aus meinen Versuchen glaube schließen zu sollen, daß Diimid nicht, wie THIELE meinte, sich in Hydrazin und Stickstoff umsetzt, sondern daß es glatt in Stickstoff und Wasserstoff zerfällt:



Ich erhitzte hydrazinsulfosaures Kalium mit Kalilauge. Nach anderen Beobachtungen, die mit ähnlichen Salzen gemacht sind, bei denen die Sulfogruppe an Stickstoff gebunden ist, wird beim Erwärmen mit Alkalien diese Gruppe als schwelligsaures Salz abgespalten; es war also Bildung eines Oxyhydrazins zu erwarten:

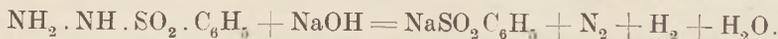


Man konnte aber ferner aus den Eigenschaften des Hydroxylamins und Hydrazins heraus vorhersagen, daß ein solches Oxyhydrazin nicht beständig sein, sondern sofort unter Wasserabspaltung in Diimid übergehen würde:



Der Versuch bestätigte die Vorhersage insofern, als bei etwa 150° die gewünschte Reaktion eintrat und die berechnete Menge Kaliumsulfid entstand. Aber an Stelle des erwarteten Diimids erhielt man ein Gasgemisch, das zur Hälfte aus Stickstoff und zur Hälfte aus Wasserstoff bestand, ebenfalls in berechneter Menge.

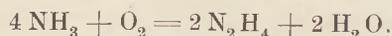
Derselbe Versuch, mit einem leichter spaltbaren Sulfoderivat des Hydrazins angestellt, nämlich mit Benzolsulfohydrazid (*Zeitschrift für angewandte Chemie* 1910. 972) lieferte schon bei einer Temperatur von 70—80° dasselbe Ergebnis; es entstanden die berechneten Mengen benzolsulfinsaures Salz, Stickstoff und Wasserstoff



Ich mußte also schließen, daß Diimid bei 70—80° in Gegenwart von Alkali nicht beständig ist, sondern sofort in Stickstoff und Wasserstoff zerfällt.

Nimmt man nun an, daß bei der Ammoniakverbrennung unter Sauerstoffmangel zuerst Diimid entsteht, daß dieses dann aber gleich in halb Stickstoff und halb Wasserstoff zerfällt und daß schließlich von dem letzteren noch ein kleiner Teil verbrennt, so wäre das MÜLLERSche Ergebnis, rund 60% Stickstoff und 40% Wasserstoff, erklärt.

Schließlich war noch eine dritte Art der Verbrennung des Ammoniahs denkbar, nämlich die zu Hydrazin:



Hier wirken fünf Moleküle aufeinander, immerhin zwei weniger als bei der Verbrennung des Ammoniahs zu Stickstoff, aber zwei mehr als bei der Oxydation zu Diimid.

Es war also mit vier Möglichkeiten zu rechnen, nämlich mit drei Arten der Oxydation und mit der vollständigen Dissoziation des Ammoniahs.

Bei Verbrennung und Spaltung der entstandenen Verbindungen

- |                                       |       |                        |     |                         |  |
|---------------------------------------|-------|------------------------|-----|-------------------------|--|
| 1. zu N <sub>2</sub>                  | geben | 4 Vol. NH <sub>3</sub> | mit | 3 Vol. O <sub>2</sub> : | 2 Vol. N <sub>2</sub>                        |
| 2. " NH—NH                            | "     | 2 " NH <sub>3</sub>    | "   | 1 " O <sub>2</sub> :    | 1 " N <sub>2</sub> und 1 Vol. H <sub>2</sub> |
| 3. " NH <sub>2</sub> —NH <sub>2</sub> | "     | 4 " NH <sub>3</sub>    | "   | 1 " O <sub>2</sub> :    | 2 " N <sub>2</sub> " 4 " H <sub>2</sub>      |
| 4. bei Dissoziation                   |       | 2 " NH <sub>3</sub>    |     | : 2 " N <sub>2</sub>    | " 3 " H <sub>2</sub> .                       |

Die Zersetzung ausschließlich nach 1. findet nicht statt, wie MÜLLERS Versuche gezeigt haben. Nach MÜLLERS Ansicht tritt außer der Oxydation nach 1. noch die Dissoziation nach 4. auf. Denkbar ist aber auch der Fall, daß die sehr komplizierte Reaktion 1 gar nicht statt hat, daß auch die Dissoziation nach 4 nicht eintritt, sondern daß die Verbrennung nach der einfacheren Reaktion 3 und nach der aller-einfachsten 2 verläuft. Bei Reaktion 2 waren gleiche Volumen Stickstoff und Ammoniak zu erwarten; MÜLLER fand rund 60% und 40%, was sich aber so erklären ließe, daß ein Teil des entstandenen Wasserstoffs weiter verbrennt. Bei Reaktion 3 war zu vermuten, daß das entstandene Hydrazin, ein viel leichter zersetzlicher Körper als es das Ammoniak ist, sich in der Flamme zu 1 Vol. Stickstoff und 2 Vol. Wasserstoff aufspalten würde. Zur Erklärung der von MÜLLER gefundenen 60% und 40% müßte man hier mit einer recht weitgehenden Nachverbrennung des Wasserstoffs rechnen. Es war aber auch möglich, daß man durch Kühlung der Flamme einen Teil des Hydrazins der Zersetzung entziehen und dann nachweisen konnte.

Es wurde daher der MÜLLERSche Apparat so abgeändert, daß man in einen Rundkolben durch ein bis in den Bauch reichendes Rohr Ammoniakgas aus einer Bombe flüssigen Ammoniake einströmen ließ. Um das Tempo zu beobachten, war eine Waschflasche mit starkem Ammoniakwasser vorgeschaltet. Durch eine andere Waschflasche ließ man Sauerstoff in etwa halb so starkem Strom eintreten; nach Entzündung des Sauerstoffstromes ließ man die Flamme nach unten gegen eine zentimeterhohe Wasserschicht schlagen, die den Boden des Kolbens bedeckte, und außerdem wurde die ganze Kolbenwand von außen durch einen starken Strom von kaltem Wasser gekühlt. Das entweichende ammoniakhaltige Gasgemisch ließ man unter einen Abzug treten. Nach etwa 10 Minuten wurde der Sauerstoff abgestellt und die farblose Flüssigkeit am Boden des Rundkolbens untersucht. Man kochte zunächst die Hauptmenge des darin enthaltenen Ammoniake fort. Als man dann zu einer Probe einige Tropfen Silberlösung setzte und schwach erwärmte, entstand ein kräftiger Niederschlag von metallischem Silber. Also war eine reduzierende Substanz entstanden. Eine andere Probe wurde mit Schwefelsäure schwach angesäuert und mit Benzaldehydwasser versetzt. Nach kurzer Zeit entstand ein gelblicher Niederschlag, der abfiltriert wurde und den Schmelzpunkt 94° aufwies. Es lag also Benzalazin C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>—CH—N=N—CH—C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> vor; die reduzierende Substanz war also Hydrazin.

Damit war nachgewiesen, daß mindestens ein Teil des Ammoniake nicht nach 1. zu Stickstoff und Wasser verbrennt, sondern daß die Reaktion wenigstens teilweise anders, nämlich nach 3. verläuft.

Ist aber das der Fall, so liegt die allgrößte Wahrscheinlichkeit vor, daß die Hauptreaktion nach 2. verläuft, also unter Verbrennung des Ammoniake zu Diimid. Versuche, diesen Körper zu fassen, indem man die Flamme besonders stark abkühlte und auf flüssiges Ammoniak brennen ließ, schlugen allerdings fehl. Es ließ sich keine Spur einer Substanz nachweisen, die auf Diimid deutete; offenbar zerfällt es sofort nach seiner Entstehung vollkommen in Stickstoff und Wasserstoff. Und das Verhältnis der gebildeten Gasgemische wurde auch bei gekühlter Flamme stets zu ungefähr 60% Stickstoff und 40% Wasserstoff gefunden; auch unter diesen Umständen verbrennt also ein Teil des entstandenen Wasserstoffs nachträglich.

Die Verbrennung des Ammoniake unter Sauerstoffmangel vollzieht sich also

zum wesentlichsten Teil unter der einfachsten Reaktionsformel (3 Mol.) zu Diimid, ein kleiner Teil verbrennt nach der etwas verwickelteren Gleichung (5 Mol.) zu Hydrazin, während die Verbrennung des Ammoniaks zu Stickstoff (7 Mol.) vermutlich gar nicht stattfindet. Aber das entstandene Diimid spaltet sich sofort in Stickstoff und Wasserstoff; und von letzterem verbrennt ein Teil, etwa ein Drittel, sofort zu Wasser.

## Das Plastilin in der Laboratoriumspraxis und als Veranschaulichungsmittel.

Von

Otto Ohmann in Berlin.

1. Geschichtliche und allgemeine Bemerkungen. Der unter dem Namen Plastilina in den achtziger Jahren bekannt gewordene, stets gleichmäßig plastische Knetstoff erfreute sich in Bildhauerkreisen sehr bald großer Beliebtheit. Denn er zeigte nicht die Härte und Sprödigkeit des Waxes und bedurfte nicht des lästigen Anfeuchtens wie der plastische Ton. Als ich das Plastilin — wir können uns wohl das italisierende *a* am Wortende schenken — damals im Atelier meines Bruders, des Bildhauers RICHARD OHMANN, näher kennen lernte, erkannte ich gleich seine Verwendbarkeit bei chemischen und physikalischen Arbeiten sowie zum Nachbilden von allerlei Formen im naturgeschichtlichen Unterricht. Bereits im Jahre 1889 wies ich in meinem Leitfaden der Chemie und Mineralogie empfehlend auf das Plastilin hin<sup>1)</sup> — und bald darauf machte ich es in einer Sitzung des Vereins zur Förderung des physikalischen Unterrichts in Berlin Physikern und Chemikern durch Verteilen eines Vorrates bekannt. Bezugsquelle war schon damals die Firma C. Typke, Berlin C 2, Breitestraße 25/26 (ursprünglich wurde der in Genua hergestellte Stoff von einer Gölitzer Firma geliefert); 1 kg kostete in Friedenszeiten 1,50 M.; die Firma liefert den Stoff in zwei Farben, grau und rot; beide sind anzuschaffen. Jetzt hat sich das Plastilin allenthalben durchgesetzt, doch wird seine vielseitige Verwendbarkeit noch bei weitem nicht genügend ausgenutzt.

2. Einige chemische und physikalische Eigenschaften des Plastilins. Plastilin ist im wesentlichen ein Gemenge aus Fett (Mineralölen), Schwefel, Ton und Erdfarben. Daher läßt sich geschmolzenes und weiter erhitztes Plastilin leicht entzünden und brennt ausgiebig mit stark leuchtender Flamme. Es hinterläßt beim Glühen einen unverbrennlichen Rückstand, der fast genau  $\frac{1}{3}$  des ganzen Gewichts beträgt. Gegen Wasser ist es ziemlich widerstandsfähig, von Alkohol wird es wenig angegriffen, dagegen zerfällt es bald in Schwefelkohlenstoff, der die löslichen Bestandteile aufnimmt; fast ebenso schnell wirkt Äther ein. Schon im Wasserbade schmilzt es zu einem dicklichen Brei.

Das spezifische Gewicht der untersuchten, 1916 gekauften Probe ergab sich zu 1,29. Die Viscosität ist beträchtlich; die durch Druck, bei kräftigem Kneten, zugeführte Energie hält sich längere Zeit darin und erhöht stark die Geschmeidigkeit und Weichheit. Hinsichtlich der Elektrizität ist Plastilin ein leidlich guter Isolator.

3. Zur mechanischen Behandlung des Plastilins. Wenn auch die Haupteigenschaft des Plastilins darin besteht, stets ziemlich leicht knetbar zu sein, so hat doch die Temperatur einigen Einfluß auf seine Härte. Stärker erkaltetes oder sonstwie etwas härter gewordenes Plastilin ist durch Kneten — mit Daumen und Zeigefinger beider Hände oder, für manche Zwecke besser, mit Daumen und zweitem

<sup>1)</sup> S. 163; 6. Aufl., S. 205 (1916, Berlin, Winkelmann & Söhne).

Glied des Zeigefingers der rechten Hand in der ausgehöhlten linken Mittelhand — bald zu erweichen. Walzige Formen verschiedenster Dicke lassen sich in der linken Mittelhandfläche durch Rollen (der vorher recht weich gekneteten) Masse mit dem zweiten bis vierten Finger (hauptsächlich den Nagelgliedern) der rechten Hand in wenigen Sekunden herstellen, ebenso fast vollendete Kugeln durch kreisende Bewegung der beiden inneren Handflächen. Kleinere Wülste lassen sich beim Experimentieren, besonders wenn man nur eine Hand frei hat, auch zwischen Daumen und Zeigefinger derselben Hand leicht herstellen. Für manche Zwecke ist ein Modellierholz oder -eisen nützlich, das von der genannten Firma ebenfalls geliefert wird. An Glas oder Metall haftende Spuren von Plastilin entfernt man am besten nicht rein mechanisch, sondern mittels einiger Tropfen Schwefelkohlenstoff (oder Äther) auf Fließpapier.

4. Das Plastilin in der Laboratoriumspraxis. In erster Linie stellt das Plastilin einen Kitt dar, der überall verwendet werden kann, wo es gilt, einen nicht ganz luftdicht geratenen Verschuß schnell nachträglich zu verbessern. Beispielsweise ist bei Gasentwicklungsflaschen (wenn Kautschukstopfen nicht zur Verfügung stehen) öfters zwischen Glasrohr und Korkdurchbohrung (a, Fig. 1) die wunde Stelle. Meist genügt es, einen dickeren Wulst aus Plastilin dort fest anzudrücken. Trockenheit der Stelle ist Bedingung, nötigenfalls stelle man sie durch Abtupfen mit Watte her. Zeigt sich danach noch Durchlässigkeit, ist etwa der Kork stark porös, so empfiehlt es sich, auch noch die Korkfläche mit Plastilin zu verkitten, gegebenenfalls noch einen größeren Wulst in die Rinne b zu bringen, so daß schließlich der ganze Kork eingebettet ist, was alles in kürzester Zeit ausführbar ist. Überhaupt wenn es eine Fuge zu verschließen gilt, z. B. wenn man an der Gasleitung eine schadhafte Stelle entdeckt, aus der kleine Mengen Leuchtgas ausströmen, so ist (vorübergehend) Plastilin zur Dichtung vollkommen ausreichend. Selbst zum Abdichten bei einigen Versuchen mit der Luftpumpe, z. B. bei den Magdeburger Halbkugeln, ist recht weichgeknetetes Plastilin dem sonst üblichen Talg vorzuziehen. In mancherlei besonderen Fällen, z. B. wenn an einem Laboratoriumsfenster der Glaserkitt schadhafte geworden ist, so daß die Scheibe bei Erschütterungen klirrt, genügt es, sie mit Plastilin wie mit Glaserkitt zu verkitten. Wer sich mit den Vorzügen des Stoffes vertraut gemacht hat, sieht erst, in wie vielerlei Fällen er zu ihm greifen kann. Man halte sich einen kleinen, fest angedrückten Vorrat von Plastilin in einer Schublade des Laboratoriumstisches stets zur Hand.

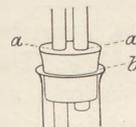


Fig. 1.

Oft genügt es, besonders bei engeren Rohrverschlüssen, falls Erwärmung nicht in Frage kommt, vom Kork ganz abzusehen und bloß Plastilin zu verwenden. Beispielsweise hatte ich zu den Versuchen, die die Autoxydation des Eisens im abgeschlossenen Luftraum betreffen (diese Zeitschr. 25, 362) als Verschuß zuerst immer nur eine Kugel aus Plastilin genommen, durch die die magnetisierte Stricknadel S der dortigen Figur (Fig. 2) gesteckt wurde; es gab stets einen ideal luftdichten Abschluß.

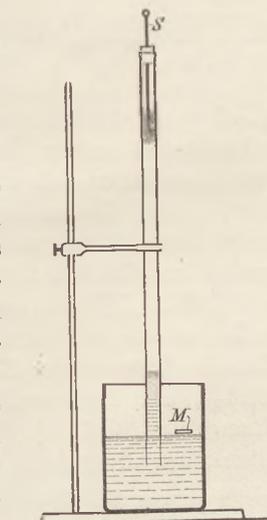


Fig. 2.

Oft ist es nötig, schnell an einem Glasgefäß eine Marke anzubringen, etwa um einen Flüssigkeitsstand oder dergleichen festzuhalten (M, Fig. 2). Hier genügt ein wenig (rotes) Plastilin, aus dem man einen kleinen Wulst formt (gemäß Nr. 3). Das sonst übliche, besser leuchtende gummierte Papier (Briefmarkenabschnitte) soll bei der Vorbereitung von Schauversuchen dadurch nicht verdrängt werden. Zuweilen ist auch ein größerer Zettel, eine Pappe oder dergleichen irgendwo anzubringen; vier kleine Plastilinkugeln in der Nähe

der vier Ecken angelegt und gegen die Unterlage festgedrückt, geben ausreichende Befestigung, wenn man Heftzwecken nicht verwenden kann.

Sowohl beim chemischen wie beim physikalischen Experimentieren gibt es öfters etwas schnell zu stabilisieren. Hierfür leistet ein größeres Stück Plastilin sehr gute Dienste, da es, fest umgelegt und kräftig angedrückt, ausgezeichnet haftet. Zuweilen ist auch nur ein schwacher Gegenhalt nötig, z. B. bei dem Gasleitungsrohr der Gaswanne, wenn dieses bereits auf dem Rand der Wanne aufliegt. Auch wenn es ein Prisma, einen Würfel oder dergleichen aufzukitten gibt, ist Plastilin am Platze.

Für mancherlei besondere Zwecke ist Plastilin noch verwendbar. So schlug ich es wegen seiner Brennbarkeit früher (*diese Zeitschr.* 10, 173) zur Entzündung der Uhrfeder in Sauerstoff (an Stelle des umständlich zu handhabenden Zündschwammes) vor, wobei das Plastilin durch glühende Stricknadel anzuregen war — eine Anordnung, die im ganzen seinerzeit auch von R. LÜPKE übernommen wurde (Lehrbuch 1902, S. 18) —; doch bin ich davon abgekommen (da gelegentlich das Plastilin abtropfte, ohne zu zünden) und verwende nur Eisenpulver am magnetisierten Ende der Uhrfeder (*diese Zeitschr.* 11, 228), zumal hierdurch der Grundsatz der Reinheit des Versuchs besser gewahrt wird.

5. Das Plastilin als Veranschaulichungsmittel. Wir arbeiten im allgemeinen noch viel zu sehr mit bloßen Begriffen und Worten. Wir verabsäumen meist die große Hilfe, die irgendeine Versinnlichung, zunächst nur mit einzelnen Fingern oder mit den ganzen Händen und Armen, zuweilen unter Zuhilfenahme einfachster, gerade zur Hand liegender Gegenstände, bietet. Reicht solches „Reden mit den Händen“<sup>1)</sup> nicht aus und hilft auch eine einfache Tafelzeichnung — bei der wir doch immer nur zweidimensional bleiben — nicht weiter, so wird man zu einfacheren Modellen oder sonstigen Verkörperungen greifen. In besonderem Maße

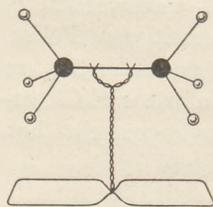


Fig. 3

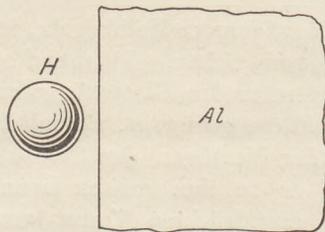


Fig. 4 (nat. Gr.).

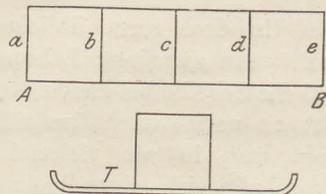


Fig. 5.

ist aber zu räumlicher Veranschaulichung das Plastilin geeignet. Wenn auch der Schwerpunkt seiner Verwertbarkeit im biologischen und erdkundlichen Unterricht liegt<sup>2)</sup>, so lassen sich doch auch im chemischen und physikalischen Unterricht allerlei Formen und Mechanismen schnell aus Plastilin bilden und läßt sich deren Wirkungsweise räumlich zeigen. So läßt sich bei der Herstellung von Atom- bzw. Molekülmodellen das Plastilin ganz vorzüglich verwenden unter Zuhilfenahme von sogen. Holzdraht. Hiervon war in dieser Zeitschrift (29, S. 65/66) schon des näheren die Rede; es sei aus jener Arbeit die Abbildung des Äthan-Moleküls, bei dem das aus Plastilin hergestellte Kohlenstoffatom die zwölfwache Masse des Wasserstoffatoms beträgt, zur Erinnerung noch einmal wiedergegeben (Fig. 3). Ergänzend sei hier hinzugefügt, daß ich für die 1 cm im Durchm. großen Wasserstoffkugeln statt Aluminiumpulver jetzt das viel glänzendere Blattaluminium<sup>3)</sup> verwende, das sich in einem Stück geeigneter Größe (*Al*) der Plastilinkugel *H* tadellos glatt anlegt (indem man diese Kugel noch einmal zwischen den Handflächen schwach rollt) (Fig. 4). —

<sup>1)</sup> Vgl. hierzu auch M. Oettli in der Zeitschr. „Aus der Natur“ 14, 100/103, 1917.

<sup>2)</sup> Vgl. hierzu W. B. Schmidt in Jahrgang 1 von „Natur und Schule“, 72/73, 1902.

<sup>3)</sup> Bezugsquelle „A. Rabuske, Blattmetalle“, Berlin W 30, Freisingerstraße 13.

Zur Veranschaulichung der Raumeinheit trifft man gelegentlich, sehr vereinzelt, ein aus dünnem Zinkblech hergestelltes ccm in den Sammlungen an. Man kann sie sich selbst herstellen, indem man aus Plastilin eine Platte von 1 mm Dicke bildet, aus dieser mit dem Messer einen Streifen von 1 cm Breite und etwas mehr als 4 cm Länge zurechtschneidet, diesen bei *b, c, e* (Fig. 5) mit dem Messer ein wenig einritz (Außenseite), dann nach innen umbiegt, beim Zusammentreffen von *a* und *e* zur Dichtung ein wenig mit der Messerspitze nachhilft und dieses Hohlprisma auf eine neue, am Rande tellerförmig aufwärts gebogene dickere Platte Plastilin *T* aufsetzt und von *A* bis *B* ebenso die Messerspitze zu Hilfe nimmt. Bringt man dies kleine Hohlgefäß auf die Wage, füllt es nach dem Abtariieren und nach Aufsetzen von 1 g als Gegengewicht mit kaltem Wasser aus einer kleinen Pipette, so kann man leicht auch die Gewichtseinheit ad oculos demonstrieren — ein Versuch, der mit Erstreckung auf das cdm schon im Rechenunterricht der Unterklassen gezeigt werden sollte, dessen gelegentliche Wiederholung aber selbst in der Prima noch sehr nützlich ist. — Stellt man drei Kugeln (von 2 bis 3 cm Durchm.) her und drückt einen Garnfaden, tangential beginnend, bis zur Mitte hindurch, so kann man in ein paar Minuten den bekannten Dreipendelapparat herstellen.

So kann man mit Plastilin noch manche Vorrichtung improvisieren und die verschiedensten Veranschaulichungen vornehmen. Etwas nachteilig bei längerem Hantieren mit Plastilin ist seine schwach klebende Eigenschaft; das starke Haften, für viele Zwecke ein Vorzug, wird bisweilen zur Last.

6. Plastilin und Talkum. Ein Kunstgriff bei der Verwendung des Plastilins. Bei einem der allgemeinen Chemie angehörenden Demonstrationsversuch, von dem später in einem besonderen Artikel die Rede sein soll, erwies sich die erwähnte klebende Eigenschaft des Plastilins als sehr störend. Um sie zu beseitigen, kam ich auf den Einfall, das bekannte Streupulver Talkum zu verwenden. Dieser Stoff bewährte sich vorzüglich. Ein schnell plattenförmig geknetetes Stückchen Plastilin, das man mit den in ausgeschüttetes Talkum getauchten Fingern bestreicht, wird glatt und glänzend und fühlt sich wie geglättetes Leder an. Es haftet jedenfalls keine Spur mehr an den Händen. Nichtsdestoweniger kann man diese dünne Talkumhaut leicht wieder unterkneten, und das Plastilin zeigt dann ganz seine früheren Eigenschaften. Man kann bis zu etlichen Prozent Talkum einkneten, ohne daß das Plastilin spröder oder brüchiger wird, wie mehrere messend vorgenommene Mischungsversuche ergaben. Es empfiehlt sich also, bei allen aus Plastilin hergestellten Formen schon beim Herstellen selbst, eine solche Talkumhaut anzulegen, weil sich dann mit dem Plastilin viel besser hantieren läßt.

Vor allem aber läßt sich mit Hilfe des Talkums eine beliebig große Masse Plastilin mit Leichtigkeit auswalzen. Hierzu bediene ich mich einer in der Hauswirtschaft unter dem Namen „Mangelholz“ gebräuchlichen Walze, die einen Hohlzylinder *Z* (Fig. 6) darstellt, der sich um eine in die beiden Griffe *G* verlängerte hölzerne Längsachse bewegt. Man bedarf noch einer quadratischen glatten Pappe *P* und eines halben Bogens Papier, auf den man einen Löffel Talkum schüttet. Der Talk ist ja ein außerordentlich sauberes Material, und wir sind auch vom jetzt etwas sagenhaften Handschuhanpassen her gewöhnt, es unmittelbar an die Haut gelangen zu lassen (wie denn auch dieses Magnesiumsilicat das Substrat aller Schminke ist). So kann man auch getrost die ganze Fläche der Walze unmittelbar mittels der Hand mit Talkum überziehen oder „talkieren“ (sit venia verbo), wenn man nicht vorzieht, sie mittels wiederholt eingetauchten Fließpapiers zu bestreichen. In gleicher Weise talkiert man auch die Pappe *P* — alles das Werk weniger Sekunden. Beim Walzen eines

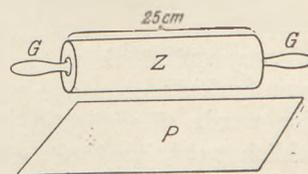


Fig. 6.

Stückes Plastilin nimmt dieses natürlich die feine Talkhaut sowohl von der Walze wie auch von der Pappe zumeist fort; beides ist sofort leicht wieder zu ergänzen. Mit Hilfe dieses Verfahrens läßt sich das Plastilin schließlich bis zu Papierdünn auswalzen. Wer übrigens solche Walze in dieser Kriegszeit nicht gleich bekommt, kann auch ein dickwandiges Rohr aus Jenaer Verbrennungsröhrglas verwenden; das Glasrohr nimmt das Pulver beim drehenden Hindurchziehen ungemein leicht an; man muß hier beim Walzen natürlich etwas häufiger talkieren.

Hierdurch ist nun zunächst für alle geradlinig bzw. ebenflächig begrenzten Gestaltungen das Baumaterial in großer Vollkommenheit gegeben. Denn mit der wiederholt in Talkum getauchten Messerklinge lassen sich weiter leicht beliebige Streifen und Stücke abteilen, die man zu Krystallformen zusammensetzen oder zum Aufbauen eines Troges (um mit Wasser angerührten Gips oder Zement einzufüllen) oder vielerlei anderen Dingen verwenden kann. — Aber auch zu mannigfachen gewölbten Gestaltungen läßt sich dieses gewalzte Material verwenden, da der Stoff sehr nachgiebig ist. Besonders in den biologischen Übungen kann man hiervon Vorteil ziehen. Ferner lassen sich Cylinder, Kegel u. a. leicht daraus formen. Um z. B. einen Gipsabguß von einem Relief, etwa von einer größeren Münze herzustellen, umgibt man es mit einem Cylinder von solchem gewalzten Plastilin, der bei einer Münze nur 0,5 cm Dicke und 2 cm Höhe zu haben braucht (Fig. 7); der sichere Verschluss wird durch festes Andrücken beim allmählichen Umlegen um die Münze und bei der Fuge *F* durch Überfahren mit der Messerspitze erreicht; das Relief *R* ist vorher schwach zu ölen.

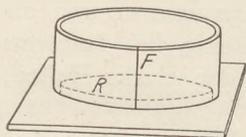


Fig. 7.

(Dies ist übrigens auch das Verfahren der Bildhauer und Former.) Auch für galvanoplastische Nachbildungen eines Münzreliefs läßt sich ein Abdruck der talkierten Münze auf Plastilin verwenden. Alles in allem wird durch diese Methode der Verwendung des Talkums das gesamte Arbeiten mit Plastilin nicht nur in hohem Maße erleichtert und vielseitiger gemacht, sondern es wird auch zu einer durchaus sauberen Tätigkeit, und wir sind überzeugt, daß viele, die dem Plastilin noch etwas abhold gegenüberstehen, sich bei neuerlichen Versuchen damit bald zu seinen Freunden rechnen werden.

## Versuche mit Äthylchlorid.

Von

H. Rebenstorff in Dresden.

1. Manche Schüler kennen schon von einem leichten ärztlichen Eingriff her das Aufspritzen von Äthylchlorid, wodurch das Hautgewebe zum Gefrieren gebracht und fast unempfindlich gegen Schmerz wird. Man kann von den so bequem verwendbaren Spritzflaschen sehr wirksamen Gebrauch beim experimentellen Unterricht machen. Hier wurde für ähnliche Zwecke bisher fast ausschließlich Äther benutzt, hauptsächlich wohl, weil es einfacher und Äthylchlorid zu teuer erschien. Gegenwärtig ist der Preisunterschied sehr herabgemindert, und beide Flüssigkeiten sind in der jetzigen Kriegszeit etwa gleich leicht oder schwer erhältlich. Nach dem Kriege dürfte der hohe Preis des Äthers zunächst anhalten, und da sich Äthylchlorid leicht sparsam benutzen läßt, ist der Kostenpunkt kein Grund gegen die Verwendung der Flüssigkeit zu einer Anzahl sehr fesselnder Versuche. Von 3 Stück 100 g-Fläschchen, die ich im Winter 1914/15 von der Firma BERNH. HADRA in Berlin C, Spandauerstraße 40 bezog, ist trotz häufiger Benutzung in Klassen- und Vorbereitungsversuchen erst das zweite kaum zur Hälfte verbraucht. Der als Standflasche bezeichnete eine

Behälter hat ein bis auf den Boden führendes Ausströmungsrohr, dessen feine Mündung durch einen Hebel nebst Feder für gewöhnlich zugeedrückt gehalten wird. Beim Druck auf den Hebel spritzt die Flüssigkeit in sehr feinem, nicht gekräuseltem Strahl kräftig heraus. Der Verschuß ist so ausgezeichnet, daß beim bloßen Aufbewahren keine bemerkbare Abnahme des Inhalts stattfand. Der zweite, etwas billigere Behälter läßt bei Hebeldruck den Inhalt herausspritzen, wenn man ihn mit der Öffnung nach unten hält. Das Verschußstück ist abschraubbar und kann auf dem dritten, nur mit einem Schraubdeckelchen versehenen Vorratsbehälter angebracht werden. Bei diesem Auswechseln wird man zweckmäßig den Behälter bis unterhalb des Siedepunktes seines Inhalts ( $12^{\circ}$ ) abkühlen. Übrigens tritt an der Flüssigkeit stets ein gewisser Siedeverzug ein.

2. Zunächst sei einiger Anwendungen des Äthylchlorids gedacht, die auf der schnellen Entwicklung seines Dampfes beruhen, wodurch es eine bequeme Quelle für ein schweres, stark lichtbrechendes Gas bildet. Statt des Kohlendioxids liefert es sehr schnell ein Becherglas mit schwerem Gasinhalt, dessen Ausgießen in ein anderes Glas prächtige optische Schlieren entstehen läßt. Nach Vermischen mit etwas Rauch wird das Gas sichtbar. Man bemerkt, daß es schneller als Kohlensäure ausfließt und nach kurzem Kippen des Glases hübsch hin- und herwogt (Luft-Seiches).

Das Archimedische Prinzip für luftförmige Körper erläutert der folgende Versuch. In einem geräumigen Becherglas, das auf der Wagschale steht, wird die untere Hälfte eines Reagensglases mit einem Gramm Äthylchlorid an einem Faden hängend angebracht. Das Gläschen berührt den Boden oder hängt ein wenig höher; der über den Rand des Becherglases geführte Faden ist außen mit einer Spur Klebwachs befestigt (Fig. 1). Zum Abwägen des Äthylchlorids wird das Gläschen zunächst nach Anbringen des Fadens außen neben das Becherglas auf die Wagschale gelegt. Es genügt, wenn es über dem Schalenrande schräg emporragt. Nach Ausgleichen der Wagbelastung kommt ein Grammstück auf die Gegenschale und aus der Spritzflasche Äthylchlorid ins Gläschen bis zum Gleichgewicht. Als dann wird das Gläschen hineingehängt und aus einem Glasrohr ein Mundvoll Rauch bis auf den Boden des Becherglases geblasen. Sind die Schwankungen der Wage fast zur Ruhe gekommen, so schmilzt man mit einem genäherten glühenden Draht oder einer Zündholzflamme den Faden los und der Inhalt des wagerecht herabgefallenen Gläschens verdunstet schnell, während er sich im senkrechten Rohr längere Zeit erhalten hätte. Der Rauch erhebt sich bis vielleicht zur Mitte des Becherglases und dessen Gewicht nimmt infolge der Luftverdrängung ab. Der berechnete Betrag von 0,44 g Gewichtsverminderung wird annähernd erreicht. Gießt man dann das schwere Gas aus dem Becherglase, bis der Rauch gerade herabgesunken, so ist es gleich nach dem Wagrechtstellen noch um einige cg zu schwer (das Grammstück wurde von der Gegenschale abgehoben). Man muß das Becherglas einige Sekunden länger gekippt halten, bis das oberhalb des Rauches aufwärts diffundierte Gas völlig ausgegossen ist. Es ist kaum nötig, das leichte Einsatzgläschen beim Herabfallen durch federnd aufgestreifte Ringe aus dünnstem Aluminiumblech (0,1 mm) vor Glaschaden zu sichern. Man kann auch einen dünnen Blechteller auf den Boden legen.

3. Zur Bestimmung der Dampfdichte des Äthylchlorids ist das von FR. C. G. MÜLLER (Technik des physikalischen Unterrichts, S. 160) angegebene Verfahren geeignet. Die Herstellung eines dünnwandigen Glaskügelchens mit 1 g Flüssigkeit, die nach Zerschütteln verdunstet, wird bequem durch Einbringen eines Einsatzgläschens in die etwa 2 l große Flasche vermieden. Der wie beim vorigen Versuch das Gläschen zunächst oberhalb des Flaschenbodens senkrecht haltende Zwirnfaden wird hierbei an einem kleineren durchbohrten Kork befestigt, der unterhalb des

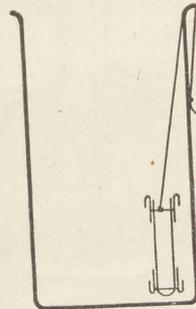


Fig. 1.

großen Flaschenkorkes auf das 1 cm hineinragende Abflußrohr aufgeschoben wird (Fig. 2). Nach Einbringen in die Flasche und dem Anschluß an eine Gasmeßglocke oder dergleichen wird der aufgestreifte Kork durch geringes drehendes Emporziehen des Ausströmungsrohres abgelöst und die Verdampfung setzt schnell ein. Infolge der Verdunstung bleiben Flaschenboden und Dampf längere Zeit abgekühlt. Das Ende der Messung wird schnell erreicht, wenn man den Klotz, auf dem die Flasche beim Versuche steht, durch eine Schale mit zimmerwarmem Wasser vertauscht. Eine Messung mit dem von mir (*diese Zeitschr.* 18, 278) angegebenen Gasmeßcylinder mit im Bodentubus drehbarem Abflußrohr<sup>1)</sup> ergab das Volumen des aus 1 g Äthylchlorid entstehenden Dampfes zu 350 ccm statt der ohne Dampfdichteabweichung berechneten Menge von 372 ccm. Bei dieser und ähnlichen Bestimmungen wird zweckmäßig eine Gasmeßvorrichtung benutzt, bei der man ohne längere Gummischläuche auskommt, da besonders gasförmiges Äthylchlorid, das doch infolge Diffusion im Flaschenraum empordringt, stark von Kautschuk absorbiert wird. Statt eines langen Schlauches kann man übrigens ein ebensolches Glasrohr, das mittels kurzer Schlauchstücke zwischengeschaltet wird, als teilweisen Ersatz zum Beweglichmachen des Anschlusses benutzen.

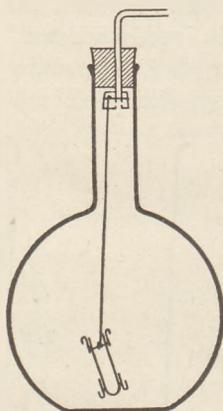


Fig. 2.

4. Als Versuch über Absorption verdient das soeben erwähnte Verhalten des Äthylchloridgases besonders vorgeführt zu werden. In ein Reagensglas bringt man etwa 1 ccm der leicht verdampfenden Flüssigkeit und verschließt es mit einem Kork, der ein kurzes mit längerem Schlauch versehenes Glasröhrchen enthält. Senkt man ein längeres am Schlauchende sitzendes Glasrohr in Wasser, so zeigt sich starke Gasentwicklung, wenn das Äthylchlorid mit warmer Hand, besser in lauem Wasser erwärmt wird. Nach Verdrängen der Luft hört man mit dem Anwärmen auf, streift schnell den Schlauch oben ab und verschließt ihn durch ein zugeschlitztes Rohrstück. Infolge der Absorption

im Kautschuk steigt das Wasser mit etwa 1 cm Geschwindigkeit im Rohre aufwärts. Auch das Wasser absorbiert freilich das Gas, aber sehr viel langsamer, so daß man ein Gefäß in der pneumatischen Wanne damit füllen kann. Erst am anderen Tage ist vielleicht der Gasinhalt des Gefäßes völlig absorbiert. Senkt man das längere Rohr am Schlauch in Quecksilber, so treibt der Luftdruck dies bald hoch empor.

Spritzt man Äthylchlorid in ein halb mit Wasser gefülltes Kölbchen, wobei man eine Menge winziger Leidenfrost-Tröpfchen erkennt, so zeigt sich die Absorption zunächst in der bekannten Weise nach dem Umschütteln durch Zurückdrängen der Luft beim Lüften des schließenden Fingers. Erst nach längerem Schütteln mit neuen Mengen Flüssigkeit bemerkt man beim Lüften einen inneren Überdruck. Wird die gesättigte Lösung unter geringeren Druck gebracht (Ansaugen mittels Rohr im Kork auf dem Kölbchen), so wird sie durch Schäumen weiß. Die gesättigte Gaslösung ist nicht erkennbar schwerer als Wasser von gleicher Temperatur; daher entstehen im Wasser durch das Gas keine Strömungen, die das Lösen an ruhiger Oberfläche beschleunigen würden.

5. Die Verwendung von Äthylchlorid anstelle von Äther zum Abkühlen bewirkt bei der niederen Lage des Siedepunktes ( $12^{\circ}$  gegen  $35^{\circ}$ ) eine Beschleunigung des Versuches. Die Verdampfungswärmen sind nahezu gleich ( $97,7$  cal. gegenüber  $84,5$  cal. für Äther bei den Siedepunkten). Die Wirkungsweise eines Minimumthermo-

<sup>1)</sup> Dr. v. Lützwow gibt als neue Bezugsquelle für die von ihm auch bei Schülerversuchen vielbenutzten Gasmeßcylinder die Firma Karl Kramer-Freiburg an. Der Preis des größten Cylinders (zu 750 ccm) betrug 4,20 M. (Monatshefte f. d. naturw. Unt. 11. 45, 1918).

mers wird für nahe Beobachter sehr wirksam verdeutlicht, wenn man den Strahl von Äthylchlorid auf dessen Gefäß richtet, das mit feinem Mull überbunden oder mit dünnem Fließpapier beklebt ist. Das Thermometer sinkt bald auf einige  $30^{\circ}$  unter Null. Ein nur wenige cm langer Strahl erwärmt dann in erkennbarer Weise zunächst wieder; er wirkt stärker abkühlend, wenn er aus etwas größerem Abstände auftrifft. Man setze die Kühlung des Alkohols nicht so lange fort, daß die thermometrische Flüssigkeit samt dem Indexstäbchen sich bis in das Gefäß zurückziehen, da sonst letzteres leicht beim Durchbrechen der Flüssigkeitsoberfläche in Unordnung kommt. Ein Versuch, Quecksilber mit Äthylchlorid zum Erstarren zu bringen, erscheint zu kostspielig. Vor dem Fenster würde er bei Winterkälte wohl gelingen, doch sinkt der Dampfdruck in der Kälte stark. Nach REGNAULT beträgt er für  $0^{\circ}$ ,  $-10^{\circ}$ ,  $-20^{\circ}$ : 465 mm, 302 und 188 mm.

6. Beim Kühlen des Daniellschen Hygrometers mit Äthylchlorid empfiehlt es sich, das oben angefaßte Instrument von Zeit zu Zeit etwas zu schütteln. Der Taubeschlag setzt früher und schärfer ein, was gutes Aufmerken erfordert. Die Tau- und Reifbildung in der Zimmerluft macht man mit 2 quadratischen Stücken (Kinderhandgröße) von dünnstem Aluminiumblech sehr deutlich, die nebeneinander im Spalt eines Klötzchens senkrecht stehen. Das eine Blechstück ist rückwärts mit Fließpapier beklebt und wird mit Äthylchlorid abgekühlt. Es bereift bald und zeigt bei nahem Beobachten zierliche Eisbäumchen. Das Schmelzen des Reifes beginnt an der oberen Quadratkante und eine deutlich erkennbare  $0^{\circ}$ -Isotherme wandert langsam abwärts.

7. Nebelbildung durch Abkühlen der Zimmerluft sieht man oft schon bei den vorbeschriebenen Versuchen. Daß auch hierbei Staubkerne nötig sind, zeigt die Verwendung des bekannten KIESSLING'schen Kolbens (*diese Zeitschr.* 11, 1914), wenn er nach längerem Stehen kernfrei geworden ist. Spannt man ihn verkehrt in eine Stativklemme und kühlt seine jetzt oben wagrecht befindliche Standfläche nach Bedecken mit Papierscheibchen durch Äthylchlorid, so unterbleibt dann die Nebelbildung. Wird aber nach Einsaugen von kernhaltiger Luft über einer Streichholzflamme (a. a. O.) der Versuch wiederholt, so senkt sich ein fingerdicker Nebelstreif vom Flaschenboden abwärts. Bei Intensivbeleuchtung kommt der Luftinhalt infolge ungleicher Erwärmung bald in wirbelnde Bewegung. Durch den Versuch zeigt man also die Nebelbildung, ohne wie beim sonstigen Gebrauche des Nebelkolbens ein Verständnis von der Abkühlung infolge Entspannens verdichteter Luft voraussetzen.

7. Der mit etwas Äther gelingende Versuch, ein Taucher-  
röhrchen in einer unten wärmeren und schwereren Flüssigkeit schnell auf- und niedersteigen zu lassen (*diese Zeitschr.* 11, 219; Experimentierbuch II, 105, B. G. Teubner), kann mittels Äthylchlorids bei niedriger Temperatur mit Wasser, auf dem Eis schwimmt, ausgeführt werden. Ein am besten durch kleinen Ring aus Bleiblech etwas beschwertes Reagensglas wird fast ganz voll Wasser gegossen, auf das man etwas Äthylchlorid spritzt. Man läßt eine kleine Luftmenge im Glase bestehen, schließt mit dem Finger und öffnet nach Umkehren unter Wasser von etwa  $4^{\circ}$  in einem Batterieglas. Infolge Beimischens von Dampf dehnt sich die Luftmenge stark aus, so daß das Gläschen einen Auftrieb erfährt. Man hält es mit einem umgewundenen Draht fest und saugt mittels eines Glasrohres, das auf größere Länge zum Faden ausgezogen, der selbst wieder u-förmig gebogen wurde (siehe Fig. 3), so viel von der Luft im Gläschen heraus, daß es nach Abnehmen des Haltedrahtes in dem so temperierten Wasser nur noch eben schwimmt, also sein Boden nur noch schwach aus dem Schwimmwasser ragt. Nach Abschließen mit dem Finger überträgt man das Gläschen

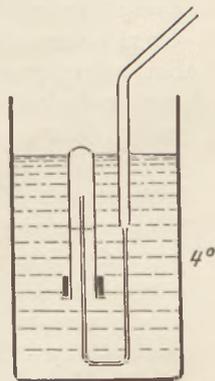


Fig. 3.

in einen hohen geräumigen Standcylinder, dessen Wasserinhalt einige cm hoch mit Eis bedeckt ist. Beim Eintritt des Luftraumes unseres Gläschens in die zwischen 0 und 4° abgekühlte Wasserschicht sinkt das Gläschen abwärts und steigt von unten aus immer wieder empor, da hier Wasser eine schwerere Schicht bildet, die übrigens meistens merklich über 4° warm ist. Das Anstellen des lehrreichen Versuches erfordert eine geringe Vorübung.

8. Mit dem manometrischen Apparat für den Dampfdruck von Wasser über 100° von FR. C. G. MÜLLER (Technik, S. 158) kann auch die Messung an Äthylchlorid ausgeführt werden. Während nach Einfüllen des Wassers die darüber stehende Luft durch vorläufiges kurzes Kochen aus dem noch offenen Behälter zu entfernen ist, geschieht nach Einbringen von Äthylchlorid die Beseitigung der Luft, die durch Erhöhen ihres Partialdruckes stören würde, ohne weiteres. Als Manometerflüssigkeit

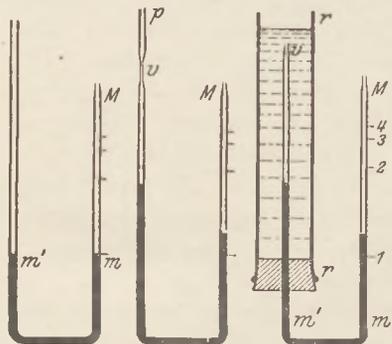


Fig. 4.

wäre Quecksilber zu benutzen. Einen stets versuchsbereiten Apparat für Dampfdruck des Äthylchlorids erhält man wie folgt. Ein Rohr von knapp 3 mm Innenweite wird u-förmig gebogen und der eine Schenkel *M* (Fig. 4) zugeschmolzen. Durch Einbringen kleiner Mengen Quecksilber und Kippen erzeugt man einen etwa 6 cm betragenden gleich hohen Stand in den Schenkeln *m* und *m'*. Die Flüssigkeitskuppe im geschlossenen Schenkel wird durch einen Schlauchring oder schmales Klebband bezeichnet und dies für die Hälfte, sowie das obere Drittel und Viertel des mit dem Millimetermaßstab gemessenen Luftraumes wiederholt. Ein bis zu den

oberen Marken vordringender Quecksilberstand läßt den Druck von 2, 3 und 4 Atmosphären erkennen. Alsdann wird die Metallmenge im offenen Rohrteil vermehrt und dieser etwa 10 cm höher in der Flamme bis zu etwa 1 mm Innenweite ausgezogen. Man kann dann nach dem Erkalten mit dem Spritzstrahl eine vielleicht 2 cm hohe Schicht Äthylchlorid über das Quecksilber bringen. Beim Zuschmelzen des Rohres an der verengten Stelle darf kein innerer Überdruck vorhanden sein. Man kühlt den das Chlorid enthaltenden Schenkelteil durch Bespritzen des hier befestigten Filtrierpapiers ab und hindert dabei das Eindringen von Luft durch einen Papierpfropf *p* nahe der Öffnung, der mit etwas Äthylchlorid durchtränkt wird, oder durch dichten Abschluß der Öffnung. Bei schnellem Hantieren gelingt es leicht, das Rohr bei *v* abzuschmelzen. Zuletzt wird auf den Schenkel *m'* ein durchbohrter Kork geschoben, auf den das weite Rohr *r* paßt. Dieses wird zum Gebrauche mit Wasser gefüllt und nach Einspannen seines unteren Endes in eine Stativklemme mit wedelnder Flamme erwärmt. Ein Rührer sorgt für den Temperaturengleich, der mit dem eingesenkten Thermometer kontrolliert wird. Ein längliches Stück blankes Blech schützt das Manometerrohr vor Bestrahlung beim Erwärmen von *r*. Auf diese Weise findet man, daß der Dampfdruck 2, 3 und 4 Atmosphären bei etwa 33°, 46° und 56° erreicht. Der ungleich hohe Stand der Quecksilbersäulen im Manometer kann einer einfachen Korrektur zugrunde gelegt werden. Entfernt man Kork und Mantelrohr und senkt den ganzen Apparat, an einem Stabe mit Bindfaden befestigt, in allmählich zu erwärmendes Wasser, so erhält man eine zweite Zahlenreihe, in der die beim Erreichen der Manometermarken gemessenen höheren Temperaturen etwas größeren Drucken als sonst entsprechen, die man leicht nach den Gasgesetzen berechnet.

9. Beim chemischen Unterricht kann Äthylchlorid außer zu dem unter 3 beschriebenen einfachen Versuch der Bestimmung der Dampfdichte weiterhin vielfach verwendet werden. Hier sei nur das Verflüssigen mancher getrockneten Gase in Tröpfchen innerhalb der Leitungsröhren beim Bespritzen mit der kühlenden Flüssig-

keit angedeutet. Die Flamme des Äthylchloridgases ist schwach rußend und hat einen grünlichen unteren Teil. Eine Belästigung durch das schwach riechende Gas tritt bei einer kleinen Anzahl von Versuchen auch ohne Verwendung des Abzuges in keiner Weise ein. Ein Arzt, der die Verdunstung durch Anblasen der bespritzten Hautstellen zu verstärken suchte, berichtete von einer schwach narkotisierenden Wirkung des dabei reichlich eingeatmeten Gases.

### **Kleine Mitteilungen.**

#### **Das physikalische Experimentierbuch — Spiel oder Arbeit?**

Von

**Prof. Dr. K. Noack,** Freiburg i. B.

Wie ein roter Faden zieht sich durch die Arbeiten FR. C. G. MÜLLERS das Bestreben, Brücken zu schlagen zwischen dem elementaren physikalischen Unterricht und der wissenschaftlichen Forschung. Nicht in dem Sinne, daß die Grenzen des Arbeitsgebiets der Schule verschoben und erweitert werden sollten, sondern lediglich in dem anderen höheren Sinn, dem Schüler nicht nur von fern die Wege zu weisen, auf denen die Wissenschaft zu ihren Ergebnissen gelangt ist, sondern ihn selbst diese Wege wandeln zu lassen, soweit das für die Schule möglich ist und sich mit ihren besonderen Zwecken verträgt.

Die 30 Jahrgänge dieser Zeitschrift sind Zeugen dafür, daß diese Bestrebungen FR. C. G. MÜLLERS bei vielen seiner Fachgenossen sympathisches Verständnis gefunden haben; mancher hat im gleichen Sinn gewirkt und gearbeitet und eine Vertiefung des Unterrichts in dieser Richtung ist unverkennbar.

Aber ein besonderes Gebiet des physikalischen Unterrichts — denn es ist auch ein Stück davon, wenn auch ein etwas abgelegenes — ist von diesem Fortschritt wenig oder gar nicht berührt worden, ich meine die experimentelle häusliche Betätigung, die in dem physikalischen Experimentierbuch ihre Quelle und ihren Sammelpunkt findet.

Bei dem naturwissenschaftlich veranlagten Teil unserer heranwachsenden Jugend wandelt sich mit zunehmender Reife der Spieltrieb zum Experimentiertrieb um. Findet aber dieser bei vielen mächtige Trieb eine wirkliche Befriedigung in den physikalischen Experimentierbüchern und Experimentierkästen, die auf den Weihnachtstisch der jungen Leute kommen? Nach meinen Erfahrungen, den eigenen aus den fernen Jahren meiner Jugend, und denen, die ich an meinen Schülern machen konnte, muß diese Frage leider verneint werden; und doch ist es tief bedauerlich, daß die Beschäftigung mit diesen Dingen gerade bei den besten unter den jungen Menschen häufig zu einer unverkennbaren Enttäuschung führt, anstatt den Nutzen zu stiften, den man von ihr naturgemäß erwarten sollte.

Solange aber diese häusliche experimentelle Betätigung ein plan- und zielloses Spielen ist, kann es nicht wundernehmen, wenn ihr die volle Befriedigung versagt bleibt, und statt ihrer häufig bald Gleichgültigkeit oder gar Überdruß platzgreifen. Hier könnte aber vielleicht gründlicher Wandel geschaffen werden, wenn es gelänge, den starken Trieb zum Forschen und Suchen der Wahrheit in geordnete Bahnen zu lenken, und das zwecklose Spiel unmerklich zur zielbewußten Arbeit zu machen.

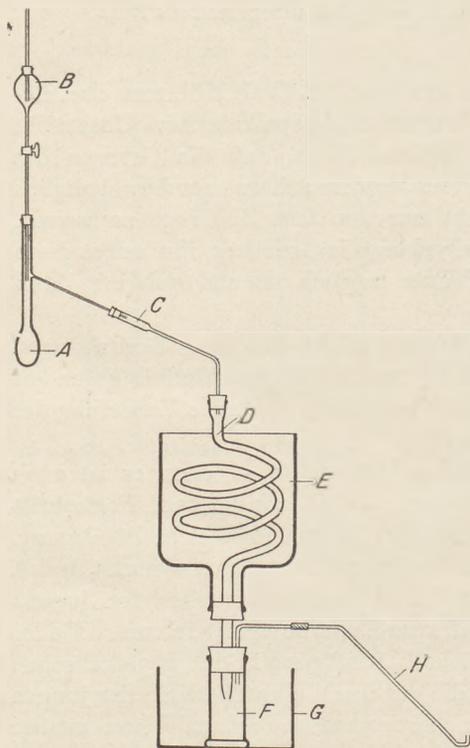
Dies könnte meines Erachtens dadurch geschehen, daß das Experimentierbuch, das dem Jüngling als Führer dienen soll, sich nicht damit begnügt, eine lose Aneinanderreihung meist qualitativer Versuche zu bieten, sondern dem Leser Probleme und Aufgaben vorlegt, die Beantwortung heischen, und die geeignet sind, ihn allmählich in die Verfahren und Methoden der Forschung einzuführen.

Einen ersten Versuch in dieser Richtung habe ich in den letzten Jahren unternommen und hoffe das Resultat demnächst vorlegen zu können; wird es eine Utopie sein? Die Zukunft muß es lehren; aber ich glaube, die Antwort auf die gestellte Frage muß lauten: Spiel und Arbeit.

## Apparat zur Zersetzung der Salpetersäure in der Glühhitze.

Von Dr. H. Böttger in Berlin.

Anstatt des seinerzeit von A. W. v. HOFMANN benutzten Platinkölbchens kann man zweckmäßig ein Kölbchen aus Quarzglas verwenden, das außer seinem erheblich geringeren Preis noch den Vorzug besitzt, daß es durchsichtig ist, so daß die in ihm stattfindenden Vorgänge sichtbar sind. Das Destillierkölbchen *A*, dessen Durchmesser etwa 40 mm beträgt, ist oben durch einen Pfropfen verschlossen, durch den das Trichterrohr des die Salpetersäure enthaltenden Hahntrichters hindurchgeht.



Der Tubus des Trichtergefäßes ist durch einen Pfropfen verschlossen, durch den eine Glasröhre hindurchgeführt ist. Das Trichtergefäß ist dadurch in eine Mariottesche Flasche umgewandelt, was zum gleichmäßigen Herabtropfen der Salpetersäure unerlässlich nötig ist. Das Gefäß von *A* wird durch einen Dreibrenner kräftig erhitzt, wobei man seinen Hals durch passend angebrachte Schirme aus Asbestpappe vor der Erwärmung möglichst schützt. Der Pfropfen wird in den Tubus erst dann eingesetzt, wenn das Herabtropfen der Säure beginnt. Das Ansatzrohr des Quarzkölbchens steht durch das Rohr *C* mit der Kühlschlange *D* in Verbindung, die in dem oben offenen Gefäß *E* von einer aus Eis und Kochsalz hergestellten Kältemischung umgeben ist. Das untere Ende der Kühlschlange mündet in den niedrigen Standzylinder *F*, der in dem ebenfalls von einer Kältemischung angefüllten Gefäß *G* steht. Durch den ihn verschließenden Pfropfen ist außer dem unteren Ende der Kühlschlange ein rechtwinklig gebogenes Rohr geführt, dessen horizontaler Schenkel mit dem Gasentbindungsrohr *H* verbunden ist. Durch dieses entweicht der bei der Zersetzung entstehende Sauerstoff, der mittels einer pneumatischen Wanne in kleinen Standzylindern aufgefangen wird. In *F* verdichten sich als Zersetzungsprodukte der Salpetersäure das Stickstofftetroxyd und das Wasser, außerdem nicht zersetzte Salpetersäure. Durch die Einwirkung der beiden ersteren Stoffe entsteht blaue salpetrige Säure, die mit der gelben Lösung von unverändertem Stickstoffdioxyd in Salpetersäure eine grüne Flüssigkeit bildet. Beim Aufbewahren bei gewöhnlicher Temperatur verschwindet die salpetrige Säure, die Flüssigkeit färbt sich gelbrot und wird später farblos.

Es sei auch auf die einfache Vorrichtung zur Zersetzung der Salpetersäure, die O. OHMANN in *dieser Zeitschr.* 24, 350, 1911 angegeben hat, hingewiesen.

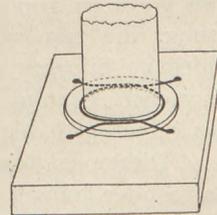
## Für die Praxis.

**Vorsicht bei der volumetrischen Synthese von Chlorwasserstoff.** Von Dr. E. Pritzel in Berlin-Lichterfelde. Seit 11 Jahren führe ich den bekannten Fundamentalversuch in folgender Weise aus: In einem Zersetzungsgefäß wird aus konzentrierter Salzsäure mit 2 Kohlelektroden Chlorknallgas elektrolytisch hergestellt und längere Zeit, um sicher zu gehen, daß das Gasmischung auch die richtige Zusammen-

setzung hat, durch die HOFMANNSCHE Röhre geleitet (die bekannte dickwandige 50 cm lange Glasröhre, mit 2 Glashähnen verschließbar, in der Nähe des einen Endes zu einer Kugel von 3 bis 4 cm Durchmesser aufgeblasen). Das Gasgemisch wird nicht getrocknet, weil es sonst zu wenig lichtempfindlich wird. Ich habe die Füllung stets im Zimmer bei Abwesenheit von direktem Sonnenlicht ohne weitere Vorsicht vorgenommen. Dann werden die Hähne geschlossen und die Vereinigung durch ein entzündetes Stück Magnesiumband, an die Kugel gehalten, bewirkt. Man vernimmt einen Knack, als ob das Glas einen Sprung bekommen hätte und überzeugt sich von der Vereinigung dadurch, daß die gelbliche Farbe des Chlors verschwunden ist. Genügt das Magnesiumband nicht, was oft vorkommt, so streut man mit einer Glasröhre etwas Magnesiumpulver in eine Bunsenflamme, oder man hält, wenn zur Verfügung, die Röhre mit der Kugel in das direkte Sonnenlicht. Bisweilen habe ich den Knack der Vereinigung auch nicht beobachtet und dennoch war die Vereinigung erfolgt. Besondere Vorsichtsmaßregeln habe ich in den letzten Jahren nicht mehr beobachtet, obwohl HEUMANN (1904, S. 333) das Vorhalten eines Drahtnetzes vor das Gesicht empfiehlt, ich war im Laufe der Jahre (ich habe den Versuch mit der gleichen Röhre wohl 25 mal ausgeführt) von der Sicherheit meiner Glasröhre überzeugt.

An einem der Tage des Juni v. J., die durch eine ungewöhnliche Klarheit und Trockenheit der Luft ausgezeichnet waren, wiederholte ich den Versuch und hielt die Glasröhre, um die Vereinigung herbeizuführen, aus dem geöffneten Fenster in die Sonnenstrahlen. Die Röhre explodierte mit lautem Knall und die Glassplitter flogen zum Teil in das Zimmer an den Köpfen der Schüler vorbei, zum größeren Teil aus dem Fenster auf den unten befindlichen Rasen, glücklicherweise ohne Schäden anzurichten. Das untere Ende der Röhre blieb in meiner Hand, die mit einem noch einige Zeit fühlbaren Stoß davonkam. Dieser Vorfall mahnt also auch bei diesem Versuch, die Vorsicht nicht zu vernachlässigen: den Kugelteil der Röhre nach den Zuhörern durch ein Drahtnetz zu verdecken und ein zweites vor das Gesicht zu halten.

**Standfestigkeit hoher Cylinder.** Von H. Rebenstorff in Dresden. Hohe Gefäße, z. B. für Aräometer, stehen auch mit etwas breiterem Fuß wenig sicher. Man verbessert dies durch ein „Grundbrettchen“ mit 2 festen und einer mittels Flügel-schraube einstellbaren Metallkrampe, zwischen denen der Bodenwulst des Cylinders erfaßt wird. Zum dauernden Sichern des Standes bohrt man einfach 4 Löcher als Ecken eines dem äußeren Grundkreis des Cylinderbodens einbeschriebenen Quadrats durch das Brett und befestigt den Bodenwulst zwischen zwei sich kreuzenden Schlingen aus weichem Draht (siehe Figur), die durch die Löcher auf der Unterseite des Brettes angezogen und zusammengedreht sind. Damit hier keine Erhöhungen durch den Draht entstehen, sind Nuten zur Verbindung der Löcher unterseits eingeschnitten. Diese Drahtbefestigung hatte ich schon beschrieben in der Chemiker-Zeitg. 32, 177 (1908). Sie hat besonders für den Gasmeßcylinder mit im Bodentubus drehbarem Abflußrohr Nutzen (*diese Zeitschrift* 18, 278). Beim größten derartigen Cylinder ist es am zweckmäßigsten, den Kork im Bodentubus mit weichem Draht daran festzuschnüren.



**Talkum als Ölersatz.** Von O. Ohmann in Berlin. Manchen sah ich in dieser Kriegezeit vor einem schlecht funktionierenden Apparat die Waffen strecken, da es an geeignetem Schmieröl fehlte. Man versuche es einmal in solchen Fällen mit dem bekannten Talkum, das in die feinsten Fugen eindringt, da es ein Pulver von fast idealer Feinheit darstellt. Man bringe es mittels eines Pinsels oder einer Feder-

fahne an. Der dicke Talk, der auch als „Schneiderkreide“ dient und als „Speckstein“ die (erst gedrehten, dann gebrannten) Aufsätze der Flachbrenner liefert, zeigt auch als Pulver eine großartige Geschmeidigkeit und Weichheit, die man in der Technik für gewisse maschinelle Vorrichtungen seit langem zur Verminderung der Friktion ausnützt; in der Mohsschen Härteskala der Mineralien steht ja dieses Magnesiumhydrosilicat obenan. Verfasser kam auf den Gedanken seiner allgemeineren Verwendung in der Laboratoriumspraxis durch einen Versuch, das Talkum bei knarrenden Türen als Ölersatz zu verwenden; der Versuch gelang durchaus zur Zufriedenheit. Talkum scheint noch in größeren Mengen vorhanden zu sein und zeigt noch keine Wucherpreise; Verfasser bezog jetzt noch (im Mai 1918) 1 kg, das vor dem Kriege —,40 bis —,50 M. kostete, zum Preise von nur 1,10 M. von R. Schering, Berlin N 4, Chausseestraße 24.

**Beiträge zur Behandlung der Photographie im Unterricht.** Von Dr. W. Franck in Hamburg. In einer Anzahl der bekannten Schullehrbücher der Chemie wird die Entstehung des latenten Bildes der photographischen Platte dadurch erklärt, daß durch das Licht aus dem Silberbromid das hypothetische Bromür gebildet werde, welches sich durch die reduzierende Wirkung des Entwicklers in Silber verwandle. Auf Grund neuerer Untersuchungen, die besonders von LÜPPO-CRAMER<sup>1)</sup> ausgeführt worden sind, muß man jedoch annehmen, daß die sich später schwärzenden Teile des latenten Bildes aus unzersetztem Silberbromid und kolloidalem Silber bestehen, das durch photochemische Reduktion gebildet worden ist. Im Entwicklungsbade beeinflussen dann diese fein verteilten Metallteilchen — vermutlich katalytisch — die Abscheidung des Silbers aus den benachbarten unzersetzten Bromsilbermolekülen.

Man kann diese chemischen Vorgänge durch einige leicht auszuführende Versuche im Unterricht verdeutlichen.

Um nachzuweisen, daß nur belichtetes Halogensilber vom Entwickler geschwärzt wird, versetzt man destilliertes Wasser, dem man eine geringe Menge Gelatinelösung hinzugefügt hat, mit einigen Tropfen einer stark verdünnten Bromnatriumlösung und der gleichen Menge einer sehr schwachen Silbernitratlösung. Das Halogensilber bleibt unter diesen Umständen in kolloidaler Verteilung in der Flüssigkeit schweben. Belichtet man diese einige Zeit mit Sonnen- oder künstlichem Licht, so wird sie nach dem Zugießen von Entwicklerlösung geschwärzt, während die unbelichtete Flüssigkeit sich nicht verändert. Aber auch diese wird durch den Entwickler reduziert, wenn man einige Tropfen einer kolloidalen Silberlösung hinzufügt, die man sich nach folgender Vorschrift leicht und haltbar herstellen kann. (Das Verfahren ist dem bekannten Werk von Wo. OSTWALD, „Die Welt der vernachlässigten Dimensionen“, entnommen.) Man gießt zu 100 ccm destilliertem Wasser einige Tropfen einer 1<sup>0</sup>/<sub>10</sub>igen Silbernitratlösung, die man vorsichtig gerade mit so viel Ammoniak versetzt, daß das ausgeschiedene Silberoxyd wieder gelöst wird. Dann fügt man einige Tropfen einer ganz schwachen Tanninlösung hinzu und erhitzt. Dabei wird die Flüssigkeit durch kolloides Silber gelb bis braun gefärbt.

Diesen letzten Versuch kann man noch wirkungsvoller mit einer photographischen Platte oder billiger mit Entwicklungspapier ausführen. Man betupft es mit ein paar Tropfen der kolloidalen Silberlösung, spült es nach einigen Sekunden unter der Wasserleitung ab und taucht es in die Entwicklerlösung. Es wird dann nur dort geschwärzt, wo es mit dem Silber in Berührung gekommen ist.

<sup>1)</sup> Lüppo-Cramer: Kolloidchemie und Photographie, Dresden 1908; Kolloidales Silber und die Photohaloide, Dresden 1908; Das latente Bild, Halle 1911; Kolloid-Zeitschrift 8, 42, 97, 1911. Siehe auch Alfred Benrath, Lehrbuch der Photochemie, S. 138 ff., und Richard Zsigmondy Kolloidchemie, S. 201 ff.

## Berichte.

### 1. Apparate und Versuche.

**Friedrich C. G. Müllers Versuche über die Diffusion der Gase durch Seifenblasen.** Die erste kurze Mitteilung über die von ihm entdeckte Diffusion der Gase durch die Wandung der Seifenblasen gab Fr. C. G. MÜLLER 1874 im Novemberheft der Ber. der Deutschen chem. Ges. Eine eingehende Beschreibung aller darauf bezüglichen Versuche erfolgte in dem Jahresbericht des Osnabrücker naturwissenschaftlichen Vereins. Auch in MÜLLERS Technik des physikalischen Unterrichts S. 129 sind diese Versuche für Unterrichtszwecke empfohlen. Trotzdem scheinen sie wenig Beachtung gefunden zu haben, da weder in Schul- noch in Lehrbüchern noch in Fachzeitschriften davon die Rede ist. Sie scheinen mir aber doch einen solchen wissenschaftlichen und didaktischen Wert beanspruchen zu können, daß ein erneuter Hinweis darauf hier wohl am Platze ist.

Die Seifenblasen werden mit Hilfe eines rechtwinkligen dünnen Glasrohres erzeugt, das an einem Ende mit einem kleinen Rand versehen ist, um den Blasen einen größeren Halt zu bieten. Das andere Ende wird mit einem Kautschukschlauch nebst Quetschhahn geschlossen. Die Seifenblasen erzeugt man am vorteilhaftesten unter einer umgekehrten Glasglocke, die man zuvor mit Leuchtgas oder Wasserstoff gefüllt hat. Damit sie möglichst lange erhalten bleiben, muß man das Innere der Glocke mit Wasser befeuchten. Als Seifenlösung verwendete MÜLLER eine Lösung von weißer Bittermandelseife. Einen geeigneten Ersatz jetzt dafür zu finden, wird allerdings Schwierigkeit bereiten.

Wird eine möglichst dünnwandige Blase von ungefähr 3 cm Durchmesser mit Luft in einer Leuchtgasatmosphäre erzeugt, so enthält sie schon nach einer halben Minute ein brennbares Gemisch von Luft und Leuchtgas. Hat man zuvor das freie Ende des Schlauchs mit einem Glasrohr von ca. 1 mm lichter Weite versehen, so läßt sich die Brennbarkeit des Gemisches zeigen, wenn man nach Entfernung des Quetschhahnes das Gemisch, das nun von der Blase wie aus einem elastischen Kautschukballon angetrieben wird, entzündet. Es verbrennt mit einem schwach leuchtenden Flämmchen. Um dieses weithin sichtbar zu machen, läßt man darin einen Holzspahn entflammen oder einen dünnen Platindraht glühen.

Will man das Flämmchen selbst demonstrieren, so füllt man am besten die Glocke mit

Äthylengas, nur muß der Versuch dann bei verschlossener Glocke ausgeführt werden. Denn infolge des geringen Unterschiedes der spezifischen Gewichte von Luft und Äthylen würde letzteres schnell aus der offenen Glocke entweichen. Das entstehende Flämmchen ist 1 cm groß und hell leuchtend, wodurch es auf große Entfernungen sichtbar ist.

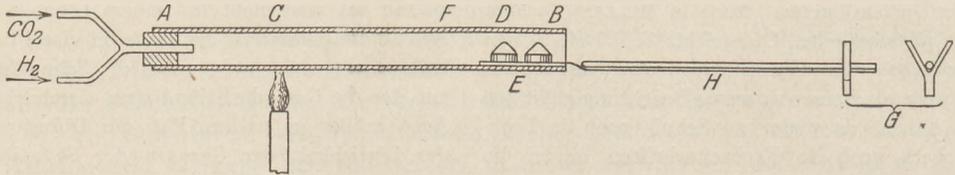
Daß man es hier mit der wahren Diffusion zu tun hat und nicht mit einem Lösungs- und Abscheidungsvorgang der Gase in der Flüssigkeitsschicht, zeigt wohl schon die Schnelligkeit, mit der die Gase die Seifenblasen durchdringen. Auch müßte im andern Fall die Diffusion von der Löslichkeit der Gase in der Seifenlösung abhängig sein. Eine hiernach zu erwartende selektive Diffusion ist jedoch bei den verwendeten Gasen von MÜLLER nicht beobachtet worden. Fliegen die Moleküle wie durch die Poren poröser Diaphragmen frei durch die Intermolekularräume der Flüssigkeitsschicht, dann müssen die leichteren Gase dem Graham'schen Gesetz entsprechend schneller durch die Seifenblasenwandung diffundieren als schwere.

Qualitativ läßt sich dies nach MÜLLER bestätigen, wenn man einerseits mit Luft die Blasen in einer Wasserstoffatmosphäre, andererseits mit Wasserstoff die Blase in der mit Luft gefüllten Glocke erzeugt. Sorgt man durch gehörige Befeuchtung der Glockenwände dafür, daß sich die Blasen auch nur 3 Minuten halten, so tritt schon eine Verlängerung bzw. Verkürzung des Durchmessers der Blase um ca.  $\frac{1}{4}$  seiner Anfangslänge ein. In der Wasserstoffatmosphäre nimmt die Blase sichtlich zu, während sie in der Luft zusammenschrumpft. Wie zu erwarten, ist ihre Veränderung nicht so groß, wenn statt des Wasserstoffs Leuchtgas verwendet wird.

Diese Versuche übermitteln zunächst einige Kenntnisse vom Wesen der Diffusion und bestätigen unsere Anschauungen vom molekularen Feinbau der Gase. Andererseits liefern sie aber auch einen Beweis für die Existenz der Moleküle in Flüssigkeiten. Und noch mehr! Wenn es feststeht, daß die aus 6 Atomen bestehenden Äthylenmoleküle durch die Blasenwand hindurchgehen, so wird man zu der Ansicht geführt, daß auch bei Flüssigkeiten trotz ihrer geringen Kompressionsfähigkeit der gegenseitige Abstand der Moleküle relativ groß sein muß.

A. Wenzel.

**Vorlesungsversuch zur Veranschaulichung des Gesetzes der multiplen Proportionen.** Von F. EMICH in Graz<sup>1)</sup>. Der Verfasser hat bereits früher in dieser Zeitschrift (12, 281) zusammen mit F. Dörner einen das gleiche Ziel verfolgenden Versuch beschrieben. Damals handelte es sich um die Reduktion von Bleisuperoxyd, jetzt um die gewichtsanalytische Reduktion von Kupferoxydul und Kupferoxyd mittels Wasserstoffs. Mit Hilfe der Emichschen Projektionsfederwage bereitet man zwei annähernd gleich schwere Platinbügelschälchen vor und beschickt sie mit je 20



bis 40 mg der Oxyde. Durch das schwer schmelzbare Reduktionsrohr *AB* (s. Fig.) von  $\sim 18$  mm Weite und 30 cm Länge, das bei *C* mit einer Bunsenflamme erhitzt wird, wird zunächst ein Kohlensäurestrom geleitet; dann legt man die beiden Schälchen auf die Schubvorrichtung *EH*, aus dünnem Eisenblech, das bei *E* flach, bei *H* zusammengerollt ist und bei *G* auf einer Stativgabel ruht. Darauf wird der Kohlensäurehahn geschlossen, der Wasserstoffhahn geöffnet; die Reduktion ist in 30 bis 40 Sek. vollendet. Man zieht nun *EH* ein wenig heraus, so daß die Schälchen an eine kalte Stelle (*F*) kommen, schließt den  $H_2$ - und öffnet den  $CO_2$ -Hahn. Danach zieht man die Schälchen bis *B*, faßt sie mittels der Pinzette und wägt sie. Der Versuch selbst dauert etwa 8 Min.

Versuchsmaterial war ein Kupferoxyd, das durch Glühen des Nitrats dargestellt wurde. Will man es in Körnerform bringen, so befeuchtet man es mit Salpetersäure, formt, trocknet und glüht heftig, wobei keine reduzierenden Gase zum Präparat gelangen dürfen (am besten in einer elektrisch geheizten Heräusschen Muffel oder in einem elektrischen Tiegelofen nach Ubbelohde). — Als Kupferoxydul wählt man entweder kristallisiertes Rotkupfererz oder stellt das Oxydul nach dem Berzelius'schen Verfahren selbst dar<sup>1)</sup>: In einen hohen schmalen (Rose-) Tiegel bringt man abwechselnd blanke

Kupferscheibchen und dünne Schichten Oxyd, verschließt und erhitzt in einem der genannten Öfen 6 bis 10 Stunden lang auf 900 bis 1000°; die reichlich mit kristallisiertem Oxydul überkleideten Kupferscheibchen werden mit Schmirgelleinwand abgerieben und das Oxydul durch mehrmaliges Biegen losgelöst. Die mitgeteilten Wägungen zeigen sehr gute Zahlenergebnisse.

Als weitere, weniger vollkommene Versuche beschreibt der Verf. noch einen Titrierversuch: „Bildung von neutralem und saurem weinsauren Kalium“ mittels zweier Büretten mit Ätzkali (30 g in  $\frac{1}{4}$  l) und Weinsäurelösung (75 g in  $\frac{1}{4}$  l), sowie einen gasometrischen Versuch: Messung des Kohlendioxyds, das aus neutralem und aus saurem Natriumcarbonat freigemacht wird.

O.

### 5. Technik und mechanische Praxis.

**Fr. C. G. Müllers Tenaxapparat.** Der von FRIEDRICH C. G. MÜLLER 1898 erfundene, vom Deutschen Fischereiverein preisgekrönte „Tenax“-Apparat<sup>2)</sup> zur Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffs hat bei der Überwachung der Fischereigewässer und bei wichtigen chemisch-biologischen Untersuchungen und Entdeckungen namentlich im tierphysiologischen Laboratorium der landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin Verwendung gefunden; er ist aber auch für Unterrichtszwecke geeignet, wie das besonders von Voigt in Aufsätzen und in seinem Buch über die „Praxis der Naturkunde“ dargelegt

<sup>1)</sup> Fresenius, Zeitschr. f. anal. Chemie, 57. Jahrg., 2. Heft, S. 65f.

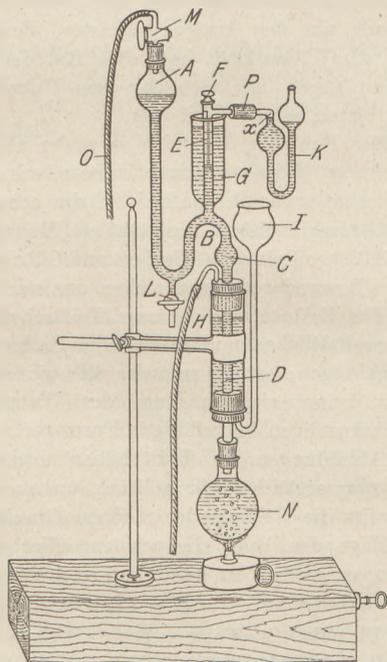
<sup>2)</sup> Beschrieben in der Zeitschrift für angewandte Chemie 1899, Heft 11, woher auch die hier beigefügte Abbildung entnommen ist.

worden ist. Obgleich die wichtigen Gesetze der Löslichkeit der Luftbestandteile auch mit improvisierten, ebenfalls von FR. C. G. MÜLLER in seiner „Technik“ und in dieser Zeitschrift angegebenen Apparaten gut vorgeführt werden können, hat der „Tenax“ den Vorzug der Geschlossenheit und großen Bequemlichkeit. Der vollständige Apparat in seinem Tragkasten nebst allem Zubehör kann außerdem auf Ausflüge mitgenommen und in jedem Zimmer, ja im Freien in Betrieb gesetzt werden. Die Fülle lehrreicher chemisch-biologischer Tatsachen, die mit seiner Hilfe schon in der Klasse begründet werden können, der Unterschied von Grund- und Tagewasser, der nach Jahres- und Tageszeit wechselnde Sauerstoffgehalt in stehenden offenen Gewässern, die gewaltige Sauerstoffpro-

<sup>1)</sup> Berzelius, Lehrbuch III, S. 302, 1836.

duktion durch Euglenen und niedere Pflanzengebilde, die entgegengesetzte Wirkung verwesender Organismen und leicht oxydierbarer Verunreinigungen kann hier nur kurz angedeutet werden. Da der Apparat in chemischen Schulbüchern ebensowenig wie in dieser Zeitschrift bisher erwähnt worden ist, wird eine kurze Beschreibung am Platze sein.

Den Hauptbestandteil bildet eine Gasbürette *ABCDE*, deren Größenverhältnisse und eigentümliche Form aus der im Maßstabe 1:5 gehaltenen Figur ersichtlich sind. Der Bürettenstiel *CD* ist von dem Kühler *H*, das Meßrohr *E* von dem Kühlbecher *G* umschlossen. Durch Drehung des mit feiner Bohrung versehenen Stop-



fens *F* kann das Meßrohr mittels des capillaren Ansatzes *P* mit der Pipette *K* zur Absorption des Sauerstoffs in Verbindung gesetzt werden.

Der vorschriftsmäßige Gang der Analyse ist nun folgender:

1. Nachdem der Apparat senkrecht in sein Stativ gespannt, die Absorptionspipette *K* angesetzt, der Kühler *H* und der Mantel *G* mit kaltem Wasser gefüllt worden, schiebt man das 100 ccm-Kölbchen *N* mit der schwach alkalisch gemachten Wasserprobe mittels des Gummistopfens auf das untere Ende *D* der Bürette, wie die Figur es zeigt.

2. Man fülle die Bürette bei ausgezogenem Stöpsel *F* von der Eingußkugel *A* aus mit Erdöl bis zur Mündung der Verbindungscapillare und schließe dann den Hahn *F*.

3. Man bringe mit großer Flamme das Wasser in *N* zum Sieden und koche es dann 10 Minuten lang mit kleiner Flamme aus. Die ausgetriebenen Gase, in der Regel 2 bis 3 ccm, steigen dabei in das Meßrohr auf, während das verdrängte Öl nach der Eingußkugel *A* hinübertritt. Das Auskochen muß so lebhaft vor sich gehen, daß ein Dampfraum oben im Kölbchen entsteht, aber auch nicht zu stark, damit das Öl nicht bis über die kugelige Erweiterung *C* gedrängt wird. So oft letzteres eintreten will, nimmt man die Flamme fort, bis das Wasser aus *CD* zurückschnellt und den Dampfraum im Kolben ausfüllt. Diese Prozedur wird gegen Ende des Auskochens unter allen Umständen einige Male ausgeführt, um auch die geringe in den Bürettenstiel gestiegene Wassermenge mit der Hauptmenge zu vermischen und zu entgasen. In der Mitte und am Ende des Auskochens gießt man einen Becher kaltes Wasser durch den Kühler.

4. Man stellt mittels des Ablasshahns *L* Niveaugleichheit her und liest ab.

5. Durch Blasen an *O* treibe man das Gas, nachdem *F* um 180° gedreht, in die Pipette *K*; das Öl soll dabei nur eben durch den Hahn treten. Nach 2 Minuten zieht man das Gas zurück, um es sofort nochmals 5 Minuten hinüberzutreiben. Jetzt zieht man wieder zurück und achtet darauf, daß die Flüssigkeit in der Pipette immer nahezu den Punkt *X* erreicht. Man wartet bei Vaselineöl mindestens 5 Minuten und liest das Volum des Restgases (Stickstoff) ab.

Schließen sich mehrere Bestimmungen an die erste an, so bleibt das Öl in dem Apparat. Man stellt durch Saugen an *O* und Schließen des Hahns *M* eine schwache Verdünnung in der Bürette her und kann dann, ohne daß Öl ausfließt, das Kölbchen abziehen und durch ein anderes ersetzen, worauf man weiter verfährt, wie vorgeschrieben.

Die Bestimmung von freier  $\text{CO}_2$  geschieht sofort an der Schöpfstelle titrimetrisch mittels  $\frac{1}{22}$  NaOH-Lauge und Phenolphthalein als Indikator.

Man füllt das Kölbchen bis zur Marke, setzt 2 Tropfen des Indikators hinzu und darauf tropfenweise unter Umschütteln Lauge, bis auch nach 3 Minuten noch eine schwache Rötung sichtbar bleibt. Je 3 Tropfen (0,1 ccm) zeigen 0,1 ccm  $\text{CO}_2$  an.

Vollständige Tenaxapparate sowie Tenaxbüretten für sich werden von der Firma Alt, Eberhardt & Jäger in Ilmenau geliefert. Für den Schulgebrauch genügt die abgebildete Tenaxbürette ohne Stativ, aber mit einigen dazu gehörigen 100 ccm-Kölbchen.

*E. Urbahn, Brandenburg a. H.*

## Neu erschienene Bücher und Schriften.

**Ernst Abbe**, sein Leben, sein Wirken, seine Persönlichkeit, nach den Quellen und aus eigener Erfahrung geschildert von Felix Auerbach. Mit 1 Gravüre, 115 Textabbildungen und der Wiedergabe zweier Originalschriftstücke. XV und 512 Seiten. (**Große Männer**, Studien zur Biologie des Genies, herausgegeben von Wilhelm Ostwald. 5. Bd.) Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. 1918. M. 18,—.

Ein Buch, dem man überall anmerkt, daß es mit dem Herzen geschrieben ist, sowohl an den Stellen, die von begeistertem Schwung getragen sind, wie an denen, die mühsam nach dem zarten und doch zutreffenden Ausdruck ringen. Wie es dem Verfasser ein Anliegen gewesen ist, das Bild seines verehrten und eng befreundeten Amtsgenossen in Treue der Nachwelt zu bewahren, das faßt er nach wiederholten Andeutungen noch einmal zum Schluß in die Worte: „Dieses Buch würde schon hinreichend berechtigt sein, wenn es sich als ein Fels erwiese, an dem solche Verzerrungs- und Verdunkelungsversuche abprallen.“ In der Tat war bei ABBE schon zu seinen Lebzeiten die Gefahr groß, daß er mißverstanden und seine Absichten mißdeutet würden. Nahm er doch so gar keine Rücksicht auf sich und auf günstigen Eindruck und vermied es geflissentlich persönlich hervorzutreten, wenn es nicht um der Sache willen sein mußte.

Das erste Kapitel ist ABBEs Vorfahren gewidmet, das zweite Kapitel behandelt ABBEs Kindheit im ärmlichen Vaterhause, den Übergang zur Realschule und die Erwerbung des Reifezeugnisses mit Berechtigung zum Universitätsstudium, das dritte die Studienzeit in Jena, das vierte die in Göttingen und die Tätigkeit in Frankfurt am Main. Von der neuen Heimat handelt das nächste, beginnend mit der Habilitation in Jena. Die akademische Tätigkeit, der Freundeskreis, der eigene Hausstand, die Übernahme der Leitung der Sternwarte schließen sich an. Unter der Überschrift „Die große Tat“ wird dann die Berührung mit Carl Zeiß geschildert, die Studien über die Abbildungsfehler, der Bau und Mißerfolg der ersten berechneten Mikroskope, die Entdeckung des Einflusses der Beugung am Objekt auf die Abbildung, der Bau der neuen Mikroskope und ABBEs Eintritt in die Firma. Der nächste Abschnitt, „Das neue Material“, schildert die Gründung der Glashütte und ihre Erfolge sowie die Bedeutung der neuen Gläser und des Flußspates für Mikroskopie und andere optische Zwecke.

Der „Ausbau der Optik“ faßt die weitere Entwicklung der optischen Werkstätte zusammen und sucht mit gutem Erfolg die vielen verschiedenartigen Probleme dem mit der Sache nicht vertrauten Leser verständlich zu machen.

„Die größere Tat“ nennt Auerbach das neunte Kapitel, das ABBEs sozialpolitische Ideen und ihre Verwirklichung in der „Carl-Zeiß-Stiftung“ zum Inhalt hat. Im Schlußkapitel „Reife und Ruhe“ wird ABBEs Privatleben, seine Persönlichkeit, sein Verhältnis zu allem, was außer seinem Beruf in Betracht kommt, seine Krankheit, sein Sterben geschildert. Ergreifend ist die Sorge und das Bemühen der Freunde um den kranken Meister, der nicht mehr die Willenskraft hat, dem Rat der Ärzte sich zu fügen, der vielmehr dem Unheil trotz aller Bitten seinen Lauf läßt.

Das Buch ist lehrreich in mehr als einer Beziehung. Ein gewaltiges Lebenswerk, mehr noch, eine große Persönlichkeit, die schwierige Verhältnisse meistert, endlich ein Mensch von vorbildlicher Reinheit, Klarheit und Güte wecken unsere Bewunderung und ziehen uns nachhaltig an. Die Erläuterung der zum Teil schwierigen wissenschaftlichen und technischen Probleme ist wohl gelungen; ohne zu sehr ins Einzelne zu gehen, bringt sie den Kern dem Verständnis des Unkundigen in gefälliger Form recht nahe. Die Abbildungen im Text haben unter dem Kriegspapier leider sehr gelitten, um so erfreulicher ist die Beigabe der schönen Gravüre.

Möge das Buch die verdiente Verbreitung finden, es gelesen zu haben ist reicher Gewinn.

W. Vn.

**Max Planck.** Zur Feier seines 60. Geburtstages Heft 17 der „Naturwissenschaften“ vom 26. April 1918. Sonderausgabe. Berlin, Julius Springer. 72 S. M. 4,—.

In diesem der Ehrung PLANCKs gewidmeten Hefte gibt A. Sommerfeld eine gedrängte Übersicht über PLANCKs Leben und Schaffen. E. Warburg erörtert den Zusammenhang seiner theoretischen Arbeiten mit der Experimentalphysik, W. Wien die Entwicklung von PLANCKs Strahlungstheorie, W. Nernst schreibt über die Quantentheorie und den neuen Wärmesatz, M. v. Laue über Thermodynamik und Kohärenz, Fritz Reiche über die Quantentheorie, ihren Ursprung und ihre Entwicklung, Paul S. Epstein über Anwendungen der Quantenlehre in der Theorie der Serienspektren. Am Schluß der letztgenannten Abhandlung heißt es im Hinblick auf die der Quantentheorie zu verdankende Kenntnis vom Atom, „daß das Werk

von MAX PLANCK uns auf dem Wege zur Erkenntnis der Struktur von Materie und Äther um eine Strecke weitergebracht hat, welche noch vor wenigen Jahren auch den kühnsten Hoffnungen in weite unbestimmte Ferne zu führen schien“. In das Heft hat endlich noch ein nachgelassener Aufsatz von M. v. Smoluchowski „über den Begriff des Zufalls und den Ursprung der Wahrscheinlichkeitsgesetze in der Physik“ Aufnahme gefunden, eine schöne Huldigung für das Andenken des auf dem Felde der Ehre gefallenen hochbegabten Forschers. Der Aufsatz entwickelt bedeutsame Leitgedanken über die objektive Seite des Wahrscheinlichkeitsbegriffs, der in der modernen Theorie der Materie eine so große Rolle spielt. P.

**Carl Stumpf zu seinem siebzigsten Geburtstage.** Heft 18 der Naturwissenschaften, 6. Jahrgang 1918. 16 S. Berlin, Julius Springer. M. 0,60.

Diese Jubiläumsschrift bringt aus der Feder Erich Bechers eine Würdigung des Lebenswerkes von Carl Stumpf, das sich an vielen Stellen mit dem Gebiet der Naturforschung berührt. Bekennt sich doch Stumpf zu der Auffassung, daß Mathematik und Naturwissenschaft heute schlechthin unentbehrliche Grundlagen für wissenschaftliche Philosophie sind. Der Phänomenologie Machs gegenüber vertritt Stumpf einen kritischen Realismus, der in der Annahme einer realen Außenwelt die bestbestätigte aller Hypothesen sieht. Der Physik zugewendet sind namentlich seine Forschungen zur Tonpsychologie, die am weitesten über die von Helmholtz gelegten Grundlagen der Lehre von den Tonempfindungen hinausführen. Der Verfasser gibt über diese wie auch die rein philosophischen Arbeiten Stumpfs eine dankenswerte Übersicht. P.

**Handbuch der Allgemeinen Chemie.** Unter Mitwirkung vieler Fachleute herausgegeben von Wilh. Ostwald und Carl Drucker. Bd. II: Die Edelgase, von W. Ramsay und G. Rudolf (London). Leipzig, Akad. Verlagsges., 1918. VIII und 416 S. M. 26.

Wir haben es in dem vorliegenden Buche mit dem zuerst herauskommenden Bande eines großzügig angelegten Werkes zu tun, das nicht weniger als 21 Bände umfassen wird. Von diesen sind den grundlegenden Gesetzen und Theorien 10 Bände, der Gleichgewichtslehre 4, der Elektrochemie 3, der Thermochemie (einschließlich „Photochemie“ und „Kapillarchemie,

Kolloide“) 4 Bände gewidmet. Der vorliegende Band bietet in seinem „Speziellen Teile“ (S. 91 ff.) gleichsam umfassende Monographien der einzelnen Edelgase vom Helium bis Xenon in mustergültiger Bearbeitung und erstaunlicher Reichhaltigkeit und behandelt ferner die radioaktiven Emanationen. Von Figuren und Kurven ist Abstand genommen; in experimenteller Hinsicht ist daher noch der von Ramsay bearbeitete Abschnitt über die Reindarstellung der Edelgase im Stählerschen Handbuch heranzuziehen. Nach dem vorliegenden Bande zu urteilen, verspricht das ganze Werk ein würdiges Denkmal der hochragenden modernen Chemie zu werden. O. Ohmann.

**Die Erscheinungsformen der Materie.** Vorlesungen über Kolloidchemie. Von Volkmar Kohlschütter, o. Prof. d. Ch. a. d. Univ. Bern. Leipzig, Teubner, 1917. 355 S., M. 7, geb. M. 8.

Das Buch ist aus einer einsemestrigen Reihe von Vorlesungen über Kolloidchemie hervorgegangen, die zwar ursprünglich für Chemiker bestimmt waren, aber vor einem mannigfaltigeren Hörerkreise abgehalten wurden. Dementsprechend wendet sich das Buch in gemeinverständlicher Darstellung auch an die weiteren Kreise der naturwissenschaftlich Gebildeten. Dennoch ist es nicht unter die populären Bücher im gewöhnlichen Sinne zu rechnen, denn es geht in verschiedenen Abschnitten recht gründlich in die Tiefe. Den umfangreichen Stoff behandelt es in klarer und anschaulicher Weise; kennzeichnend ist, daß es die Kolloide als besondere „Erscheinungsform der Materie“ aus einer eingehenden Betrachtung der Aggregatzustände herauswachsen läßt. In dem kurzen, besonders vom mineralogischen Standpunkt aus interessanten Kapitel der „Rhythmischen Fällung“ wird bei dem angezogenen Versuch mit Silbernitrat und Ammoniumbichromat vielleicht mancher Fernerstehende genauere, ein sicheres Gelingen gewährleistende Angaben vermissen; auch wäre hier gerade eine Abbildung sehr am Platze gewesen. Ebenso konnte bei der Erörterung der weitgehenden Stoffzerteilung, wie sie beim Rhodanquecksilber und manchem Graphit unter gewissen Umständen auftritt, auch das eigenartige Verhalten einer in Alkohol abbrennenden Emser Pastille als drittes leicht von jedermann ausführbares Beispiel angeschlossen werden. Das inhaltreiche Buch ist auch für den chemischen Unterricht sehr wertvoll und wird bei dem lebhaften Interesse, das die Kolloidchemie verdient, sich viele Freunde erwerben. O. Ohmann.

# Himmelserscheinungen im August und September 1918.

0<sup>h</sup>, 24<sup>h</sup> = Mitternacht. (Berliner Zeit = MEZ - 0,1<sup>h</sup>)

MEZ 12 <sup>h</sup>	August						September					
	4	9	14	19	24	29	3	8	13	18	23	28
♃ {AR D	10 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> 7 <sup>o</sup>	10.54 5	11.3 3	11.6 1	11.0 1	10.47 3	10.31 5	10.20 8	10.21 10	10.35 10	11.0 8	11.31 5
	♃ {AR D	6 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> 22 <sup>o</sup>	7.21 22	7.47 21	8.13 20	8.38 19	9.3 18	9.28 16	9.52 14	10.16 12	10.40 10	11.3 8
♃ {AR D		8 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> 17,4 <sup>o</sup>	9.14 16,0	9.33 14,6	9.52 13,0	10.10 11,3	10.28 9,6	10.47 7,8	11.5 5,9	11.23 4,0	11.41 2,1	11.59 0,2
	♃ {AR D	13 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> -9 <sup>o</sup>	13.33 -10	13.45 -11	13.56 -13	14.8 -14	14.21 -15	14.34 -16	14.47 -17	15.0 -18	15.14 -19	15.28 -20
♃ {AR D		6 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup> 23 <sup>o</sup>		6.29 23		6.38 23		6.45 23		6.52 23		6.57 23
	♃ {AR D	9 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> 17 <sup>o</sup>						9.35 15				
Sternzeit <sup>1)</sup>		8 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 48 <sup>a</sup>	9.8.31	9.28.14	9.47.56	10.7.39	10.27.22	10.47.5	11.6.47	11.26.30	11.46.13	12.5.56
Zeitgl.	6 <sup>m</sup> 0 <sup>a</sup>	5.28	4.41	3.41	2.28	1.4	-0.28	-2.7	-3.51	-5.37	-7.23	-9.6
Breite von Berlin. Ortszeit												
♃ {Aufg. Unterg.	4 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	4.32	4.41	4.49	4.57	5.6	5.14	5.22	5.31	5.39	5.47	5.56
	19 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	19.37	19.27	19.17	19.6	18.55	18.44	18.32	18.21	18.9	17.57	17.45
♃ {Aufg. Unterg.	1 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	7.36	13.14	17.35	19.34	22.34	3.5	8.47	14.2	16.51	18.58	23.46
	18 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup>	19.58	21.40	1.6	8.3	14.38	17.31	18.56	21.45	2.39	9.54	14.46

<sup>1)</sup> Im Stargarder Meridian.

### Herbstanfang MEZ. September 23, 21<sup>h</sup> 45<sup>m</sup>:

Mondphasen MEZ	Neumond		Erstes Viertel		Vollmond		Letztes Viertel	
		Aug. 6,	21 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup>	Aug. 15,	0 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	Aug. 2,	6 <sup>h</sup> 2 <sup>m</sup>	Aug. 28,
	Sept. 5,	11 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>	Sept. 13,	16 <sup>h</sup> 2 <sup>m</sup>	Sept. 20,	14 <sup>h</sup> 1 <sup>m</sup>	Sept. 27,	5 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>

### Lauf des Mondes im Tierkreis. 0<sup>h</sup> MEZ.

	W	S	Z	K	L	J	Wg	Sp	Sz	Sb	Ws	Fs
August		1, 2, 3	4, 5	6, 7	8, 9, 10	11, 12	13, 14, 15	16, 17	18, 19	20, 21, 22	23, 24	25, 26
August	27, 28	29, 30	31.									
Septbr.			1	2, 3, 4	5, 6	7, 8, 9	10, 11	12, 13, 14	15, 16	17, 18	19, 20	21, 22
Septbr.	23, 24	25, 26	27, 28	29, 30								

Die Grenzen der auf 30<sup>o</sup> abgerundeten Sternbilder: Widder Stier Zwillinge; Krebs Löwe Jungfrau; Wage Skorpion Schütze; Steinbock Wassermann Fische hatten zur Zeit des Ptolemäus die Länge 0<sup>o</sup> 30<sup>o</sup> 60<sup>o</sup>; 90<sup>o</sup> 120<sup>o</sup> . . ., sie haben jetzt die Länge 25<sup>o</sup> 55<sup>o</sup> 85<sup>o</sup>; 115<sup>o</sup> 145<sup>o</sup> 175<sup>o</sup> . . . in 70 Jahren wächst sie um 1<sup>o</sup>. Der Mond steht z. B. am 29. und 30. August im Sternbild oder Zwölftel des Stiers, und tritt am 30. August in die Zwillinge.

### Tägliches Erscheinen und Verschwinden des Planeten. Ortszeit. Breite von Berlin.

Tag	♃ Abendstern		Tag	♀ Morgenstern		♃ (Jungfr., Wage)		♃ (Zwillinge)		♃ (Krebs)	
	nachm.			vorm.		nachm.		(vorm.) nachm.	vorm.	vorm.	
IX 10	4,4 <sup>h</sup>		VII 20	A 1,6 <sup>h</sup>	D 3,2 <sup>h</sup>	D 9,9	U 10,6	A (1,9)	D 2,6		
IX 18	A 3,9	D 4,6	VIII 9	A 2,0	D 3,8	D 9,1	U 9,6	A (0,9)	D 3,3		(VIII 27, 3,6 <sup>h</sup> )
IX 28	A 4,6	D 4,9	VIII 29	A 2,9	D 4,4	D 8,2	U 8,6	A 11,9	D 4,0	A 3,6	D 3,8
X 3	5,2 <sup>h</sup>		IX 18	A 4,0	D 5,0	D 7,3	U 7,8	A 10,9	D 4,6	A 2,5	D 4,5
			X 8	A 5,0	D 5,6	D 6,5	U 7,1	A 9,8	D 5,2	A 1,2	D 5,1

M. Koppe.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.