

**Handbuch**  
für  
**Physikalische Schülerübungen**

Von

**Hermann Hahn**

Professor am Dorotheenstädtischen Realgymnasium  
und Leiter der Kurse für physikalische Schülerübungen in dem naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut  
für Lehrer höherer Schulen zu Berlin

**Zweite, verbesserte Auflage**

Mit mehr als 340 in den Text gedruckten Figuren



**Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH**  
**1913**

**Handbuch**  
für  
**Physikalische Schülerübungen**

**Handbuch**  
für  
**Physikalische Schülerübungen**

Von

**Hermann Hahn**

Professor am Dorotheenstädtischen Realgymnasium  
und Leiter der Kurse für physikalische Schülerübungen in dem naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut  
für Lehrer höherer Schulen zu Berlin

**Zweite, verbesserte Auflage**

Mit mehr als 340 in den Text gedruckten Bildern



**Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1913**

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung  
in fremde Sprachen, vorbehalten.**

ISBN 978-3-662-23526-3      ISBN 978-3-662-25601-5 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-25601-5

Herrn

Geheimem Regierungsrat

**Dr. Otto Vogel**

in dankbarer Verehrung gewidmet

## Vorrede zur ersten Auflage.

Das Buch wendet sich an Physiklehrer, die befähigt sind, Schülerübungen zu leiten. Es sucht daher Leser besonderer Art: Lehrer mit reichem Wissen und von tüchtigem Können, vor deren Geist das leuchtende Bild eines vollkommenen physikalischen Unterrichts schwebt, tatkräftige Männer, die fest an die Verbesserungsfähigkeit der Lehrverfahren glauben und mit eisernem Willen in unermüdlicher Arbeit danach streben, ihren Unterricht so vortrefflich zu gestalten, wie es die eigene Kraft, die äußern Widerstände und die Klugheit der Zeitgenossen gestatten. Das Buch will den Physiklehrern deutscher Zunge helfen, mit den amerikanischen, englischen und französischen Berufsgenossen in gleicher Front zu arbeiten und mit ihnen in edlem Wettstreit um die Palme des besten Unterrichts zu ringen.

Das Buch ist den Bedürfnissen der jungen Lehrer angepaßt, denen das Einleben in das neue Lehrverfahren und das Einrichten der Übungen eine schwere Arbeitslast aufbürdet. Von dem Wirken dieser jugendfrischen Kräfte hängt die Zukunft unsers Fachs ab. Vergeudet man ihre Schaffenskraft in unnützen Wiederholungen bereits erledigter Aufgaben, so hemmt man das rüstige Fortschreiten unserer Lehrverfahren. Ich war daher eifrig bemüht, durch Vorarbeiten meinen jungen Berufsgenossen überall ein weises Haushalten mit ihren Kräften zu ermöglichen, so daß sie mit voller Wucht die neue Unterrichtsweise rasch fördern können.

Das Buch enthält die wichtigsten und brauchbarsten messenden Übungen, die ich am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und in den Praktischen Naturwissenschaftlichen Kursen in der Alten Urania\*) habe ausführen lassen. Ich habe nur wenige qualitative Übungen aufgenommen, ohne jedoch hierdurch ausdrücken zu wollen, daß ich solche „Vorübungen“ für überflüssig halte. Durch diesen Ausschluß wurden freilich die Versuche über die Eigenschaften der Flüssigkeiten und der Gase und über den Magnetismus stark vermindert und die Übungen über die Reibungselektrizität ganz unterdrückt. Trotzdem enthält das Buch viel mehr Aufgaben, als man selbst an der best-eingerichteten Oberrealschule behandeln kann. Dieser Überschuß an Übungen und das häufige Nebeneinanderstellen der verschiedenen

---

\*) Jetzt: Naturwissenschaftliches Fortbildungsinstitut für Lehrer höherer Schulen.

anwendbaren Verfahren geben dem Leiter der Übungen eine willkommene Bewegungsfreiheit.

Der Inhalt des Buchs ist zwar scharf, doch nicht starr gegliedert. Auf den Wortlaut der Aufgabe folgt die Angabe, wieviel Schüler zur Ausführung der Versuche mindestens erforderlich sind, und welche Zeit sie dazu brauchen. An den Hinweis auf die Literatur reihen sich die Aufzählung der erforderlichen Geräte, die Anleitung, wie die Versuche auszuführen sind, und daran Bemerkungen über die Geräte und die Verfahren.

Der Inhalt und die Anlage des Buchs sind nur dem ganz verständlich, der meine Abhandlung „*Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten?*“ und die Ausführungen über die physikalischen Schülerübungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und über die Praktischen Naturwissenschaftlichen Kurse in der Alten Urania auf S. 466 dieses Buchs gelesen hat.

Der Stoff der Versuche ist dem altbekannten gesicherten Wissensbestande der Physik entnommen und bietet nirgends etwas wesentlich Neues. Dagegen erfordern die Übungen oft neue Geräte und Versuchsverfahren. Bei dem Entwerfen der Übungen habe ich stets alle Vorarbeiten benutzt, die mir zur Zeit des Gerätebaues und der Versuchsgestaltung vorlagen. Da ich ursprünglich die Übungen ohne die Absicht ausgearbeitet habe, sie später zu veröffentlichen, so fehlen zumeist auf meinen Vorbereitungszetteln für die ältern Versuche die Literaturnachweise, doch habe ich, soweit dies ohne zu großen Zeitaufwand möglich war, vor dem Druck die Quellen nachträglich hinzugefügt, die einen wesentlichen Teil des Geräts oder des Versuchs entscheidend beeinflusst haben. Viele wertvolle Verbesserungen verdanke ich auch den Teilnehmern an meinen Kursen und meinen Schülern. Da ich die Vorarbeiten vollkommen frei benutzt habe, so trage ich für alle Abänderungen die volle Verantwortung. Nur bei ganz wenigen Versuchen, deren jetzige Ausführungsart noch nicht völlig befriedigt, will die Quellenangabe dem Gewährsmann die Verantwortung zuweisen.

An der Spitze jeder Aufgabe steht ein übersichtliches Verzeichnis der erforderlichen Geräte, damit der Leiter die Übung schnell, sicher und bequem vorbereiten kann. Die einzelnen Geräte habe ich in den Bemerkungen am Ende jeder Aufgabe und in dem Abschnitt „Allgemeines über galvanisches Arbeiten“ (S. 328) ausführlich beschrieben. Die Abbildungen beruhen auf Maßzeichnungen oder photographischen Aufnahmen der von mir benutzten Geräte (vgl. S. 471). Diese genauen Angaben sollen den Leser in den Stand setzen, erfolgreich an der weitem Verbesserung der Geräte mitzuarbeiten. In den Bemerkungen ist zuweilen angegeben, daß sich dieses Gerät oder jener Versuch nicht bewährt hat. Diese Ablehnung ist, insofern als andere Urheber in Betracht kommen, so zu begrenzen: Ich kann nur behaupten, daß das Gerät und der Versuch, wie ich sie ausgeführt habe, nicht tadellos sind. Trotzdem können das Gerät

und der Versuch tatsächlich brauchbar sein, nur sind sie dann in der angegebenen Quelle nicht so vollständig beschrieben, daß ihre Nachbildung oder Wiederholung sicher gelingt.

Bei der Benutzung der Anleitungen ist zu beachten, daß ich in einigen Anweisungen mehr Versuche aufgenommen habe, als in der angegebenen Zeit ausführbar sind. Der Leiter wird dies, selbst bei geringer Erfahrung, leicht von vornherein oder schon am Anfang der Übung bemerken und die Anzahl der Versuchswiederholungen stark kürzen, einige Abschnitte weglassen oder in geeigneten Fällen das Verfahren des allseitigen Angriffs anwenden. Zu diesem Zweck habe ich die Anleitungen in einzelne scharf getrennte Abschnitte gegliedert, die durch Buchstaben bezeichnet sind. Diese Einrichtung erlaubte mir, zuweilen kleine Nebenuntersuchungen einzuschalten oder tiefer in die Aufgabe einzudringen und so dieselbe Übung für verschiedene Klassen verwendbar zu machen. Mit den erforderlichen Kürzungen und bei Beschränkung auf die Hauptversuche lassen sich nach meinen Erfahrungen alle Übungen in der angegebenen Zeit ausführen.

Bei den Übungen kommt es durchaus nicht darauf an, daß die Schüler so gute Ergebnisse erzielen, wie die Gelehrten in den Instituten der Universitäten. Auf den Schulen sind vielmehr die Wege einzuschlagen, die möglichst einfach und gerade zum Ziel führen, mögen sie auch weniger leistungsfähig sein, als die Verfahren, die man jetzt mit Recht in der Wissenschaft und in der Technik anwendet. Wohl aber soll man von den Schülern verlangen, daß sie sich ernsthaft bemühen, die besten Ergebnisse zu erhalten, die mit ihren einfachen und rohen Geräten auf dem benutzten Weg erreichbar sind. Ebenso wie man im Rechenunterricht anfangs die einzelnen Rechnungen in unverkürzter Form ausführen läßt, um zunächst eine ausreichende Fertigkeit zu erzielen, und erst dann, wenn die Sicherheit in der Form erreicht ist, zu Abkürzungen und Feinheiten übergeht, so soll man auch bei den physikalischen Übungen zunächst alle Messungen so genau ausführen lassen, wie es die benutzten Geräte gestatten, und erst dann, wenn die erforderliche Geschicklichkeit und ein ausreichendes Verständnis erworben sind, die einzelnen Messungen so einrichten, daß ihre Fehler alle annähernd gleich stark das Ergebnis beeinflussen.

Die Wörter, die in den Anleitungen kursiv gedruckt sind, weisen darauf hin, daß hier der Leiter in die Übungen eingreifen soll, um Fachausdrücke mitzuteilen oder Erklärungen zu geben. Hierbei soll sich der Lehrer ganz kurz fassen und den richtigen Augenblick benutzen, damit er nicht die Versuche der Schüler hemmt oder gar stört. Die sorgfältige Fassung der Begriffe und Gesetze sollen Schüler und Lehrer erst nach der Übung in gemeinsamer Arbeit feststellen.

Ich hebe ausdrücklich hervor, daß für meine Schüler die Anleitungen nicht bindende Vorschläge sind; jeder Schüler darf

andere Wege einschlagen. Er hat es mir nur vorher zu melden, damit ich prüfen kann, ob nicht bei dem beabsichtigten Verfahren etwa die Geräte beschädigt oder der Schüler und seine Kameraden gefährdet werden. Bei dem Arbeiten in gleicher Front beeinträchtigt ein falsches Ergebnis einer einzelnen Arbeitsgruppe nicht die Lösung der gestellten Aufgabe; ich verhindere es daher nicht, wenn einzelne Schüler selbst Verfahren wählen, deren Mißerfolg ich voraussehe.

Der Anhang bringt zunächst einen Überblick über die Entwicklung der physikalischen Schülerübungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium. Wer die Ergebnisse dieses Versuchsfeldes für das neue Lehrverfahren unbefangen prüft, wird kaum wünschen, daß die jungen Physiklehrer auch heute noch immer wieder da beginnen, wo SCHWALBE 1892 eingesetzt hat. Er müßte denn dabei vollständig übersehen, daß die Lehrer der Physik am Dorotheenstädtischen Realgymnasium nicht eigensinnig, selbstgefällig und urteilslos 16 Jahre lang mit ihren ursprünglichen Verfahren fortgearbeitet haben, sondern pflichtgemäß bemüht gewesen sind, die Erfahrungen der Physiklehrer aller Kulturvölker auch für ihre Schüler fruchtbar zu machen, soweit dies die äußern Verhältnisse zuließen, die sie aus eigener Kraft nicht ändern konnten.

Die Bemerkungen über den Betrieb der Schülerübungen, die die Arbeitsordnung, die allgemeinen Ratschläge, die graphischen Darstellungen, das Zahlenrechnen und die Übungsberichte behandeln, ergänzen die Ausführungen in meiner oben erwähnten Abhandlung über die praktische Gestaltung der Übungen.

Das allgemeine Geräteverzeichnis auf S. 483 dürfte jungen Physiklehrern die Beschaffung einer brauchbaren Ausrüstung bedeutend erleichtern.

Das Bücherverzeichnis enthält die in Buchform erschienenen Schriften, die bei der Einrichtung und Leitung der Übungen und bei der Werbung von Anhängern für dieses wichtige Unterrichtsverfahren nützlich sind. Der Umfang und der Inhalt dieses Verzeichnisses dürften selbst den engherzigsten und dünnelhaftesten Vertreter unserer Unübertrefflichkeit darüber aufklären, daß die Zeiten vorbei sind, wo sich ein preußischer Lehrer mit Recht darauf beschränken durfte, nur das einheimische Schulwesen zu studieren. Jeder deutsche Lehrer der Mathematik und Naturwissenschaften, der pflichtgemäß wünscht, daß wir auch in Zukunft unsere hohe wissenschaftliche und wirtschaftliche Stellung auf der Welt behaupten, muß heutzutage wissen, was und wie man in den Schulen der andern Kulturnationen unterrichtet, damit er alle fremden Meister seines Fachs übertreffen kann. Die Verkehrsmittel der Neuzeit haben den Wirkungsbereich der Menschen vergrößert und dadurch gleichsam den Erdball verkleinert, so daß heute die geistigen und wirtschaftlichen Beziehungen zwischen Berlin und New York stärker sind als vor hundert Jahren die zwischen Berlin und Köln. . . . .

Erst nach langem Sträuben habe ich dieses Buch schon jetzt

geschrieben. Viele hervorragende Schulmänner des In- und Auslandes haben sich die physikalischen Schülerübungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und in der Alten Urania angesehen und zahlreiche eifrige Fachgenossen an mich Anfragen gerichtet, deren nutzbringende Beantwortung jedesmal einen Brief vom Umfang dieses Buchs erfordert hätte. Einsichtige Freunde sagten mir, daß ich die Ausarbeitungen veröffentlichen müßte, die ich für meine Schüler und die Teilnehmer an meinen Kursen gemacht hatte. Ich hatte mancherlei Bedenken: meine Aufzeichnungen waren nicht druckreif und hatten einige empfindliche Lücken. Sollte ich noch mehr Arbeit auf eine Sache verwenden, deren innerer und bleibender Wert vielleicht doch zweifelhaft war? Jeder Neuerer muß für seine Sache begeistert sein und an seinen Erfolg glauben. Es fällt ihm daher schwer, die eigenen Leistungen richtig zu bewerten und sich dadurch vor Selbsttäuschungen und Enttäuschungen zu bewahren. Überschätzte ich nicht den Wert und die Zukunft der Übungen und unterschätzte ich nicht die vorhandenen und vielleicht wachsenden Hindernisse?

Vergleicht man die Schülergeräte des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums und der Alten Urania mit den physikalischen Apparaten GOETHE'S im Goethe-Nationalmuseum, so überrascht die Ähnlichkeit dieser Sammlungen, die doch ganz unabhängig voneinander entstanden sind. Sollten Versuche und Vorrichtungen, denen verwandt, die der große Meister harmonischer Lebensführung benutzt hat, wirklich ungeeignete Mittel zur Erreichung der echten humanistischen Ziele des Jugendunterrichts sein?

Sollte der lebhafte Anklang, den die Schülerübungen bei allen Kulturnationen gefunden haben, nicht eine tiefere Ursache haben? Sieht man über die Grenzen des physikalischen Unterrichts hinaus, so erkennt man überall innerlich verwandte Bestrebungen. Die physikalischen Schülerübungen sind nur eins der vielen Anzeichen für eine tiefgehende Umgestaltung unseres geistigen Lebens. Dem Menschen des zwanzigsten Jahrhunderts genügt nicht mehr die reine Erkenntnis, überall wächst der Wille zur Tat. Wir wollen, gestützt auf die Erkenntnis, handeln; wir wollen gestaltend in die Außenwelt eingreifen. Solche geistigen Bewegungen kann man nicht hemmen. Kein Volk und keine Macht auf Erden kann sich ihrer Allgewalt auf die Dauer widersetzen. Von diesem höhern Standpunkt aus erkennt man, daß die Übungen eine unentbehrliche Vorbereitung für den wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Wettbewerb der Kulturnationen und für jeden Staat ein Gebot der Fürsorge für die Leistungsfähigkeit der einheimischen Bevölkerung sind.

Sobald ich dies deutlich erkannt hatte, war es für mich eine Pflicht, durch Herausgabe dieses Buchs dabei mitzuhelfen, daß sich die Übungen so rasch wie möglich an unsern Schulen einbürgern; denn Eile tut hier dringend not. Ich hatte das große Glück, überall bei meinen vorgesetzten Behörden einsichtige und wohlwollende För-

derung zu finden. Ich erbat und erhielt von dem Magistrat zu Berlin Urlaub von Ostern 1907 bis Ostern 1908, so daß ich mich ein Jahr ganz der Abfassung dieses Buchs widmen konnte. Für diese außerordentliche Unterstützung, die erst das rasche Erscheinen dieses Buchs ermöglicht hat, danke ich dem Magistrat und ganz besonders Herrn Stadtschulrat Dr. MICHAELIS, der mit scharfem Blick den hohen Wert der Schülerübungen klar erkannt hat, auch an dieser Stelle auf das wärmste.

Zu innigem Dank bin ich Herrn Provinzial-Schulrat und Geheimem Regierungsrate Dr. OTTO VOGEL verpflichtet, einem Mann, dessen hervorragende Verdienste um die Schülerübungen die Gegenwart infolge seiner großen Bescheidenheit und Zurückhaltung noch nicht voll würdigt, und den ohne Zweifel später einmal die Nachwelt als einen der bedeutendsten Förderer des naturwissenschaftlichen Unterrichts in Preußen feiern wird. Ohne seine andauernde tatkräftige Fürsorge hätte ich den größten Teil der Arbeiten, die in diesem Buch zusammengefaßt sind, nicht ausführen können. Durch meine Ansprüche und Ausgaben habe ich ihm leider oft viele Sorgen und Verlegenheiten bereiten müssen, immer wieder aber half er in seiner Herzensgüte und in seinem unermüdlichen Eifer für die Sache mit Rat und Tat über alle Schwierigkeiten hinweg. Es ist mir eine wahre Herzensfreude, ihm diese erste größere Veröffentlichung, die aus den Praktischen Naturwissenschaftlichen Kursen hervorgeht, widmen zu dürfen und so einen geringen Teil des großen Danks abzutragen, den wir, ich und sehr viele andere Lehrer der Naturwissenschaften, ihm schulden.

Mein lieber Freund und Kollege HANS MATTHÉE hat mich bei der Herausgabe auch dieses Buchs unermüdlich und selbstlos unterstützt. Ich danke ihm dafür herzlichst, ebenso meinem Mitarbeiter F. A. HINTZE, der mir bei dem Bau und der genauen Beschreibung der Geräte wertvolle Hilfe geleistet hat.

Der Verleger hat keine Kosten und Mühen gescheut, um das Buch in der vollkommensten Weise auszustatten, und alles getan, um den Benutzern das Arbeiten damit so bequem wie möglich zu machen. Alle Leser und auch ich schulden ihm dafür den verbindlichsten Dank. . . .

Sollte das gedruckte Buch meinen Berufsgenossen ebenso große Dienste leisten wie mir früher die geschriebenen Vorbereitungszettel, die seine Unterlage bilden, so werde ich nicht bereuen, dieses vielleicht noch unreife Sorgenkind, den Träger vieler Liebe, Arbeit und Freude, in die Welt hinausgeschickt zu haben.

Grunewald, am Niclasabend 1908

**Hermann Hahn**

## Vorrede zur zweiten Auflage.

Elf Monate lang war das Buch vergriffen. Schwere Schicksale hinderten mich, die Bearbeitung der neuen Auflage rechtzeitig zu vollenden.

Neue Aufgaben habe ich nicht eingefügt. Die meisten Versuche sind auch nach dem Erscheinen des Handbuchs am Dorotheenstädtischen Realgymnasium von Schülern und im naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut von Lehrern oft wiederholt worden. Ich habe alle Mängel und Schwächen, die sich dabei an den Geräten, in den Verfahren und in den Anleitungen herausgestellt haben, unter gewissenhafter Berücksichtigung aller Verbesserungsvorschläge beseitigt oder doch gemildert. Erscheinen die Änderungen auch oft nur unbedeutend, so sind sie doch wertvoll, da sie auf vielseitigen, wiederholten Erfahrungen und Prüfungen beruhen.

Große Sorgfalt habe ich darauf verwandt, den Ausdruck besser der Sache anzupassen, einfacher, klarer und bestimmter zu schreiben. Eine Hauptquelle der sich stets erneuenden Verunreinigung unserer Muttersprache ist der Gebrauch von Fremdwörtern im Unterricht. Ich habe mich bemüht die Fremdwörter auszumerzen, wofür gute deutsche Ausdrücke vorhanden sind, und gewagt, für eine Reihe physikalischer Begriffe neue deutsche Wörter einzuführen. Ich bitte meine Berufsgenossen, diese Vorschläge zu prüfen, anzunehmen oder zu verbessern. Wir Lehrer der Naturwissenschaften haben die heilige Pflicht, eine alte Schuld zu sühnen; wir dürfen nicht länger durch die Fremdwörter unsrer Fachsprache das feine Sprachgefühl der uns anvertrauten Jugend abstumpfen.

Mein junger Amtsgenosse und Freund CURT FISCHER hat die Probebogen durchgesehen und mit seinem reichen Wissen und scharfen Urteil das Buch an vielen Stellen wesentlich verbessert. Ich danke ihm herzlichst für seine treue Hilfe.

Berlin-Halensee, den 1. Mai 1913

**Hermann Hahn**

# Inhaltsverzeichnis.

## Erster Teil.

### Maß und Messen.

(21 Aufg.)

	Seite
I. Raum und Gestalt . . . . .	1
II. Masse und Dichte . . . . .	19

## Zweiter Teil.

### Gleichgewicht und Bewegung der festen Körper.

#### A. Gleichgewicht der festen Körper.

(39 Aufg.)

I. Kraft . . . . .	35
II. Änderung der Größe und der Gestalt von belasteten festen Körpern	44
III. Kräfte, die an einer Stelle angreifen . . . . .	51
IV. Reibung . . . . .	77
V. Kräfte, die an einem Körper angreifen . . . . .	84
VI. Arbeit . . . . .	118

#### B. Bewegung der festen Körper.

(14 Aufg.)

I. Fall auf der schiefen Ebene . . . . .	132
II. Freier Fall . . . . .	145
III. Wurfbewegung . . . . .	148
IV. Einfaches Pendel . . . . .	151
V. Kraft und Masse . . . . .	155
VI. Anstoß und Bewegungsgröße . . . . .	159
VII. Arbeit und Wucht . . . . .	165

## Dritter Teil.

### Eigenschaften der Flüssigkeiten. . . . . 174

(8 Aufg.)

## Vierter Teil.

### Eigenschaften der Gase. . . . . 183

(2 Aufg.)

## Fünfter Teil.

### Schwingungen und Wellenbewegungen. . . . . 189

(15 Aufg.)

Sechster Teil.

**Schall.**

(7 Aufg.)

	Seite
I. Stimmgabel . . . . .	211
II Schwingende Saiten . . . . .	214
III. Schwingende Luftsäulen . . . . .	218

Siebenter Teil.

**Wärme.**

(19 Aufg.)

I. Ausbreitung der Wärme . . . . .	225
II. Warmheit . . . . .	230
III. Ausdehnung der Körper . . . . .	234
IV. Wärmemenge . . . . .	239
V. Zustandsänderungen . . . . .	245
VI. Wärme und Arbeit . . . . .	252

Achter Teil.

**Licht.**

(25 Aufg.)

I. Spiegelung an einer Ebene . . . . .	255
II. Brechung in einer Ebene . . . . .	259
III. Kugelspiegel und Kugellinsen . . . . .	272
IV. Optische Instrumente . . . . .	287
V. Farbenzerstreuung . . . . .	291
VI. Beugung und Interferenz . . . . .	299

Neunter Teil.

**Magnetismus.**

(9 Aufg.)

I. Coulombs Gesetz . . . . .	303
II. Magnetische Felder . . . . .	308
III. Das magnetische Feld der Erde . . . . .	321

Zehnter Teil.

**Galvanismus.**

(53 Aufg.)

I. Allgemeines über galvanisches Arbeiten . . . . .	328
1. Stromquellen . . . . .	328
2. Stromverbindungen . . . . .	331
3. Widerstände . . . . .	337
4. Galvanometer . . . . .	342
II. Quellen des elektrischen Stroms . . . . .	353
III. Chemische Wirkungen des elektrischen Stroms . . . . .	369
IV. Wärmewirkungen des elektrischen Stroms . . . . .	384
V. Ohmsches Gesetz . . . . .	393
VI. Magnetisches Feld des elektrischen Stroms . . . . .	429
VII. Induktionsströme . . . . .	460

<b>Anhang.</b>		Seite
I.	Die physikalischen Schülerübungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und die Kurse in dem naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut für Lehrer höherer Schulen . . . . .	466
II.	Betrieb der Schülerübungen . . . . .	476
A.	Arbeitsordnung . . . . .	476
B.	Ratschläge . . . . .	477
C.	Auswertung der Beobachtungen . . . . .	479
1.	Bildliche Darstellungen . . . . .	479
2.	Zahlenrechnen . . . . .	480
D.	Übungsberichte . . . . .	482
III.	Geräteverzeichnis . . . . .	483
	Werkzeuge und Zeichengeräte 486. Chemikalien und Drogen 486.	
	I. Maß und Messen 487. II A. Gleichgewicht der festen Körper 488.	
	II B. Bewegung der festen Körper 489. III. Eigenschaften der Flüssigkeiten 490. IV. Eigenschaften der Gase 490. V. Schwingungen und Wellenbewegungen 490. VI. Schall 490. VII. Wärme 491. VIII. Licht 491. IX. Magnetismus 492. X. Galvanismus 492.	
IV.	Bücherverzeichnis . . . . .	494
	Sachverzeichnis . . . . .	505

---

### Berichtigungen und Nachträge.

- S. 76. Da Eisendraht von 5 mm Durchmesser schwer zu biegen ist, kauft man am besten einen fertigen Drahtrahmen.
- S. 77 u. 118. Statt Schmirgelpapier nimmt man besser Sandpapier.
- S. 214. Den Anschlaghammer kann man herstellen, indem man einen Rohrstock in das Loch eines durchbohrten Gummistopfens steckt. Der Hammer erzeugt keine Obertöne.
- S. 219. Dauerhafter als ein Porzellanopf ist ein emaillierter Blechtopf. Als großes Gefäß benutzt man eine emaillierte Waschschüssel.
-

## Erster Teil.

# Maß und Messen.

### I. Raum und Gestalt.

**1. Aufgabe.** *Wie groß ist der Raum des vorgelegten Holzstabes von rechteckigem Querschnitt?*

(1 Schüler, 2 Stunden.)

**Geräte.** Nadeln.

Paraffinierter Holzklotz ( $5\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 2,5\text{ cm}$ ).

Meterstab.

**Anleitung.** a) Stich mit einer Nadel zwei feine Löcher in ein Blatt deines Heftes, lege den Maßstab mit der Teilung nach oben längs der Geraden, die durch die Stiche bestimmt wird, drehe das Ganze so, daß der Maßstab gut beleuchtet wird, und miß den Abstand der beiden Löcher in Zentimeter unter Abschätzung der Zehntelmillimeter.

b) Stelle den Maßstab auf die hohe Kante, so daß die Teilung senkrecht steht und die untern Enden der Teilstriche auf das Papier stoßen, und miß nochmals den Abstand der beiden Stiche in Zentimeter unter Abschätzung der Zehntelmillimeter. Stimmen die Ergebnisse beider Messungen genau überein? Wie groß dürfte die Abweichung höchstens sein? Welche Messung ist genauer? *Parallaxe.*

c) Schreibe die Nummer auf, womit dein Holzklotz bezeichnet ist, und ebenso die Nummer deines Maßstabes.

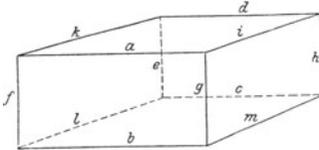


Fig. 1.

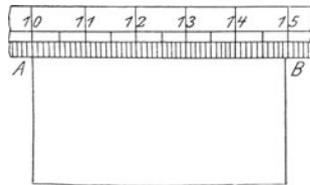


Fig. 2.

d) Bezeichne, wenn es noch nicht geschehen ist, die Kanten des Körpers wie in Fig. 1 mit Buchstaben.

e) Lege den Maßstab so an die Kante  $a$  des Holzklotzes, daß die geteilte Kante des Maßstabes mit dem zu messenden Rande zusammenfällt und der Teilstrich 10 genau über der Ecke  $A$  (Fig. 2) liegt, und lies ab, welcher Millimeterstrich zwischen  $A$  und  $B$  am nächsten bei  $B$  liegt. Schätze ab, wieviel Zehntel eines Milli-

meters man noch zu der abgelesenen Länge hinzufügen muß, damit die Strecke des Maßstabes möglichst genau mit der Strecke  $AB$  übereinstimmt. Bei der Schätzung der Zehntel ist der Raum zwischen den Mitten der Teilstriche und nicht der Raum zwischen den benachbarten Rändern der Striche in Zehntel zu teilen. Vernachlässige bei dem sorgfältigen Schätzen der Zehntelmillimeter nicht das richtige Ablesen der Zentimeter und Millimeter. Schreibe die Länge von  $a$  in Zentimeter, Millimeter und Zehntelmillimeter mit der Benennung  $\text{cm}$  und unter Setzung des Dezimalkommata auf.

f) Bringe einen andern Teilstrich (z. B. 50) mit  $A$  zur Deckung, miß wiederum die Länge von  $a$  und schreibe auch sie auf.

g) Laß einen dritten Teilstrich, sagen wir 30, mit  $A$  zusammenfallen, miß zum drittenmal die Länge  $a$  und schreibe sie ebenfalls auf.

h) Nimm aus den drei gemessenen Werten von  $a$  das Mittel. Dieses sieht man als die wahrscheinlichste Länge von  $a$  an. Welche Stelle nach dem Komma ist bei jeder einzelnen Messung infolge der Schätzung nicht ganz genau? Wieviel Stellen darf man daher bei der Bildung des Mittels nur beibehalten?

i) Miß ebenso die Längen der Kanten  $b$ ,  $c$  und  $d$ , die zu  $a$  parallel sind. Nimm das Hauptmittel aus den Mittelwerten von  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und  $d$ ; es liefert die wahrscheinlichste Länge  $L$  des Holzklotzes.

k) Ermittle ebenso durch Messung von  $e$ ,  $f$ ,  $g$  und  $h$  die Höhe  $H$  des Holzklotzes und durch Messung von  $i$ ,  $k$ ,  $l$  und  $m$  seine Breite  $B$ .

l) Schreibe die Ergebnisse der Messungen in folgender Weise auf:

.... klotz Nr. ...

Maßstab Nr. ...

Messung	$a$ cm	$b$ cm	$c$ cm	$d$ cm
1				
2				
3				
Summe Mittel				

Hauptmittel  $L = \dots$  [cm].

Messung	$e$ cm	$f$ cm	$g$ cm	$h$ cm
1				
2				
3				
Summe Mittel				

Hauptmittel  $H = \dots$  [cm].

Messung	$i$ cm	$k$ cm	$l$ cm	$m$ cm
1				
2				
3				
Summe Mittel				

Hauptmittel  $B = \dots$  [cm].

m) Berechne aus den so gefundenen Werten von  $L$ ,  $B$  und  $H$  den Raum des Holzklotzes

$$V = L \cdot B \cdot H \text{ [cm}^3\text{]}.$$

Welche Stellen von  $L$ ,  $B$  und  $H$  sind mit einem, wenn auch kleinen Fehler behaftet? Auf wieviel Stellen ist also die Maßzahl von  $V$  genau, und wieviel Stellen darf man mithin nur beibehalten? *Abgekürztes Vervielfachen.*

n) Zeichne den Grundriß, den Aufriß und den Seitenriß des Holzklotzes und trage die Maße ein.

**Bemerkungen.** Der Maßstab ist aus Ahornholz, 1 m lang und in Millimeter geteilt. Der Holzklotz ist mit sehr heißem Paraffin durchtränkt und dessen Überschuß nach dem Erkalten weggeschabt. Man kann auch Stäbe aus Hartgummi, Marmor, Glas oder Aluminium verwenden, doch muß sich ihre Masse noch mit den vorhandenen Wagen bestimmen lassen.

Man erläutere eingehend durch eine Zeichnung den aus der Parallaxe stammenden Fehler. Sind die Ecken des Klotzes bereits stark beschädigt, so lasse man den Maßstab wie in Fig. 3 anlegen. Man achte darauf, daß die Schüler keine Striche oder sonstigen Marken auf die Maßstäbe machen.

Diese Übung erfordert die gewissenhafteste Überwachung. Der Lehrer überzeuge sich, daß jeder Schüler den Maßstab richtig handhabt und auch das hinschreibt, was er abgelesen hat. Der mathematische Unterricht hat dem Geiste des Schülers den Begriff eines gedachten Quaders fest eingeprägt. Der Schüler sucht dieses geistige Bild in die Wirklichkeit zu übertragen und hält es durchaus für richtig, nicht das aufzuschreiben, was er gemessen hat, sondern das, was er nach seinen mathematischen Kenntnissen hätte finden müssen. Hier soll der Lehrer den Schüler zur unbedingten Unterwerfung unter die Tatsachen der Wirklichkeit erziehen. Er weise auf den Unterschied hin zwischen dem streng richtigen Körper, den er beim Tischler bestellt hat, und der groben Verwirklichung, die dieser geliefert hat. Oberflächliche Schüler sind anfangs geneigt, aus der Fehlerhaftigkeit jeder physikalischen Messung eine Berechtigung zu liederlichem Rechnen abzuleiten; sie vernachlässigen die Zehntelmillimeter und sogar die ganzen Millimeter. Man halte streng darauf, daß die Schüler so scharf rechnen, wie dies bei der erreichten Genauigkeit der Messung vernünftig ist. Man benutze auch im physikalischen Unterricht jede Gelegenheit, die Schüler im abgekürzten Rechnen zu üben. Sie sind uns später dafür recht dankbar.

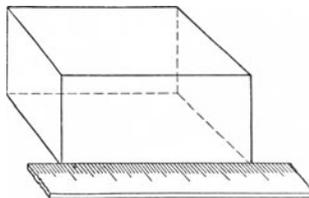


Fig. 3.

**2. Aufgabe.** *Wie sind die Rechenstäbe eingerichtet, und wie benutzt man sie?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** ABRAHAM 1, 57 Nr. 10. CREW-TATNALL 31 Nr. 15. JOHN PERRY, *Practical Mathematics*<sup>1</sup> 9 Nr. 14.

<b>Geräte.</b> Millimeterpapier. Schere. Rechenstab aus Karton.	Reißnägel. Spitzer harter Bleistift. Dreieck.
---	---

**Anleitung.** a) Wie groß ist das Produkt  $4,93 \times 2,51$ ? Es ist

$\log 4,93$	0,6928
$\log 2,51$	0,3997
$\log 4,93 \times 2,51$	1,0925
$4,93 \times 2,51 = 12,373.$	

Bei diesem Verfahren ist das Vervielfachen auf das Zusammenzählen zurückgeführt; dies aber läßt sich auf viele Weisen mechanisch ausführen. Man könnte erst 6928 Bohnen in einen Sack legen, dann

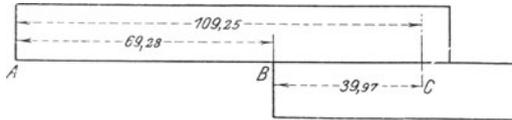


Fig. 4.

noch 3997 Bohnen hinzufügen und nun das Ganze zählen. Schlauer schon wäre es, auf eine Wageschale 6,928 gr und dann noch 3,997 gr zu legen und das Ganze zu wägen. Noch besser ist es, auf einem Streifen Millimeterpapier (Fig. 4) am untern Rande  $AB = 69,28$  cm und auf

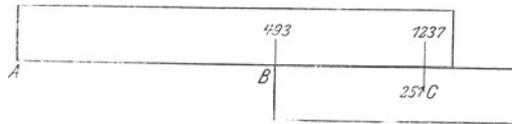


Fig. 5.

einem andern Streifen am obern Rande  $BC = 39,97$  cm abzutragen und beide Streifen so aneinander zu fügen, daß man die Summe 109,25 cm ablesen kann. Ähnlich ist der Rechenstab eingerichtet, nur ist die Bezifferung eine andere. Hier sind an die Enden der

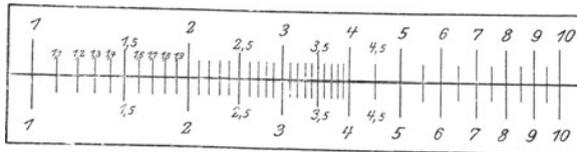


Fig. 6.

Strecken, die die Mantissen der Logarithmen darstellen, statt der Vielfachen der Mantissen die Vielfachen ihrer Numeri geschrieben. Ein Rechenstab hat also nicht die in Fig. 4, sondern die in Fig. 5 abgebildete Bezifferung.

b) Schneide aus Millimeterpapier zwei Streifen, die  $\sim 12$  cm lang

und 2 cm breit sind. Hefte sie mit Reißzwecken dicht nebeneinander und zwar so, daß ihre Teilstriche genau zusammenfallen (Fig. 6). Stelle mit Hilfe der Logarithmentafel folgende Tabelle auf:

$N$	$\log N$	$\nu = 10 \log N$ in cm
1,1	0,0414	0,41
1,2	0,0792	0,79
1,3	0,1139	1,14
.	.	.
.	.	.
1,9	0,2788	2,79
2,0	0,3010	3,01
2,5	0,3979	3,98
3,0	0,4771	4,77
.	.	.
.	.	.
9,0	0,9542	9,54
9,5	0,9777	9,78
10,0	1,0000	10,00

Ziehe an den linken Enden der beiden Streifen den Teilstrich 1, trage von da nach rechts  $\nu = 0,41$  [cm] ab und schreibe  $N = 1,1$  an den neuen Strich. Trage ebenso die übrigen Werte von  $\nu$  auf und beziffere sie in der gleichen Weise.

c) Der Rechenstab (Fig. 7) hat auf dem festen Rahmen (dem Stabe) und auf dem beweglichen Schieber solche Teilungen und

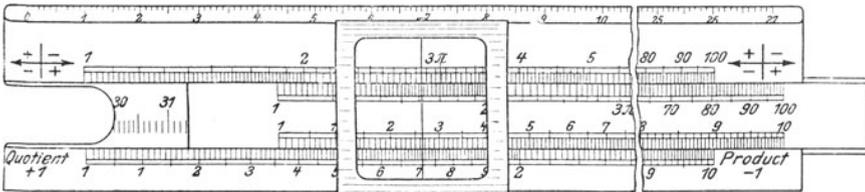


Fig. 7.

ist außerdem mit einem verschiebbaren Läufer versehen, dessen Marke zur Einstellung beliebiger Zahlen auf der Stabteilung dient.

d) Wir wollen zunächst nur mit der obern Teilung von Stab und Schieber arbeiten. Stelle den Schieber so, daß die Striche der Teilungen von Stab und Schieber zusammenfallen. Die Teilstriche stellen die Logarithmen von  $N$  dar. Stelle den Schieber so, daß der Strich 1 des Schiebers dem Teilstrich 2 des Stabes genau gegenübersteht. Welche Teilstriche des Stabes fallen mit den Teilstrichen 2,

3, 5 usw. des Schiebers zusammen? Welches Vielfache der Schieberzahlen sind die Stabzahlen?

Laß den Strich 1 des Schiebers mit dem Teilstrich 3 des Stabes zusammenfallen. Wie verhalten sich alle Zahlen auf dem Stabe zu den entsprechenden Zahlen auf dem Schieber?

Will man das Produkt  $a \cdot b$  berechnen, so stellt man den Strich 1 des Schiebers auf den Teilstrich  $a$  des Stabes ein und sucht auf dem Schieber den Teilstrich  $b$  auf. Der Teilstrich des Stabes, der diesem Teilstrich gegenüberliegt, ist das gesuchte Produkt. Berechne mit dem Rechenstab  $4 \times 3$ ,  $17 \times 3$  usw.

e) Wieviel ist  $5 \times 4 \times 2$ ? Stelle den Strich 1 des Schiebers gegenüber dem Strich 4 auf dem Stabe. Schiebe den Läufer so, daß seine Marke über dem Strich 5 auf dem Schieber liegt. Schiebe nun den Strich 1 des Schiebers unter die Marke des Läufers und lies auf dem Stabe die Zahl ab, die der Zahl 2 des Schiebers gegenüberliegt.

f) Teile 12 durch 3. Stelle die Zahl 3 des Schiebers der Zahl 12 auf dem Stabe gegenüber. Die Zahl des Stabes, die dem Strich 1 des Schiebers gegenüberliegt, ist der gesuchte Quotient. Berechne  $1:7$ .

g) Bestimme die Produkte  $8 \times 7$ ;  $24 \times 2,5$ ;  $5,1 \times 3,95$ ;  $4,93 \times 2,51$ ;  $4,95 \times 3,05 \times 2,49$ . Beachte dabei, daß die Abstände zwischen den Teilstrichen in den verschiedenen Gebieten der Teilung verschieden groß sind.

h) Wird das Produkt  $a \cdot b$  größer als 100, so bringt man den Strich 100 des Schiebers gegenüber dem Strich  $a$  des Stabes; dann steht dem Strich  $b$  des Schiebers auf dem Stabe der hundertste Teil des Produkts  $a \cdot b$  gegenüber. Berechne  $65 \times 6$ ;  $41,7:2,93$ .

i) Berechne  $18 \times 7:4$ . Teile erst durch 4, lies den Quotienten nicht ab, sondern stelle ihn mit dem Läufer ein und multipliziere ihn dann mit 7. Berechne, ohne die Teilergebnisse abzulesen,  $28,4 \times 3,1:17,5$  und  $(91 \times 12,5):(13,4 \times 5,8)$ .

k) Die Striche der untern Teilungen des Stabes und des Schiebers haben vom Strich 1 nicht den Abstand  $\nu$  sondern  $2\nu$ . Die Einstellung des Läuferstrichs oder eines Endstrichs des Schiebers auf eine Zahl der untern Teilung ergibt mithin oben das Quadrat der Zahl. Man kann also mit dem Läufer die Quadrate und die Quadratwurzeln der Zahlen finden. Da man mit dem Rechenstab eine Zahl mit ihrem Quadrat bequem multiplizieren kann, so ist es leicht, die dritte Potenz einer Zahl und durch das umgekehrte Verfahren die Kubikwurzel einer Zahl zu finden.

**Bemerkungen.** Recht brauchbare, 26 cm lange Rechenschieber aus Karton kann man von GEBR. WICHMANN, Berlin NW. 6, Karlstr. 13 beziehen, ebenso Gebrauchsanweisungen von Prof. A. GÖRING. Die Schüler halten oft den Gebrauch von Rechenschiebern, Multiplikationstafeln und andern Hilfsmitteln zum raschen und bequemeren Rechnen für unerlaubt. Man muß bei dem vielen geisttötenden handwerksmäßigen Rechnen, das die Schülerübungen verlangen, die Kräfte seiner Schüler weise schonen und sie daher ermuntern, sich bei ihren Rechnungen aller Hilfsmittel zu bedienen, die Zeit und Arbeit sparen.

**3. Aufgabe.** *Wie groß ist der Raum des vorgelegten Stabes von kreisförmigem Querschnitt?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**1. Verfahren.**

**Geräte.** Walze von 1,5 cm Durchmesser und 4 cm Länge  
 aus Eisen, Kupfer, Messing, Aluminium, Hartgummi oder Glas.

Stecknadel.
Meterstab.
Dünnes Papier.
Schere.

**Anleitung.** a) Lege um die Mitte der Walze einen Streifen aus dünnem Papier einmal fest herum und stich mit der Nadel durch den Streifen, da wo seine Enden übereinanderliegen. Wickle das Papier ab, umringe die beiden Stiche und miß ihren Abstand  $u$  in Zentimeter unter Schätzung der Zehntelmillimeter. Wem ist dieser Abstand gleich?

b) Durchstreiche die beiden Marken auf dem Papier, wickle den Streifen einmal oben und einmal unten um die Walze und miß jedesmal den Umfang. Nimm das Mittel aus allen Messungen.

c) Bezeichnen  $u$  cm den Umfang und  $r$  cm den Halbmesser der Walze, so ist  $u = 2\pi r$  und mithin

$$r = \frac{u}{2\pi} [\text{cm}].$$

Berechne den Halbmesser  $r$  aus dem Mittelwert von  $u$ .

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Maßstab Nr. . . . . . walze Nr. . . . . .

	Umfang $u$ cm	Höhe $h$ cm
Summe	. . . . .	. . . . .
Mittel	. . . . .	. . . . .

$r = \dots [\text{cm}]. \quad V = \dots [\text{cm}^3].$

e) Lege die Walze auf oder an die Teilung des Maßstabes und miß seine Höhe  $h$  in Zentimeter unter Schätzung der Zehntelmillimeter. Drehe die Walze um ihre Achse und miß an zwei andern Stellen ihres Mantels die Höhe. Nimm das Mittel aus den drei Messungen.

f) Zeichne den Aufriß und den Grundriß der Walze und trage die Längen des Durchmessers und der Höhe ein.

g) Berechne aus dem Halbmesser  $r$  cm und der Höhe  $h$  cm den Raum der Walze

$$V = \pi r^2 h [\text{cm}^3].$$

**2. Verfahren.**

**Geräte.** Wie beim 1. Verfahren, doch statt des Papiers und der Nadel Garn oder dünner Draht.

**Anleitung.** h) Mache an dem einen Ende des Garns einen Knoten, wickle etwa dreißigmal in dicht nebeneinander liegenden Windungen den Faden um die Walze und schneide ihn an der Stelle durch, die mit dem Knoten auf derselben Geraden liegt. Miß mit dem Maßstab die Länge des Fadens. Wiederhole die Messung noch zweimal und nimm aus den drei Ergebnissen das Mittel.

i) Sind  $N$  die Anzahl der Windungen,  $r$  cm der Halbmesser der Walze und  $l$  cm der Mittelwert der gemessenen Fadenlängen, so ist  $l = 2\pi N r$  und mithin

$$r = \frac{l}{2\pi N} \text{ [cm].}$$

k) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Maßstab Nr. . . . . . walze Nr. . . . .

Anzahl der Windungen $N$	Fadenlänge $l$ cm	Halbmesser der Walze $r = \frac{l}{2\pi N}$ [cm]	Höhe der Walze $h$ cm
	Summe	.....	.....
	Mittel	.....	.....

$$V = \dots \text{ [cm}^3\text{].}$$

l) Verfahre wie bei (f) und (g).

**3. Verfahren.**

**Geräte.** Walze wie beim 1. Verfahren.  
Maßstab.

2 Holzklötze, bei denen drei zusammenstoßende Flächen genau rechtwinklig aufeinander stehen.

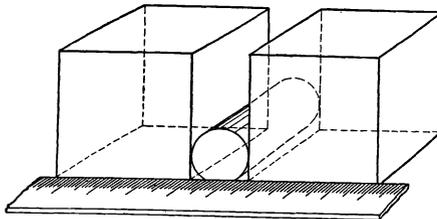


Fig. 8.

**Anleitung.** m) Lege die beiden Holzklötze mit zwei Flächen aneinander, halte sie so, daß die Fuge gegen das Licht gekehrt ist, und prüfe, ob sich die beiden Flächen überall berühren. Drehe den einen Klotz um  $180^\circ$  um die Achse, die auf der Berüh-

rungsfläche senkrecht steht, und prüfe, ob sich auch jetzt beide Flächen überall berühren.

n) Lege die Walze so zwischen die beiden Flächen, daß ihre Längsachse diesen parallel läuft, und setze den Maßstab so vor die beiden Klötze, daß seine Teilung dicht an den Klötzen und dem Walzenboden anliegt (Fig. 8). Miß den Abstand ( $d$  cm) der beiden Flächen.

o) Drehe die Walze um ihre Achse und miß noch zweimal ihren Durchmesser; benutze dabei jedesmal einen andern Teil des Maßstabes.

p) Wende die Walze, so daß jetzt der andere Walzenboden dem Maßstab zugekehrt ist, und verfare wie bei (n) und (o).

q) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Maßstab Nr. . . . . walze Nr. . . . .

Ablesung		Durchmesser $d$ cm	Höhe $h$ cm
links cm	rechts cm		
Summe		. . . . .	. . . . .
Mittel		. . . . .	. . . . .

$$r = \dots [\text{cm}]. \quad V = \dots [\text{cm}^3].$$

Nimm aus den gefundenen Werten des Durchmessers  $d$  das Mittel und berechne daraus den Halbmesser  $r$  der Walze in Zentimeter.

r) Miß auf die gleiche Weise die Höhe  $h$  der Walze in Zentimeter. *Schustermaß. Schublehre.*

s) Verfahre wie bei (f) und (g).

**Bemerkungen.** Man wähle die Abmessungen der Walze so, daß sich ihre Masse mit den vorhandenen Wagen gut bestimmen läßt. Eiserne Walzen rosten leicht; man muß sie nach dem Gebrauch mit einem Öllappen abwischen und, wenn sie trotzdem rostig geworden sind, mit Petroleum reinigen.

Sind  $\Delta V$ ,  $\Delta \pi$ ,  $\Delta r$  und  $\Delta h$  die Fehler der Größen  $V$ ,  $\pi$ ,  $r$  und  $h$ , so ist

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta \pi}{\pi} + 2 \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta h}{h}.$$

Man muß also  $r$  sehr genau messen; für  $\pi$  kann man hier 22/7 setzen.

Ist bei dem ersten Verfahren  $\delta$  cm die Dicke des Papiers und  $u$  die Länge einer Umwicklung, so ist

$$r = \frac{u}{2\pi} - \delta.$$

Um die Dicke des Papiers zu bestimmen, wickelt man einen langen Streifen, so oft es geht, fest um die Walze, sticht mit der Nadel durch alle Lagen hindurch, wickelt dann den Streifen ab und mißt die Abstände  $u$ , je zweier aufeinander folgenden Stiche. Die Anzahl der Stiche sei  $2n + 1$ ; ist die Anzahl gerade, so berücksichtige man den letzten Stich nicht. Man ordnet die  $2n$  Umfänge in zwei Gruppen  $u$ , und  $u_{n+\nu}$  und bildet die Unterschiede  $\Delta_\nu = u_{n+\nu} - u_\nu = n\delta$ . Die Summe dieser  $n$  Unterschiede ist  $s = n^2 \delta$  und mithin  $\delta = s/n^2$ .

Beim zweiten Verfahren kann man statt des Fadens auch einen dünnen Metalldraht verwenden. Windet man einen gerade gestreckten Draht oder Faden von der Länge  $l$  cm und dem Durchmesser  $d$  cm in  $N$  vollen Windungen, die dicht nebeneinander liegen, um eine Walze vom Halbmesser  $r$  cm, und hat die Drahtspule die Höhe  $h$  cm, so ist  $Nd = h$  und  $l^2 = 4\pi^2 N^2 r^2 + h^2$ , mithin

$$r = \frac{l}{2\pi N} \sqrt{1 - \frac{h^2}{l^2}}$$

oder, wenn  $h/l$  klein gegen 1 ist, angenähert

$$r = \frac{l - \frac{h^2}{2l}}{2\pi N}$$

und, wenn  $h/l$  sehr klein ist,  $r = l/2\pi N$ .

Beim dritten Verfahren muß die Höhe der Klötze größer als der Halbmesser der Walze sein. Statt der Klötze kann man auch die Brücken verwenden, die zu den Wagen gehören.

**4. Aufgabe.** *Miß mit der Schublehre den Durchmesser und die Höhe der vorgelegten Walze und berechne ihren Raum.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<p><b>Geräte.</b> Ein Stück dünner Karton oder dickes Papier (<math>\sim 20 \text{ cm} \times 7,5 \text{ cm} \times 0,05 \text{ cm}</math>). Meterstab. Schere. Spitzer harter Bleistift.</p>	<p>Dreiecke. Schublehre. Walze (vgl. Aufg. 3 S. 7). Lupe (Fadenzählerod. Augenlinse vom Fernrohr; vgl. Licht, Aufg. 16).</p>
---	--

**Anleitung.** a) Ziehe längs der Mitte des Kartons eine Gerade  $AB$  (Fig. 9). Stelle den Maßstab so auf die hohe Kante, daß der untere geteilte Rand mit  $AB$  zusammenfällt, und mache, ohne dabei den Maßstab im geringsten zu verschieben, von einer Stelle an, die  $\sim 2 \text{ cm}$  rechts von  $A$  liegt, bei jedem ganzen Zentimeter mit einem spitzen harten Blei einen feinen Punkt auf  $AB$ , bis

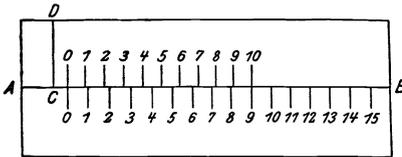


Fig. 9.

eine Teilung von  $\sim 15 \text{ cm}$  Länge aufgetragen ist. Sorge bei der Arbeit dafür, daß stets der Maßstab gut beleuchtet ist. Ziehe mit den Dreiecken, wie in der Figur 9, rechtwinklig zu  $AB$  nach unten kurze Striche und beziffere sie wie dort. Trage auf der oberen Seite von  $AB$  eine Teilung auf, bei der jeder Abschnitt  $0,9 \text{ cm}$  lang ist, und die an demselben Punkt wie die Zentimeterteilung beginnt, so daß die Nullpunkte beider Teilungen zusammenfallen. Der Strich 10 der neuen Teilung bildet also die Verlängerung von Strich 9 der Zentimeterteilung. Die neue Teilung nennt man einen *Läufer* oder *Nonius*.

b) Mache sehr sorgfältig mit der Schere einen Schnitt von  $B$

bis  $C$  und einen Schnitt von  $D$  bis  $C$ , so daß der Karton in zwei Stücke zerfällt. Verschiebe den Läufer längs der Zentimeterteilung. Es entsteht zwischen den Rändern, die vorher in  $CD$  zusammenfielen, eine Lücke. *Schublehre. Nasen, Schnäbel oder Schenkel.*

c) Gib den Nasen den Abstand 1 cm. Wie weit muß man die beiden Nullstriche voneinander entfernen, damit dies der Fall ist? Wie groß ist der Abstand zwischen dem Strich 1 des Läufers und dem Strich 1 der Hauptteilung, wenn die Nasen aneinanderliegen? Woran erkennt man, daß die Nasen 0,1 cm voneinander abstehen? Laß die Striche 2, 3, . . . 10 des Läufers der Reihe nach mit den Strichen 2, 3, . . . 10 der Teilung zusammenfallen. Um wieviel Zentimeter steht in jedem einzelnen Fall der Nullpunkt des Läufers von dem Nullpunkt der Teilung ab?

d) Gib den Nasen folgende Abstände: 2 cm, 0,2 cm, 0,5 cm, 1,6 cm, 4,9 cm. Zeige dem Lehrer jede Einstellung.

e) Miß mit diesem Vorbilde der Schublehre die Durchmesser von Knöpfen, Münzen und andern walzenförmigen Gegenständen.

f) Mache eine Zeichnung der Schublehre (Fig. 10). In welchen Einheiten ist der Stab der Schublehre geteilt? Die Nasen der Schub-

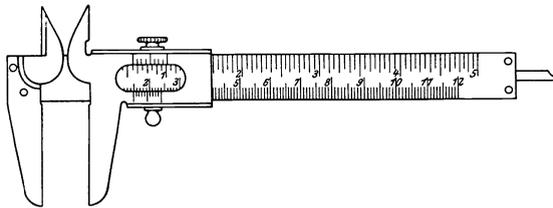


Fig. 10.

lehre ersetzen die Holzklötze, die wir in Aufgabe 3 benutzt haben. Wieviel Nasen hat die Lehre? Wozu dienen sie?

g) Löse die Befestigungsschraube des Schlittens und sieh zu, ob die Innenflächen der Nasen ganz rein sind; zeige, wenn sie schmutzig sind, dem Lehrer die Schublehre. Schiebe ihre Nasen zusammen, halte sie zwischen das Auge und das Licht und sieh nach, ob sie sich in ihrer ganzen Länge berühren. Ziehe die Befestigungsschraube an. Bleiben die Nasen zusammen? Wende die Teilung dem Licht zu und prüfe, wenn nötig, mit der Lupe, ob der Nullpunkt des Läufers mit dem Nullpunkt der Teilung zusammenfällt. *Nullfehler.* Welche Verbesserung hat man bei jeder Messung anzubringen, wenn die Nullstriche nicht zusammenfallen? Lies bei aneinander liegenden Nasen ab, wieviel Teile der Hauptteilung der geteilten Strecke des Läufers gleich sind? In wieviel Teile ist der Läufer geteilt? Schreibe die Länge von einem Teil des Läufers auf. Wie weit muß man die sich berührenden Nasen voneinander entfernen, damit der Teilstrich 1 des Läufers mit dem Teilstrich 1 mm der Stabteilung zu-

sammenfällt? Klemme den Schlitten fest und zeige dem Lehrer die Einstellung.

**h)** Verschiebe den Läufer so, daß sein Nullstrich mit dem Teilstrich 2 mm der Hauptteilung zusammenfällt, und klemme den Schlitten fest. Wie groß ist der Abstand der beiden Nullstriche und der Abstand des Nullpunkts der Hauptteilung von dem 1., 2., 3., . . . 10. Teilstrich des Läufers? Zeige dem Lehrer die Einstellung.

**i)** Verschiebe den Schlitten so, daß die beiden Nullstriche genau 3 mm voneinander abstehen. Wie groß ist der Abstand der Nasen?

**k)** Wie weit muß man jedesmal den Läufer von der Nullstellung aus verschieben, damit seine Teilstriche 2, 3, 6 und 9 der Reihe nach mit den Teilstrichen 2, 3, 6 und 9 mm der Hauptteilung zusammenfallen?

**l)** Schiebe die Nasen zusammen. Öffne die Lehre 0,1 mm weit. Welche Striche des Läufers und der Teilung fallen zusammen? Welche Striche stehen genau übereinander, wenn der Abstand der Nullpunkte von Läufer und Stab 0,2 mm, 0,4 mm, 0,6 mm, 0,8 mm und 1 mm ist?

**m)** Ziehe die Nasen genau 1,9 cm auseinander. Welche Striche des Läufers und der Teilung fallen zusammen? Gib den Nasen der Reihe nach die Abstände 1,91 cm, 1,92 cm, 1,93 cm usw. bis 2,00 cm. Welche Striche des Läufers und der Teilung fallen jedesmal zusammen?

**n)** Stelle den Strich 4 des Läufers genau über den Strich 7 cm der Hauptteilung. Wie weit stehen die Nullpunkte des Läufers und des Stabes voneinander ab? Zeige dem Lehrer die Einstellung. Wie weit stehen die Nasen voneinander ab? Beim Messen bestimmt man stets, wie weit der Nullstrich des Läufers von dem Nullstrich der Hauptteilung absteht.

**o)** Bestimme nochmals wie bei (g) den Nullfehler der Schublehre. Löse die Schraube, entferne die Nasen voneinander und schiebe das eine Ende der Walze dazwischen. Drehe die Walze zwischen den Nasen und suche den Durchmesser, der scheinbar der größte ist. Stelle die Walze so, daß ihre Längsachse rechtwinklig zum Stabe der Schublehre steht, die Berührungspunkte mit den Nasen sich genau gegenüberliegen und genau gleich weit von der einen Stirnfläche abstehen. Schiebe die Nasen so weit zusammen, daß die Walze ohne erheblichen Druck noch eben lose gehalten wird. Ziehe die Schraube an und lies an der Hauptteilung die Stellung des Läufernullstriches ab und dann den Strich des Läufers, der mit einem Strich der Hauptteilung genau zusammenfällt. Zeige dem Lehrer die Einstellung. Schätze stets bei der Ablesung der Zentimeter und Millimeter an der Stabteilung auch die Zehntelmillimeter und lies diese dann am Läufer ab.

**p)** Drehe die Walze um ihre Achse um  $90^\circ$  und miß wiederum den Durchmesser.

q) Miß ebenso zwei Durchmesser am andern Ende und zwei in der Mitte der Walze und bestimme jedesmal von neuem den Nullfehler.

r) Berechne den Mittelwert des Durchmessers und verbessere ihn mit dem Mittelwert des Nullfehlers. Der verbesserte Wert ist die wahrscheinlichste Größe des Walzendurchmessers.

s) Miß in ähnlicher Weise an verschiedenen Stellen die Höhe der Walze.

t) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Schublehre Nr. . . . . . walze Nr. . . . .

	Nullfehler in cm	Durchmesser $d$ cm	Nullfehler in cm	Höhe $h$ cm
Summe	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Mittel	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .

Verbesserter Durchmesser  $d = \dots$  [cm].      Verbesserte Höhe  $h = \dots$  [cm].  
 $V = \dots$  [cm<sup>3</sup>].

u) Wische die Schublehre mit einem Öllappen ab, schiebe die Nasen zusammen und ziehe die Schraube an.

**Bemerkungen.** Man achte bei der Rückgabe der Schublehren sorgfältig darauf, daß sie geschlossen und die Schrauben angezogen sind. Man öle die Lehren vor dem Weglegen etwas ein und reinige sie, falls sich trotzdem Rost angesetzt hat, mit Petroleum. Man weise die Schüler darauf hin, daß die Schublehre ein feines und bequemes Werkzeug ist, das verdient, mit größter Sorgfalt behandelt zu werden.

**5. Aufgabe.** *Wie groß ist der Raum der vorgelegten Kugel?*  
(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 3 oder 4, doch statt der Walze eine Kugel aus Buchsbaumholz von 4 cm Durchmesser.

**Anleitung.** Miß wie bei Aufgabe 3, Verfahren 3 (S. 8), oder wie bei Aufgabe 4 drei Durchmesser der Kugel. Nimm aus den Ergebnissen das Mittel und berechne daraus den Halbmesser ( $r$  cm) und den Raum der Kugel

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \text{ [cm}^3\text{].}$$

**Bemerkungen.** Man kann auch eine Kugel aus Glas oder Stahl (Lagerkugel, vgl. II B, 1. Aufg.) verwenden, doch muß sich ihre Masse mit den vorhandenen Wagen bestimmen lassen.

Da

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta \pi}{\pi} + 3 \frac{\Delta r}{r}$$

ist, wo  $\Delta V$ ,  $\Delta \pi$  und  $\Delta r$  die Fehler der Größen  $V$ ,  $\pi$  und  $r$  bezeichnen, so ist der Durchmesser der Kugel möglichst genau zu messen. Es empfiehlt

sich daher nicht, auf der Kugel eine Strichmarke anzubringen, durch Abrollen den Umfang zu bestimmen und daraus  $r$  zu berechnen.

Bestimmt man den Durchmesser der Kugel mit Holzklötzen, so muß deren Höhe größer als der Halbmesser der Kugel sein.

**6. Aufgabe.** Bestimme mit einer Lochlehre die innere Weite einer Glasröhre und den Durchmesser einer Schrotkugel und mit einem Keilausschnitt die Dicke eines Drahts.

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Literatur.** WATSON, *Elem. Pract. Phys.* 11 Nr. 9 u. 10.

**Geräte.** Millimeterpapier.

Schere.

Lochlehre ( $\frac{1}{10}$ ) aus Millimeterpapier, auf dünne Pappe geklebt.

Keilausschnitt ( $\frac{1}{10}$ ) aus Millimeterpapier, auf dünne Pappe geklebt.

Kurze Glasröhren.

2 Glasscheiben.

3 gleiche Schrotkörner (besser kleine Lagerkugeln aus Stahl).

Draht von 1—2 mm Durchmesser, an einem Ende flach abgefeilt.

Spitzer harter Bleistift.

**Anleitung.** a) Zeichne auf Millimeterpapier die Strecke  $AB = 10$  cm (Fig. 11) und in  $B$  das Lot  $BC = 1$  cm. Verbinde  $A$  mit  $C$ .

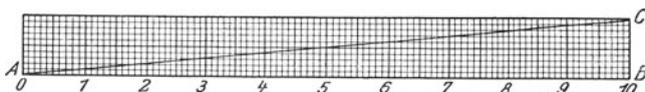


Fig. 11.

Die Abschnitte  $x$  auf  $AB$  sind die *Abszissen* und die Lote in ihren Endpunkten bis zur Strecke  $AC$  die *Ordinaten*  $y$  der Punkte auf  $AC$ .

b) Miß die Ordinaten, die zu folgenden Abszissen gehören, und trage sie in die Tafel ein.

$x$ cm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$y$ cm											
$y/x$											

Welche Beziehung besteht also zwischen  $x$  und  $y$ ?

c) Miß und berechne die Ordinaten, die zu den Abszissen 4,3 cm, 7,8 cm, 5,5 cm, 9,0 cm und 8,55 cm gehören. Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein.

$x$ cm	$y$ cm		$\Delta = y' - y''$
	berechnet $y'$	gemessen $y''$	

d) Klebe das Millimeterpapier auf Pappe, überzieh auch ihre andere Seite mit Millimeterpapier und schneide nach dem Trocknen das Dreieck mit einem scharfen Messer oder mit der Schere sehr sorgfältig aus. Man erhält so die Lochlehre (Meßkeil) und den Keilausschnitt.

e) Schiebe den Keil (Fig. 12) soweit wie möglich, doch ohne ihn zu verbiegen, so in das Innere einer Glasröhre, daß die Seite  $AB$

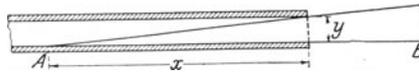


Fig. 12.

an der Glaswand dicht anliegt, lies die Abszisse  $x$  ab und berechne daraus die innere Weite  $y$  der Röhre. Drehe den Keil in der Röhre und miß noch zweimal den innern Durchmesser. Nimm aus den drei Messungen das Mittel.

f) Lege auf eine Glasplatte die drei Schrotkugeln oder Lagerkugeln und darauf eine zweite Glasscheibe. Miß mit der Lehre den Abstand der beiden Platten. Wie groß ist der Durchmesser der Kugeln? Wiederhole die Messung noch zweimal und bilde das Mittel.

g) Schiebe den Draht  $D$  (Fig. 13) so in den Keilausschnitt, daß seine Stirnfläche die Hypotenuse berührt, lies die Abszisse  $x$  ab

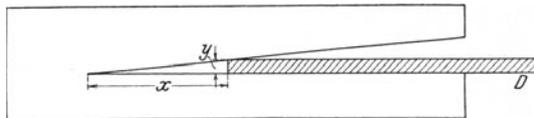


Fig. 13.

und berechne daraus den Durchmesser  $y$ . Drehe den Draht um seine Längsachse, wiederhole die Messung noch zweimal und nimm das Mittel.

**Bemerkungen.** Die Aufgabe soll nur als Vorübung zu dem Messen mit der Mikrometerschraube (Aufgabe 8) dienen. Es empfiehlt sich, die Lehren und Keilausschnitte nur einmal anfertigen zu lassen und sie aufzubewahren. Hat man die Abszissen beziffert, so schadet es nichts, wenn die Spitze der Lehre verletzt wird.

Allgemein ist  $y = x \operatorname{tg} \alpha$ , wo  $\alpha$  den Steigungswinkel bezeichnet. Bei unsrer Lehre ist  $\operatorname{tg} \alpha = 0,1$ .

**7. Aufgabe.** Wie kann man mit Schraube und Mutter Längen messen?

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Literatur.** WATSON, *Elem. Pract. Phys.* 12 Nr. 11 u. 12.

<b>Geräte.</b>	Millimeterpapier. Bleistift. Ziehfeder. Tusche. Fischleim oder Klebwachs.	Holzwalze von 6 cm Höhe und 3,14 cm Durchmesser. Bunsengestell. Schraube und Mutter. Maßstab. Schublehre.
----------------	---	--

**Anleitung. a)** Zeichne auf Millimeterpapier ein Rechteck ( $10\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ ) und an dessen rechten Rand einen Heftstreifen (Fig. 14). Zieh in dem Rechteck durch die Punkte *C* bis *G* fünf Parallelen zur Längsseite und in den so entstandenen schmalen Rechtecken die Eckenlinie *BC* und ihre Parallelen.

**b)** Schneide die Zeichnung sorgfältig aus und klebe sie als Mantel um die Holzwalze (Fig. 15). Was für eine Linie bilden nun die Eckenlinien? *Schraubenlinie*.

**c)** Verfolge von *B* aus rechts herum mit der Bleistiftspitze die Schraubenlinie auf der Walze, ohne dabei das Papier zu berühren. Wo

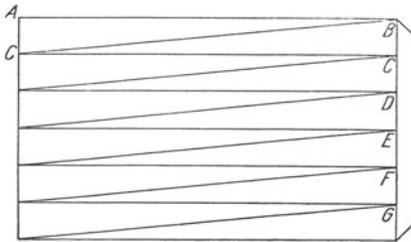


Fig. 14.

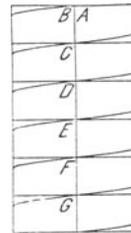


Fig. 15.

steht nach einem vollen Umlauf die Bleistiftspitze? Um wieviel Zentimeter ist die Spitze lotrecht nach unten gewandert? Wohin gelangt die Spitze nach einem zweiten, dritten usw. Umlauf? Wie groß ist die *Ganghöhe* der Schraubenlinie?

**d)** Wo befindet sich die Bleistiftspitze, wenn man von *B* aus nur zwei Zehntel eines Umlaufs macht? Um wieviel Zentimeter haben wir dabei die Spitze lotrecht nach unten verschoben?

**e)** Um wieviel Zentimeter senkt man die Bleistiftspitze, wenn man damit 0,7; 1,3; 4,75 Umläufe macht?

**f)** Läßt sich eine Regel aufstellen, wonach man sofort angeben kann, um welche Strecke *z* man bei dem Umlauf *u* die Bleistiftspitze parallel zur Achse verschiebt?

**g)** Klemme den Bleistift wagerecht fest, drehe die Walze und verschiebe sie gleichzeitig so in der Richtung ihrer Achse, daß die Bleistiftspitze stets auf der Schraubenlinie bleibt. *Schraubenbewegung*. Um wieviel Zentimeter müssen wir bei jeder vollen Umdrehung die Walze in ihrer Achsenrichtung verschieben? Um wieviel Zenti-

meter bei einer halben Umdrehung? Kann man durch Zählen der Umdrehungen sofort bestimmen, um wieviel Zentimeter sich die Walze in ihrer Achsenrichtung verschoben hat? *Schraube und Mutter* (Fig. 16). *Gewinde. Ganghöhe.*



Fig. 16.

**h)** Schraube die Mutter vom Bolzen ab. Miß auf dem Gewinde den Abstand zweier Marken, wo zwischen  $\sim 10$  Windungen liegen, und berechne daraus die Ganghöhe.

**i)** Schraube die Mutter wieder auf und drehe sie so weit, daß ihre Strichmarke mit einer Strahlmarke auf dem Gewinde zusammenfällt. Drehe den Bolzen und stelle fest, nach wieviel vollen Umdrehungen wieder eine Marke auf dem Gewinde bei dem Strich auf der Mutter steht. Um welche Strecke verschiebt sich also der Bolzen bei einer vollen Umdrehung?

**k)** Bestimme durch Rechnung (aus der Ganghöhe) und durch Messung die Verschiebung der Schraube bei 2, 3,5, 4,25 und 7,75 Umdrehungen.

**l)** Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Schraubensatz Nr. . . . Ganghöhe  $h = \dots$  [cm]

Zahl der Umdrehungen $N$	Verschiebung		$\Delta = z' - z''$
	berechnet $z'$ cm	beobachtet $z''$ cm	

**Bemerkungen.** Diese Übung soll wie die Aufgabe 7 das Messen mit der Feinschraube (Aufg. 8) vorbereiten.

Die Schraube ist 23 cm lang und hat 2,15 cm Durchmesser und 0,278 cm Ganghöhe. In der Richtung der Achse ist über das Gewinde ein Strich eingeritzt. Die Mutter trägt auf der Fläche, die dem Schraubenkopf zugekehrt ist, eine Strahlmarke, die man mit den Gewindemarken zur Deckung bringen kann.

### 8. Aufgabe. *Wie dick ist der vorgelegte Draht?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Messingdraht von 0,5 bis 3 mm Durchmesser. (oder besser 0,5 mm) Ganghöhe.  
Feinschraubenlehre mit Maßstab.  
Gefühlschraube von 1 mm Glasröhre.

**Anleitung.** **a)** Wickle in dicht aneinanderliegenden Windungen den Draht  $\sim 10$  bis 100mal um einen dünnen runden Stab (Bleistift,

Glasröhre u. dgl.). Miß die Länge der so hergestellten Spule und berechne daraus den Durchmesser des Drahts.

b) Nimm die Feinschraube (Fig. 17) in die linke Hand, fasse den geränderten Kopf lose zwischen Daumen und Zeigefinger der rechten Hand und öffne durch Drehen des Kopfs die *Zähne* der Schraube, doch nicht weiter als  $\sim 1,5$  cm. Sieh zu, ob die Zähne rein sind; wenn nicht, zeige dem Lehrer die Schraube.

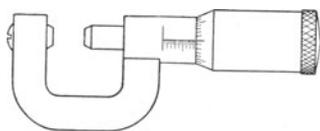


Fig. 17.

c) In welchen Einheiten ist auf der Mutter die *Hubteilung* ausgeführt, und wie ist sie beziffert? Wie ist die *Haubenteilung* gemacht und beziffert? Zeichne die Feinschraube.

d) Drehe die Haube (oder Trommel) so, daß ihr Nullstrich mit dem *Zeiger*, d. h. mit dem achsenrechten Strich der Hubteilung zusammenfällt. Lies die Millimeter auf der Hubteilung ab. Drehe die Haube einmal vollständig herum und lies wieder den Hub ab. Wie groß ist die Ganghöhe der Feinschraube. Um wieviel Millimeter werden die Zähne gegeneinander verschoben, wenn man die Haube um den kleinsten Teilstrich dreht? Wie groß ist der kleinste Teil eines Millimeters, den man mit der Schraube messen kann, wenn man die Zehnteleinheiten der Haubenteilung schätzt? Stelle die Zähne auf folgende Abstände ein: 3,00; 3,01; 3,05; 3,15; 3,16; 3,45; 3,515; 4,742 mm. Zeige dem Lehrer die letzte Einstellung.

e) Schließe die Zähne der Schraubenlehre ganz zart. Beim Gebrauch der Feinschraube darf man nie Kraft anwenden, da man das Gewinde leicht beschädigen kann. Bei den Messungen drehe man stets erst den Schraubenkopf, bis der bewegliche Zahn mit dem andern Zahn oder mit dem zu messenden Gegenstand in lose Berührung kommt, und benutze dann erst die Gefühlschraube. Fällt bei geschlossenen Zähnen der Nullpunkt der Haubenteilung mit dem Zeiger zusammen? Lies, wenn dies nicht der Fall ist, die Stellung des Nullstrichs ab. *Nullfehler*. Überlege, ob der Nullfehler zu den Ablesungen hinzuzufügen oder davon abzuziehen ist.

f) Lege den Draht zwischen die Zähne der Schraubenlehre und klemme ihn leicht dazwischen. Lies an der Hubteilung die Millimeter ab, schätze erst den Millimeterbruchteil und lies ihn dann an der Haubenteilung ab. Drehe den Draht um  $90^\circ$  um seine Achse und miß nochmals seinen Durchmesser. Bestimme wiederum den Nullfehler.

g) Miß wie bei (f) an zwei andern Stellen des Drahts den Durchmesser.

h) Berechne den Mittelwert des Durchmessers und verbessere ihn mit dem Mittelwert des Nullfehlers. Der verbesserte Wert ist die wahrscheinlichste Größe des Drahtdurchmessers.

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Feinschraubenlehre Nr. . . . . . Draht

	Nullfehler in mm	Draht- durchmesser in mm
Summe	. . . . .	. . . . .
Mittel	. . . . .	. . . . .

k) Schließe die Zähne der Schraube, wische das Werkzeug mit einem Öllappen ab und gib es dann dem Lehrer zurück.

**Bemerkungen.** Vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 4, S. 13. Die Feinschraube wird man nicht Obertertianern und Untersekundanern in die Hände geben. Weist man die Schüler darauf hin, wieviel höher die Leistungen dieser sinnreichen Schraube als die des gewöhnlichen Meterstabes und der Schublehre sind, und hebt man zugleich hervor, daß die großartigen Fortschritte des Maschinenbaus in der Neuzeit besonders auf der Verfeinerung der Meßwerkzeuge beruhen, die man heutzutage dem Arbeiter in die Hände geben kann und muß, so werden sie das kleine feine Gerät bewundern und sorgsam behandeln.

Man erlaube dem Schüler nicht, den Nullfehler durch Nachdrehen des festen Zahns zu berichtigen.

## II. Masse und Dichte.

### Regeln für das Wägen.

1. Schreibe auf die Karte, die bei der Wage liegt, deinen Namen, die Klasse und den Tag.

2. Sieh nach, ob die Wage frei von Staub ist. Entferne sehr behutsam mit einem weichen Pinsel oder Leder den Staub, ohne dabei die Wage in starke Schwingungen zu versetzen.

3. Stelle den Senkel oder die Wasserwage mit den Fußschrauben richtig ein. Ist keine solche Vorrichtung da, so setze auf das Grundbrett der Wage eine Dosenlibelle oder hänge neben den Zeiger ein Lot und richte damit die Wage aus.

4. Drehe niemals an einer Schraube usw., fasse nie den Zeiger an und berühre niemals mit den bloßen Fingern die Schalen oder die Massenstücke.

5. Untersuche, ob die Wage frei schwingt und die Ausschläge langsam abnehmen.

6. Prüfe, ob der Zeiger über dem mittlern Teilstrich steht. Sieh dabei aus größerer Entfernung senkrecht auf die Ebene der Teilung. Lege auf die leichtere Schale als Ausgleichmassen Stückchen Papier, Zinn- oder Bleiblatt, bis die Zunge richtig einspielt.

7. Stelle fest, welche Massenstücke der Massensatz enthält. Wiederhole diese Prüfung vor jeder Benutzung und melde sofort dem Lehrer, wenn Massenstücke fehlen. Sieh nach, ob die Massenstücke staubig oder schmutzig sind. Wische sie mit einem reinen,

weichen Tuch oder Leder ab, ohne sie dabei mit den bloßen Fingern anzufassen.

8. Ist für die Bruchgramme nur ein Behälter da, so lege mit der kleinen Greifzange diese Massenstücke, der Größe nach geordnet, aufs Grundbrett.

9. Setze den zu wägenden Körper auf die linke und die Massenstücke auf die rechte Schale. (Hat man jedoch eine bestimmte Masse, etwa eine Flüssigkeit oder ein Salz abzugleichen, so setzt man diese auf die rechte Seite.) Lege alle Belastungen auf die Mitten der Schalen oder ordne sie gleichmäßig darum an. Hat die Wage keine Bremsung, so halte beim Aufsetzen von Massen die Schale mit einem Stück Fließpapier oder einem reinen Tuch fest oder unterstütze sie mit dem Pinsel, damit die Wage nicht in Schwingungen gerät.

10. Halte die Schalen und die Massenstücke sorgfältig frei von Schmutz, Staub und Feuchtigkeit. Lege keinen nassen oder schmutzigen Gegenstand auf die Schalen und trockne namentlich die Außenwände aller Gefäße tüchtig ab, die eine Flüssigkeit enthalten.

11. Fasse die Massenstücke nur mit der Greifzange an.

12. Schätze zunächst die Masse des zu wägenden Gegenstandes ab. Setze das kleinste Massenstück, das nach der Schätzung zu groß ist, auf die rechte Schale. Ist es wirklich zu groß, dann das nächst kleinere Massenstück. Fahre so fort, bis das größte Massenstück gefunden ist, das zu klein ist. Lege nun die gleich großen oder kleinern Massenstücke der Reihe nach, ohne eins auszulassen, auf die Schale und entferne ein Massenstück nur dann von der Schale, wenn es zu groß ist. Fahre so mit dem Zulegen fort, bis das Hinzufügen von 0,01 gr den Zeiger von der einen auf die andere Seite treibt. Schätze den Bruchteil von 0,01 gr, der erforderlich wäre, um den Zeiger genau über den mittlern Teilstrich zu stellen.

13. Wäge langsam und sorgfältig.

14. Warte nicht das Ausschwingen ab, sondern nur so lange, bis die Schwingungen klein geworden sind. Sind zwei aufeinanderfolgende kleine Ausschläge nach rechts und links nahezu gleich, so sind die Massen auf beiden Schalen gleich. Dämpfe nie die Schwingungen durch Anfassen des Zeigers oder der Schale mit den Fingern, sondern erforderlichenfalls nur durch leises Berühren der Schalen mit der offenen Greifzange oder besser mit einem Kamelhaarpinsel.

15. Massenstücke dürfen nur auf den Wageschalen oder in ihren Fächern im Kasten, nie aber auf dem Tisch liegen. (Vgl. 8.)

16. Schreibe alle Massenstücke auf, die auf der Wageschale liegen, und zwar der Größe nach geordnet untereinander. Sieh nach, welche Massenstücke im Kasten fehlen, und ob du sie alle aufgeschrieben hast. Prüfe deine Aufzeichnung nochmals beim Zurücksetzen der Massenstücke und zähle die aufgeschriebenen Massenstücke zusammen.

17. Wiederhole die Wägung, doch setze diesmal den Gegenstand auf die rechte und die Massenstücke auf die linke Schale. Sieh das Mittel aus beiden Ergebnissen als die Masse des Gegenstandes an.

18. Benutze beim Abgleichen von Gegenständen keine Massenstücke, sondern Schrot, Granaten, Blei- oder Zinnblatt, Papier u. dgl. Lege die Gegenmassen nie auf die Wageschale selbst, sondern in besondere Abgleichschalen (Schachteldeckel) oder Abgleichbecher.

19. Hat die Wage eine Vorrichtung zum Bremsen, so muß man die Wage jedesmal vor dem Aufsetzen und dem Wegnehmen von Gegenständen und Massenstücken feststellen. Bremse langsam und vorsichtig. Ist das Gleichgewicht noch nicht nahezu erreicht, so genügt schon ein unvollständiges Aufheben der Bremsung zur Beurteilung, ob das aufgelegte Massenstück zu groß oder zu klein ist.

20. Prüfe am Schluß der Wägung, ob alles, Wage und Massensatz, in guter Ordnung ist. Melde sofort dem Lehrer jeden Mangel.

**Bemerkungen.** Nach meinen Erfahrungen bewähren sich bei den Übungen Wagen mit Vorrichtungen zum Bremsen nicht gut

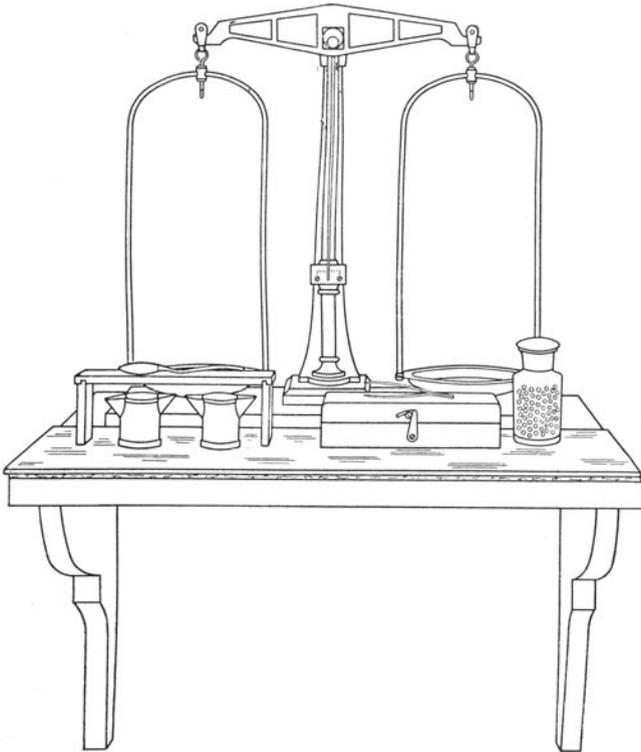


Fig. 18.

Die meisten Wagen des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums und der praktischen Schülerübungskurse in dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut hat L. REIMANN, Berlin SO., Schmidtstr. 24—45, geliefert. Am besten hat sich die Wage Nr. 3053 (Fig. 18) bewährt. (Vgl. L. REIMANN, *Spezialkatalog über Wagen und Gewichte für physikalischen Klassenunter-*

richt und Schülerübungen, Nr. 3053—3059.) Sie hat ein bronziertes eisernes Gestell und einen durchbrochenen Balken aus Messing. Die Spitze der Zunge, die nach unten gerichtet ist, spielt vor einer Teilung. Sie hat zwei Bügelschalen aus Messing, die oben und auf den Unterseiten der Schalen mit Aufhängehaken ausgestattet sind. Das polierte Grundbrett ist mit entsprechenden Öffnungen von 3 cm Durchmesser versehen. Die Wage verträgt auf jeder Seite die Belastung 1 kg. Der Gewichtsatz reicht von 0,01 bis 200 gr und enthält im ganzen 501 gr. Die Bruchgramme liegen einzeln unter einer Glasplatte. Eine Greifzange ist beigegeben. Ähnliche, gute Wagen liefern auch F. A. HINTZE, Berlin NO., Prenzlauer Allee 33, LEPPIN & MASCHE, Berlin SO., Engelufer 17 und G. KISTLER, Ebingen.

Da immer Verluste an Bruchgrammen, namentlich an 0,02 gr-Stücken, eintreten, so halte man sich einen ausreichenden Ersatzvorrat.

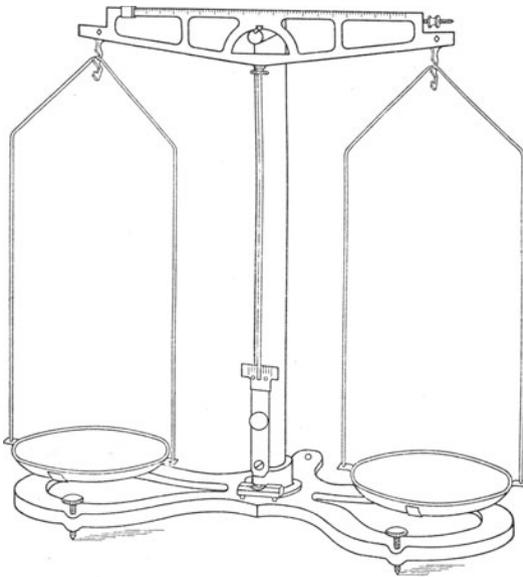


Fig. 19.

Im Sommer 1907 hat das Naturwissenschaftliche Fortbildungsinstitut die in Fig. 19 abgebildete Wage von der CENTRAL SCIENTIFIC COMPANY, 14—28 Michigan St., Chicago, Ill., bezogen. Sie ist ein Ersatz für die „*Harvard Trip Scale*“. Ihre größte zulässige Belastung ist 2 kg und ihre Empfindlichkeit bei dieser Belastung 0,05 gr. Der durchbrochene Balken ist geteilt und trägt ein Schiebebeweight. Man wägt in der üblichen Weise bis auf 10 gr, stellt dann mit dem Schiebebeweight das Gleichgewicht her, liest, da ein Teilstrich des Wagebalkens 0,1 gr darstellt, die Zehntelgramm ab und schätzt die Hunderstelgramm. Die bewegliche Teilung, wovor die Zunge spielt, erlaubt ein rasches Dämpfen der Schwingungen. Eine ähnliche Wage stellt auch L. REIMANN für 48 M. her. Vgl. über Wägen KOHLRAUSCH, *Lehrb. d. prakt. Phys.*<sup>11</sup> 52 und OSTWALD-LUTHER<sup>3</sup> 69 und über Wagen W. FELGENTRAEGER, *Theorie, Konstruktion und Gebrauch der feineren Hebelwage*, B. G. Teubner, Leipzig, 1907.

**9. Aufgabe.** *Wie groß sind die Masse und die Dichte des vorgelegten Stabes von kreisförmigem Querschnitt?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Wage.

Massensatz.

Walze (vgl. Aufg. 3, S. 7).

**Anleitung.** a) Bestimme mit der Wage die Masse ( $m$  gr) der Walze.

b) Schlage in dem Übungsheft nach, wie groß der Raum ( $V$  cm<sup>3</sup>) der Walze ist.

c) Berechne die Masse von einem Kubikzentimeter der Walze.  
Dichte:  $\rho$  gr/cm<sup>3</sup>.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Massensatz Nr. . . . . walze Nr. . . .

Halbmesser der Walze  $r = \dots$  [cm].

Höhe der Walze  $h = \dots$  [cm].

Masse der Walze  $m = \dots$  [gr].

Dichte der Walze  $\rho = m/V = \dots$  [gr/cm<sup>3</sup>].

e) Schreibe deinen Namen, die Nummer der Walze und das Ergebnis auf einen Zettel und gib ihn dem Lehrer.

f) Ist die Dichte des Stoffs von seiner Gestalt abhängig?

g) Schlage nach, welchen Wert man sonst für die Dichte des gegebenen Stoffs gefunden hat.

**Bemerkungen.** Bei der Erledigung dieser Aufgabe sollen die Schüler das Wägen lernen. Es ist daher notwendig, daß alle Schüler gleich große Walzen aus demselben Stoff erhalten. Man schaffe daher alle Walzen gleichzeitig an und verlange, daß sie alle aus demselben Rohstoff angefertigt werden. Beim Wägen führen diesmal alle Schüler gleichzeitig dieselbe Handlung aus. Ein Schüler gibt stets an, was zu machen ist. Kein Schüler darf in der Wägung fortfahren, bevor nicht der gefragte Schüler gesagt hat, was zu tun ist. Der Lehrer hat mit der größten Sorgfalt darüber zu wachen, daß alle Schüler regelrecht verfahren. Sind die Walzen gut gearbeitet, so treten Abweichungen erst bei den letzten Bruchgrammen auf. Die letzten Schritte der Wägungen hat der Lehrer bei jedem einzelnen Schüler nachzuprüfen. Bei dieser Übung, einer der wichtigsten und schwierigsten, die es gibt, hat der Lehrer seine ganze Kraft einzusetzen. Besitzt er am Ende der Stunde noch einen trocknen Faden am Leibe, so hat er seine Pflicht nicht ganz erfüllt. Was er und seine Schüler in dieser Stunde an Arbeit zu viel aufwenden, das bringen die künftigen Ersparnisse an Arbeit und Zeit reichlich wieder ein. Auch bei den Aufgaben 10 bis 12, wo die Schüler bereits selbständig wägen, hat der Lehrer noch vor allem auf das rein handwerksmäßige, fehlerfreie Arbeiten zu achten. Sind die Schüler bei den ersten Wägungen gut erzogen worden, so lernen sie später spielend die sorgfältige und richtige Handhabung der andern feinern Meßwerkzeuge.

Gibt ein Schüler einen Zettel mit einem grob abweichenden Ergebnis ab, so lasse man ihn zunächst seine Rechnungen wiederholen. Meßfehler sind sehr selten, Rechenfehler aber häufig. Sobald alle Zettel abgegeben worden sind, bildet man das Mittel aus den Ergebnissen sämtlicher Schüler.

Zum Nachschlagen der Werte für die Dichte gebe man den Schülern nicht nur Lehrbücher, sondern auch die Tabellen von LANDOLT-BÖRNSTEIN und den „großen KOHLRAUSCH“ in die Hand. Da die Benutzung von

Wörterbüchern die einzige Handfertigkeit ist, welche die Schüler seither in der Schule erworben haben, so setzt die Schnelligkeit, womit sie sich in den Tafeln zurecht finden, nicht weiter in Erstaunen.

Aus  $m = \rho V$  folgt

$$\Delta \rho = \frac{\Delta m}{V} + \frac{\rho}{V} \Delta V,$$

wo  $\Delta V$ ,  $\Delta m$ ,  $\Delta \rho$  die Fehler der Raum-, der Masse- und der Dichtebestimmung sind. Man muß also bei den dichtern Stoffen größere Räume wählen, doch darf die Masse die größte Belastung, welche die Wage verträgt, nicht übersteigen.

Hat ein Schüler sein „Übheft“ vergessen und kann er daher den früher gemessenen Raum der Walze nicht nachschlagen, so wägt er zwar mit, doch darf er die Dichte nicht berechnen. Ein solches notwendiges Ausschließen von einer neuen gemeinsamen Arbeit bekämpft ohne jedes Scheltwort mit Erfolg die Nachlässigkeit.

Es empfiehlt sich nicht, die Aufgaben 9 bis 12 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs zu erledigen, da die Schüler an diesen einfachen Aufgaben die Kunst des sorgfältigen Wägens lernen und üben müssen.

**10. Aufgabe.** *Wie groß sind die Masse und die Dichte des vorgelegten Holzstabes von rechteckigem Querschnitt?*

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 9, doch Holzklötz (vgl. Aufgabe 1, S. 1) statt Walze.

**Anleitung.** Verfahre ähnlich wie bei Aufgabe 9.

**11. Aufgabe.** *Wie groß sind die Masse und die Dichte der vorgelegten Kugel?*

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 9, doch Kugel (vgl. Aufg. 5 S. 13) statt Walze.

**Anleitung.** Verfahre ähnlich wie bei Aufgabe 9.

**12. Aufgabe.** *Wie groß sind die Masse und die Dichte des vorgelegten Kupferdrahts?*

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 9, doch ein Kupferdraht von  $\sim 20$  cm Länge und 0,5 bis 1 mm Durchmesser statt der Walze, dazu Beißzange, Feile und Meterstab.

**Anleitung.** a) Miß die Länge ( $l$  cm) und wie bei Aufgabe 8 (a) (S. 17) den Durchmesser ( $d$  cm) des Drahts.

b) Berechne aus  $d$  den Halbmesser ( $r$  cm) und aus  $r$  und  $l$  den Raum ( $V$  cm<sup>3</sup>) des Drahts.

c) Verfahre wie bei Aufgabe 9.

**13. Aufgabe.** *Wie groß ist die Dichte des Wassers?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<p><b>Geräte.</b> Becher aus Messing- oder Weißblech von 1 mm Stärke, 8 cm Höhe und 6,2 cm Durchmesser. Abgeschliffene Glasplatte von 7,5 cm Durchmesser. Schublehre. Pipette (50 cm<sup>3</sup>). Becherglas (600 cm<sup>3</sup>).</p>	<p>Fließpapier. Wage. Massensatz. Abgleichbecher. Abgleichschrot. Thermometer, von — 30° bis + 130°, geteilt in <math>\frac{1}{1}</math> Grade. Pinsel.</p>
---	---

**Anleitung.** a) Miß dreimal die lichte Weite, d. h. den innern Durchmesser ( $d$  cm), und die Tiefe ( $h$  cm) des Bechers. Berechne den innern Halbmesser ( $r$  cm) und den Rauminhalt ( $V$  cm<sup>3</sup>) des Bechers.

b) Gleiche den Becher nebst Glasplatte auf der Wage sorgfältig ab.

c) Fülle den Becher ganz mit Leitungswasser, entferne dabei durch Umschwenken oder mit einem Pinsel oder einem Draht alle Luftblasen, decke die Glasplatte so auf, daß keine Luftblase eingeschlossen wird, und entferne alle Flüssigkeit von der Außenseite und der Glasplatte.

d) Stelle den Becher behutsam auf die linke Schale der Wage und bestimme die Masse ( $m$  gr) des Wassers.

e) Nimm den Becher von der Wage, rühre fünf Minuten lang mit dem Thermometer das Wasser um und miß seine Warmheit ( $t$ ° C).

f) Berechne aus dem Raum und der Masse des Wassers seine Dichte ( $\rho$  gr/cm<sup>3</sup>) bei der gemessenen Wärmestufe.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Messingbecher Nr. . . .      Wage Nr. . . .      Thermometer Nr. . . .  
Schublehre Nr. . . .      Massensatz Nr. . . .      Wärmestufe  $t = \dots$  ° C.

	Durchmesser $d$ cm	Tiefe $h$ cm
Summe	. . . . .	. . . . .
Mittel	. . . . .	. . . . .

Halbmesser des Bechers  $r = \dots$  [cm].

Raum des Wassers  $V = \dots$  [cm<sup>3</sup>].

Masse des Wassers  $m = \dots$  [gr].

Dichte des Wassers  $\rho = m/V = \dots$  [gr/cm<sup>3</sup>].

h) Schreibe deinen Namen und das Ergebnis auf einen Zettel und gib ihn dem Lehrer.

i) Entleere den Becher und trockne ihn sorgfältig. Spüle die Pipette aus und laß das Spülwasser aus ihrem Hals ausfließen.

**Bemerkungen.** Man bilde das Mittel aus den Ergebnissen aller Schüler.

Einfacher ist es, mit der Pipette  $200 \text{ cm}^3$  Wasser in ein abgeglichenes Becherglas ( $250 \text{ cm}^3$ ) zu füllen, die Masse zu bestimmen und dann die Dichte zu berechnen.

Pipetten, Büretten und andere Ausflußgefäße werden leicht fettig. Ein sicheres Mittel, solche Gefäße in Ordnung zu bringen, ist nach OSTWALD-LUTHER<sup>3</sup> 169 eine nötigenfalls erwärmte Lösung von etwas Kalium- oder Natriumdichromat in konzentrierter Schwefelsäure. Auch warme Natronlauge löst organische Fette auf. Man spült wiederholt mit destilliertem Wasser nach. Vgl. auch Dr. H. GÖCKEL, *Zur Behandlung der Meßgeräte, Intern. Kongreß f. angew. Chemie, Rom 1906, Ber. I. 323* und die in seiner Preisliste angegebenen Schriften.

Pipetten bewahrt man am besten mit dem Schnabel nach oben in Standgläsern auf, deren Boden mit Filterpapier bedeckt ist, oder in Gestellen mit Tropfentrog.

Schüler pflegen bei den Übungen weder Maßstäbe als Schwerter noch Schrotkugeln als Wurfgeschosse zu verwenden; aber einem gebückten Mitschüler mit der Pipette einen Tropfen in den Hals fließen zu lassen, ist ein Vergnügen, das sie sich nur schwer versagen können. Macht man sie von vornherein auf diese Schwäche aufmerksam, und sagt man ihnen, daß die Pipette ein Ausflußgefäß und zugleich ein Hilfsmittel zur Unterscheidung alternder Taugenichtse von heranwachsenden Physikern ist, so beugt man ein für allemal dem Unfug vor.

**14. Aufgabe.** *Wie groß ist der Raum, den eine gegebene Wassermasse einnimmt?*

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

<b>Geräte.</b> Enghalsige Flasche ( $100 \text{ cm}^3$ ). Feile. Wage. Massensatz. Abgleichbecher. Abgleichschrot.	Fließpapier. Meßglas ( $250 \text{ cm}^3$ ). Pipette. Spiegel. Trichter. Becherglas ( $600 \text{ cm}^3$ ). Pinsel.
--	---

**Anleitung.** a) Ritze mit der Feile eine Marke in den Hals der Flasche ein.

b) Gleiche die Flasche auf der Wage sorgfältig ab.

c) Stelle die Flasche auf den Tisch und fülle sie so weit mit Wasser, daß die Kuppe genau die Marke berührt, entferne dabei durch Schütteln oder mit einem Pinsel oder einem Draht alle Luftblasen. Halte beim Einstellen der Wasserkuppe den Spiegel derart lotrecht, daß das Bild der Pupille auf die Marke fällt.

d) Trockne die Flasche außen tüchtig ab und bestimme mit der Wage die Masse ( $m \text{ gr}$ ) des Wassers. Wie groß ist der Raum ( $V_1 \text{ cm}^3$ ) dieser Wassermasse?

e) Schütte das Wasser, ohne etwas zu vergießen, in ein Meßglas und miß seinen Raum ( $V_2 \text{ cm}^3$ ). Wie stimmt er mit  $V_1$  überein? Berechne den Unterschied  $\Delta V = (V_1 - V_2) [\text{cm}^3]$ .

f) Spüle Pipette, Flasche und Meßglas sorgfältig aus und stülpe die beiden Gefäße auf das Ablaufbrett.

g) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

**Bemerkungen.** Man bilde das Mittel aus allen Unterschieden  $\Delta V$ . Die Marke am Hals der Flasche stellt man auf folgende Weise her: Man klebt rund um den Hals einen Streifen Papier von 1 cm Breite und ritzt längs seinem Rande mit der Feile oder dem Glasmesser einen Kreis ein.

**15. Aufgabe.** *Wie groß ist die Dichte einer gegebenen Flüssigkeit?*

### 1. Verfahren.

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Wage. Massensatz. Bürette (50 cm <sup>3</sup> , geteilt in 0,1 cm <sup>3</sup> ). 2 Bechergläser (50 cm <sup>3</sup> ). Denaturierter Spiritus oder gesättigte Lösungen von Kochsalz oder Cuprisulfat.	Trichter. Spiegel oder Ableseklemme. Abgleichschrot. Abgleichbecher. Thermometer. Fließpapier.
----------------	--	---

**Anleitung.** a) Reinige das eine Becherglas, trockne es sorgfältig ab, stelle es auf die linke Wageschale und gleiche genau ab.

b) Reinige die Bürette (Fig. 20) und den Trichter und spüle sie zweimal mit der gegebenen Flüssigkeit aus. Fülle die Bürette durch den Trichter mit der Flüssigkeit und nimm dann den Trichter aus dem Hals der Bürette. Laß aus der Bürette in das nicht abgegliche Becherglas etwas Flüssigkeit fließen, damit aus der Ausflußröhre alle Luft entfernt wird. Warte etwas und lies dann mit dem Spiegel oder der Ableseklemme den Stand der Flüssigkeitskuppe ab. Vgl. Aufg. 14 (c).

c) Laß in das abgegliche Becherglas 30 bis 40 cm<sup>3</sup> der Flüssigkeit fließen, verwende dabei keine Mühe darauf, eine runde Anzahl Kubikzentimeter ablaufen zu lassen. Lies mit dem Spiegel nach einigem Warten wiederum den Stand der Flüssigkeitskuppe in der Bürette genau ab. Wieviel Kubikzentimeter Flüssigkeit sind in das Becherglas geflossen?  $V$  cm<sup>3</sup>.

d) Bestimme mit der Wage sorgfältig die Masse ( $m$  gr) der Flüssigkeit und miß dann deren Warmheit.

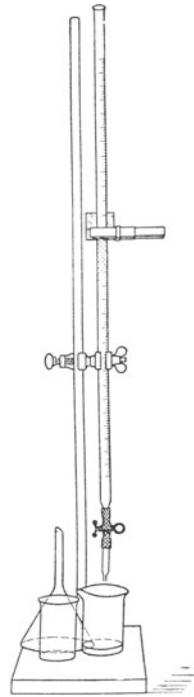


Fig. 20.

e) Wie groß ist die Dichte ( $\rho$  gr/cm<sup>3</sup>) der Flüssigkeit bei der gemessenen Wärmestufe?

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Massensatz Nr. . . . Thermometer Nr. . . .

Wärmestufe  $t = \dots$  °C. Burette Nr. . . .

1. Ablesung der Burette . . . cm<sup>3</sup>.

2. Ablesung der Burette . . . cm<sup>3</sup>.

Raum der Flüssigkeit  $V = \dots$  [cm<sup>3</sup>].

Masse der Flüssigkeit  $m = \dots$  [gr].

Dichte der Flüssigkeit  $\rho = m/V = \dots$  [gr/cm<sup>3</sup>].

g) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

h) Gieße die Flüssigkeit in das Gefäß, das der Lehrer dafür bestimmt hat. Reinige die Burette und die Bechergläser und stelle sie auf das Ablaufbrett.

## 2. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<p><b>Geräte.</b> Enghalsige Flasche (<math>\sim 50</math> cm<sup>3</sup>), in deren Hals mit der Feile eine Marke geritzt ist, oder Dichtefläschchen (Pyknometer). Wage. Massensatz. Abgleichschrot. Abgleichbecher. Destilliertes Wasser.</p>	<p>Flüssigkeiten wie beim 1. Verfahren. Fließpapier. Trichter. Becherglas. Pipette. Thermometer. Spiegel. Pinsel oder Draht.</p>
---	--

**Anleitung.** i) Gleiche auf der Wage das leere Fläschchen sorgfältig ab.

k) Fülle das Fläschchen genau bis zur Marke mit destilliertem Wasser, entferne dabei durch Schütteln oder mit einem Pinsel oder einem Drahte die Luftblasen, wische das Gefäß außen sorgfältig trocken und bestimme die Masse des Wassers. Fasse dabei das Fläschchen nur am Hals an, damit es so wenig wie möglich erwärmt wird. Wieviel Kubikzentimeter faßt das Fläschchen bis zur Marke?  $V$  cm<sup>3</sup>.

l) Spüle das Fläschchen und die Pipette zweimal mit der gegebenen Flüssigkeit aus. Fülle dann das Fläschchen genau bis zur Marke mit der gegebenen Flüssigkeit, entferne dabei im Innern alle Luftblasen und auf der Außenseite alle anhaftende Flüssigkeit.

m) Bestimme mit der Wage sorgfältig die Masse ( $m$  gr) der Flüssigkeit.

n) Miß die Warmheit der Flüssigkeit.

o) Wie groß ist die Dichte der Flüssigkeit bei dieser Wärmestufe?

p) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Massensatz Nr. . . . Fläschchen Nr. . . .

Thermometer Nr. . . . Wärmestufe  $t = \dots$  °C.

Masse des Wassers im Fläschchen . . . gr.  
 Raum des Fläschchens  $V = \dots$  [cm<sup>3</sup>].  
 Masse der Flüssigkeit im Fläschchen  $m = \dots$  [gr].  
 Dichte der Flüssigkeit  $\rho = m/V = \dots$  [gr/cm<sup>3</sup>].

- q) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).
- r) Verfahre wie bei (h).

**Bemerkungen.** MACKENZIE (8) benutzt beim Ablesen der Bürette einen Schwimmer mit einer Ringmarke (Fig. 21). Ich selbst habe keine Erfahrungen damit gemacht, sondern verwende die Ableseklemmen von Dr. GÖCKEL (Fig. 22). Diese „Meniscus-Visierblenden“ (D. R. G. M.) sind zu beziehen von Dr. HEINRICH GÖCKEL, Fabrik und Prüfungsanstalt chemischer Apparate, Berlin NW. 6, Luisenstr. 21, ohne Glastafel für 1 M. und mit Glastafel für 1,20 M. das Stück.

Es empfiehlt sich, nach dem Verfahren von WEINHOLD, *Phys. Dem.* 732 (vgl. auch HAHN, *Freihandversuche* 2, 104 Nr. 265) stets ausreichende Mengen von gesättigten Kochsalz- und Cuprisulfatlösungen vorrätig zu halten.

Beim Verwenden von Cuprisulfatlösung muß man die Schüler zu großer Vorsicht ermahnen, damit sie beim Saugen an der Pipette die giftige Flüssigkeit nicht in den Mund bekommen.

Bei der Benutzung eines Dichtefläschchens achte man darauf, daß die Schüler beim Abgleichen den Stopfen aufsetzen. Den Namen Dichtefläschchen hat zuerst JOHANNESON, *Phys. Mech.* 33, gebraucht.

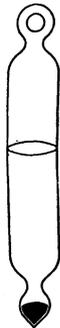


Fig. 21.

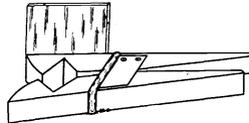


Fig. 22.

Man bilde aus allen Einzelergebnissen das Mittel.

**16. Aufgabe.** *Wie groß sind der Raum, die Masse und die Dichte eines unregelmäßig gestalteten festen Körpers?*

(1 Schüler, 1/2 Stunde.)

<p><b>Geräte.</b> Kieselstein, Schlüssel u. dgl.                  Wage.                  Massensatz.                  Bürette.                  Spiegel oder Ableseklemme.</p>	<p>Becherglas.                  Standglas (250 cm<sup>3</sup>).                  Trichter.                  Klebepapier.</p>
--	--

**Anleitung.** a) Bestimme mit der Wage sorgfältig die Masse ( $m$  gr) des Körpers.

b) Lege den Körper in ein Standglas, das gerade weit genug ist, ihn aufzunehmen. Fülle mit einer Bürette das Gefäß genau bis zu einer Marke mit Wasser und entferne alle Luftblasen. Entleere das Glas und fülle es wiederum mit der Bürette bis zur Marke

mit Wasser. Das erste Mal sind  $V_1 \text{ cm}^3$  und das andere Mal  $V_2 \text{ cm}^3$  Wasser aus der Bürette geflossen. Welchen Raum nimmt der Körper ein?  $V = (V_2 - V_1) [\text{cm}^3]$ .

e) Berechne aus der Masse und dem Raum des Körpers seine Dichte.

d) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

**Bemerkungen.** Bilde das Mittel aus allen Ergebnissen.

Bei Körpern, die in Wasser löslich sind, nimmt man Alkohol, Petroleum, Benzol, Toluol und bei Salzkristallen (z. B. Cuprisulfat) eine gesättigte Lösung des Salzes.

**17. Aufgabe.** *Wie groß sind der Raum, die Masse und die Dichte von Glasschrot?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Dichtefläschchen (Pyknometer) von $50 \text{ cm}^3$ .	Abgleichschrot.
	Glasschrot (Abgleichgranaten oder Schrot).	Fließpapier.
	Abgleichbecher.	Pipette.
		Becherglas.
		Destilliertes Wasser.

**Anleitung.** a) Prüfe, ob der Stopfen zum Dichtefläschchen gehört. Gleiche das Pyknometer (Fig. 23) nebst Stopfen auf der Wage ab.

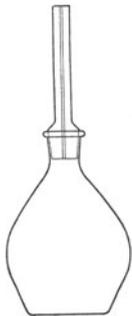


Fig. 23.

b) Fülle das Dichtefläschchen zur Hälfte mit Glasschrot und bestimme die Massen ( $m$  gr) der Kugeln.

c) Fülle das Dichtefläschchen, worin noch das Glasschrot liegt, mit destilliertem Wasser und entferne durch Schütteln oder mit einem Drahte die Luftblasen. Reibe mit einer unwägbaren Spur Fett den Stopfen ein, setze ihn auf und tupfe mit einer kleinen Fließpapierspitze das Wasser bis zur Marke aus. Trockne das Dichtefläschchen außen sorgfältig ab.

d) Bestimme mit der Wage die Masse ( $m_1$  gr) von Schrot und Wasser in dem Dichtefläschchen. Welche Masse Beiwasser ist in dem Gefäß? ( $m_1 - m$ ) gr.

e) Entleere das Dichtefläschchen und fülle es wie in (c) genau bis zur Marke mit destilliertem Wasser.

f) Wäge das Wasser im Dichtefläschchen. Die Masse ist  $m_2$  gr. Wieviel Kubikzentimeter Wasser faßt das Dichtefläschchen?  $V_2 \text{ cm}^3$ .

g) Beim Versuch (d) enthielt das Dichtefläschchen ( $m_1 - m$ ) gr Beiwasser. Welchen Raum nahm dies ein?  $V_1 \text{ cm}^3$ . Welchen Raum ( $V \text{ cm}^3$ ) füllte also das Glasschrot, wenn das Dichtefläschchen im ganzen  $V_2 \text{ cm}^3$  faßt?  $V = (V_2 - V_1) [\text{cm}^3]$ .

h) Berechne aus dem Raum und der Masse des Glasschrots seine Dichte.

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . .    Massensatz Nr. . . .    Dichtefläschchen Nr. . . .

Masse des Glasschrots  $m = \dots$  [gr].  
 Masse des Glasschrots und des Beiwassers  $m_1 = \dots$  [gr].  
 Masse des Beiwassers  $m_1 - m = \dots$  [gr].  
 Raum des Beiwassers  $V_1 = \dots$  [cm<sup>3</sup>].  
 Masse der Wasserfüllung  $m_2 = \dots$  [gr].  
 Raum der Wasserfüllung  $V_2 = \dots$  [cm<sup>3</sup>].  
 Raum des Glasschrots  $\bar{V} = V_2 - V_1 = \dots$  [cm<sup>3</sup>].  
 Dichte des Glasschrots  $\rho = m/\bar{V} = \dots$  [gr/cm<sup>3</sup>].

**k)** Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

**l)** Entleere das Dichtefläschchen und gib es dem Lehrer. Trockne das Glasschrot und lege es in das Gefäß, das der Lehrer dafür bestimmt hat.

**Bemerkungen.** Man berechne aus den Einzelergebnissen den Mittelwert.

Man versehe Flasche und Stopfen des Dichtefläschchens mit den gleichen Nummern. Es empfiehlt sich, für jedes Dichtefläschchen ein Gegengewicht aus Tapeziererblei oder dgl. anzufertigen, das dieselbe Nummer erhält.

Vgl. auf S. 26 die Bemerkungen zu Aufg. 13.

**18. Aufgabe.** *Wie groß ist die Fläche, die ein beliebig gestalteter Umriß einschließt?*

### 1. Verfahren.

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Geräte.** Millimeterpapier (10 cm  $\times$  10 cm).  
Bleistift.

**Anleitung.** **a)** Zeichne auf ein Blatt Millimeterpapier (10 cm  $\times$  10 cm) einen beliebig gestalteten Umriß (Fig. 24).

**b)** Zähle die großen Quadrate (cm<sup>2</sup>), die vollständig innerhalb des Umrisses liegen und umfahre sie mit dem Bleistift.

**c)** Zähle die kleinen Quadrate (mm<sup>2</sup>), die vollständig innerhalb des Umrisses liegen und umfahre auch sie mit dem Bleistift.

**d)** Zähle die von dem Umriß durchschnittenen kleinen Quadrate, die größer als ein halbes Quadrat sind, als vollständige Quadrate und laß die von dem Umriß durchschnittenen Quadrate weg, die kleiner als die Quadrathälfte sind.

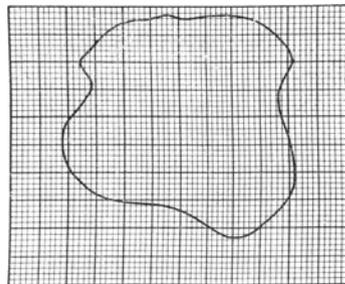


Fig. 24.

**e)** Welcher Bruchteil eines Quadratzentimeters ist ein Quadratmillimeter? Wieviel Quadratzentimeter umgrenzt der Umriß?

**2. Verfahren.**(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Wage. Massensatz. Dünner Karton von überall gleicher Stärke, oder Zinnblatt. Nähnadel, deren Ohr in	Siegellack eingebettet ist, oder Pauspapier oder Kohlepapier oder Graphitpapier. Millimeterstab (30 cm). Schere.
----------------	--	---

**Anleitung.** a) Schneide aus dem Karton ein Rechteck (10 cm  $\times$  10 cm), miß die Seiten und bestimme mit der Wage seine Masse. Berechne die Größe der Fläche, deren Masse 1 gr ist.

b) Lege das Millimeterpapier mit dem Umriß oder eine andere geschlossene Figur auf den Karton und stich mit der Nadel den Umriß durch. Schneide den Karton längs der Stichkurve aus.

c) Bestimme mit der Wage die Masse des ausgeschnittenen Kartonstücks.

d) Berechne mit dem Ergebnis des Versuchs (a) aus der Masse des ausgeschnittenen Kartonstücks dessen Fläche.

**Bemerkungen.** Man kann den Umriß, anstatt durchzustechen, auch durchpausen.

Auf solche Weise kann man die Größe des Schulgrundstücks, der Stadtmark, des Landes, des Deutschen Reichs, ebenso die geometrischen Sätze über Flächengleichheit, z. B. den Pythagoreischen Lehrsatz usw., bestimmen, lauter Aufgaben, die auf die Schüler einen großen Reiz ausüben. Sätze der Raumlehre soll man jedoch mathematisch, nicht aber physikalisch beweisen. Die hier angedeuteten Verfahren sind nur bei Schülern zulässig, deren Raumanschauung noch unentwickelt ist.

Die Aufgaben 18 und 19 kann man gleichzeitig verschiedenen Gruppen zuweisen.

**19. Aufgabe.** *Wie kann man mit der Wage die Zahl  $\pi$  bestimmen?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Dünner Karton von überall gleicher Stärke. Schere. Zirkel.	Millimeterstab. Wage. Massensatz.
----------------	--	---

**Anleitung.** a) Schneide ein Kartonstück von  $\sim 20$  cm  $\times$  20 cm aus, miß die Seiten und berechne die Fläche. Wäge das Quadrat und berechne die Größe der Fläche, deren Masse 1 gr ist.

b) Zeichne auf das Kartonstück einen Kreis von  $\sim 16$  cm Durchmesser. Miß den Durchmesser nochmals und berechne den Halbmesser. Schneide den Kreis aus und wäge ihn. Berechne mit dem Ergebnis von (a) aus der gefundenen Masse die Fläche des Kreises.

c) Zeichne auf der Kreisscheibe um ihre Mitte einen Kreis von kleinerm Halbmesser und verfähre wie in (b). Wiederhole die Messungen mit einigen noch kleinern Kreisen um die Scheibenmitte.

d) Teile die erhaltenen Kreisflächen durch die Quadrate ihrer Halbmesser und nimm aus den erhaltenen Quotienten das Mittel.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Wage Nr. . . . Massensatz Nr. . . . Masse des Kartons . . . gr.  
 Fläche des Kartons . . . cm<sup>2</sup>. Fläche von 1 gr Karton . . . cm<sup>2</sup>.

Durchmesser des Kreises $d$ cm	Halbmesser des Kreises $r$ cm	Masse des Kreises $m$ gr	Fläche des Kreises $f$ cm <sup>2</sup>	$\frac{f}{r^2}$
Mittel				. . . . .

f) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

**Bemerkungen.** Auf ähnliche Weise kann man die Formel zur Berechnung der Ellipsenfläche usw. bestätigen.

Die Aufgaben 18 und 19 kann man gleichzeitig verschiedenen Gruppen zuweisen.

**20. Aufgabe.** *Wie dick ist ein Zinnblatt?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b> Zinnblatt. Millimeterstab (30 cm). Eiserner Winkel. Schere.	Wage. Massensatz. Feinschraube.
---	---------------------------------------

**Anleitung.** a) Schneide aus Blattsinn ein Quadrat von  $\sim 10$  cm Seitenlänge. Miß die Seiten genau und berechne den Flächeninhalt  $f$  cm<sup>2</sup>.

b) Bestimme mit der Wage die Masse ( $m$  gr) des Zinnblatts.

c) Wie groß ist der Raum ( $V$  cm<sup>3</sup>) des Zinnblatts, wenn seine Fläche  $f$  cm<sup>2</sup> und seine Dicke  $h$  cm ist?

d) Schläge nach, wie groß die Dichte ( $\rho$  gr/cm<sup>3</sup>) des Zinns ist. 7,3 gr/cm<sup>3</sup>.

e) Welche Beziehung besteht zwischen  $m$ ,  $V$  und  $\rho$ ? Wie hängt  $V$  von  $f$  und  $h$  ab?

f) Leite eine Formel ab, die erlaubt,  $h$  durch  $m$ ,  $\rho$  und  $f$  auszudrücken. Berechne damit  $h$ .

g) Falte das Zinnblatt, so oft wie es geht, zusammen und zähle dabei sorgfältig die Anzahl der Schichten. Drücke die Lagen ganz fest zusammen. Laß den Lehrer mit der Feinschraube die Dicke aller Schichten messen. Wieviel Schichten liegen aufeinander? Wie dick ist also das Zinnblatt?

h) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

**Bemerkungen.** Man bilde das Mittel aus den Dicken, die mit der Wage, und aus den Dicken, die mit der Feinschraube gefunden worden sind, und berechne den Unterschied beider Mittel. Diese Aufgabe macht stets auf die Schüler einen tiefen Eindruck. Sie zeigt wirksam, welch feines Werkzeug die Wage ist.

**21. Aufgabe.** *Wie kann man mit der Wage die Dicke eines Drahts messen?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Kupferdraht von 0,5 bis 1 mm Durchmesser. Meterstab. Beißzange.	Wage. Massensatz. Feinschraube.
----------------	--	---------------------------------------

**Anleitung.** a) Schneide  $\sim 100$  cm Draht ab. Richte ihn gerade aus und miß genau seine Länge ( $l$  cm).

b) Wie groß ist der Querschnitt ( $q$  cm<sup>2</sup>) des Drahts, dessen Halbmesser  $r$  cm ist? Wie groß ist der Raum ( $V$  cm<sup>3</sup>) des Drahts?

c) Bestimme mit der Wage die Masse ( $m$  gr) des Drahts.

d) Schlage nach, wie groß die Dichte ( $\rho$  gr/cm<sup>3</sup>) des Kupferdrahts ist. 8,9 gr/cm<sup>3</sup>.

e) Welche Beziehung besteht zwischen  $m$ ,  $\rho$  und  $V$ ? Wie hängt  $V$  von  $r$  und  $l$  ab?

f) Leite eine Formel ab, die erlaubt,  $r$  durch  $m$ ,  $\rho$  und  $l$  auszudrücken. Berechne damit den Halbmesser  $r$  cm und den Durchmesser  $d$  cm des Drahts. Wieviel Millimeter ist der Draht stark?

g) Miß mit der Feinschraube an drei Stellen je zwei Durchmesser, die aufeinander senkrecht stehen, und nimm das Mittel daraus. Vergleiche damit die Größe des Durchmessers, den die Wägung geliefert hat.

h) Verfahre wie bei Aufgabe 13 (h).

**Bemerkungen.** Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 20.

## Zweiter Teil.

# Gleichgewicht und Bewegung der festen Körper.

## A. Gleichgewicht der festen Körper.

### I. Kraft.

**1. Aufgabe.** *Wie hängt die Verlängerung einer Spulfeder von der Belastung ab?*

#### 1. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b> Spulfeder (vgl. S. 38).	Pinsel.
Leichte Wagschale.	Bunsengestelle.
Maßstab.	Klemmschraube.
Ablesespiegel.	Millimeterpapier.
Gewichtssatz.	

**Anleitung.** a) Befestige die Spule am Gestell und hänge oder stelle den Maßstab so auf, daß seine Teilung der Federachse parallel läuft.

b) Hänge in den Haken am untern Ende der Feder die Schale, halte die Hand flach darunter und setze behutsam auf die Mitte der Schale  $F_0 = 30$  [gr\*], bewege die Hand langsam nach unten und gib so die Schale allmählich frei (Fig. 25). Beruhige mit der Hand oder dem Pinsel die Schwingungen der Spule, halte den Ablesespiegel so, daß das Spiegelbild des Auges mit dem abzulesenden Strich zusammenfällt, und lies die Stelle des Maßstabes ab, vor der der Zeiger der Feder schwebt. (In der Figur ist ein Spiegelmaßstab gezeichnet.) Sollte die Spule noch etwas schwingen, so lies die beiden Umkehrpunkte ab und nimm daraus das Mittel. Die Ablesung liefert die Nullstellung ( $x_0$  cm) des Zeigers für die Grundbelastung ( $F_0$  gr\*).

c) Lege behutsam ein 5 gr\*-Stück hinzu und lies die Stellung ( $x$  cm) des Zeigers für

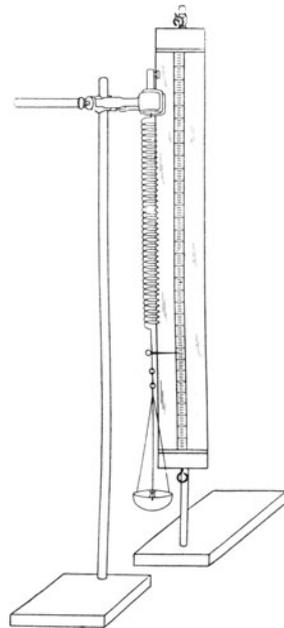


Fig. 25.

die Belastung  $F_1 = 35$  [gr\*] ab. Der Unterschied der beiden Ablesungen  $\lambda = (x - x_0)$  [cm] ist die Längenänderung, die durch die Belastungszulage  $F = (F_1 - F_0) = 5$  [gr\*] erzeugt worden ist. Nimm das Gewicht weg und lies wiederum die Nullstellung ab. Hat sie sich geändert?

d) Belaste die Schale der Reihe nach mit  $F_1 = 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75$  und  $80$  [gr\*]. Verfahre dabei genau wie in (c) und bestimme jedesmal auch die Nullstellung.

e) Vermindere die Belastung der Schale in Stufen von  $5$  gr\* bis auf  $30$  gr\* und verfahre genau wie in (c).

f) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Spulfeder Nr. . . . Kraftwert der Feder  $k = \dots$  [gr\*/cm].  
 Grundbelastung  $F_0 = \dots$  [gr\*]. Größte zulässige Belastung . . . gr\*.  
 Schale Nr. . . . Gewicht der Schale . . . gr\*.

Belastungs- änderung $F = (F_1 - F_0)$ [gr*]	Null- stellung ( $x_0$ ) des Zeigers vor der Belastungs- änderung		Stellung ( $x$ ) des Zeigers nach der Belastungs- änderung $F$		Längenänderung $\lambda = (x - x_0)$ [cm]			Kraft- wert $k = \frac{F}{\lambda}$ [gr*/ cm]
	vor- wärts	rück- wärts	vor- wärts	rück- wärts	vor- wärts	rück- wärts	Mittel	
Mittel							Mittel	. . . . .
Hauptmittel								

g) Stelle die Ergebnisse bildlich dar. Wähle dabei  $F$  als Abszisse und  $\lambda$  als Ordinate. Zeichne mit einem durchsichtigen Dreieck aus Zelluloid oder mit einem schwarzen Faden eine Gerade, die am wenigsten von den erhaltenen Punkten abweicht.

h) Welche Belastungsänderung bewirkt eine Längenänderung der Feder um  $1$  cm? Kraftwert (Kraftkonstante) der Spule oder Federwert (Federkonstante). Bleibt die Nullstellung unverändert? Bleibende Verzerrung oder Rückstand. Größte zulässige Verlängerung. Größte zulässige Belastung.

i) Befestige mit Reißnägeln auf dem Rücken des Maßstabes einen Streifen Papier. Markiere darauf den Stand des Zeigers, wenn die Schale mit  $30$  gr\* belastet ist, und wenn zu dieser Belastung der Reihe nach  $5, 10, 15$  usw. bis  $50$  gr\* hinzugefügt werden. Kraftmesser (Dynamometer).

**2. Verfahren.**

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** GUILLAUME (Sèvres) bei ABRAHAM 1, 82 Nr. 40 und SCHREBER-SPRINGMANN 1, 45 Nr. 46.

**Geräte.** Spulfeder aus Stahldraht | 100 Windungen von  $1$  cm  
 von  $1$  mm Durchmesser, | Durchmesser.

<b>Geräte.</b>	Holzleiste (50 cm $\times$ 1 cm $\times$ 1 cm).	Lot.
	Leichte Wagschale.	Zeichendreieck.
	Gewichtsatz.	Millimeterpapier.

**Anleitung. k)** Hänge die Spulfeder an den Haken *A* im Wandbrett (Fig. 26). Bohre bei *B* in 5 cm Abstand vom Ende *D* ein 2 mm weites Loch in die Leiste, und befestige sie an der Feder mit einem Stahldraht, der durch das Loch geht. Hänge im Punkt *C*, der 1 cm von *D* absteht, die Wagschale *E* an. Schiebe über die Leiste eine lose Fadenschleife *F*, woran ein 100 gr\*-Stück hängt. Hefte auf das Wandbrett ein Blatt Millimeterpapier derart, daß die Linien teils lotrecht, teils wagerecht liegen.

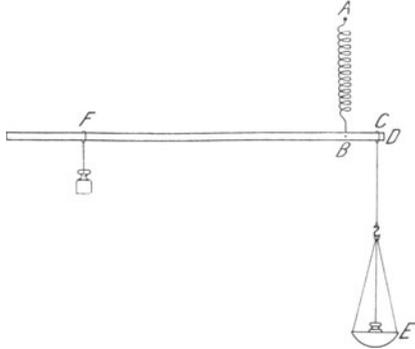


Fig. 26.

l) Setze auf die Schale ein 100 gr\*-Stück und verschiebe das bewegliche Gewicht, bis die Holzleiste parallel den wagerechten Linien des Millimeterpapiers liegt. Halte das Zeichendreieck über die Stelle der Leiste, wo das Laufgewicht hängt, und lote den Punkt *F* auf das Millimeterpapier. Schreibe an den so erhaltenen Punkt die Belastung auf der Schale.

m) Vermehre die Belastung in Stufen von 100 gr\* und nimm den Ort der Punkte *F* auf.

n) Entlaste die Schale in Stufen von 100 gr\* und verfare wie bei (l) und (m).

o) Die wagerechten Verschiebungen von *F* verhalten sich wie die Änderungen der Belastungen und die lotrechten Verschiebungen wie die Längenänderungen der Feder. Wie verhalten sich nach der erhaltenen Kurve die Streckungen zu den Belastungen?

p) Bestimme den Flächeninhalt der so erhaltenen Kurve und ermittle daraus die Arbeit, die zur Verzerrung der Feder verbraucht worden ist.

**Bemerkungen.** Eine Spulfeder, die aus Draht von  $d$  cm Durchmesser gefertigt ist und  $\nu$  Windungen von  $r$  cm Halbmesser hat, dehnt sich bei der Belastung mit  $F$  Dyne um die Länge

$$x = \frac{64 \nu r^3}{[G] d^4} F \text{ [cm]}$$

aus, wo  $[G]$  den Schub-Elastizitätsmodul in absolutem Maß bezeichnet. Der Kraftwert der Feder ist

$$h = \frac{F}{x} = \frac{[G] d^4}{64 \nu r^3} \text{ [Dyne/cm].}$$

Ist  $T$  die in absolutem Maß gemessene größte zulässige Schubspannung, so ist die größte zulässige Ausreckung der Feder

$$x_{max} = \frac{4\pi r^2}{[G]d} T \text{ [cm]}$$

und die größte zulässige Belastung

$$F_{max} = \frac{\pi d^3}{16r} T \text{ [Dyne].}$$

Vgl. J. PERRY, *Applied Mechanics* 630. J. H. POYNTING-J. J. THOMSON, *Properties of Matter*<sup>1</sup> 103. FÖPPL, *Techn. Mechanik*<sup>1</sup> 3, 334. LOVE-TIMPE, *Lehrb. d. Elastizität* 474.

Es ist  $[G]$  für gehärteten Gußstahl  $8,9 \cdot 10^{11}$  und für Messing  $3,44$  bis  $4,03 \cdot 10^{11}$  Dyne/cm<sup>2</sup> und  $T$  für gehärteten Gußstahl  $0,41$  bis  $0,48 \cdot 10^9$  und für Messing  $3,59 \cdot 10^8$  Dyne/cm<sup>2</sup>. Doch haben diese Zahlen oft nur eine recht bedingte Gültigkeit; sie ändern sich erheblich mit der Zusammensetzung und der Vorgeschichte des Stoffs.

Die beim ersten Verfahren benutzte Spulfeder ist aus englischem hartgezogenem Klaviersaitendraht (Music Wire) von 1,02 mm Durchmesser gefertigt. Sie hat 100 Windungen von 1 cm Halbmesser. Das obere Ende der Feder ist  $\sim 5$  cm weit gerade gestreckt. Es ist ratsam, dieses Stück zwischen zwei Korkstücke in eine Klemme des Gestells einzuspannen und oben eine galvanische Klemmschraube zu befestigen, um zu verhindern, daß sich bei der Belastung die Befestigungsstelle der Federsenk. Noch besser ist es, Feder und Maßstab an demselben Träger zu befestigen. Das untere Ende der Feder ist ebenfalls  $\sim 5$  cm weit, gerade und läuft dann in eine Öse aus, in die man die Wagschale einhängt. Die geraden Enden müssen in der Achse der Spule liegen. Die beiden Endpunkte der Windungen verbindet man innerhalb der Spule durch einen Faden, der verhindert, daß die Feder über die größte zulässige Länge hinaus verzerrt wird. Die Länge des Fadens bestimmt man, indem man die Feder mit einem Gewicht belastet, das etwas kleiner als die zulässige größte Belastung ist. Den Zeiger  $Z$  kann man, wie Fig. 27 zeigt, auf die mannigfachste Weise herstellen: Man biegt z. B. aus dem Ende des Drahts eine Öse und einen Zeiger. Man lötet auf den untern

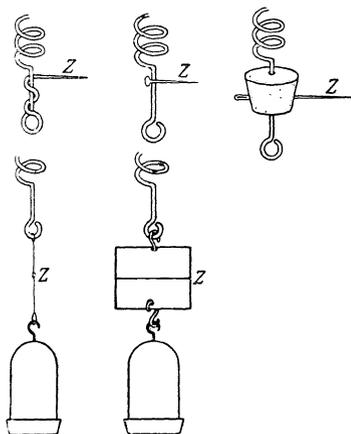


Fig. 27.

geraden Teil des Drahts den Zeiger oder schiebt über das Drahtende einen Kork und steckt durch ihn eine Nähnadel. Man kann auch zwischen die Öse an dem Ende der Feder und den Haken der Wagschale einen Faden einschalten, mit einem Knoten darin, der als Marke dient, oder nach GÖTZ-WETZSTEIN, *Elem. d. Phys.* 16, ein Ablesescheibchen statt des Fadens mit Knoten, oder, was viel besser ist, nach NOACK, *Aufgaben* 15 Nr. 16, ein Glasscheibchen benutzen, das mit einem wagerechten Diamantstrich und mit Haken versehen ist. Einfacher ist es, über einen flachen leichten Ring wagerecht einen Draht zu löten und an dem Ring oben und unten einen Haken anzubringen. Man kann aber auch irgend eine bestimmte Stelle der Schale oder der Spule als Marke verwenden.

Als Maßstab benutzt man einen 5 cm breiten und mindestens 60 cm langen Streifen Spiegelglas, worauf man eine Millimeterteilung geklebt hat. Den Spiegelstreifen befestigt man auf einem Holzbrett. Den

Maßstab hängt man mit einer Öse auf oder befestigt ihn mit Kautschukringen oder Photographenklammern an einem Gestell. Besser, jedoch teurer ist eine Teilung unmittelbar auf dem Spiegelglas. Benutzt man einen gewöhnlichen Meterstab, so muß man mit einem Ablesespiegel den Fehler vermeiden, der von der Parallaxe herrührt.

WORTHINGTON (94 Nr. 9) benutzt folgenden Kraftmesser (Fig. 28): Auf eine dünne Leiste aus trockenem Holz von  $\sim 3$  cm Breite und  $\sim 50$  cm Länge klebt man eine Millimeterteilung aus Papier (sie ist in der Figur weggelassen) und befestigt an dem Reißnagel  $C$  mit starkem Zwirn ein Stück Kautschukschnur von quadratischem oder auch rundem Querschnitt, in das man drei fest zugezogene Knoten gemacht hat. Bei der Messung schwacher Kräfte benutzt man den untersten Knoten und bei der Messung stärkerer Kräfte die beiden obern. Am untern Ende  $E$  der Schnur befestigt man mit einem Haken und drei Fäden eine Pillenschachtel, deren Gewicht man auf eine runde Zahl, 10 oder 20 gr\*, abgeglichen hat. Mit zwei Kraftmessern, deren Fäden 1,2 mm und 2 bis 4 mm breit sind, kann man Kräfte zwischen 15 und 400 gr\* messen. Will man diesen Kraftmesser in wagerechter Stellung verwenden, so treibt man an den Stellen  $A$ ,  $B$  und  $D$  Nadeln so weit durch das Holz, daß die Spitzen  $\sim 2$  mm weit herausragen und kneift mit der Zange die obern Teile ab. Die Ausdehnung der Kautschukschnüre ist freilich nicht so gleichmäßig wie die der Spulfedern.

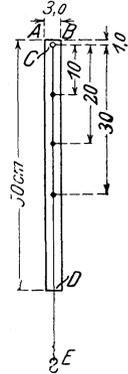


Fig. 28.

Auch bei dem zweiten Verfahren kann man anstatt der Feder einen Kautschukring verwenden.

Anstatt der Kautschukfäden und der Spulfedern kann man auch kreisförmige Federn benutzen, die als „Hosenspangen“ für 10 Pf. das Paar in jedem Fahrradgeschäft zu haben sind.

Über andere einfache Kraftmesser, die man selbst herstellen kann, vgl. ABRAHAM 1, 82 Nr. 41. HAHN, *Freihandversuche* 1, 50 Nr. 55 u. 56, 84 Nr. 140—143. HORTVET 97. RINTOUL 114. F. C. G. MÜLLER, *Technik d. phys. Unterr.* 28. SCHREBER-SPRINGMANN 1, 44 Nr. 44. WATSON, *Elem. Pract. Phys.* 69 Nr. 54 und 233 Nr. 54.

Am besten mißt man eine Kraft, indem man ihre Wirkung durch ein Gegengewicht aufhebt. Muß man dabei die Zugrichtung durch Rolle und Schnur ändern, so beeinträchtigt dies die Bequemlichkeit des Verfahrens und die Genauigkeit der Ergebnisse. Am bequemsten mißt man die Kräfte mit Federwagen und, wenn die Kräfte schwach sind, mit Kautschukschnüren. Benutzt man bei demselben Versuch gleichzeitig Gewichtstücke und Federwagen, so mißt man auch die Zugkräfte der Gewichtstücke mit den Federwagen.

**2. Aufgabe.** Ist es gleich, ob man eine Federwaage allmählich oder plötzlich belastet?

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Literatur.** WELLS 79 Nr. 1.

<b>Geräte.</b> Federwaage bis 10 kg*, geteilt in $\frac{1}{4}$ kg*.		Streifen aus dünnem Messingblech von $\sim 0,3$ cm Breite.
Gewichtstücke mit Ring von 1, 2 und 5 kg*.		Gestell.

**Anleitung.** a) Hänge die Waage frei mit dem Ring an den Haken des Gestells, klopfe gegen das Gehäuse und lies den Zeiger ab, während die Waage unbelastet ist. Nullfehler  $F_0'$  kg\*.

b) Hänge 1 kg\* ganz langsam und vorsichtig an den Haken der Wage, klopfe, sobald sich die Wage beruhigt hat, gegen das Gehäuse und lies die Stellung des Zeigers  $F'$  kg\* ab. Entlaste die Wage und lies wiederum die Nullstellung ab.

c) Wiederhole die Versuche mit 2 und 5 kg\*.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Federwage Nr. . . . Art der Belastung . . . .

Belastung $F$ kg*	Nullstellung $F_0'$ kg* vor der Belastung	Zeigerablesung $F'$ kg*	Unterschied der Zeigerablesungen $F' - F_0'$
1			
2			
5			

e) Biege einen Streifen Messingblech so um die Vorderseite der Wage, daß sein oberer Rand den Zeiger der Wage berührt und ein Bügel entsteht, den der Zeiger bei seiner Bewegung fortschiebt, und der nach dem Aufhören der Bewegung an der Stelle bleibt, wo ihn der Zeiger hingeschoben hat.

f) Setze das 1 kg\*-Stück so auf die flache Hand, daß sein Ring den Haken der Wage berührt, lege den Ring über den Haken und bewege die Hand plötzlich nach unten. Lies, sobald das Gewicht zur Ruhe gekommen ist, die Stellung des obern Blechrandes ab.

g) Wiederhole den Versuch mit dem 2- und dem 5 kg\*-Stück.

h) Schreibe die Ergebnisse wie bei (d) auf.

i) Vergleiche die entsprechenden Werte von  $F' - F_0'$  in beiden Versuchsreihen. Wie hat man also bei dem Belasten von Körpern stets zu verfahren?

**Bemerkungen.** In dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut benutzen wir jetzt bei den mechanischen Versuchen folgende Federwagen, die von GEORGE SALTER & Co. zu West Bromwich bezogen worden sind:

Sorte	Meßbereich in kg*	Teilung in kg*
Brass Sportman's Balances Nr. 15 (Fig. 29) . . .	10	1/4
„ „ „ . . . . .	5	0,1
„ „ „ . . . . .	4	0,1
Best Balances Nr. 1 (Fig. 30) . . . . .	10	0,1
New Circular Balances Nr. 80 (Fig. 66) . . . . .	20	0,05

Von diesen Wagen eignen sich die Sportman's Balances trefflich zu den Übungen. Die Best Balances Nr. 1 sind dafür etwas zu groß, und es dürften, wenn man auch diese Form verwenden will, vielleicht die

Light Balances Nr. 2 zweckmäßiger sein, doch kann ich darüber aus eigener Erfahrung kein Urteil abgeben. Federwagen mit Kreisteilung werden bei den Aufgaben 22 und 26 benutzt.

Die in Deutschland üblichen und allein eichfähigen Formen der Gewichtsstücke sind für die Versuche in der Mechanik nicht so zweckmäßig wie die Gewichte mit Ring- oder Stabgriff, die man in England dazu verwendet. Die Firma GEORGE SALTER & Co. war so entgegenkommend,

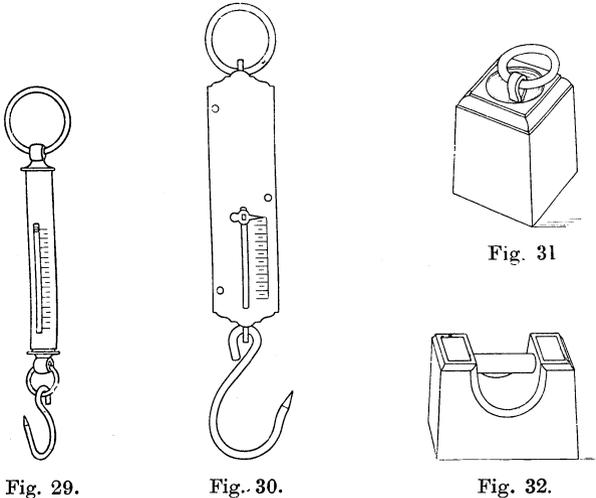


Fig. 29.

Fig. 30.

Fig. 32.

eigens für das Naturwissenschaftliche Fortbildungsinstitut solche Gewichte von 1 bis 20 kg\* zu gießen. Die Ringgewichte (Square Ring Weights Nr. 11, Fig. 31) lassen sich bequem an die Haken von Schnüren usw. hängen und die Stabgewichte (Bar Weights Nr. 7, Fig. 32) sehr vorteilhaft auf Wageschalen packen. Diese Gewichtsformen haben sich durchaus als zweckmäßig und bequem bewährt

Als Gewichtstücke von 0,1 bis 0,5 kg\* verwende man Eisenscheiben und als Gewichtstücke von 0,01 bis 0,05 kg\* Messingscheiben.

### 3. Aufgabe. Bestimme die Fehler einer Federwage.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** HALL, *Descript. List 13 Nr. 12.* SMITH-HALL, *The Teaching of Chemistry and Physics 255.*

<p><b>Geräte.</b> Federwage bis 10 kg*, geteilt in 0,1 kg*. Wageschlitten. Wageschale. Gewichtssatz, dessen Gewichte bis auf ein Hundertstel des kleinsten Gewichtstücks genau sind. Streifen aus dünnem Messingblech.</p>	<p>Bunsengestell oder Zwinde mit Haken. Tafelwage. Schrot oder Zinn- oder Bleiblatz. Millimeterpapier. Papier. Schere. Klebwachs.</p>
--	---

**Anleitung.** a) Biege das Messingblech (Fig. 33) längs  $DD$  um und drücke es so zurecht, daß es das Gehäuse der Wage umfaßt und an jeder Stelle festsetzt.  $DC$  soll so lang sein, daß  $C$  nahezu den Zeiger berührt.

b) Hänge die unbelastete Wage lotrecht frei auf. Schiebe die Blechklammer so weit nach oben oder unten, daß einer ihrer Ränder mit der Spitze oder dem Rande des Wagezeigers zusammenfällt (Fig. 34). Liegt der Zeiger über dem Nullstrich, so ist der Fehler

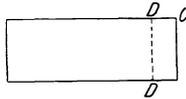


Fig. 33.

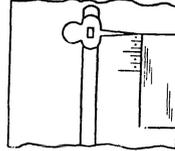


Fig. 34.

positiv, steht der Zeiger aber unter dem Nullstrich, so ist der Fehler negativ zu nehmen. Die Zeigerstellung liefert den wahren Nullpunkt für die lotrechte Stellung der Wage.

c) Wäge die Schale und lege so viel Schrot, Zinn- oder Bleiblatt darauf, daß ihr Gewicht genau  $0,1$  oder  $0,2 \text{ kg}^*$  beträgt. Hänge die so abgegliche Schale an die Federwage und lege so viel Gewichte hinein, daß die Wage insgesamt mit  $5 \text{ kg}^*$  belastet wird. Stelle die Blechklammer ein und bestimme die Stellung  $x'$  des Blechrandes und nach Größe und Sinn die Abweichung  $y$  vom Teilstrich  $x = 5 [\text{kg}^*]$ .

d) Vermehre allmählich die Last in Stufen von je  $0,5 \text{ kg}^*$  bis auf  $9,5 \text{ kg}^*$  und bestimme jedesmal wie in (c) den Fehler nach Sinn und Größe.

e) Führe die Messungen (c) und (d) in umgekehrter Reihenfolge aus. Belaste die Wage mit  $9,5 \text{ kg}^*$ , entlaste sie in Stufen von je  $0,5 \text{ kg}^*$  bis auf  $5 \text{ kg}^*$  und bestimme dann nochmals den Nullpunkt.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Federwage Nr. . . .      Gewichtssatz Nr. . . .      Wagschale Nr. . . .

Belastung in $\text{kg}^*$	Ent- sprechender Teilstrich $x$ der Federwage	Stellung $x'$ des Zeigers			Fehler der Wagen- angabe $y = x - x'$	Belastung $F \text{ kg}^*$ , die wirklich dem Teilstrich $x$ ent- spricht, $F = x + y$
		vor- wärts	rück- wärts	Mittel		

g) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, wähle dabei die Teilstriche  $x$  als Abszissen und die Fehler  $y$  als Ordinaten. Bestimme aus der Fehlerkurve die Verbesserungen für die Teilstriche  $5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9$  und  $9,5 \text{ kg}^*$  der Wageteilung. Nimm die Teilstriche der Wage als Abszissen und die wahren Belastungen  $F \text{ kg}^*$

als Ordinaten und entwirf so die *Eichkurve* der Wage. Schreibe auf das Blatt die Nummern der Wage und des Gewichtsatzes.

h) Befestige mit Klebwachs einen Streifen Papier auf der Wage-Teilung, wiederhole die Versuche (a) bis (e), doch ziehe bei jeder Einstellung mit einem scharfen Bleistift einen Strich längs dem Rande der Blechklammer und stelle so eine neue Teilung für die Wage her.

i) Bestimme mit der Federwage das Gewicht eines Körpers (5 bis 9,5 kg\*).

k) Hängt die unbelastete Wage lotrecht an ihrem Ringe, so trägt die Feder das Gewicht von Stange und Haken. Ist das auch der Fall, wenn sie wagrecht liegt? Lege die Wage mit dem Rücken flach auf den Tisch, laß den Haken frei über den Tischrand hinunterhängen, klopfe mehrmals gegen das Gehäuse und lies die Stellung  $F_h$  des Zeigers ab. Wahre Nullstellung für die wagerechte Stellung der Wage. Wie groß ist das Gewicht von Haken und Stange? Liest man bei der wagerechten Stellung der Wage am Zeiger die Belastung  $F''$  kg\* ab, so ist die wirkliche Belastung der Wage  $F = (F_h + F'')$  [kg\*].

l) Ist der Schlitz der Wage so kurz, daß der Zeiger bei wagerechter Stellung der Wage nicht seine wahre Nullstellung einnehmen kann, so befestige am Haken der auf dem Tisch liegenden Wage eine Schnur, führe diese über eine leicht laufende Rolle und belaste sie so stark, daß sich der Zeiger auf den wahren Nullpunkt der Teilung für die lotrechte Lage der Wage einstellt. Die Belastung liefert den Wert von  $F_h$ .

m) Drehe die zu prüfende Federwage mit ihrem Haken nach oben, und hänge sie an eine andere gleiche Wage, die die gewöhnliche lotrechte Stellung hat. Die Feder der obern Wage wird vom Gewicht ihrer Stange und ihres Hakens, außerdem vom Gewichte der ganzen untern Wage, d. h. vom Gewichte des Gehäuses, der Stange und des Hakens dieser Wage gespannt. Die Feder der untern Wage wird nur vom Gewicht ihres Gehäuses gespannt. Folglich ist das Gewicht  $F_h$  der Stange und des Hakens der untern Wage gleich dem halben Unterschiede der Ablesungen an beiden Wagen, wenn diese in lotrechter Stellung richtig geeicht sind.

n) Nimm für die wagerechte Stellung der Wage die Fehlerkurve und die Eichkurve auf. Verfahre dabei wie in (g).

o) Hänge die Wage am Haken lotrecht auf und belaste sie am Ringe mit Gewichten oder befestige den Haken unten, knüpfe an den Ring eine Schnur, führe diese lotrecht nach oben über eine Rolle und belaste ihr freies Ende. Welchen Einfluß hat in diesen beiden Fällen das Gehäuse der Wage? Nimm die Fehlerkurve und Eichkurve für diese Stellung der Wage auf.

**Bemerkungen.** Ist die Teilung einer Federwage ganz schlecht, so schmirgelt man sie etwas ab, klebt ein Stück weißes Papier darüber und eicht sie von neuem.

Bei runden Federwagen gibt man der Blechklammer eine etwas andere Gestalt. Das Blech muß man so biegen, daß die Schraubenköpfe auf der Teilung die Verschiebung nicht hindern.

Es gibt im Handel Federwagen mit angehängten Schalen. Sie sind oft so geeicht, daß sie die Belastungen nur dann richtig angeben, wenn die Schalen an den Wagen hängen. Solche Wagen sind für viele Schülerübungen unbrauchbar und ganz wertlos, wenn sie ohne Schalen geliefert werden, was zuweilen vorkommt. Da die Eichung der Federwagen nur bei anhängenden Haken richtig ist, so muß man bei einer Entfernung der Haken prüfen, ob dies zulässig ist.

Verwendet man eine Federwage nicht in der lotrechten Stellung, mit dem Haken nach unten gekehrt, so ist stets das Gehäuse zu stützen, damit die Reibung zwischen Feder und Gehäuse keinen Fehler bewirkt.

Zu dem Gebrauch der Federwagen bei der Messung von Kräften, die nicht lotrecht nach unten wirken, geben AMES und BLISS (125) folgende Erläuterungen:

Eine Federwage ist so geeicht, daß sie das Gewicht eines Körpers, der an ihrem Haken hängt, genau angibt. Hängt am Haken das Gewicht  $F$ , so liest man an der Wage  $F'$  ab. Die Kraft aber, die auf die Feder wirkt, ist  $F + F_h$ , wo  $F_h$  das Gewicht von Haken, Stange, Zeiger usw. der Wage bezeichnet. Hängt man das Gewicht  $F$  an eine leichte Schnur, die über eine reibungslose Rolle zu dem Haken der wagerecht gelagerten Federwage führt, so wirkt auf die Feder nur das Gewicht  $F$  und man liest daher  $F''$  ab. Kehrt man nun die Federwage so mit dem Ringe nach unten, daß sie lotrecht abwärts zieht, so hebt der Haken usw.  $F_h$  Einheiten des Gewichts  $F$  auf, und man liest an der Wage  $F'''$  ab. Zwischen  $F$  und den drei Ablesungen  $F'$ ,  $F''$  und  $F'''$  bestehen die Beziehungen:

$$F = F' = F'' + F_h = F''' + 2F_h.$$

Bildet die Richtung der Schnur, die am Haken zieht, mit der lotrechten Richtung den Winkel  $\varphi$ , und liest man an der Wage  $F_a$  ab, so ist die Zugkraft in der Schnur  $F_a + (1 - \cos \varphi) F_h$ . Bei allen Kraftmessungen läßt man die Kraft am Haken angreifen und fügt zur Ablesung  $F_a$  noch  $(1 - \cos \varphi) F_h$  hinzu. Will man für eine Federwage  $F_h$  finden, so hängt man ihren Ring an einen Nagel und an ihren Haken ein Gewicht und liest ab; dann dreht man die Wage um, hängt ihren Haken an den Nagel und das Gewicht an den Ring und liest wieder ab. Bezeichnet  $[F_m]$  das Gewicht der ganzen Wage, so ist der Unterschied zwischen den beiden Ablesungen  $[F_m - 2F_h]$ . Man findet  $[F_m]$ , indem man die Federwage mit einer andern Federwage wägt. Da oft eine Federwage sehr kleine Kräfte nicht genau mißt, so hängt man zuerst die Wage und ein Gewicht und dann das Gewicht allein an die andere Wage.

## II. Änderung der Größe und Gestalt von belasteten festen Körpern.

**4. Aufgabe.** *Wie verhält sich ein dünner Draht, der allmählich so stark belastet wird, daß er zerreißt?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WELLS 81 Nr. 2.

<b>Geräte.</b> Verzinkter Eisendraht	Feinschraubenlehre.
von 1 mm Durchmesser,	Millimeterpapier.
frei von Drill und Knick.	Große Wagschale von 36 cm
Bügel mit durchbohrtem	Durchmesser.
Querstab.	Gewichtstücke mit Stab-
Keil.	griff von 1, 2, 2, 5, 10, 20
Hammer.	und 20 kg*.
Tiefenlehre mit Ansatz.	Millimeterstab.

**Geräte.** Tafelwage.  
Gewichtssatz.  
Drahtzange.  
Beißzange.

Kasten mit Sägemehl.  
Schnittbrenner.  
Gasschlauch.

**Anleitung.** a) Befestige mit einem Keil den Bügel an einem Wandgalgen. Wickle das eine Ende des Drahts mehrmals um den runden Querstab des Bügels, zieh es dann durch das Loch des Querstabes, winde es nunmehr um einen Schenkel des Bügels und binde es schließlich an dem Querstab fest (Fig. 35).

b) Wickle das untere Drahtende mehrmals um den Haken der Wagschale und dann um sich selbst. Der Boden der Schale soll höchstens 20 cm über dem Sägemehl in dem untergestellten Kasten hängen.

c) Miß mit der Feinschraubenlehre an verschiedenen Stellen in zwei zueinander senkrecht stehenden Richtungen den Durchmesser des Drahts. Vgl. Teil I, Aufg. 8, S. 17.

d) Sieh nach, ob der Draht ganz gerade hängt und frei von scharfen Biegungen und Schleifen ist. Befestige die Tiefenlehre so an dem Drahte, daß der Abstand zwischen der Schraube des Läufers und der obern Schraube des Messingstreifens genau 25 cm ist, und lies den Läufer ab.

e) Lege langsam und sorgfältig Gewichte in Stufen von 5 kg\* bis zu der Gesamtbelastung 10 kg\* auf die Schale und lies nach jeder Belastungsänderung den Läufer ab.

f) Entferne langsam alle Gewichte, warte 1 bis 2 Minuten und lies dann den Läufer ab.

g) Setze die Gewichte genau wie vorher wieder auf die Schale, lies jedesmal den Läufer ab und steigere die Belastung in Stufen von 5 kg\* auf 20 kg\*.

h) Nimm langsam die Gewichte ab und lies nach 1 bis 2 Minuten den Läufer ab.

i) Lege die Gewichte genau wie vorher wieder auf, lies jedesmal den Läufer ab und steigere die Belastung auf 30 kg\*. Bemerkt man, daß sich der Draht bei einer Belastungsvermehrung von 5 kg\* stärker als vorher ausdehnt, so lege man von da ab jedesmal nur 2 kg\* zu und etwas später jedesmal nur noch 1 kg\*, bis der Draht zerreißt. Beobachte zuletzt den Läufer andauernd recht sorgfältig, damit du die Ausdehnung bei der letzten Belastung noch ablesen kannst. Beachte, daß die *Bruchbelastung* gleich ist der Summe von dem Gewicht der Wagschale und den Gewichten auf der Schale.

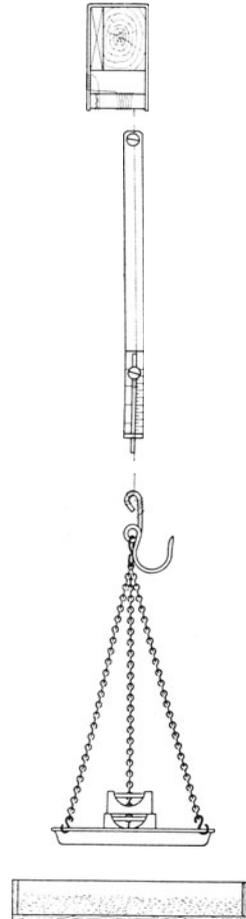


Fig. 35.

k) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

. . . Draht von . . . mm Durchmesser. Querschnitt  $q = \dots$  [mm<sup>2</sup>].  
 Länge des Drahtstücks, dessen Ausreckung gemessen wird,  $l = \dots$  [mm].

Nullpunkt des Läufers . . . mm. Schale Nr. . . . Gewicht der Wagschale  $F_0 = \dots$  [kg\*].

Belastung der Wagschale $F'$ kg*	Gesamtbelastung $F = F' + F_0$	Spannung $p = F/q$ [kg*/mm <sup>2</sup> ]	Ableseung am Läufer in mm	Längenänderung $\lambda$ mm	Dehnung $\frac{\lambda}{l}$

Federgrenze (aus der Spannungskurve entnommen) = . . . [kg\*/mm<sup>2</sup>] = . . . [Dyne/cm<sup>2</sup>].

Zerreißfestigkeit  $F_{max}/q = \dots$  [kg\*/mm<sup>2</sup>] = . . . [Dyne/cm<sup>2</sup>].

Längenänderung gerade vor dem Zerreißen = . . . mm.

Längenänderung gerade vor dem Zerreißen in Hundertstel der ursprünglichen Länge = . . . %.

l) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei  $x = \lambda$  und  $y = p$ . Bis zu welcher Belastung verläuft die Kurve nahezu geradlinig? *Gleichmäßigkeitsgrenze (Proportionalitätsgrenze)*. Wie verläuft die Kurve weiterhin? Nahm der Draht, solange er noch nicht bis zur Gleichmäßigkeitsgrenze belastet worden war, bei der Entlastung seine ursprüngliche Länge wieder an? *Federnd (elastisch)*. Nahm der Draht, nachdem er über seine Gleichmäßigkeitsgrenze hinaus belastet worden war, wieder seine ursprüngliche Länge an? *Bleibende Verzerrung* oder *dauernder Rückstand*. Wie groß ist der Rückstand nach einer Belastung mit 30 kg\*?

m) Miß den Durchmesser an den Bruchenden in zwei zueinander senkrechten Richtungen. Hat er sich geändert?

*Belastung, Spannung, (Beanspruchung). Längenänderung, Dehnung. Bruchbelastung, Zerrei- oder Zugfestigkeit. Hooke'sches Gesetz. Federmaß (Elastizitätsmodul). Federgrenze (Elastizitätsgrenze).*

n) Wiederhole die Versuche (a) bis (m) mit Drähten aus Stahl, Messing und Kupfer und dann mit ausgeglühten Stücken derselben Drähte. Man erwärme die Drähte vorsichtig nur bis zur Rotglut über einem Schwalbenschwanzbrenner und lasse sie langsam abkühlen.

**Bemerkungen.** Man lasse gleichzeitig die verschiedenen Gruppen das Verhalten verschiedener Drähte untersuchen. Man wähle dabei die Durchmesser der Drähte so groß, daß die Bruchbelastungen etwa zwischen 30 und 80 kg\* liegen, und lasse während der Versuche die Drähte etwa dreimal entlasten. Die folgende Tafel enthält die ungefähren Werte der Zerreifestigkeiten in kg\*/mm<sup>2</sup>:

	Gezogen	Ausgeglüht
Messing . . . . .	(34)	—
Kupfer . . . . .	40	30
Eisen . . . . .	60	50
Stahl . . . . .	70	40

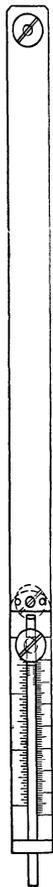


Fig. 36.

Der Läufer (Fig. 36, S. 46) ist eine Tiefenlehre (Nr. 1635) von JAMES CHESTERMAN & Co., LTD., zu Sheffield in England. Am verschiebbaren Läufer und am obern Ende des Stabes ist eine Schraube befestigt. Am obern Ende des Stabes ist ferner ein Messingstreifen angeschraubt, der oben eine dritte Schraube trägt. Diese steht von der Schraube des Läufers 25 cm ab. Der Draht wird mit der ersten und dritten Schraube so festgeklemmt, daß man bei den Versuchen die Verlängerung eines 25 cm langen Drahtstücks mißt.

WHITING (367 Nr. 66) und HALL (*Descript. List 35 Nr. 26 u. 36 Nr. 27*) bestimmen die Zugfestigkeit, indem sie einen Messingdraht von 0,36 mm Durchmesser mit einer Federwage vom Meßbereich 10 kg\* zerreißen; hierbei sind besondere Schutzvorrichtungen für die Wage erforderlich. NICHOLS-SMITH-TURTON (48 Nr. 17 u. 271) benutzen daher statt der Federwage einen Garnprüfer vom Meßbereich 15 kg\*. Andere einfache Zerreißvorrichtungen sind beschrieben bei: CHESTON-DEAN-TIMMERMANN 55 Nr. 28. GILLEY 164 Nr. 21. W. J. HOPKINS 50 Nr. 8. F. C. G. MÜLLER, *Techn. d. phys. Unterr.* 47. STEWART-GEE 1, 197 Nr. 134.

**5. Aufgabe.** Welche Beziehung besteht zwischen Spannung und Verzerrung bei einem Kautschukstab, den man innerhalb der Federgrenze belastet?

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** WELLS 85 Nr. 4.

<p><b>Geräte.</b> Runder massiver Stab aus gutem weißem Kautschuk von ~ 15 mm Durchmesser und 50 bis 90 cm Länge. 2 lange Stopfnadeln. Meterstab.</p>	<p>Feinschraubenlehre. Bindfaden. Wagschale. Gewichtstücke mit Stabgriff von 1, 2, 2 kg*, dazu 0,5 kg*. Millimeterpapier.</p>
---	---

**Anleitung.** a) Biege die Enden des Stabes um und binde sie fest, so daß Schleifen entstehen. Hänge die eine Schleife an einen festen Haken und befestige an der andern eine Wagschale. Stecke in 40 bis 60 cm Abstand zwei lange Stopfnadeln so durch die Achse des Stabes, daß sie in einer Ebene liegen, und befestige dicht hinter und neben den Nadeln einen Meterstab (Fig. 37).

b) Miß mit der Feinschraubenlehre den Durchmesser des Stabes an mindestens drei Stellen in zwei Richtungen, die aufeinander senkrecht stehen. Vgl. Teil 1, Aufg. 8 S. 17. Vermeide dabei, den Kautschuk zusammenzupressen.

c) Lies mit Hilfe des Ablesespiegels sehr sorgfältig die Stellungen der beiden Nadeln ab; schätze dabei noch die Zehntelmillimeter.

d) Belaste die Schale langsam und vorsichtig in Stufen von je 0,5 kg\* bis zu 3 kg\*. Warte nach jeder Belastung drei Minuten und lies dann die Stellungen der beiden Nadeln ab.

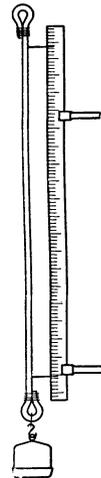


Fig. 37.

e) Entlaste die Schale in Stufen von je 0,5 kg\* und verfarehne sonst genau wie bei (d).

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stab Nr. . . . Mittlerer Durchmesser des Stabes  $d = \dots$  [mm]. Mittlerer Querschnitt des Stabes  $q = \dots$  [mm<sup>2</sup>]. Länge des Stabes (Abstand der Nadeln), wenn nur mit der Schale belastet,  $l_0 = \dots$  [mm]. Schale Nr. . . . Gewicht der Schale  $F_0 = \dots$  [kg\*].

Belastung der Schale $F$ kg*	Nadelablesungen in mm		Abstand der Nadeln $l$ mm	Längen- änderung $\lambda = (l - l_0)$ [mm]
	oben	unten		

Verzerrung $e = \frac{\lambda}{l_0}$	Spannung $p = \frac{F}{q} \left[ \frac{\text{kg}^*}{\text{mm}^2} \right]$	Federmaß $E = \frac{p}{e} \left[ \frac{\text{kg}^*}{\text{mm}^2} \right]$
	Mittel	$E = \dots$ [kg*/mm <sup>2</sup> ] [E] = $\dots$ [Dyne/cm <sup>2</sup> ]

g) Um wieviel Zentimeter ist der mit  $F$  kg\* belastete Stab länger als der nur mit der Schale beschwerte?  $\lambda = (l - l_0)$  [mm]. Wie groß ist die Verzerrung oder Dehnung des Stabes?  $e = \lambda/l_0$ . Wie groß sind bei den verschiedenen Belastungsänderungen die Spannungsänderungen des Stabes?  $p = F/q$  (kg\*/mm<sup>2</sup>).

h) Zeichne unter Benutzung desselben Achsenkreuzes, doch getrennt für die wachsenden und die abnehmenden Spannungen, die Spannungskurve  $x = \lambda$  und  $y = p$ .

i) Wie verhalten sich die Spannungen  $p$  zu den Dehnungen  $e$ ? Federmaß (Elastizitätsmodul)  $E$ . Dehnzahl (Dehnungskoeffizient)  $a = 1/E$ . HOOKE'Sches Gesetz. Wie groß ist das Federmaß des Kautschuks, gemessen in kg\*/mm<sup>2</sup> und in Dyne/cm<sup>2</sup>?

**Bemerkungen.** Im allgemeinen erhält man bei Kautschuk nicht leicht befriedigende Ergebnisse. Die Längenänderung soll nicht mehr als 5% der ursprünglichen Länge betragen. Will man den Wert von  $E$  schärfer bestimmen, so fasse man je zwei Versuche zusammen, bei denen die Belastungen um 1,5 kg\* verschieden sind, und berechne das Mittel aus den drei Werten der Längenänderung für die Mehrbelastung 1,5 kg\* und daraus das Federmaß.

Die Verlängerungen kann man schärfer mit zwei Feinschrauben messen, die man mit Klemmen an einem Gestell befestigt.

Andere einfache Vorrichtungen findet man bei ALLEN 183 Nr. 10, 221 u. 254. DUFF 197 Nr. 32. EARL, *Pract. Lessons* 289. RINTOUL 160 Nr. 33. SCHUSTER-LEES, *Interm. Course* 65 Nr. 13. STEWART-GEE 1, 192. Ein schönes Verfahren, das Verhältnis der Querkürzung zur Längendehnung zu bestimmen, steht bei WIEDEMANN-EBERT 110 und EBERT, *Lehrb. d. Physik* 1, 167.

**6. Aufgabe.** Welche Beziehung besteht zwischen Spannung und Verzerrung bei einem Metalldraht, den man innerhalb seiner Feder-grenze belastet?

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** WELLS 89 Nr. 5.

<p><b>Geräte.</b> Verzinnter Eisendraht von 1 mm Durchmesser. Tiefenlehre ohne Ansatz. Große Wagschale von 36 cm Durchmesser. Feinschraubenlehre.</p>	<p>Bandmaß. Vergrößerungsglas. Gewichtstücke mit Stab- griff von 1, 2, 2, 2, 5, 5, 10 kg*. Millimeterpapier.</p>
---	--

**Anleitung.** a) Hänge am Deckenhaken oder an der Schelle des Deckenbalkens in  $\sim 1$  cm Abstand zwei Drahtstücke nebeneinander auf. Befestige den einen Draht an dem geteilten Stab und den andern Draht an dem Läufer der Tiefenlehre. Spanne den ersten Draht mit einem 2 kg\*-Stück dauernd straff und hänge an den andern Draht, den Meßdraht, die Wagschale (Fig. 38).

b) Prüfe, ob die Drähte frei von Schleifen und Knicken sind.

c) Belaste den Meßdraht 5 Minuten lang mit der höchsten Belastung, die angewendet werden soll, hier mit 12 kg\*. Entferne aus der Schale die Belastung bis auf 4 kg\*. Lies mit dem Vergrößerungsglas sorgfältig den Läufer ab und schätze dabei die Zehntel eines Läuferteils.

d) Belaste die Schale, die bereits mit 4 kg\* beschwert ist, vorsichtig und langsam in Stufen von je 2 kg\* bis zu 10 kg\*. Warte nach jeder Belastung drei Minuten und lies dann den Läufer ab.

e) Entlaste die Schale in Stufen von je 2 kg\* bis auf 4 kg\* und verfare sonst genau wie bei (d).

f) Miß mit einem Bandmaß die Länge des Drahts. Hat man kein solches Maß, so mißt man die Länge mit einer langen Holzlatte, worauf man das obere und untere Ende des Drahts anmerkt.

g) Miß mit der Feinschraubenlehre den Durchmesser des Drahts mindestens an drei Stellen in zwei Richtungen, die aufeinander senkrecht stehen.

h) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

... Draht. Länge des Drahts  $l = \dots$  [mm]. Mittlerer Durchmesser des Drahts  $d = \dots$  [mm]. Mittlerer Querschnitt des Drahts  $q = \dots$  [mm<sup>2</sup>]. Nullpunkt des Läufers ... mm. Wagschale Nr. ... Gewicht der Wagschale  $F_0 = \dots$  [kg\*].

Hahn, Handbuch. 2. Aufl.

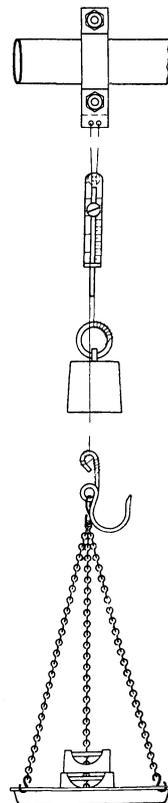


Fig. 38.

Mehrbelastung der Schale $F$ kg*	Läuferablesung in mm		Längenänderung $\lambda$ mm		
	vorwärts	rückwärts	vorwärts	rückwärts	Mittel
	Verzerrung $e = \frac{\lambda}{l}$	Spannung $p = \frac{F}{q} \left[ \frac{\text{kg}^*}{\text{mm}^2} \right]$		Federmaß $E = \frac{p}{e} \left[ \frac{\text{kg}^*}{\text{mm}^2} \right]$	
			Mittel	E = ... [kg*/mm <sup>2</sup> ] [E] = ... [Dyne/cm <sup>2</sup> ]	

i) Berechne aus den Mehrbelastungen und den Längenänderungen die Verzerrungen und Spannungsänderungen.

k) Zeichne die Spannungskurve  $x = \lambda$  und  $y = p$ .

l) Wie verhält sich die Spannung zur Dehnung? *Federmaß* (Elastizitätsmodul)  $E$ . *Dehnzahl* (Dehnungskoeffizient)  $\alpha = 1/E$ . *HOOKESCHES GEsETZ*. Wie groß ist das Federmaß des Drahts, in kg\*/mm<sup>2</sup> und in Dyne/cm<sup>2</sup> gemessen?

**Bemerkungen.** Zu den Versuchen eignen sich Drähte aus Stahl, Eisen, Kupfer und Messing von 0,9 bis 1,7 mm Durchmesser. Die größte Belastung, die man bei den Versuchen anwendet, soll nach WELLS bei Kupfer  $\frac{1}{20}$  und bei Messing, Eisen und Stahl  $\frac{1}{10}$  der Bruchbelastung nicht übersteigen. Nach KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 216 darf man jedoch harte Metalldrähte bis zur Hälfte der Bruchbelastung beanspruchen. Man messe daher den Durchmesser des Drahts und berechne daraus den Querschnitt, dann mit der Tafel auf S. 46 aus der Zugfestigkeit die Bruchbelastung und daraus die höchste Belastung, die bei den Versuchen mit dem Draht zulässig ist.

Will man den Wert von  $E$  schärfer bestimmen, so fasse man je zwei Versuche zusammen, bei denen die Belastungen um 4 kg\* verschieden sind, und berechne für die Mehrbelastung 4 kg\* das Mittel aus den beiden Werten der Längenänderungen und daraus das Federmaß.

Über die Einrichtung der Tiefenlehre vgl. S. 47 und über andere Läufer: AMES-BLISS 163 Nr. 27, RINTOUL 157 Nr. 31 u. 32, *South Kensington Syllabus* 49. WATSON, *Text Book of Pract. Phys.* 99 Nr. 40.

Als Vergrößerungsglas benutze man die Augenlinse des Fernrohrs oder einen Fadenzähler. Vgl. Optik Aufg. 16.

Es ist empfehlenswert, die Höhe des Hakens oder der Schelle über dem Fußboden ein für allemal zu messen. Man hat dann bei den Versuchen nur die Entfernung des untern Drahtendes vom Boden zu bestimmen.

Andere einfache Verfahren zur Auffindung des HOOKESCHEN GEsETZES findet man bei GILLEY 162 Nr. 20. HALL, *Descript. List.* 38 Nr. 28. NICHOLS-SMITH-TURTON 38 Nr. 14.

N. F. SMITH, *School Science* 3, 27; 1903 und 4, 113; 1904, lötet das eine Drahtende an einen starken Wandhaken an und spannt den langen Draht mit einer 15 kg\*-Federwaage wagerecht. Auf dem Draht befestigt er in der Nähe der Federwaage einen leichten steifen Zeiger aus Holz oder Metall, der zwischen die Zähne einer Feinschraubenlehre hineinragt. Die Lehre ist am Tisch festgeklemmt.

### III. Kräfte, die an einer Stelle angreifen.

**7. Aufgabe.** *Wie groß ist die Gesamtwirkung zweier Kräfte, die in gleicher oder entgegengesetzter Pfeilrichtung an einer Stelle angreifen?*

(3 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	2 Rollen (vgl. S. 53). Gewichtstücke mit Ringen von 1, 1, 5 kg*. 2 Scheibengewichte von 0,5 kg*. Bindfaden oder Angelschnur. 3 Zug-Federwagen bis 4 kg*, geteilt in 0,1 kg*.	1 Druck-Federwage. Haken. Messingring von 0,5 cm Durchmesser. Schere. Nägel. Hammer. Holzklotz.
----------------	---	--

**Anleitung.** a) Befestige am Wandbrett oder am Rande des Tisches eine Rolle. Binde an das eine Ende einer langen Schnur das 2 kg\*-Stück und an das andere Ende den Haken einer Federwage. Halte die Wage am Ringe lotrecht, hebe das Gewichtstück empor, klopfe gegen die Wage und lies sorgfältig die Zeigerstellung ab. Verbessere mit der Fehlertafel der Wage die Ablesung. Gib Größe, Pfeilrichtung und Angriffstelle der Kraft an, die auf die Wage wirkt.

b) Lege die Schnur über die Rolle, zieh so am Ringe der Wage, daß beide Teile der Schnur rechtwinklig zueinander stehen, zupfe einige Male an der Schnur, lies sorgfältig die Zeigerstellung ab, sowohl bei dem Sinken, wie bei dem Steigen des Gewichts, und nimm aus beiden Ablesungen das Mittel. Verbessere die Ablesung der Wage unter Berücksichtigung ihrer Lage. Hat sich nur die Pfeilrichtung der Kraft geändert?

c) Wiederhole den Versuch (b), doch zieh diesmal so am Ringe der Wage, daß die beiden Teile der Schnur gleich laufen. Welchen Vorteil bietet die feste Rolle?

d) Befestige zwei Rollen so nebeneinander, daß ihre Rinnen in einer Ebene liegen und ein darüber gespannter Faden wagerecht sein würde (Fig. 39). Binde an den Haken und den Ring einer Federwage Schnüre und an deren andere Enden gleiche Gewichte. Lege die Schnüre so über die Rollen, daß die Wage zwischen beiden wagerecht gehalten wird. Zieh einigemal schwach an den Schnüren, lies den Zeiger der Wage ab und verbessere die Ablesung. Ist die Zugkraft an allen Stellen der Schnur gleich?  
*Kraftübertragung.*

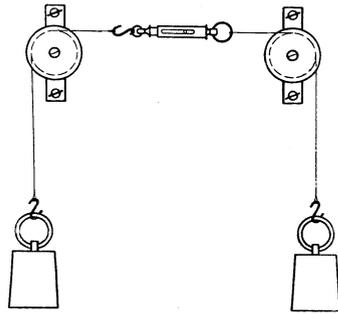


Fig. 39.

e) Halte eine Federwage an ihrem Ringe, hänge an ihren Haken eine andere Federwage und an deren Haken das 2 kg\*-Stück. Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeiger sorgfältig ab und verbessere die Ablesungen. Sind die Zugkräfte an beiden Wagen gleich? Wie kann man etwa beobachtete Unterschiede erklären?

f) Bilde aus drei Federwagen eine Kette und wiederhole den Versuch (e).

g) Hänge an den Haken einer Federwage ein 1 kg\*-Stück und daran eine Federwage und an diese ein 2 kg\*-Stück. Lies beide Wagen sorgfältig ab, vergleiche die verbesserten beiden Ablesungen und erkläre ihre Unterschiede.

h) Hake die untere Wage ab und hänge die beiden Gewichtstücke jedes mit einer besondern Schnur an die obere Wage. Lies die Zeigerstellung ab und vergleiche das verbesserte Ergebnis mit dem des vorigen Versuchs.

i) Befestige am Haken einer Federwage eine Schnur, bei der an verschiedenen Stellen Haken angebracht sind, und lies die Zeigerstellung ab. Hänge an die Haken verschiedene Gewichte (das Gesamtgewicht darf den Meßbereich der Wage nicht übersteigen), hebe die Federwage am Ring empor und lies ihren Zeiger ab. Vertausche die Gewichte miteinander. Ändert sich die Zeigerstellung? Vergleiche die verbesserte Ablesung des Zeigers mit der Gesamtbelastung der Wage. Welches Gewicht müßte man an die Federwage hängen, um auf deren Feder die gleiche Zugkraft auszuüben? *Teilkkräfte (Komponenten), Gesamtkraft (Resultierende, Resultante), Darstellung der Kräfte durch Pfeile (Vektoren)*. Stelle die Kräfte, die bei den Versuchen (a) bis (i) wirksam waren, durch Kraftpfeile dar.

k) Setze ein 5 kg\*-Stück auf eine Druck-Federwage und lies die Zeigerstellung ab. Befestige an dem Gewicht den Haken einer Zug-Federwage, zieh am Ringe lotrecht nach oben und lies beide Wagen ab. Vergleiche die Änderung der Ablesung an der untern Wage mit der Ablesung an der obern Wage. Vergleiche die Größen und Pfeilrichtungen der Kräfte miteinander, die auf die Wagen wirken.

l) Befestige an einem kleinen Ringe zwei Schnüre und an jedem der freien Enden den Haken einer Federwage. Schlage in einen Holzklotz einen Nagel, kneife den Kopf ab und streife den Ring über den Stift. Laß jeden der beiden Mitarbeiter so an dem Ring einer Wage ziehen, daß der Nagel genau in der Mitte des kleinen Ringes frei steht. Lies die Federwagen ab und verbessere die Ablesungen. Wie verhalten sich die beiden Zugstärken, die auf den Ring ausgeübt werden, und wie die Pfeilrichtungen der beiden Zugkräfte? Ändere die Zugstärken. Unter welchen Bedingungen halten sich die Kräfte am Schnurring das Gleichgewicht?

m) Halte die Ringe zweier Federwagen dicht nebeneinander, hänge ein 2 kg\*-Stück gleichzeitig an die Haken beider Wagen, hebe es empor, lies beide Zeiger ab und verbessere die Ablesungen. Ver-

gleiche die Summe der Ablesungen mit dem Gewicht. Vergleiche das Ergebnis mit dem Ergebnis von Versuch (e).

**Bemerkungen.** Die Aluminiumrollen von 5 bis 7,5 cm Durchmesser sollen leicht, gut ausgeglichen und leicht drehbar sein. Der Rand ist mit einer tiefen und engen Rinne versehen. Die Rollengabel sitzt an einer Klemme, womit sie am Rande der Wandbretter so befestigt wird, daß der Abstand der Schnur vom Brett etwas größer als der Halbmesser der Federwage ist (Fig. 40). Die Wandbretter müssen also freie Ränder haben und sollen  $\sim 10$  cm von der Mauer abstehen.

Man kann auch leichte Holzrollen von 5 bis 7,5 cm Durchmesser verwenden. Sie laufen frei auf Stiften, auf deren einem Ende ein Gewinde eingeschnitten ist (Fig. 41). Die Bohrung der Rollen muß metallisch ausgefüttert sein. Man befestigt die Rollen, indem man mit dem Vorstecher ein Loch in das Wandbrett sticht und darin die eingefettete Schraube einbohrt. Zweckmäßiger ist es, die Rollenachse mit einem Eisenblech zu verbinden und dies mit zwei Flügelschrauben am Wandbrett zu befestigen (Fig. 42).

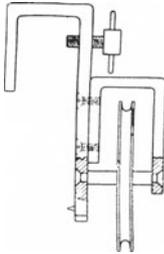


Fig. 40.

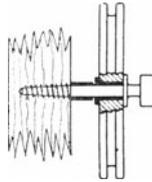


Fig. 41.

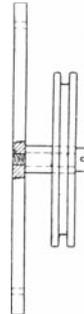


Fig. 42.

Zur Befestigung am Tischrand ist die Universalrolle sehr geeignet. An einer Schraubenzwinde ist mit einem Eisenband ein Messingwürfel befestigt, der in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen durchbohrt ist. In den Löchern klemmt man mit einer Schraube den 1,3 cm dicken runden Stiel der Rollengabel fest. Man braucht zum Einsetzen zwei verschiedene Rollen, eine feine mit Spitzenlager und eine kräftige mit Zapfenlager. Die Gabel kann man auch in den Klemmen eines Bunsenstells befestigen (Fig. 58 S. 73). Vgl. über die Verwendung der Universalrolle Aufg. 15 bis 18, 22, 26 und 39.

Wer Geld hat, kann sich auch Rollen mit guten Kugellagern anschaffen.

Die Versuche lassen sich mannigfach abändern, da man durch Federwagen, Kautschukschnüre und Gewichte an Schnüren, die über Rollen geführt sind, die gleichen Wirkungen zu erzielen vermag.

Bei Versuch (1) kann man zwei Lote nebeneinander aufhängen und die eine Lotkugel statt des Ringes mit den Schnurenden verbinden.

Man achte darauf, daß die Schüler die Federwagen stets so anordnen, daß der Schlitz in der Richtung des Schnurteils liegt, der am Haken befestigt ist. Man lasse stets mit Kräften arbeiten, die größer als die Hälfte der größten zulässigen Belastung und selbstverständlich kleiner als der Meßbereich der Wage sind.

**8. Aufgabe.** *Durch welche Kraft kann man zwei Kräfte ersetzen, die unter einem Winkel an einer Stelle angreifen?*

## 1. Verfahren.

(1 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** WORTHINGTON 95 Nr. 10.

<b>Geräte.</b>	Kautschukschnur von qua-	Schere.
	dratischem Querschnitt (1,5	Faden.
	bis 2 mm).	Bunsengestell.
	Stecknadeln.	Leichte Schale.
	Vollständige Zeichenaus-	Gewichtssatz.
	rüstung. (Vgl. S. 60.)	

**Anleitung.** a) Binde zwei 16 cm lange Stücke derselben Kautschukschnur in der Mitte zusammen, miß vom Knoten  $O$  (Fig. 43) aus auf jedem Schnurteil die gleiche Länge ab, sagen wir 5 cm, und stecke durch das freie Ende jeder Strecke eine Nadel. Befestige an den vier Nadeln kleine Zettelchen mit den Buchstaben  $A, B, C$  und  $D$ .

b) Hefte auf das Reißbrett einen Bogen Papier und stecke die Nadeln  $A$  und  $B$  so in das Brett, daß die Schnur zwar gerade gezogen, doch nicht gespannt wird. Zieh an der Schnur  $OC$  nach verschiedenen Richtungen in der Papierebene und mit verschiedener Stärke. Ändern sich mit der Richtung und der Stärke der Zugkraft der

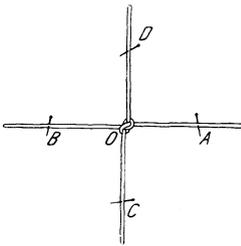


Fig. 43.

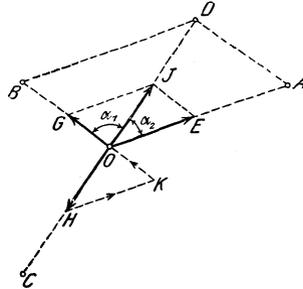


Fig. 44.

Winkel  $AOB$  und die Längen der Schnurstücke  $OA$  und  $OB$ , also auch die Kräfte  $F_1$  und  $F_2$ , die im Knoten  $O$  angreifen und die Fäden ausrecken? Besteht eine Beziehung zwischen den Richtungen der Schnüre und den Kräften, die in  $O$  angreifen und sich das Gleichgewicht halten?

c) Ziehe den Faden  $OC$  nach einer bestimmten Richtung und stecke die Nadel  $C$  in das Brett (Fig. 44). Mache an der Stelle, worüber der Knoten  $O$  liegt, mit einer Nadel einen Stich, umringe ihn und schreibe den Buchstaben  $O$  daran. Nimm die Nadeln  $A$  und  $B$  heraus, umringe die Stichstellen und schreibe die Buchstaben  $A$  und  $B$  daran. Zieh am Faden  $OD$ , bis der Knoten wieder über der frühern Stelle liegt, und stecke dann die Nadel  $D$  in das Brett. Die Kraft, die den Faden  $OD$  spannt, sei  $F$  und die Kraft, die den

Faden  $OC$  ausreckt, sei  $F_3$ . Die Kraft  $F$  ersetzt also die Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  und hält der Kraft  $F_3$  das Gleichgewicht. *Gegenkraft*. Zieh die Nadeln heraus und lege sie und die Schnüre zur Seite.

d) Ziehe mit einem spitzen harten Blei die Strecken  $OA$ ,  $OB$ ,  $OC$  und  $OD$  und trage die 5 cm langen Strecken  $AE$ ,  $BG$ ,  $CH$  und  $DJ$  darauf ab. Es stellen dann  $OE$ ,  $OG$ ,  $OH$  und  $OJ$  die Längenänderungen der Schnurteile und mithin die Kräfte  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  und  $F$  dar. Mach in den Punkten  $E$ ,  $G$ ,  $H$  und  $J$  Pfeilspitzen, die die Pfeilrichtungen der Kräfte angeben. *Kraftpfeile, Vektoren*.

e) Zeichne mit den Zeichendreiecken das Parallelogramm, das durch  $OE$  und  $OG$  bestimmt wird, und ziehe die Eckenlinie, die durch den Punkt  $O$  geht. In welcher Beziehung steht  $J$  zu dem Parallelogramm? Vergleiche die Längen und Richtungen von  $OH$  und  $OJ$  miteinander.

f) Befestige den Knoten der Schnüre, hänge der Reihe nach an jeden Schnurteil eine leichte Wagschale und lege Gewichte darauf, bis die Schnur, die gerade untersucht wird, sich zu der Länge ausreckt, die sie bei ihrer Ausspannung auf dem Reißbrett hatte. Die Gewichte der Schale und der daraufliegenden Gewichtstücke messen die Kräfte  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  und  $F$ . Schreibe die so gefundenen Größen der Kräfte an die zugehörigen Kraftpfeile der Figur. Berechne für jede Schnur den Kraftwert (vgl. Aufg. 1 S. 36).

g) Wiederhole die Versuche (c) bis (e), doch spanne dabei die Schnüre der Reihe nach in verschiedenem Grade und nach verschiedenen Richtungen z. B. so, daß der Winkel  $AOB$  gleich  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  und  $120^\circ$  wird. Zeichne jedesmal das Parallelogramm und schreibe an die Pfeile  $OE$ ,  $OG$ ,  $OH$  und  $OJ$  die Größe der Kräfte.

h) Welche drei Kräfte halten sich, wenn man von den Versuchsfehlern absieht, bei den Versuchen das Gleichgewicht? Welche beiden Kräfte halten sich ebenfalls das Gleichgewicht? Durch welche Kraft kann man daher die Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  ersetzen, ohne daß das Gleichgewicht gestört wird. *Gesamtkraft* oder *Mittelkraft* (*Resultierende* oder *Resultante*). *Seitenkräfte* oder *Teilkkräfte* (*Komponenten*). *Parallelogramm der Kräfte*. *Geometrische Addition, Vektorsumme*. Welche Seiten des Parallelogramms sind bei der Auffindung der Gesamtkraft eigentlich entbehrlich?

i) Verlängere in der Fig. 44  $OG$  über  $O$  hinaus um sich selbst und verbinde den so erhaltenen Punkt  $K$  mit  $H$ . Vergleiche  $HK$  mit  $OE$ . Was stellen also die Seiten des Dreiecks  $OHK$  dar?

Drücke durch Pfeilspitzen auch die Pfeilrichtungen der Kräfte aus. *Kräftegedreieck*. Wann halten sich drei Kräfte, die an einer Stelle angreifen, das Gleichgewicht? Stellen die Seiten jenes Dreiecks auch die Lage der Kräfte dar, die auf den Punkt  $O$  wirken? Dem *Lagebild* (Fig. 45) entspricht das *Krafteck* (Fig. 46). Zeichne die

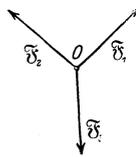


Fig. 45.

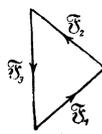


Fig. 46.

Kraftdreiecke, welche den bei den Versuchen (g) gewonnenen Lagebildern entsprechen.

k) Stecke die Nadeln der Schnur  $CD$  (Fig. 44) in das Reißbrett und spanne dabei die Schnur. Bezeichne durch einen Nadelstich die Lage des Knotens  $O$ . Ziehe die Nadel  $D$  heraus und stecke die Nadeln  $A$  und  $B$  so ein, daß der Knoten  $O$  wieder seine alte Lage einnimmt. Prüfe, ob es mehrere Lagen von  $A$  und  $B$  gibt, bei denen der Knoten  $O$  seine ursprüngliche Lage wieder einnimmt. Auf wieviel Weisen kann man eine gegebene Kraft zerlegen?

## 2. Verfahren.

(3 Schüler, 2 Stunden.)

<b>Geräte.</b> 2 Rollen. 3 weiche biegsame Schnüre aus Seide von $\sim 1,5$ mm Durchmesser. Vollständige Zeichenausrüstung (vgl. S. 60). Messingring von 0,5 cm Durchmesser. 3 kleine Haken. Wagschale.	Ringgewichtstücke von 1 und 2 kg*, dazu 0,5 kg*. Gewichtsatz. Vorstecher. Talg. Garn. Schere. Schrot. Ablesespiegel.
--	---

**Anleitung.** l) Wäge die Wagschale, wenn deren Gewicht nicht bereits ermittelt worden ist, und lege so viel Schrot oder dgl. darauf, daß das Gesamtgewicht auf Grammzehner abgerundet wird.

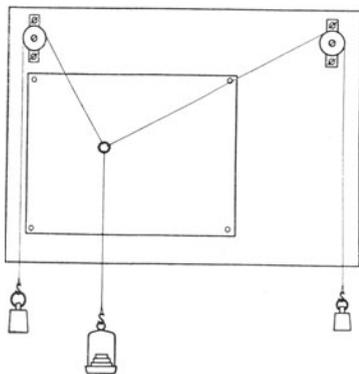


Fig. 47.

(Fig. 47). Klopfte gegen das Brett und zupfte mehrmals leicht an der mittlern Schnur. Mache mit einem spitzen Blei unter jede Schnur zwei Punkte, einen ganz in der Nähe des Ringes und den andern möglichst weit davon entfernt. Vermeide dabei sorgfältig, die Schnüre zu berühren. Die Punkte müssen genau unter der Mitte der Schnur liegen. Stehen die Schnüre weit genug vom Brett ab, so kann man

m) Befestige am Rande des Wandbretts die beiden Rollen und hefte den Papierbogen auf das Brett. Binde das eine Ende jeder der drei Schnüre an den Messingring, lege die rechte und die linke Schnur in die Rinnen der Rollen, laß den Mitarbeiter den Ring festhalten und belaste die freien Schnurenden mit 0,750 kg\* und 1 kg\*, hänge an das Ende der Mittelschnur die Wagschale und lege so viele Gewichte darauf, daß die Gesamtbelastung 1,250 kg\* beträgt

einen kleinen Spiegelstreifen unterlegen und das Auge so halten, daß sich die Schnur und ihr Bild decken. Man mache dann den Punkt nahe bei einem Ende des Spiegels. Schreibe an je zwei zusammengehörige Punkte die Größe der Kraft, die in der Richtung wirkt, die durch die beiden Punkte bestimmt wird.

n) Nimm den Papierbogen ab und ziehe ganz fein die drei Geraden, welche die Richtungen der drei Schnüre angeben. Schneiden sie sich in einem Punkt? Ist es nicht der Fall, so bezeichne die Mitte  $O$  des entstandenen kleinen Dreiecks durch einen Punkt und verbinde ihn sehr sorgfältig mit den entfernten Punkten  $A$ ,  $B$  und  $C$  unter den drei Schnüren (Fig. 44). Stelle die Kraft  $1 \text{ kg}^*$  durch eine  $20 \text{ cm}$  lange Strecke dar. Trage von  $O$  aus die drei Strecken  $OE$ ,  $OG$  und  $OH$  ab, die die Größe und Pfeilrichtung der Kräfte  $F_1$ ,  $F_2$  und  $F_3$  darstellen. Mache an die Enden  $E$ ,  $G$  und  $H$  der Strecken Pfeilspitzen, die die Pfeilrichtungen angeben. *Kraftpfeile, Vektoren.*

o) Ziehe mit den Zeichendreiecken durch  $E$  die Parallele zu  $OG$  und durch  $G$  die Parallele zu  $OE$ . Sie schneiden sich im Punkt  $J$ . Ziehe die Eckenlinie  $OJ$  und miß ihre Länge. Wie groß ist die so dargestellte Kraft  $F$ ? Vergleiche ihre Größe mit der von  $OH$ , die die Kraft  $F_3$  vertritt. Verlängere  $OH$  über  $O$  hinaus. Mit welcher Geraden fällt die Verlängerung nahezu zusammen? Beantworte die Fragen (h).

p) Miß den Winkel  $JOG = \alpha_1$  und den Winkel  $EOJ = \alpha_2$  und berechne daraus den Winkel  $\alpha_3 = 180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2)$ .

q) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wagschale Nr. . . . Gewicht der Schale nebst Schrot = . . .  $\text{kg}^*$ .

$F_1 \text{ kg}^*$	$F_2 \text{ kg}^*$	$F_3 \text{ kg}^*$	$F \text{ kg}^*$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\frac{F_1}{\sin \alpha_1}$	$\frac{F_2}{\sin \alpha_2}$	$\frac{F_3}{\sin \alpha_3}$

Welche Beziehung besteht zwischen den Größen  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $\sin \alpha_1$ ,  $\sin \alpha_2$  und  $\sin \alpha_3$ ?

r) Belaste die Seitenschnüre mit  $1 \text{ kg}^*$  und  $0,750 \text{ kg}^*$  (oder  $1 \text{ kg}^*$  und  $2 \text{ kg}^*$ ) und die Mittelschnur mit  $1,5 \text{ kg}^*$  (oder  $2,5 \text{ kg}^*$ ) und verführe wie bei den Versuchen (m) bis (q). Wird der Satz vom Parallelogramm der Kräfte bestätigt?

s) Verfahre mit den Zeichnungen, die bei den Versuchen (n) bis (r) erhalten worden sind, wie in (i). Lege unter die Zeichnungen ein andres Blatt Papier. Stich mit einer Nadel durch die Ecken der Kraftdreiecke. Zeichne die so durchgepausten Kraftdreiecke und schneide sie aus. Stelle die Schnurbelastungen wieder her und halte die Kraftdreiecke so, daß  $F_1$  mit  $OE$  zusammenfällt, und so daß die Krafteckseiten das eine Mal den Schnüren gleich laufen und das andere Mal darauf senkrecht stehen.

t) Belaste die Mittelschnur mit  $1,5 \text{ kg}^*$  und die eine Seitenschnur mit  $1,250 \text{ kg}^*$ . Bestimme durch Zeichnung und Versuch, welche Ge-

wichte man an die andere Seitenschnur hängen muß, damit die beiden Seitenschnüre den Winkel  $100^\circ$  bilden.

u) Ermittle durch Zeichnung und Versuch die Bedingungen, unter denen sich die an einer Stelle angreifenden Kräfte 1,5, 1,250 und 1 kg\* das Gleichgewicht halten. Leite dabei aus dem Kräfte-dreieck das Lagebild ab und belaste beim Versuch die mittlere Schnur am stärksten.

v) Ziehe in dem Lagebild (Fig. 48), das bei Versuch (n) erhalten wurde, durch den Punkt  $O$  ein rechtwinkliges Achsenkreuz. Lote die Endpunkte der Kraftpfeile  $\mathfrak{F}_1, \mathfrak{F}_2, \mathfrak{F}_3$  und  $\mathfrak{F}$  auf das Achsenkreuz und zerlege so diese Kräfte in die Seitenkräfte

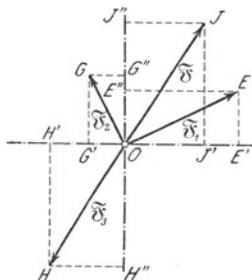


Fig. 48.

$$\mathfrak{X}_1, \mathfrak{X}_2, \mathfrak{X}_3, \mathfrak{X}$$

und

$$\mathfrak{Y}_1, \mathfrak{Y}_2, \mathfrak{Y}_3, \mathfrak{Y}$$

die in die Achsenrichtungen fallen. Bestimme sorgfältig Größe und Pfeilrichtung der Seitenkräfte. Vergleiche  $\mathfrak{X}$  mit der algebraischen Summe  $\mathfrak{X}_1 + \mathfrak{X}_2$  und  $\mathfrak{Y}$  mit der algebraischen Summe  $\mathfrak{Y}_1 + \mathfrak{Y}_2$ . Bilde die algebraischen Summen  $\mathfrak{X}_1 + \mathfrak{X}_2 + \mathfrak{X}_3$  und  $\mathfrak{Y}_1 + \mathfrak{Y}_2 + \mathfrak{Y}_3$ . Behandle ebenso die Lagebilder der Versuche (r), (t) und (u); versuche dabei möglichst viele Linien zu sparen. Welche Regeln lassen sich über die Ablotungen der Seitenkräfte und der Mittelkräfte aufstellen? Welche Bedingungen bestehen für das Gleichgewicht dreier Kräfte, die an einer Stelle angreifen?

w) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

$\mathfrak{X}_1$ kg*	$\mathfrak{X}_2$ kg*	$\mathfrak{X}_3$ kg*	$\mathfrak{X}$ kg*	$\mathfrak{Y}_1$ kg*	$\mathfrak{Y}_2$ kg*	$\mathfrak{Y}_3$ kg*	$\mathfrak{Y}$ kg*
$\mathfrak{X}_1 + \mathfrak{X}_2$		$\mathfrak{Y}_1 + \mathfrak{Y}_2$		$\mathfrak{X}_1 + \mathfrak{X}_2 + \mathfrak{X}_3$		$\mathfrak{Y}_1 + \mathfrak{Y}_2 + \mathfrak{Y}_3$	
		Mittel					

### 3. Verfahren.

(4 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** HALL, *Descript. List 15 Nr. 13.*

**Geräte.** 3 Federwagen bis 4 kg\*, ge- | 3 Angelschnüre von 20 bis  
teilt in 0,1 kg\*. | 50 cm Länge.

**Geräte.** Messingring von 0,5 cm Durchmesser. | Schlitten für die Federwagen (vgl. S. 60).  
Ablesespiegel. | Zwingen.

**Anleitung.** x) Befestige die drei Schnüre mit einem Ende am Messingring und mit dem andern Ende an den Haken der Federwagen. Klemme die Schlitten der Wagen an verschiedenen Stellen des Tisches oder des Reißbretts so fest, daß die Schlitzte in den Schnurrichtungen liegen. Hefte unter dem Ring ein Blatt Papier mit Reißnägeln fest (Fig. 49). Verschiebe den Ring und prüfe, ob er genau seine alte Lage wieder einnimmt. Ist das nicht der Fall, so sieh nach, ob irgendwo eine Reibung zwischen Feder und Gehäuse oder Wage und Unterlage stattfindet, und beseitige die Störung. Lege unter die Schnüre kleine Spiegelstreifen, ohne dabei die Schnüre zu verschieben, halte das Auge so, daß sich die Schnur und ihr Spiegelbild decken und mache nahe bei einem Ende des Streifens ganz genau unter der Schnurmitte mit einem spitzen Blei einen Punkt auf das Papier. Die Richtung jeder Schnur stellt man mit zwei Punkten fest, wovon der eine nahe beim Ring und der andere so weit wie möglich davon entfernt liegt. Lies an den Federwagen sehr sorgfältig die Kräfte ab, wodurch die Schnüre gespannt werden. Schreibe die Ablesung und die für die wagerechte Stellung der Wage erforderliche Verbesserung neben die Schnur. (Vgl. Aufg. 3 S. 41.)

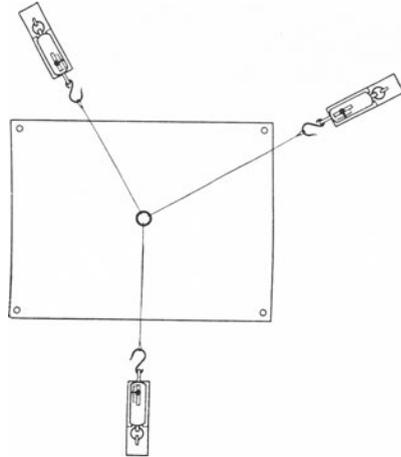


Fig. 49.

y) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

1. Wage Nr. . . .    2. Wage Nr. . . .    3. Wage Nr. . . .

$F_1$ kg*		$F_2$ kg*		$F_3$ kg*		$F$ kg*	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\frac{F_1}{\sin \alpha_1}$	$\frac{F_2}{\sin \alpha_2}$	$\frac{F_3}{\sin \alpha_3}$
Zeigerable-sung	Ver-bes-erte Größe	Zeigerable-sung	Ver-bes-erte Größe	Zeigerable-sung	Ver-bes-erte Größe							

z) Verfahre wie in (n) bis (q). Zeichne auch noch die beiden andern möglichen Parallelogramme und bearbeite sie genau so wie das erste.

aa) Wiederhole die Versuche (x) bis (z), doch richte es so ein,

daß zwei Kräfte erst den Winkel  $90^\circ$ , dann  $60^\circ$  und schließlich  $30^\circ$  miteinander bilden.

**bb)** Verfahre wie bei (v) und (w).

**Bemerkungen.** Beim ersten Verfahren, dessen Ergebnisse nicht besonders gut sind, kann man wie GREGORY-SIMMONS (1, 139 Nr. 85) auch eine 16 cm lange Kautschukschnur verwenden, an deren Mitte man ein 8 cm langes Stück derselben Schnur bindet. Auch Hosenträgerspiralen, die an einem kleinen Ring befestigt und an den freien Enden mit Ösen versehen waren, lieferten keine guten Ergebnisse.

Beim zweiten Verfahren muß man die Rollen, deren Güte die Ergebnisse beträchtlich beeinflusst, so befestigen, daß die Schnüre möglichst wenig vom Brett abstehen. Sind die Ergebnisse mit einem erheblichen Fehler behaftet, so behalte man den Wert der Mittelkraft bei und verbessere die Seitenkräfte.

Die Richtung jeder Schnur kann man anstatt durch zwei Nadelstiche durch einen Stich in der Mitte des Ringes und einen Stich unter jeder Schnur festlegen. Man kann auch den Ring weglassen und alle drei Schnüre miteinander verknoten. Verwendet man noch eine dritte Rolle, so vermag man der Kraft  $F_3$  eine beliebige Richtung zu erteilen.

Es empfiehlt sich kaum, am Knoten einen in  $360^\circ$  geteilten Winkelmesser anzubringen. Man kann dies so ausführen, daß man dessen Mitte durchbohrt, die beiden Seitenschnüre hindurchzieht und auf der Rückseite mit der dritten Schnur verknotet (Fig. 50).

Anstatt der beiden Rollen und der Gewichte kann man auch zwei Federwagen (bis  $4 \text{ kg}^*$ , geteilt in  $0,1 \text{ kg}^*$ ) verwenden. Man hängt sie an Haken, die man in die obere Ecken des Wandbretts einschraubt, benutzt aber anstatt der seidenen Schnüre Angelschnüre und belastet die mittlere Schnur mindestens mit  $2 \text{ kg}^*$ . Die Krafrichtung ändert man durch Verlängerung oder Verkürzung der Seitenschnüre. An den Ablesungen der Federwagen sind die Verbesserungen anzubringen, die ihren Stellungen entsprechen.

Die Lagebilder und die Kraftdreiecke sind stets in großem Maßstab zu zeichnen.

Beim dritten Verfahren benutzt man als Schlitten für die Federwage ein Holzbrettchen, worauf man zwei Seitenleisten nagelt. In das eine Ende schraubt man einen Haken ein, woran man den Ring der Wage hängt. Den Schlitten klemmt man mit einer Zwinge am Reißbrett oder am Tisch fest. Einfacher ist es, einen Holzklotz, worein man einen Haken für den Ring der Wage eingeschraubt hat, mit einer Zwinge am Reißbrett oder am Tisch zu befestigen.

Keine der Zugkräfte darf kleiner als die Hälfte der größten zulässigen Belastung der Federwage und selbstverständlich nicht so groß wie diese sein.

Bei dieser Aufgabe und vielen andern gebraucht man eine vollständige Zeichenausrüstung. Ihre Bestandteile sind: Reißbrett, Reißschiene, Winkel von  $45^\circ$ , Winkel von  $30^\circ$  und  $60^\circ$ , Winkelmesser, Zeichenbogen, Reißnägeln, harter Bleistift, Schmirgelpapier zum Anschärfen, Gummi, Zirkel, Millimeterstab von 30 cm Länge. Reißbrett, Reißschiene, Winkel, Winkelmesser, Zirkel und Millimeterstab sind bei der Anschaffung sorgfältig auf ihre Richtigkeit zu prüfen. Die nötigen Anleitungen gibt u. a. ZUR MEGEDE, *Wie fertigt man technische Zeichnungen?* Berlin, Polytechn. Buchhandlung. Die Größe des Reißbretts richtet sich nach der Breite des Arbeitstisches und dem Abstände der Gashähne vom Rande des Tisches.

Feinere Vorrichtungen zur Prüfung des Gesetzes vom Parallelogramm der Kräfte haben beschrieben: FISCHER 25. MACH, *Mechanik*<sup>4</sup> 50. MILLIKAN 26. NICHOLS 1, 40.

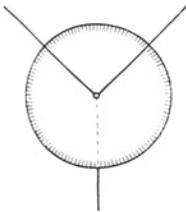


Fig. 50.

**9. Aufgabe.** Man spannt zwischen zwei Punkten eine Schnur aus und befestigt an ihrer Mitte ein Gewicht. Es ist durch Zeichnung und Versuch festzustellen, wie sich die Zugkräfte in den beiden Teilen der Schnur mit dem Winkel ändern, den sie miteinander bilden.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WELLS 16 Nr. 6 und 7.

<b>Geräte.</b> 2 Federwagen bis 4 kg*, in 0,1 kg* geteilt. Ringgewichtstücke von 1 und 2 kg*. Kleiner Messingring von 0,5 cm Durchmesser. Bindfaden oder Angelschnur. Nähgarn.	Hakenschrauben. Vollständige Zeichenausrüstung (vgl. S. 60). Vorstecher. Talg. Schere. Schrot. Ablesespiegel. Haken.
---	---

**Anleitung.** a) Schraube in den beiden obren Ecken des Wandbretts Haken ein und hänge die Federwagen mit ihren Ringen daran. Belaste jede Federwage mit dem 2 kg\*-Stück, klopf gegen das Gehäuse, ziehe mehrmals schwach am Wagenhaken, lies dann die Zeigerstellung ab und verbessere die Ablesung mit der Fehlertafel der Wage. Das Mittel aus den beiden Bestimmungen liefert das abgeglichene Gewicht  $F_3$  des 2 kg\*-Stücks.

b) Zieh eine Schnur durch den kleinen Messingring und binde die Enden an die Haken der Federwagen. Wähle die Schnur so lang, daß der Ring 15 bis 20 cm über der untern Kante des Wandbretts liegt. Hänge mit einer Schnur das 2 kg\*-Stück an den Ring. Befestige hinter den Schnüren ein Blatt Papier und ändere die Länge der Schnur so, daß der Winkel zwischen ihren beiden Teilen kleiner als ein rechter, sagen wir  $\sim 60^\circ$  wird (Fig. 51). (Das kann man bewirken, indem man entweder die Schnur verkürzt oder verlängert, oder den einen der Haken, woran die Wagen hängen, nach innen oder nach außen rückt.) Zieh mehrmals an der untern Schnur, klopf gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen, entsprechend den Stellungen der Wagen, mit Hilfe ihrer Fehlertafeln. Die so gemessenen Kräfte seien  $F_1$  und  $F_2$ . Nimm wie in Aufgabe 8 (m) die Richtungen der obren Schnurteile und der untern Schnur auf.

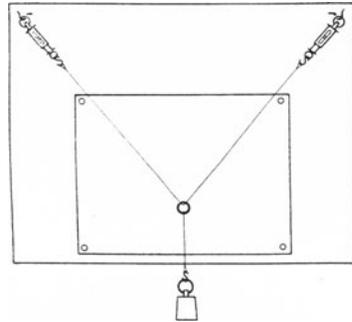


Fig. 51.

c) Zeichne das Lagebild der drei Kräfte, die am Ring angreifen. Wähle als *Kräftemaßstab* 1 kg  $\sim$  10 cm. Zieh eine lotrechte Linie,

die die Kraftrichtung des angehängten Gewichts  $F_3$  kg\* angibt, trage darauf den entsprechenden Kraftpfeil ab und ziehe durch dessen Endpunkte Parallelen zu den Schnurteilen. Die beiden so erhaltenen andern Seiten des Kräfdreiecks stellen die Kraftpfeile der Zugkräfte in den Schnurteilen dar, die ihnen gleich laufen. Miß in dem Krafteck die Seiten, die die Zugkräfte in den Schnurteilen darstellen, berechne daraus die Zugkräfte  $F_1$  und  $F_2$  selbst und vergleiche sie mit den verbesserten Ablesungen an den Wagen.

d) Verlängere im Lagebild die Richtung der untern Schnur nach oben und miß die Winkel  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$ , die die Schnurteile mit dieser Verlängerung bilden. Lote die Zugkräfte  $F_1$  und  $F_2$  auf jene Verlängerung und vergleiche die algebraische Summe  $Y_1 + Y_2$  der so erhaltenen Seitenkräfte mit der Kraft  $F_3$ . Lote die Zugkräfte  $F_1$  und  $F_2$  auf eine wagerechte Gerade durch ihren Angriffspunkt. Wie groß ist die algebraische Summe  $X_1 + X_2$  dieser Seitenkräfte? Welche Beziehung läßt sich zwischen  $F_1, F_2, F_3, \varphi_1$  und  $\varphi_2$  aufstellen?

- e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:  
 1. Wage Nr. . . .      2. Wage Nr. . . .

$F_1$ kg*				$F_2$ kg*			
Aus der Zeichnung	Zeigerablesung	Verbesserter Wert	Mittel	Aus der Zeichnung	Zeigerablesung	Verbesserter Wert	Mittel

$F_3$ kg*				
Messung mit 1. Wage		Messung mit 2. Wage		Mittel
Zeigerablesung	Verbesserter Wert	Zeigerablesung	Verbesserter Wert	

$\varphi_1$	$\varphi_2$	$(F_1 \cos \varphi_1 + F_2 \cos \varphi_2)$ [kg*]		$(F_1 \sin \varphi_1 + F_2 \sin \varphi_2)$ [kg*]	
		Aus der Zeichnung	Berechnet	Aus der Zeichnung	Berechnet
	Mittel	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .

f) Wiederhole die Versuche mit den Winkeln  $\sim 90^\circ$  und  $\sim 120^\circ$  zwischen den Schnurteilen.

g) Wie ändern sich die Zugkräfte in den Schnurteilen mit dem eingeschlossenen Winkel? Wie groß werden die Zugkräfte, wenn

die beiden Teile der Schnur lotrecht, und wie groß, wenn sie waagrecht liegen?

h) Führe einen Faden aus gewöhnlichem Nähgarn durch den Ring eines 1 kg\*-Stücks und fasse mit jeder Hand je ein Ende des Fadens. Halte die Hände dicht zusammen und laß das Gewicht den Faden so spannen, daß beide Teile nahezu gleich laufen. Bewege die Hände langsam so auseinander, daß der Winkel zwischen den beiden Fadenteilen immer größer wird, bis schließlich der Faden zerreißt und das Gewicht zu Boden fällt. Warum zerreißt der Faden? Nimm an, daß der Faden bei einer Belastung mit 5 kg\* zerreißt, und bestimme durch Zeichnung und Rechnung den Winkel, bei dem das Zerreißen eintritt.

**Bemerkungen.** Statt der Federwagen kann man auch Rollen und Gewichte benutzen.

Die Fragestellung und das Verfahren bei WHITING 344 Nr. 61 sind kaum nachahmungswert.

Man lasse die Aufgaben 9 bis 14 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

**10. Aufgabe.** *Eine Schnur wird durch ein angehängtes Gewicht lotrecht gespannt und dieses dann mit einer waagrechteten Schnur zur Seite gezogen. Bestimme durch Versuche und Zeichnung die Zugkräfte, die das Gewicht auf die beiden Schnüre ausübt.*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	2 Hakenschrauben. 2 Federwagen bis 10 kg*, in $\frac{1}{4}$ kg* geteilt. Ringgewicht von 5 kg*. Angelschnur oder Bind- faden. Messingring von 0,5 cm Durchmesser. Lot.	Garn. Schere. Vollständige Zeichenaus- rüstung (vgl. S. 60). Millimeterpapier. Maßstab. Spiegelstreifen. Vorstecher. Talg.
----------------	--	--

**Anleitung.** a) Hänge das 5 kg\*-Stück an jede Federwaage, klopfe gegen das Gehäuse, ziehe schwach am Haken, lies die Zeigerstellung ab, verbessere die Ablesungen mit den Fehlertafeln der Wagen und nimm aus den so erhaltenen Werten das Mittel. (Mit einem 5 kg\*-Stück und einer Waage dieses Meßbereichs kann man die Bestimmung des Gewichts  $F_1$  kg\* nicht ausführen.)

b) Schraube in die linke obere Ecke des Wandbretts einen Haken *A* (Fig. 52) und hänge daran ein Lot und mit einem kurzen Faden den Ring der einen Federwaage. Binde das eine Ende einer langen zweiten Schnur, die durch den kleinen Messingring *O* gezogen worden ist, an den Haken dieser Federwaage und das andere Ende *B* an ein 5 kg\*-Stück. Befestige am Messingring *O* das eine Ende einer dritten Schnur und an deren anderm Ende *C* den Haken der zweiten

Federwage. Verbinde den Ring dieser Wage durch eine vierte Schnur, die sich verlängern und verkürzen läßt, mit einem zweiten Haken  $D$ . Dieser ist so in das Wandbrett eingeschraubt, daß jene Seitenschnüre nahezu wagrecht liegen, wenn der Messingring einige Dezimeter über dem Gewichtstück liegt.

e) Zeichne sorgfältig auf einem Bogen Papier mit einem spitzen harten Blei einen rechten Winkel  $CEA$  und befestige das Papier so auf dem Wandbrett, daß der Schenkel  $EA$  genau unter dem Lot und der Schenkel  $EC$  unter dem Messingring und der Schnur  $OC$  liegen. Benutze bei den endgültigen feinen Einstellungen einen kleinen Spiegelstreifen und stelle dabei das Auge so, daß der Strich auf dem Papier, die Schnur und ihr Spiegelbild in eine Gerade fallen. Verlängere und verkürze die Schnur bei  $D$ , bis der Ring  $O$   $\sim 15$  cm von dem Scheitel  $E$  des rechten Winkels absteht.

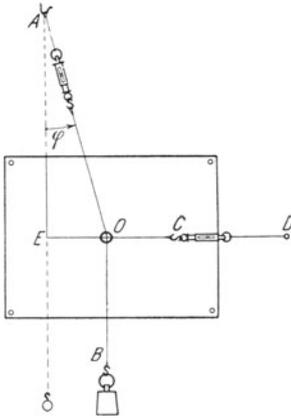


Fig. 52.

d) Zupfe schwach am untern Schnurteil  $OB$ , klopfe gegen die Wagen, prüfe, ob die Einstellung noch ganz genau ist, lies die Zeiger der Wagen ab und verbessere die Ablesungen den Stellungen der Wagen entsprechend. Bezeichne unter Benutzung des Einstellspiegels die Richtung des Schnurteils  $AO$  durch zwei Punkte, wovon der

eine nahe bei dem Ring  $O$  und der andere nahe bei dem Haken der obern Wage liegt.

e) Vergrößere den Abstand  $EO$  in Stufen von je 10 cm, lies jedesmal beide Wagen sorgfältig ab und lege die Richtung von  $AO$  fest.

f) Nimm den Papierbogen ab. Ziehe durch zwei zusammengehörige Marken die Gerade  $AO$  und stelle die Kräfte, die im Punkt  $O$  angreifen, durch ihre Kraftpfeile dar. Wähle dabei als Kräftemaßstab  $1 \text{ kg}^* \sim 10 \text{ cm}$ . Es seien  $F_1$ ,  $F_2$  und  $F_3$   $\text{kg}^*$  die Zugkräfte in den Richtungen  $OB$ ,  $OC$  und  $OA$ .

g) Zeichne eine lotrechte Strecke und trage den Kraftpfeil  $\mathfrak{F}_1$  darauf ab, ziehe durch dessen Endpunkte Parallelen zu den Richtungen  $OC$  und  $OA$ . Miß die Seiten  $\mathfrak{F}_2$  und  $\mathfrak{F}_3$  des so entstandenen Kräfte-dreiecks und berechne daraus die Zugkräfte  $F_2$  und  $F_3$   $\text{kg}^*$ . Vergleiche die Ergebnisse mit den verbesserten Ablesungen an den Wagen. Führe die Zeichnungen und Messungen für alle Lagen von  $O$  aus.

h) Miß in jedem Lagebild den Winkel  $EOA = \varphi$  und die Seiten  $AE$ ,  $EO$  und  $OA$  und berechne die Verhältnisse  $AE/F_1$ ,  $EO/F_2$  und  $OA/F_3$  [ $\text{cm}/\text{kg}^*$ ]. Was für ein Dreieck ist also  $AEO$ ? Welche Arbeit hätten wir uns mithin ersparen können? Durch welche geometrische Betrachtung hätten wir das sofort finden können?

i) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, wähle dabei  $EO$  als Abszisse und die Kräfte  $F_2$  und  $F_3$  als zugehörige Ordinaten.

k) Lege durch jeden Punkt  $O$  ein Achsenkreuz, dessen  $x$ -Achse mit  $OC$  und dessen  $y$ -Achse mit  $OB$  zusammenfällt. Lote die Kräfte auf beide Achsen, miß die in jene Richtungen fallenden Seitenkräfte  $X_1, X_2, X_3$  und  $Y_1, Y_2, Y_3$  und prüfe, ob die Gleichgewichtsbedingungen erfüllt sind. Welche Beziehung besteht zwischen  $F_1, F_2$  und  $\varphi$ ? *Tangentengesetz.*

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

1. Wage Nr. . . . . 2. Wage Nr. . . . .

$F_1$ kg*					$F_2$ kg*			
Mit 1. Wage		Mit 2. Wage		Mittel	Aus der Zeichnung	Abgelesen	Verbessert	Mittel
abgelesen	verbessert	abgelesen	verbessert					

$F_3$ kg*				$AE$	$EO$	$OA$	$\frac{AE}{F_1}$ cm kg*	$\frac{EO}{F_2}$ cm kg*
Aus der Zeichnung	Abgelesen	Verbessert	Mittel	cm	cm	cm		

$\frac{OA}{F_3}$ cm kg*	$X_1 + X_2 + X_3$		$Y_1 + Y_2 + Y_3$		$\varphi$	tg $\varphi$	$F_2/F_1$
	Aus der Zeichnung	Berechnet	Aus der Zeichnung	Berechnet			
Mittel							

**Bemerkungen.** Sollte der Messingring nicht auf der Schnur  $AB$  halten, so kann man ihn daran mit etwas Klebwachs schwach befestigen. Man darf ihn auch ganz weglassen und die Schnur  $OC$  am Ende  $O$  mit einer Schleife versehen, durch die man die Gewichtsschnur hindurchführt.

Man lasse die Aufgaben 9 bis 14 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

**11. Aufgabe.** *Ein Lot wird durch eine wagerechte Kraft abgelenkt. Welche Beziehung besteht zwischen der ablenkenden Kraft und dem Ablenkungswinkel?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** HADLEY 12 Nr. 15.

**Geräte.** 2 kleine Wagschalen (Pillenschachteln) | Kleine Rolle von 1 cm Durchmesser.

**Geräte.** Nägel.  
Hammer.  
Korke.  
Gewichtsatz.

Schrot.  
Wage.  
Spiegelstreifen.  
Garn.

**Anleitung.** a) Zieh auf einem Bogen Papier etwas unter der Mitte eine Gerade  $EC$  (Fig. 53) und dazu am linken Rande mit großer Sorgfalt eine Senkrechte  $EA$ . Halte den Bogen auf das Wandbrett,

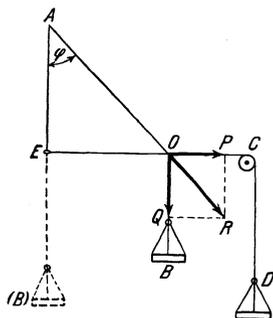


Fig. 53.

schlage im Punkt  $A$  einen kleinen Nagel ein, hänge daran einen Faden  $AB$ , der eine kleine Schale trägt, und bringe deren Gewicht durch hineingelegtes Schrot auf  $F_1 = 20$  [gr\*]. Drehe das Papier so, daß der Faden  $AB$  genau über der Geraden  $EA$  steht und hefte dann den Bogen am Wandbrett fest. Benutze zur scharfen Einstellung einen kleinen Spiegelstreifen. Lege die Öse der Rollengabel (Fig. 54) zwischen zwei Korkscheiben, stecke einen Nagel hindurch und schlage ihn etwas unterhalb des Punkts  $C$  so in das Wandbrett, daß der Boden der Rollenrinne in die Höhe der

Geraden  $EC$  kommt. Binde das Ende eines zweiten Fadens  $OC$  in einer Schleife  $O$  um den Faden  $AB$ , lege jenen Faden über die Rolle und hänge an sein andres Ende  $D$  eine Schale, deren Gewicht  $f_2$  gr\* bereits bestimmt worden ist.

b) Belaste die Schale  $D$  so, daß das Gesamtgewicht  $F_2 = 5$  [gr\*] wird. Verschiebe die Schleife  $O$  so auf dem Faden  $AB$  und drehe die Rolle so um ihren Nagel, daß der Faden  $OC$  genau über der Geraden  $EC$  steht. Benutze bei der endgültigen Einstellung einen Spiegelstreifen, zupfe dabei mehrmals schwach am Faden  $OD$ . Mache an der Stelle der Geraden  $EC$ , über der sich die Schleife  $O$  einstellt, einen kleinen Strich mit einem spitzen Blei und schreibe die Belastung  $F_2$  gr\* daran.

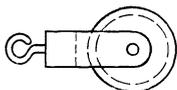


Fig. 54.

c) Wiederhole den Versuch (b) mit den Belastungen  $F_2 = 10, 15, 20 \dots$  [gr\*]. Das Gewicht  $F_2$  gr\* ist die ablenkende Kraft und der Winkel  $EAO = \varphi$  der Ablenkungswinkel.

d) Nimm den Papierbogen ab und miß sorgfältig die Strecken  $AE$  und  $EO$ .

e) Zeichne bei jedem Punkt  $O$  die Kraftpfeile  $OQ$  und  $OP$  der Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  und den Kraftpfeil  $OR$  der Gesamtkraft. Vergleiche die Richtungen von  $OR$  und  $AO$ . Welche Beziehungen bestehen zwischen den Richtungen der Kräfte und den Seiten des Dreiecks  $AEO$  und demgemäß zwischen den Verhältnissen  $\operatorname{tg} \varphi = EO/AE$  und  $F_2/F_1$ ? *Tangentengesetz.*

f) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

$$F_1 = \dots [\text{gr}^*]. \quad f_2 = \dots [\text{gr}^*]. \quad AE = \dots [\text{cm}].$$

$EO$ cm	$F_2 \text{ gr}^*$	$\text{tg } \varphi = \frac{EO}{AE}$	$\frac{F_2}{F_1}$

**Bemerkungen.** Das Tangentengesetz ist für das Verständnis vieler magnetischer und elektrischer Meßverfahren von Wichtigkeit. Vgl. auch Aufgabe 27.

Die kleine Hartgummirolle hat eine Stahlachse,

Eine andere Anordnung gibt RINTOUL 140 Nr. 2 an. Vollkommenere Geräte zum Nachweis dieses Gesetzes haben AYRTON 91 Nr. 25 und F. C. G. MÜLLER, *Technik d. phys. Unterr.* 36 beschrieben.

Man lasse die Aufgaben 9 bis 14 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

**12. Aufgabe.** Welche Beziehung besteht bei einem Fadenpendel zwischen der wirksamen Kraft und der Ausweichung?

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b> Pendel (5 kg*-Stück mit Ringgriff).	Gewichtssatz. Meterstab.
Universalrolle.	Ablesespiegel.
Faden.	Winkel.
Schere.	2 Bunsengestelle.

**Anleitung.** a) Hänge ein 5 kg\*-Stück mit Ringgriff an einem möglichst langen Faden auf. Klemme den Meterstab wagerecht so fest, daß sein Nullstrich genau hinter dem untern Ende des Pendelfadens liegt, wenn das Pendel in der Gleichgewichtslage ist.

b) Befestige an dem Ringe des 5 kg\*-Stücks einen zweiten Faden, versieh ihn an seinem freien Ende mit einer Schleife und führe ihn über eine Rolle. Hänge mit der Schleife ein 50 gr\*-Stück an den Faden und stelle die Rolle so auf, daß der Faden senkrecht zum Pendelfaden und die Ebene durch beide Fäden parallel zum Maßstab liegt. Miß die Ausweichung  $x$  des Pendelkörpers.

c) Wiederhole die Versuche mit 100, 150, 200, 250 usw. gr\*.

d) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Wirksame Kraft $F \text{ gr}^*$	Ausweichung $x \text{ cm}$	$k = F/x$

e) Stelle die Ergebnisse bildlich dar und wähle dabei  $x$  als Abszisse und  $F$  als Ordinate. Welche Beziehung besteht zwischen der wirksamen Kraft und der Ausweichung?

**Bemerkungen.** Der Ausdruck „wirksame“ Kraft bezeichnet kurz die Seitenkraft des Pendelgewichts, die senkrecht zum Faden, also in der Tangente an die Bahn wirkt. WORTHINGTON 145 Nr. 15 mißt die Kraft mit einem Kautschukfaden-Kraftmesser.

Vollkommenere Apparate zum Nachweis des Sinusgesetzes, das für das Verständnis der Pendelbewegung und einiger galvanischer Meßinstrumente wichtig ist, haben AYRTON 111 Nr. 31 und F. C. G. MÜLLER, *Technik d. phys. Unterr.* 36 beschrieben.

Man lasse die Aufgaben 9 bis 14 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

**13. Aufgabe.** Am Ende einer Stange, die durch eine Schnur in wagerechter Stellung gehalten wird, greift eine lotrechte Kraft an. Wie groß ist die Druckkraft auf die Stange und die Zugkraft an der Schnur?

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** AMES-BLISS 122.

<b>Geräte.</b>	2 Federwagen bis 4 kg*, geteilt in 0,1 kg*. Ringgewicht von 2 kg*. Holzstab (40 cm $\times$ 1 cm $\times$ 1 cm), in die Enden sind Nägel so weit eingeschlagen, daß die Köpfe hervorragen. Dünnere Bindfaden.	Vollständige Zeichenaus- rüstung (vgl. S. 60). Stahlwinkel. Kleine Fahrradkugel. Papier. Meterstab. Hakenschrauben.
----------------	---	---

**Anleitung.** a) Hänge an einen dünnen Bindfaden, der  $\sim 1$  m lang ist, das 2 kg\*-Stück und bestimme mit der Federwage das Gewicht  $F_1$  kg\*.

b) Schraube am obern Rande des Wandbretts einen Haken ein. Knüpfe das eine Ende eines dünnen Bindfadens, der 10 bis 15 cm lang ist, an diesen Haken und das andere Ende an den Ring der einen Federwage. Binde an den Haken dieser Wage die Schnur, die das Gewichtstück trägt. Stütze das eine Ende des Holzstabes mit seinem Nagelkopf gegen das Wandbrett und winde die Schnur, woran das Gewicht hängt, ein- oder zweimal um den Nagel am andern Stabende und zwar derart, daß der Stab nahezu rechtwinklig zum Wandbrett steht. Stelle mit einem Zeichendreieck oder einem Stahlwinkel die ganze Vorrichtung so ein, daß der Nagelkopf, womit der Stab gegen das Wandbrett drückt, nicht gleitet, also der Stab auf der Wand genau senkrecht steht.

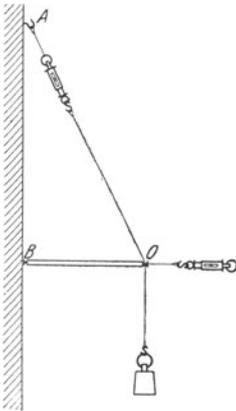


Fig. 55.

c) Im Punkt O (Fig. 55) halten sich drei Kräfte das Gleichgewicht: das lotrecht nach unten ziehende Gewicht  $F_1$  kg\*, die Zugkraft  $F_3$  der Schnur, die in der Richtung OA wirkt und mit der Federwage gemessen wird, und der Auflagedruck  $F_2$  des Stabes in der Richtung BO.

d) Lies die Federwage sorgfältig ab, verbessere die Ablesung entsprechend der Stellung der Wage und miß so genau wie möglich die Seitenlängen des Dreiecks  $OAB$  oder eines ihm ähnlichen Dreiecks. Beachte dabei, daß  $A$  der Punkt ist, wo die verlängerte Seite  $OA$  das lotrechte Wandbrett trifft, und  $B$  der Punkt von  $BO$ , der lotrecht unter  $A$  liegt. Der Punkt  $O$  ist die Stelle des Nagels, um die man die Schnur gewunden hat. Man muß die Strecken genau zwischen diesen Punkten messen.

e) Befestige am Haken einer zweiten Federwage einen Faden und dessen anderes Ende mit einer Schleife am Nagel  $O$ . Vermeide dabei sehr sorgfältig jede Störung der vorher gemachten Einstellung. Halte bei  $B$  unter den Stab einen Winkel aus Stahl und lege behutsam zwischen den Stab und den Schenkel des Winkels eine Fahrradkugel. Laß den Mitarbeiter den Zeiger der Federwage beobachten und mit allmählich wachsender Kraft genau in der Richtung  $BO$  ziehen. Beobachte dabei selbst den Nagel, mit dem sich der Stab auflagert, und rufe in dem Augenblick, wo er von der Wand weggezogen wird: „Lies“. Bei diesem Ruf liest der Mitarbeiter die Wage ab. Diese Ablesung liefert die Kraft  $F_2$  kg\*. Man bringt daran die Verbesserung an, die wegen der wagerechten Stellung der Wage erforderlich ist.

f) Wiederhole den Versuch dreimal; ändere dabei jedesmal die Gestalt des Dreiecks  $OAB$ .

g) Ist das angehängte Gewicht im Vergleich zum Gewichte des wagerechten Stabes nicht sehr groß, so muß man dieses berücksichtigen. Die Wirkung des Gewichts  $F_s$  kg\* des Stabes ist so groß wie die Wirkung eines gewichtlosen Stabes, der am Ende mit dem Gewicht  $\frac{1}{2} F_s$  kg\* belastet wird. Man muß also, wenn dies notwendig ist, die Kraft  $F_1$  um  $\frac{1}{2} F_s$  vermehren.

h) Zeichne mit dem Kräftemaßstab  $1 \text{ kg}^* \sim 20 \text{ cm}$  den Kraftpfeil  $\mathfrak{F}_1$  und ziehe durch seine Endpunkte Parallelen zu den Dreiecksseiten  $BO$  und  $OA$ . Entnimm dem so erhaltenen Krafteck die Kräfte  $\mathfrak{F}_2$  und  $\mathfrak{F}_3$  und vergleiche sie mit den Ablesungen an den Federwagen.

i) Zeichne das Lagebild der Kräfte. Ziehe darin durch  $O$  eine Achse lotrecht zur Achse  $BO$ . Lote die Kräfte auf die beiden Achsen und prüfe durch Zeichnung, ob die Gleichgewichtsbedingungen  $X_1 + X_2 + X_3 = 0$  und  $Y_1 + Y_2 + Y_3 = 0$  erfüllt sind.

k) Berechne aus  $AB$  und  $BO$  den Winkel  $BAO = \varphi$  und dann die wagerechte und die lotrechte Seitenkraft ( $X_3$  und  $Y_3$ ) von  $F_3$ .

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

1. Wage Nr. . . .      2. Wage Nr. . . .

OA	BO	AB	sin $\varphi$	cos $\varphi$	$F_1$ kg*	
					Abgelesen	Verbessert
cm	cm	cm				

$F_2$ kg*		$F_3$ kg*		$F_3 \cos \varphi$	$F_3 \sin \varphi$
Abgelesen	Verbessert	Abgelesen	Verbessert		
				Mittel	.....

**Bemerkungen.** Die Aufgabe ist wegen der Krane wertvoll. Vgl. über Versuche mit kleinen Kranen BORCHARDT 20 Nr. 8. DUNCAN 36—38. EGGAR 113 Nr. 71. WELLS 19 Nr. 8 u. 34 Nr. 2. WOODRUFF, *School Science* 2, 523; 1903 u. *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 16, 289; 1903.

Man lasse die Aufgaben 9 bis 14 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

**14. Aufgabe.** Welche Kräfte wirken in den einzelnen Stäben eines einfachen Sparren-Dachstuhls?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WELLS 35 Nr. 3.

**Geräte.** Dachstuhl (vgl. S. 71). | Federwage bis 10 kg\*, ge-  
Feste Angelschnur. | teilt in  $\frac{1}{4}$  kg\*.  
Ringgewichtstück von | Vollständige Zeichenaus-  
10 kg\*. | rüstung (vgl. S. 60).

**Anleitung.** a) Verbinde Ring und Haken der Federwage durch feste Schnüre mit den untern Bolzen der Dachstuhlstäbe. Lies vor der Belastung des Dachstuhls die Federwage ab und verbessere die Ablesung.

b) Hänge die Last (10 kg\*) an (Fig. 56), lies in der üblichen Weise die Federwage ab und verbessere die Ablesung. Miß den

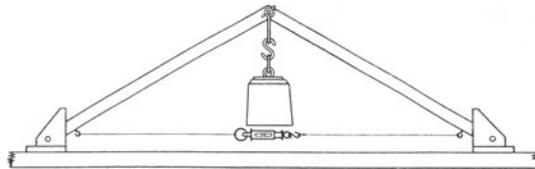


Fig. 56.

Dachstuhl aus und zeichne das Lagebild (Fig. 57a), wähle dabei als Längenmaßstab 1 m  $\sim$  10 cm und als Kräftemaßstab 1 kg\*  $\sim$  1 cm.

c) Im linken untern Knoten *I* greifen folgende Kräfte an: Die Gegendruckkraft des Auflagers, die senkrecht nach oben wirkt und gleich der halben Belastung  $\frac{1}{2}$   $\text{t}$  des Daches ist (das Gewicht des Stuhls wird vernachlässigt), die Druckkraft des schrägen Stabes (1) und die Zugkraft der wagerechten Schnur (2). Von der Auflagedruckkraft sind Größe und Richtung und von den Kräften 1 und 2 die Richtungen bekannt. Zeichne das Kräftedreieck für den Knoten *I* (Fig. 57b).

d) Im Knoten *II* des Dachfirstes greifen drei Kräfte an: die Belastung  $\mathfrak{F}$  kg\* lotrecht nach unten und die Druckkräfte der Stäbe 1 und 3. Die Richtungen aller Kräfte und die Größe der Belastung sind bekannt. Zeichne das Kräfte-dreieck für den Knoten *II* (Fig. 57 c).

e) Am Knoten *III* wirken drei Kräfte, ähnlich wie am Knoten *I*. Zeichne das Kräfte-dreieck für den Knoten *III* (Fig. 57 d).

f) In den Kräfte-dreiecken *I* und *II* kommt die Kraft 1 und in den Kräfte-dreiecken *II* und *III* die Kraft 3 vor, und von den drei Kraft-pfeilen jedes Dreiecks treten zwei auch in den beiden andern Dreiecken auf. Man kann daher alle drei Kraft-

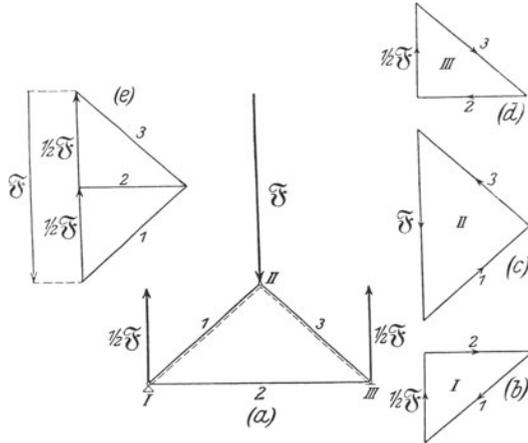


Fig. 57.

Figur, den *Kräfteplan* (Fig. 57 e), zusammenziehen, der mit weniger Linien ebensoviel leistet, wie jene getrennten Kraftecke.

g) Entnimm dem Kräfteplan die Größe der Zugkraft in der Schnur (2) und vergleiche das Ergebnis mit der verbesserten Ablesung an der Federwaage. Entnimm dem Kräfteplan die Druckkräfte in den Stäben 1 und 3.

**Bemerkungen.** Der Dachstuhl besteht aus zwei Holzstäben (90 cm  $\times$  3 cm  $\times$  1,3 cm), deren obere Enden durch einen locker sitzenden Bolzen mit Muttern zusammengefügt sind. Am Bolzen ist ein Bügel angehängt. Kräftige Schnüre halten die untern Enden zusammen; der Neigungswinkel sei  $\sim 30^\circ$ . Die Federwaage, die wie in der Fig. 56 angeordnet ist, gestattet die Zugkraft in den Schnüren zu messen. Beide untern Enden des Stuhls sind durch Bolzen mit je einem Bock verbunden, der auf einem Grundbrett sitzt. An diesen Bolzen sind Bügel angehängt, woran die Schnurstücke befestigt werden. Unter dem einen Grundbrett (Fig. 57 a) liegt eine Walze; das andere Grundbrett ist um den Walzendurchmesser dicker als jenes. Der Dachstuhl wird mit einem 10 kg\*-Stück belastet, das man an den obern Bügel hängt. Die Schnüre kann man verkürzen und so jede gewünschte Spannweite und Neigung des Dachs herstellen. Es ist ratsam, das dickere Grundbrett mit einer Zwinde am Tische zu befestigen.

Eine sehr gute, wenn auch teure Angelschnur ist die Pure Silk „Berlin“ Lines Nr. 36.

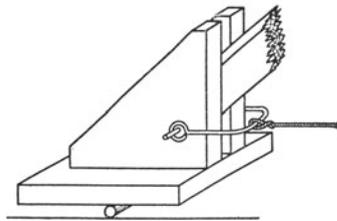


Fig. 57 a.

Bei dieser Aufgabe und einigen andern werden stillschweigend Verfahren der „Graphostatik“ verwendet. Vgl. hierüber etwa FÖPPL, *Techn. Mechanik*, 2. Bd. A. SCHÜLKE, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 14, 18; 1901. WEBER-WELLSTEIN, *Enzykl. d. Elementar-Mathem.* 3, 515.

Man lasse die Aufgaben 1 bis 14 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

**15. Aufgabe.** *Unter welchen Bedingungen ist ein glatter Körper auf einer glatten schiefen Ebene im Gleichgewicht?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

<b>Geräte.</b>	Schiefe Ebene (vgl. S. 76). Kleines Brett. Zwinge. Große Gewichtstücke mit Stabgriff als Unterlage oder Bunsengestell mit Rolle und Ring. Wagen (vgl. S. 76). 2, 2 und 5 kg*-Stück mit Stabgriff. Lot. Winkelmesser. Vollständige Zeichenausrüstung (vgl. S. 60).	Feste Angelschnur oder Bindfaden. 2 Bunsengestelle mit Rollen. 2 Wagschalen von 20 cm Durchmesser. Gewichtsatz. Endmaßstab. Millimeterpapier. Eisendraht von 5 mm Durchmesser. Garn. Schere.
----------------	---	--

**Anleitung.** a) Bestimme das Gewicht  $f_l$  kg\* des Wagens und das der Wagschale  $f_k$  kg\*.

b) Stelle an der Tischkante mit untergeschobenen Gewichtstücken die *schiefe Ebene* unter einem *Neigungswinkel* von  $\sim 20^\circ$  so auf, daß ihre Längskante ein wenig über die Tischkante vorsteht (Fig. 58). Lege vor das untere Ende der Ebene ein 20 kg\*-Stück oder ein kleines Brett, das nicht bis zum Tischrand reicht und mit einer Zwinge festgeklemmt wird. Stelle hinter dem oberen Ende der schiefen Ebene ein Gestell mit einer Rolle so auf, daß diese über den anstoßenden Tischrand so weit hinausragt, daß sich später der lotrechte Teil der Schnur frei bewegen kann. Hefte längs dem Strich oben an der Seite des Bretts mit Reißnägeln den Winkelmesser so an, daß sein Durchmesser genau mit dem Strich zusammenfällt und sein Mittelpunkt dicht unter dem kleinen Stift liegt. Hänge ein Lot an den Stift, miß den Winkel  $\beta$ , den die schiefe Ebene mit dem Lot bildet, und berechne daraus den Neigungswinkel  $\alpha$  der schiefen Ebene.

c) Lege auf die schiefe Ebene die Glasplatte, setze den Wagen darauf, knüpfe an seine untere Öse eine Schnur, führe diese über die Rolle und binde an ihr freies Ende die Wagschale. Stelle die Rolle so ein, daß die Schale frei hängt, das Schnurstück zwischen Wagen und Rolle der schiefen Ebene gleich läuft und mit deren langen Mittellinie in einer Ebene liegt. Setze das 5 kg\*-Stück in den Wagen und lege so viel Gewichtstücke auf die Schale, daß

sich der Wagen, wenn man leise aufs Brett klopft, eben mit gleichförmiger Geschwindigkeit die Ebene hinauf bewegt. Das in die Schale gelegte Gewicht sei  $F_o$  kg\*. Nimm so viele Gewichtstücke weg, daß sich der Wagen, wenn man leise aufs Brett klopft, eben mit gleichförmiger Geschwindigkeit die Ebene hinab bewegt. Die Belastung der Schale sei diesmal  $F_u$  kg\*.

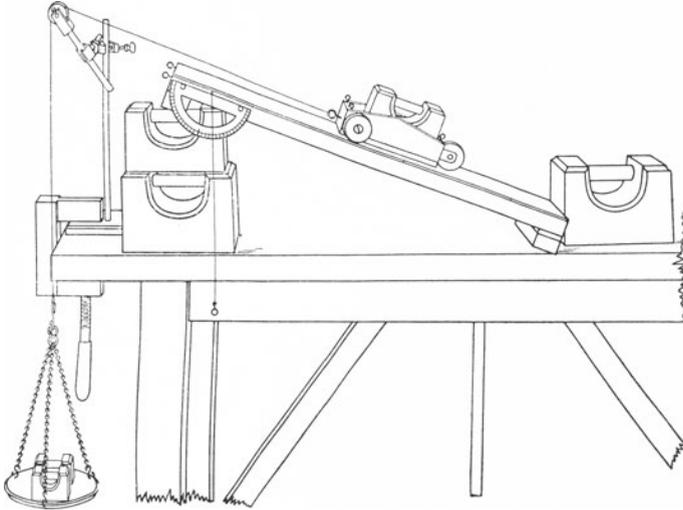


Fig. 58.

**d)** Wiederhole die beiden Einstellungen dreimal. Das Hauptmittel  $F'_k$  aus den erhaltenen Mittelwerten von  $F_o$  und  $F_u$  ist die Größe der Schalenbelastung.

**e)** Auf den Wagen wirken zwei Kräfte: 1. lotrecht nach unten die Summe  $F_l$  kg\* von dem Gewicht  $f_l$  kg\* des Wagens und von dessen Belastung  $F'_l$  kg\* und 2. die schiefe Ebene aufwärts die Zugkraft an der Schnur  $F_k$  kg\*, die gleich ist der Summe des Schalenweights  $f_k$  kg\* und der darauf liegenden Gewichte  $F'_k$  kg\*.

**f)** Lege einen Endmaßstab mit der geteilten Kante so auf den vordern Rand der schiefen Ebene, daß das eine Ende im Punkt **A** (Fig. 59) die Tischfläche berührt. Merke diesen Punkt an und miß seinen Abstand  $AC = b$  cm vom Punkt **C**. **C** ist der Punkt der vordern Tischkante, der hinter dem Lot liegt, das an dem kleinen Stift hängt. Miß längs dem Lote den Abstand des Punktes **C** von

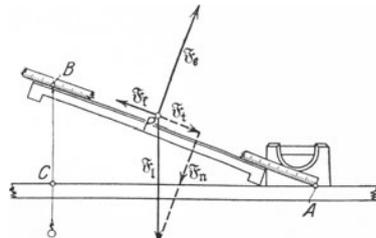


Fig. 59.

der obern Kante des Bretts,  $CB = h$  cm, und dann noch  $AB = l$  cm. Statt des Lots kann man auch eine Reißschiene benutzen, dann darf aber die Vorderseite der schiefen Ebene nicht über den Tischrand hinausragen. Zeichne mit dem Längenmaßstab 1 cm  $\sim$  1 mm das Dreieck  $ABC$ . Wähle als Angriffstelle der Kräfte einen Punkt  $P$ , der ungefähr die Lage des Schwerpunkts des belasteten Wagens hat, und trage daran mit dem Kräftemaßstab  $1 \text{ kg}^* \sim 2 \text{ cm}$  die beiden Kraftpfeile  $\mathfrak{F}_t$  und  $\mathfrak{F}_i$  an. Ist der Wagen in den Pfeilrichtungen der Kräfte  $\mathfrak{F}_t$  und  $\mathfrak{F}_i$  beweglich? Zerlege die Kraft  $\mathfrak{F}_i$  in zwei Seitenkräfte:  $\mathfrak{F}_t$  parallel zur schiefen Ebene und  $\mathfrak{F}_n$  senkrecht dazu. Vergleiche die Größen und Pfeilrichtungen der Kräfte  $\mathfrak{F}_t$  und  $\mathfrak{F}_i$  miteinander. Wie lautet die Bedingung für das Gleichgewicht des Wagens auf der schiefen Ebene? Lege unter den Zeichenbogen ein Blatt Papier und steich die Ecken des Dreiecks durch, das von den Kräften  $\mathfrak{F}_i$ ,  $\mathfrak{F}_t$  und  $\mathfrak{F}_n$  gebildet wird. Zeichne das so durchgepauste Dreieck, schneide es aus und lege es so auf das Dreieck  $ABC$ , daß die eine Ecke mit  $A$  und die Richtungen zweier Seiten zusammenfallen. Wie sind die beiden Dreiecke miteinander verwandt? Durch welche geometrische Betrachtung hätte man diese Erkenntnis viel bequemer gewinnen können? Welche Beziehungen bestehen zwischen  $h$ ,  $l$ ,  $\alpha$ ,  $\mathfrak{F}_t$  und  $\mathfrak{F}_i$ ? Ist es notwendig,  $b$ ,  $h$  und  $l$  zu messen, wenn man bereits  $\alpha$  mit dem Winkelmesser bestimmt hat?

g) Wie wirkt die Teilkraft  $\mathfrak{F}_n$  auf den Wagen ein und wie dieser auf die schiefe Ebene? Welche Rückwirkung übt die schiefe Ebene auf den Wagen aus? Welche Kraft müßte man in  $P$  anbringen, damit sich dieser Punkt auch dann im Gleichgewicht befindet, wenn man die schiefe Ebene wegnimmt? *Ersatzkraft*. Gib Größe und Pfeilrichtung der Ersatzkraft  $\mathfrak{F}_e$  an.

h) Binde an die vier kleinen Ösen in den obern Ecken des Wagens Schnüre, knote sie mit einer fünften festen Schnur zusammen und führe diese senkrecht zur schiefen Ebene über eine Rolle an einem zweiten Gestell. Befestige am freien Ende dieser Schnur eine Schale von bekanntem Gewicht und belaste sie so stark, daß der Wagen eben von der schiefen Ebene abgehoben wird. Wie groß ist diese Zugkraft? Vergleiche sie nach Größe und Pfeilrichtung mit der Teilkraft  $\mathfrak{F}_n$  des Gewichts  $\mathfrak{F}_i$ . Zeichne die Ersatzkraft  $\mathfrak{F}_e$  in das Lagebild ein. Lote die Kräfte, die im Punkt  $P$  angreifen, auf die Richtungen der Schnur  $\mathfrak{F}_t$  und der Schnur  $\mathfrak{F}_e$ . Prüfe durch Zeichnung und Rechnung, ob die Gleichgewichtsbedingungen erfüllt sind.

i) Zeichne das Kräftedreieck  $\mathfrak{F}_i$ ,  $\mathfrak{F}_t$  und  $\mathfrak{F}_e$ . Beginne mit  $\mathfrak{F}_i$  und ziehe durch die Endpunkte dieses Kraftpfeils die Parallelen zum Schnurzug und zur Ersatzkraft. Wie kann man die Gleichgewichtsbedingung für den Wagen auf der schiefen Ebene auch aussprechen? Welche Verwandtschaft besteht zwischen dem Kräftedreieck, dem Dreieck der schiefen Ebene  $ABC$  und dem Dreieck des Lagebildes, dessen Seiten  $\mathfrak{F}_i$ ,  $\mathfrak{F}_t$  und  $\mathfrak{F}_n$  sind?

k) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Schiefe Ebene Nr. . . . Wagen Nr. . . . Gewicht des Wagens  $f_l = \dots$  [kg\*].  
 Wagschale Nr. . . . Gewicht der Schale  $f_k = \dots$  [kg\*].

$\beta$	Neigwinkel	Höhe	Länge	$\sin \alpha$		
	$\alpha$	$h$ cm	$l$ cm	$\frac{h}{l}$	Tafelwert	Mittel

Zugkraft an der Schnur in kg*				Last in kg*		$\frac{F_k}{F_l}$	$\frac{F_k}{F_l} - \sin \alpha$
$F_o$	$F_u$	$F_k'$	$F_k = f_k + F_k'$	$F_l'$	$F_l = f_l + F_l'$		
Mittel						. . . . .	

Arbeitsaufwand	Arbeitsleistung	Arbeitsgewinn	Widerstand der Reibung	Arbeitsverlust durch Reibung	Gesamter Arbeitsaufwand	Mechanischer Wirkungsgrad
$F_k \cdot l$ kg* cm	$F_l \cdot h$ kg* cm	$F_k \cdot l - F_l \cdot h$	$F_r = \frac{1}{2}(F_o - F_u)$ [kg*]	$F_r \cdot l$ kg* cm	$F_a \cdot l$ kg* cm	$\eta = \frac{F_l}{F_a} \cdot \frac{h}{l}$
	Mittel		. . . . .			

l) Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis  $F_l/F_k$  der schiefen Ebene? Durch welche Größen der schiefen Ebene ist es eindeutig bestimmt? Welchen Vorteil bietet die schiefe Ebene?

m) Berechne die positive Arbeit, die die Zugkraft  $F_k$  kg\* leistet, wenn sie den Wagen auf der schiefen Ebene die Strecke  $l$  cm hinaufzieht. Um wieviel Zentimeter wird dabei der Wagen in lotrechter Richtung gehoben? Welche negative Arbeit wird dabei am Gewicht  $F_l$  kg\* geleistet? Vergleiche die beiden Arbeiten miteinander. Wird bei der schiefen Ebene Arbeit gewonnen oder verloren?

n) Wir haben, um den Einfluß der Reibung auszuschalten,  $F_k'$  als Mittel aus  $F_o$  und  $F_u$  berechnet. Bezeichnet  $F_r$  kg\* den Reibungswiderstand, so ist

$$F_o = F_k' + F_r \quad \text{und} \quad F_u = F_k' - F_r,$$

mithin

$$F_k' = \frac{1}{2}(F_o + F_u) \quad \text{und} \quad F_r = \frac{1}{2}(F_o - F_u).$$

Wird der Wagen auf der schiefen Ebene um die Länge  $l$  cm hinaufgezogen, so wird nicht die Arbeit  $F_k \cdot l$  kg\* cm, sondern die

Arbeit  $F_a \cdot l$  kg\*cm aufgewandt, wo  $F_a = f_k + F_o$  ist, und es gehen durch Reibung  $F_r \cdot l$  kg\*cm verloren. Die Nutzarbeit ist  $F_l \cdot h$  kg\*cm und der gesamte Arbeitsaufwand  $F_a \cdot l$  kg\*cm. Verläuft die Bewegung in  $t$  Sekunden, so ist die *Nutzleistung*  $L_l = F_l h/t$  [kg\*cm/sek] und die *gesamte aufgewandte Leistung*  $L_a = F_a l/t$  [kg\*cm/sek], mithin der *Wirkungsgrad* der schiefen Ebene

$$\eta = \frac{F_l \cdot h}{F_a \cdot l}.$$

o) Wiederhole die Versuche, Zeichnungen und Rechnungen (b) bis (n) mit den Neigwinkeln  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  und  $60^\circ$ . Stelle die Ergebnisse bildlich dar und setze dabei  $x = \sin \alpha$  und  $y = F_k$ .

p) Wiederhole die Versuche, Zeichnungen und Rechnungen (b) bis (n) bei einer Belastung des Wagens mit 2 und 4 kg\*. Stelle die Ergebnisse für denselben Neigungswinkel durch eine Kurve dar, wähle dabei  $F_l$  als Abszisse und  $F_k$  als Ordinate.

q) Biege aus 5 mm starkem Eisendraht einen leichten fünfeckigen Rahmen und lege ihn so um das Gewichtstück auf dem Wagen, daß jetzt die Zugkraft der Schnur in  $\sim 20$  cm Höhe über dem Tisch parallel zur Grundfläche der schiefen Ebene wirkt. Verfahre ähnlich wie bei (b) bis (p). Unter welcher Bedingung herrscht jetzt Gleichgewicht?

r) Schreibe die Ergebnisse ähnlich wie in (k) auf. Welche Größen ersetzen hier  $l$  und  $\sin \alpha$ ?

**Bemerkungen.** Als schiefe Ebene dient ein Brett ( $\sim 75$  cm  $\times$  18 cm  $\times$  3 cm) aus Mahagoni-, Elsen-, oder Kiefernholz, das ganz trocken und frei von Knoten, Rissen u. dgl. ist. Da es auch zur Anstellung von Reibversuchen benutzt wird, ist die obere Seite sehr sorgfältig gehobelt und geglättet. Auf die Unterseite sind an den kurzen Kanten zwei schmale Leisten geschraubt. Nahe der obern Längskante und nahe dem obern Ende des Bretts ist auf beiden Seiten ein Strich genau parallel der obern Kante eingeritzt und dicht über seiner Mitte ein kurzer dünner Stift so eingeschlagen, daß sein Umfang die Gerade berührt. Beim Gebrauch heftet man mit Reißnägeln einen Winkelmesser aus Karton so an die Seite des Bretts, daß sein Durchmesser mit dem Strich zusammenfällt und sein Mittelpunkt dicht unter der Achse des Stifts liegt. An den Stift hängt man ein Lot. Das Brett lagert man schräg auf ein oder zwei Gewichtstücke mit Stabgriff. Man kann aber auch an den Enden der obern Stirnfläche zwei Ösen einschrauben, daran die Enden einer Schnur und an deren Mitte eine andere Schnur binden und diese über eine Rolle und durch einen Ring führen. Um das Ausgleiten der schiefen Ebene zu verhindern, legt man vor ihr unteres Ende ein 20 kg\*-Stück oder ein Brett und klemmt dieses mit einer Zwinge fest. Auf die obere Seite des Bretts legt man eine Glasplatte von gleicher Größe.

Der Wagen besteht aus einem Holzkasten ( $\sim 18$  cm  $\times$  13 cm), in dem innen gerade ein 5 kg\*-Stück mit Stabgriff Raum findet, und aus drei leicht drehbaren Rollen aus hartem Holz von  $\sim 5$  cm Durchmesser. An den vier obern Ecken des Wagenkastens sind kleine Ösen und zwischen dem Räderpaar eine größere Öse eingeschraubt. Der Schwerpunkt des Wagens soll möglichst tief liegen.

Andere Formen der schiefen Ebene haben beschrieben: ADAMS 51 Nr. 16. ALLEN 249. DUNCAN 40. GREGORY-SIMMONS 1, 152 Nr. 91. KERR 1, 32. MÜLLER, *Techn. d. phys. Unterr.* 26 Nr. 21. STROUD 77 Nr. 27. WELLS 22 Nr. 9.

Statt Schnur, Rolle und Gewicht kann man eine Federwaage verwenden. Wirkt die Kraft parallel der schiefen Ebene, so muß der Meßbereich etwas größer als  $F_i \text{ kg}^*$  und der Neigungswinkel nicht kleiner als  $30^\circ$  sein. Wirkt die Kraft parallel der Grundfläche der schiefen Ebene, so soll, wenn der größte benutzte Neigungswinkel  $60^\circ$  ist, der Meßbereich der Federwaage  $2 F_i \text{ kg}^*$  betragen. Die Ablesungen der Federwaage sind ihren Stellungen entsprechend zu verbessern. Ein Schüler zieht und ein anderer liest ab.

Von den Kräften, die auf den Wagen wirken, sind Richtung und Größe leicht festzustellen. Schwierigkeiten bereitet die Angriffstelle. Es empfiehlt sich die Annahme, daß sie mit dem Schwerpunkt von Wagen und Belastung zusammenfalle.

Man lasse die Versuche (a) bis (n), (o), (p) und (q) nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs von verschiedenen Gruppen gleichzeitig ausführen und den Versuch (h), den man selbst sorgfältig überwacht, nur an einer schiefen Ebene.

#### IV. Reibung.

**16. Aufgabe.** Welche Kraft ist erforderlich, um bei einer bestimmten Aufdruckkraft die Reibung zwischen Holz und Holz zu überwinden?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Reibbrett (vgl. S. 76). Schlitten (vgl. S. 79). Universalrolle. Wagschale von 20 cm Durchmesser. Seidenschnur von 1,5 bis 2 mm Durchmesser oder Angelschnur. Feines Schmirgelpapier.	Millimeterpapier. Scheibengewichte von 0,01 bis $0,5 \text{ kg}^*$ . Stabgewichte von 1, 2, 2, 5, 5, 10 und $10 \text{ kg}^*$ . Wasserwaage. Keile. Öl. Wage.
----------------	---	---

**Anleitung.** a) Reibe mit feinem Schmirgelpapier das Reibbrett und den Schlitten sorgfältig ab. Klemme die Zwinge der Universalrolle an den Rand des Tisches und schiebe das eine Ende des Reibbretts dicht an die Zwinge (Fig. 60). Prüfe mit der Wasserwaage, ob das Brett wagerecht liegt, und stelle es, wenn dies nicht der Fall ist, mit untergeschobenen Keilen genau wagerecht. Klemme das Brett am Tisch fest oder lege ein  $10$  oder  $20 \text{ kg}^*$ -Stück auf sein hinteres Ende. Öle die Rolle und sieh

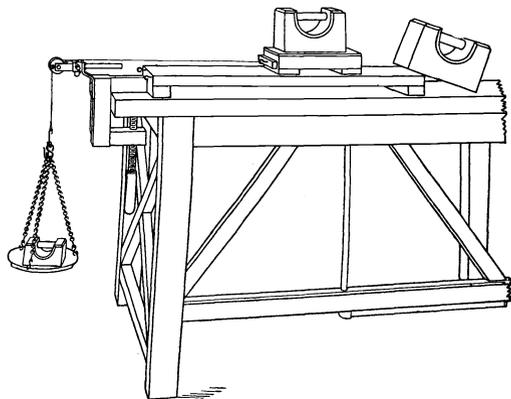


Fig. 60.

nach, ob sie sich ganz frei bewegt und ob die Wagschale freien Spielraum hat.

b) Wäge den Schlitten nebst Deckplatte und die Wagschale.

c) Setze den Schlitten auf den hintern Teil des Reibbretts, lege die Schnur über die Rolle und hake die Wagschale an. Stelle die Rolle so, daß die Schnur parallel der Längsachse des Brettes in einer Höhe von  $\sim 2,5$  cm läuft.

d) Belaste den Schlitten mit einem  $5 \text{ kg}^*$ -Stück. Welche Kraft drückt den Schlitten gegen das Brett? Wie wirkt die Schnur auf den Schlitten? Da er sich nicht bewegt, ist darin eine Kraft erregt worden, die wagerecht gerichtet ist und der Zugkraft der Schnur das Gleichgewicht hält. *Reibkraft*. Lege nach und nach so viele Gewichte auf die Schale, bis der Schlitten beginnt, sich von selbst längs dem Brett zu bewegen. Achte auf die Art der Bewegung. Ist sie gleichförmig oder beschleunigt? Ist die Reibung eine veränderliche Kraft? Ist dieselbe Kraft erforderlich, um den Schlitten in Bewegung zu setzen wie um ihn in Bewegung zu erhalten? Wächst die Reibung bis zu einer bestimmten Grenze? *Grenzwert der Reibung*.

e) Belaste den Schlitten der Reihe nach mit 10, 15 und dann mit 15, 10 und  $5 \text{ kg}^*$  und wiederhole den Versuch (d).

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

...-Reibbrett Nr. ... ..-Schlitten Nr. ... Die Fasern von Brett und Schlitten ... Länge des Schlittens  $l_1 = \dots$  [cm]. Breite des Schlittens  $l_2 = \dots$  [cm]. Gewicht von Schlitten und Deckplatte  $f_n = \dots$  [ $\text{kg}^*$ ]. Gewicht der Schale  $f_r = \dots$  [ $\text{kg}^*$ ].

Belastung des Schlittens $F_n'$ $\text{kg}^*$		Gewicht des Schlittens und der Belastung $F_n = f_n + F_n'$		Belastung der Schale $F_s'$ $\text{kg}^*$			Haftreibung $F_s = (f_r + F_s')$ [ $\text{kg}^*$ ]
wachsend	abnehmend	wachs.	abn.	wachs.	abn.	Mittel	

g) Stelle die Ergebnisse bildlich dar und setze dabei  $x = F_n$  und  $y = F_s$ .

h) Wiederhole die Versuche (d) und (e) mit den gleichen Belastungen des Schlittens. Lege jedesmal nur so viele Gewichte auf die Schale, daß sich der Schlitten gleichförmig weiterbewegt, sobald er durch einen schwachen Anstoß oder durch einen kräftigen Puff gegen das Ende des Reibbretts in Bewegung gesetzt worden ist. Gleitet der Schlitten mit wachsender Geschwindigkeit, so muß man aus der Schale Gewichte entfernen, bewegt er sich aber nur ruckweise, so muß man Gewichte zulegen.

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Belastung des Schlittens $F_n'$ kg*		Gewicht des Schlittens und der Belastung $F_n = f_n + F_n'$		Belastung der Schale $F_k'$ kg*			Gleitreibung $F_k = (f_r + F_k')$ [kg*]
wachsend	abnehmend	wachs.	abn.	wachs.	abn.	Mittel	

k) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze  $x = F_n$  und  $y = F_k$ , benutze dabei dasselbe Achsenkreuz wie bei (g).

l) Ist die Kraft  $F_n$ , die erforderlich ist, um den Schlitten aus der Ruhelage herauszubewegen, größer als die Kraft  $F_k$ , die erforderlich ist, um ihn mit gleichbleibender Geschwindigkeit fortzuziehen, nachdem er einmal in Bewegung gesetzt worden ist? Gleitet der Schlitten, sobald er aus der Ruhelage herausgezogen worden ist, mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiter? Wie kann man die Geschwindigkeitsänderung erklären? *Reibung der Ruhe, Haftreibung oder stationäre Reibung. Reibung der Bewegung, Gleitreibung oder kinetische Reibung.* Bei den folgenden Versuchen wird stets nur die gleitende Reibung der Bewegung untersucht.

**Bemerkungen.** Der Schlitten (WELLS 115) besteht aus demselben Holz wie das Reibbrett oder aus Eichen- oder Kirschbaumholz. Die Größe ist  $\sim 24 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ . Die Fasern des Holzes laufen parallel zur Breite des Schlittens, also quer zu den Fasern des Reibbretts. Auf der Unterseite des Schlittens ist ein Teil des Holzes entfernt, so daß die übrig bleibende Fläche genau halb so groß ist wie die obere Seite (Fig. 61). Die beiden Gleitflächen des Schlittens sind genau eben gehobelt und geglättet. Auf die eine Stirnfläche ist eine Querleiste von 2 cm Breite und 1,5 cm Dicke aufgeschraubt und in die Mitte eine kleine Öse so eingesetzt, daß die Zugschnur  $\sim 2,5 \text{ cm}$  über der Gleitfläche des Reibbretts liegt. An der Öse befestigt man eine Angelschnur oder starke Seidenschnur von  $\sim 1,5$  bis 2 mm Durchmesser und von solcher Länge, daß die Wagschale eben frei von der Rolle hinabhängt, wenn der Schlitten am hinteren Ende des Reibbretts sitzt. Die Angelschnur (vgl. S. 71) reißt bei der Belastung 15 kg\*. Die obere Fläche des Schlittens schützt man mit einem leichten Holzbrett.



Fig. 61.

Bei den Aufgaben 16 bis 18 kann man statt Rolle, Schnur und Gewicht auch eine Federwaage benutzen, doch muß man ihren Meßbereich richtig wählen; die Reibkraft muß in die obere Hälfte des Meßbereichs fallen. Die Waage ist bequemer abzulesen, wenn man ihren Ring an einem festen Gegenstand und ihren Haken am Schlitten befestigt und das Reibbrett mittels Öse und Schnur darunter fortzieht. Das Reibbrett muß dann mindestens 1 m lang sein, und bei jeder Verschiebung sind  $\sim 5$  Ablesungen zu machen.

Das Gebiet der Reibung gehört zu den dunkelsten Winkeln der Physik. Wirkt auf einen freien Körper von der Masse  $m$  die Kraft  $F$ , so erzeugt sie eine Beschleunigung  $b$ . Steht der Körper mit einem andern in Berührung, so tritt oft an die Stelle der Gleichung  $F = mb$  die Un-

gleichung  $F > mb$ . Diese Ungleichung verwandelt man durch die Annahme einer Reibung  $F_r$  zwischen den beiden Körpern in die Gleichung  $F = mb + F_r$ . Das ist für die Rechnung bequem und für die weitere Untersuchung zweckmäßig. Unbefriedigend bleibt aber manchmal die Unklarheit darüber, was alles in  $F_r$  steckt. Die Schüler sind dazu zu erziehen, immer die Reibwiderstände zu beachten, davor aber zu bewahren, daß die auf Versuchen beruhende Bestimmung der Reibung oder dessen, was man hier und da so nennt, sie bereits befriedigt und beruhigt. Es ist ja edel von der Reibung, daß sie immer der schwächeren Kraft hilft, das Gleichgewicht herzustellen, ihr zuweilen dunkles Wesen darf man aber nicht übersehen. Einige leugnen das Vorhandensein der Reibung der Ruhe unterhalb des sogenannten obren Grenzwerts. Manche halten die Richtung der Reibkraft beim Gleichgewicht für unbestimmt, andere hingegen sagen, daß die Richtung jederzeit der Bewegung entgegengesetzt sei, die wirklich stattfindet oder auch nur erstrebt wird. Mißlich ist auch die Frage nach der Angriffstelle. Liegt der Schwerpunkt so tief, daß kein Umkippen des Gleitkörpers eintreten kann, so ist die Annahme bequem, daß der Schwerpunkt die Angriffstelle sei. Bei den Übungen kommt man kaum in die Lage, diese Frage gründlicher zu erörtern.

Es empfiehlt sich, die Aufgaben 16 bis 19 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen zu lassen.

**17. Aufgabe.** *Ändert sich die Gleitreibung zwischen Holz und Holz mit der Aufdruckkraft?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte wie bei Aufgabe 16, dazu Stabgewichte 1, 2, 2 kg\* und schwarzes Garn.

**Anleitung.** a) Verfahre genau wie bei Aufgabe 16 (a) (b) (c) und (h). Laß zunächst den angestoßenen unbelasteten Schlitten mit gleichförmiger Geschwindigkeit gleiten, belaste ihn dann der Reihe nach mit 5, 10 und 15 kg\* und entlaste ihn dann in umgekehrter Reihenfolge.

b) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

... Reibbrett Nr. ... Schlitten Nr. ... Die Fasern von Brett und Schlitten ... Länge des Schlittens  $l_1 = \dots$  [cm]. Breite des Schlittens  $l_2 = \dots$  [cm]. Gewicht von Schlitten und Deckplatte  $f_n = \dots$  [kg\*]. Gewicht der Schale  $f_g = \dots$  [kg\*].

Belastung des Schlittens $F_n'$ kg*		Aufdruckkraft $F_n = f_n + F_n'$		Belastung der Schale $F_g'$ kg*			Gleitreibung $F_g = f_g + F_g'$	Reibzahl $\frac{F_g}{F_n}$
wachsend	abnehmend	wachs.	abn.	wachs.	abn.	Mittel		

Mittel  $\mu = \dots\dots\dots$

c) Ändert sich die Kraft der Gleitreibung mit der Aufdruckkraft? Wie groß würde bei jedem Versuch die Gleitreibung sein, wenn die Aufdruckkraft nur 1 kg\* wäre? Ist das Verhältnis  $F_g/F_n$  überall das gleiche?

d) Stelle die Ergebnisse bildlich dar und setze dabei  $x = F_n$  und  $y = F_g$ . Spanne einen schwarzen Faden so aus, daß die erhaltenen Punkte auf beiden Seiten möglichst gleichmäßig verteilt sind. Kennzeichne mit einem Bleistift die Fadenrichtung durch zwei weit voneinander entfernte Punkte und ziehe die Gerade. Die Abweichungen der Punkte von der Geraden stellen die Beobachtungsfehler und die Gerade selbst die wahre Beziehung zwischen Aufdruckkraft und Gleitreibung dar. Welche Bedeutung hat der Tangens des Neigungswinkels? Berechne den Mittelwert  $\mu$  der Verhältnisse  $F_g/F_n$  und vergleiche ihn mit dem Tangens. *Zahl (Koeffizient) der Gleitreibung.*

**Bemerkungen.** Man kann auch noch den sogenannten Reibverlust der Rolle bestimmen und damit die Werte von  $F_g$  verbessern.

Mißt man mit der Stechuhr die Zeit  $t$  sek, in der der Schlitten beim Gleiten die angemerkte Strecke  $s$  cm zurücklegt, so ist, wenn  $F$  kg\* das Gewicht von Schale nebst Belastung angibt, die Kraft der Gleitreibung

$$F_g = F - (F_n + F) \cdot \frac{2s}{gt^2} \text{ [kg*]}$$

und die Zahl der Gleitreibung  $\mu = F_g/F_n$ . Dieses Verfahren kann man anwenden, wenn die Schüler bereits mit den Gesetzen der gleichförmig beschleunigten Bewegung vertraut sind.

Eine beachtenswerte Vorrichtung beschreibt DUFF 115 Nr. 19.

Es empfiehlt sich, die Aufgaben 16 bis 19 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen zu lassen.

**18. Aufgabe.** *Hängt die Gleitreibung von Holz auf Holz von der Größe der sich berührenden Flächen ab?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 17.

**1. Verfahren.**

**Anleitung.** a) Verfahre wie bei Aufgabe 17 (a), benutze dabei die große Gleitfläche des Schlittens.

b) Wiederhole die Versuche mit der kleinen Gleitfläche des Schlittens und den gleichen Belastungen.

c) Schreibe die Ergebnisse wie bei der vorigen Aufgabe auf und stelle sie dann in folgender Tafel zusammen:

Aufdruckkraft $F_n$ kg*	Reibung $F_g$ kg*		Reibzahl $\mu$	
	Große Fläche	Kleine Fläche	Große Fläche	Kleine Fläche
		Mittel	. . . . .	. . . . .

d) Hängt die Reibzahl von der Größe der Gleitfläche ab?

## 2. Verfahren.

**Literatur.** WELLS 122 Nr. 8.

**Anleitung.** e) Verfahre wie bei (a), benutze dabei Belastungen des Schlittens von 5, 10 und 15 kg\* und die große Gleitfläche des Schlittens. Miß die Zeit, die der Schlitten gebraucht, um sich von einer Marke am Reibbrett bis zu einer zweiten zu bewegen.

f) Benutze die kleine Gleitfläche des Schlittens, belaste den Schlitten und die Wagschale genau mit den gleichen Gewichten wie bei (e) und prüfe, ob auch die Geschwindigkeit so groß ist wie vorher. Ändere, wenn dies nicht der Fall ist, die Belastung der Schale, bis die Geschwindigkeit dieselbe wird.

g) Schreibe die Ergebnisse der Versuche wie in Aufgabe 17 und in (c) auf. Prüfe, ob die Zahl der Gleitreibung von der Größe der sich berührenden Flächen abhängt.

**Bemerkungen.** Die Ergebnisse liefern namentlich bei dem 1. Verfahren keine entscheidende Antwort auf die gestellte Frage.

Man kann bei den Aufgaben 16 bis 18 auf das Reibbrett glattes Papier, Sandpapier, Scheiben aus glattem, mattem und rauhem Glas, Tafeln aus Messing, Schiefer, Kautschuk, Leder usw. legen. Man kann auch Schlitten aus verschiedenem Holz, dessen Fasern parallel oder quer zu denen des Grundbretts verlaufen, ferner Schlitten, deren Gleitflächen mit Papier usw. beklebt sind, oder Schlitten aus beliebigen andern Stoffen benutzen. Wertvoll ist es, die Aufgaben 16 bis 18 mit einer Reibplatte aus Gußeisen (90 cm  $\times$  18 cm  $\times$  3 cm) und einem gußeisernen Schlitten von derselben Größe wie der Holzschlitten auszuführen. Man gieße dann auch auf die Reibungsplatte gewöhnliches Maschinenöl, bewege, um das Öl gleichmäßig zu verteilen, den Schlitten vor- und rückwärts und verfahre sonst wie vorher. Es ist dabei zu prüfen, ob bei Verwendung dieses Schmiermittels oder eines andern, wie Graphit, die Reibgesetze bestehen bleiben.

Da die Reibversuche keine recht vergleichbaren Ergebnisse liefern, so empfiehlt es sich, gleichzeitig die Versuche mit verschiedenen Körpern ausführen zu lassen. Auch ist es ratsam, die Aufgaben 16 bis 19 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen zu lassen.

**19. Aufgabe.** *Welches sind die Bedingungen des Gleichgewichts und des Gleitens von Flächen, die gegen die Wagerechte geneigt sind?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Wie bei Aufgabe 17, dazu:	Maßstab.
	zwei 5 oder 10 kg*-Stücke.	Vollständige Zeichenaus-
	Lot.	rüstung.
	Winkelmesser.	

**Anleitung.** a) Lege das Reibbrett so auf ein 20 kg\*-Stück (oder auf zwei aufeinander gestellte 5 kg\*- oder 10 kg\*-Stücke), daß das eine Ende auf dem Tisch ruht und das andere sich auf das Gewicht stützt (Fig. 62). Stelle ein Gewichtstück vor das untere Ende des geneigten Bretts und hindere es so am Ausgleiten.

b) Setze den Schlitten auf das obere Ende des Bretts, belaste ihn mit 5 kg\*, binde das Gewichtstück an dem Ringe des Schlittens fest und vergrößere oder verkleinere durch Verschieben des untergelegten Gewichtstücks nach innen oder außen den Neigwinkel, bis sich der Schlitten mit gleichförmiger Geschwindigkeit die Ebene hinabbewegt, wenn er mit der Hand schwach angestoßen wird.

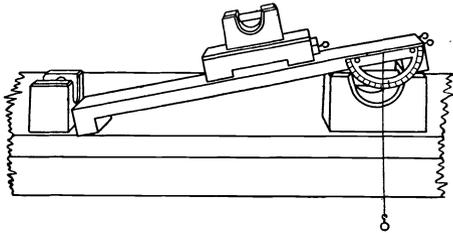


Fig. 62.

c) Bestimme den Neigwinkel  $\varrho$  der schiefen Ebene wie in Aufgabe 15 (b) und (f).

d) Wiederhole die Versuche mit den Belastungen 10 und 15 kg\* und miß jedesmal den Neigwinkel.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

... Reibbrett Nr. ... Schlitten Nr. ...  
Gewicht des Schlittens  $f = \dots$  [kg\*].

Belastung des Schlittens $F'$ kg*	Gewicht von Schlitten und Belastung $F = f + F'$	Grundlinie $b$ cm	Höhe $h$ cm	$\beta$	Reibwinkel $\varrho$	tg $\varrho$			
						$\frac{h}{b}$	Tafelwert	Mittel	
Hauptmittel									

f) Entwirf mit dem Längenmaßstab 1 cm  $\sim$  1 mm und dem Kräftemaßstab 1 kg\*  $\sim$  2 cm das Lagebild der schiefen Ebene und des Schlittens, wähle dabei als Angriffstelle der Kräfte den Schwerpunkt des Schlittens und seiner Belastung. In dem Augenblick, wo das Gleiten beginnt, wirken auf den Schlitten zwei Kräfte: senkrecht nach unten  $\mathfrak{F}$  kg\*, das Gewicht des Schlittens und seiner Belastung, und parallel zur schiefen Ebene aufwärts die Kraft der Reibung  $\mathfrak{F}_g$  kg\*. In welcher Richtung wird die Bewegung des Schlittens gehemmt? Zerlege  $\mathfrak{F}$  in zwei Teilkräfte, in  $\mathfrak{F}_n$ , die rechtwinklig gegen die schiefe Ebene drückt, und in  $\mathfrak{F}_t$ , die parallel zur schiefen Ebene abwärts zieht. Da die Bewegung die schiefe Ebene abwärts mit gleichförmiger Geschwindigkeit erfolgt, so müssen sich die Kräfte  $\mathfrak{F}_t$  und  $\mathfrak{F}_g$  das Gleichgewicht halten. Welchen Winkel schließen die Kräfte  $\mathfrak{F}$  und  $\mathfrak{F}_n$  ein? Welche Beziehung besteht also zwischen  $F_n$ ,  $F_t$  und  $\varrho$  und folglich zwischen  $F_n$ ,  $F_g$  und  $\varrho$ ? Wie groß ist also die Zahl der Gleitreibung  $\mu = F_g / F_n$ ? Berechne aus den Versuchsergebnissen tg  $\varrho$  und daraus als Mittelwert die Zahl der Gleitreibung.

g) Der belastete Schlitten drückt senkrecht auf die schiefe Ebene, und diese übt auf den Schlitten einen Druck aus, der ebenso groß,

aber entgegengesetzt gerichtet ist. Wenn wir diese Ersatzkraft  $\mathfrak{F}_e$  im Schwerpunkt anbringen und die schiefe Ebene wegnehmen, so bleibt der Schlitten im Gleichgewicht. Wir können daher auch sagen, daß in dem Augenblick, wo das Gleiten des Schlittens beginnt, auf den Schwerpunkt des Schlittens die Kräfte  $\mathfrak{F}$ ,  $\mathfrak{F}_g$  und  $\mathfrak{F}_e$  wirken. Lote in dem Lagebild die drei Kräfte auf die Richtungen von  $\mathfrak{F}_g$  und  $\mathfrak{F}_e$ . Wie groß ist der Winkel zwischen  $\mathfrak{F}_e$  und  $\mathfrak{F}$ ? Bestimme durch Zeichnung und Rechnung die Gleichgewichtsbedingungen. Berechne daraus  $F_g$ ,  $F_n$  und  $\mu$ .

h) Zeichne das Kräfdreieck. Bekannt sind Größe und Pfeilrichtung von  $\mathfrak{F}$  und die Pfeilrichtungen von  $\mathfrak{F}_g$  und  $\mathfrak{F}_e$ . Kommt in dem Dreieck der Reibwinkel  $\varrho$  vor? Entnimm aus dem Dreieck die Größe von  $F_g$  und  $F_n$  und berechne daraus die Zahl der Gleitreibung.

**Bemerkungen.** Auch die Zahl der Haftreibung kann man mit der schiefen Ebene bestimmen, wenn man sie so weit neigt, daß der Schlitten ohne Anstoß von selbst die schiefe Ebene hinabgleitet.

Andere Vorrichtungen haben beschrieben: AMES-BLISS 146 Nr. 25 und DUFF 90 Nr. 16.

Die Messung der Reibkraft auf der schiefen Ebene mit der Federwaage ist nicht zu empfehlen; sie erfordert weitere theoretische Betrachtungen, vgl. z. B. CUMMING 101 Nr. 43.

Es ist ratsam, die Aufgaben 16 bis 19 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen zu lassen.

## V. Kräfte, die an einem Körper angreifen.

**20. Aufgabe.** *Drei Kräfte, deren Richtungen in einer Ebene liegen, wirken auf einen Körper. Unter welchen Bedingungen ist er im Gleichgewicht?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WELLS 38 Nr. 1.

<p><b>Geräte.</b> 2 Rollen (vgl. S. 53). Angelschnur. Scheibengewichte von 0,5 kg*. Ringgewichte von 1,1, 2kg*. Unregelmäßig gestaltete leichte Scheibe aus Pappe</p>	<p>oder Holz (<math>\sim 18 \text{ cm} \times 13 \text{ cm}</math>), nahe beim Rande drei Löcher in ungleichen Abständen. Vollständige Zeichenaus-rüstung (vgl. S. 60). Kleine Spiegelstreifen.</p>
---	---

**Anleitung.** a) Befestige wie in Aufgabe 8 (S. 56) am Wandbrett zwei Rollen (Fig. 63). Fädle durch die Scheibenlöcher die Schnüre, binde ihre Enden fest, führe die beiden Seitenschnüre über die Rollen und belaste sie mit  $F_2 = 1 \text{ [kg*]}$  und  $F_3 = 1,5 \text{ [kg*]}$  und die Mittelschnur mit  $F_1 = 2 \text{ [kg*]}$ .

b) Hefte hinter den Schnüren einen Bogen Papier auf das Wand-

brett, ziehe nochmals schwach an den Fäden, lege wie in Aufg. 8 mit einem Spiegel die Richtung jeder Kraft fest und schreibe an jede Wirkungsgerade die Größe der Kraft.

c) Nimm das Papier vom Wandbrett ab und zeichne die Wirkungsgeraden der drei Kräfte. Schneiden sie sich in einem Punkt? Entwirf mit dem Kräftemaßstab 1 kg  $\sim$  5 cm das Lagebild.

d) Zeichne das zugehörige Krafteck, und zwar zunächst den Kraftpfeil  $\mathfrak{F}_1$ , ziehe durch dessen Endpunkte Geraden parallel zu  $\mathfrak{F}_2$  und  $\mathfrak{F}_3$ , miß die Längen von  $\mathfrak{F}_2$  und  $\mathfrak{F}_3$  und berechne daraus die Größen der Kräfte  $F_2$  und  $F_3$ . Stimmen die so erhaltenen Werte mit den Größen der Gewichte überein?

e) Wiederhole diese Versuche mit andern Belastungen der Schnüre.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

... Scheibe Nr. ...

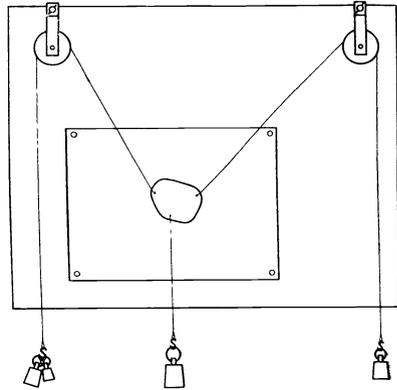


Fig. 63.

$F_1$ kg*	$F_2$ kg*			$F_3$ kg*		
	durch Zeichnung bestimmt	Gewicht	Unterschied	durch Zeichnung bestimmt	Gewicht	Unterschied

g) Schneiden sich im allgemeinen drei Kräfte, die in einer Ebene liegen und an verschiedenen Stellen eines festen Körpers angreifen, in einem Punkt? Ist das zugehörige Krafteck geschlossen? Wie lauten die Bedingungen für das Gleichgewicht?

**Bemerkungen.** Anstatt der beiden obern Gewichte oder aller Gewichte kann man Federwagen benutzen. Setzt man eine Holzscheibe auf drei Lagerkugeln, die auf dem Tisch liegen, und verwendet man Federwagen oder Kautschukschnüre, so kann man die Versuche auch ohne Wandbrett durchführen.

**21. Aufgabe.** Hänge an zwei Federwagen einen Holzstab waagrecht auf, verbinde seine Enden durch eine Schnur und belaste diese an zwei Stellen. Wie groß sind die Zugkräfte in den einzelnen Schnurteilen und in den Aufhängungen?

(5 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WELLS 42 Nr. 3.

<b>Geräte.</b>	Ein leichter fester Holzstab, $\sim 80$ cm lang, mit Ösen an den Enden oben und unten. Schraubenhaken. Angelschnur. 2 Federwagen bis 4 kg*, geteilt in 0,1 kg*.	3 Federwagen bis 5 kg*, geteilt in 0,1 kg*. Ringgewichte von 1 und 2 kg*. Spiegelstreifen. Vollständige Zeichenausrüstung (vgl. S. 60).
----------------	--	--

**Anleitung.** a) Schraube am oberen Rande des Wandbretts zwei lange Haken in dem Abstand ein, der gleich der Entfernung der Stabösen ist, hänge mit Schnurschleifen die Ringe der beiden Federwagen (bis 4 kg\*) daran und an deren Haken den Stab. Stelle aus Schnüren, drei Federwagen (bis 5 kg\*) und den beiden Gewichtstücken die Anordnung her, die in Fig. 64 abgebildet ist.

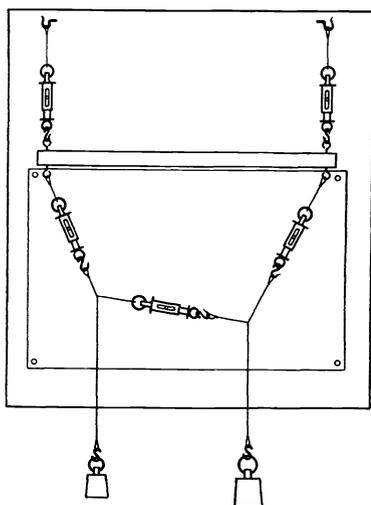


Fig. 64.

Stab, Wagen, Schnüre und Gewichte dürfen das Brett nicht berühren.

b) Hefte hinter den Schnüren einen Bogen Papier auf das Wandbrett und lege darauf mit dem Spiegel die Richtungen der Schnüre und des Stabes fest. Klopf gegen die Wagen, lies daran die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Zeichne wie in Fig. 65 a das Lagebild im Längenmaßstab 1 cm  $\sim$  1 mm und im Kräftemaßstab 1 kg\*  $\sim$  2 cm.

c) An jedem der beiden Knoten  $A_1$  und  $A_2$  greifen drei Kräfte an: das Gewicht  $F$  und die Zugkräfte  $S$  zu beiden Seiten. Da man Größe und Pfeilrichtung des Gewichts kennt, so kann man mit den zugehörigen Kräfte-

dreiecken die Zugkräfte in den Schnüren finden. Zeichne das Kräfteck für den Knoten  $A_1$  (Fig. 65 b) und für den Knoten  $A_2$  (Fig. 65 c). In Fig. 65 b stellen  $\mathcal{S}_1$  und  $\mathcal{S}_2$  die Zugkräfte in den Schnüren  $s_1$  und  $s_2$  und in Fig. 65 c die Pfeile  $\mathcal{S}_2$  und  $\mathcal{S}_3$  die Zugkräfte in den Schnüren  $s_2$  und  $s_3$  dar.

d) Miß die Längen dieser Kräftepfeile, berechne mit dem benutzten Kräftemaßstab die Zugkräfte und vergleiche sie mit den verbesserten Ablesungen der Federwagen. Ergibt sich für die Zugkraft  $S_2$ , die in beiden Knoten angreift, der gleiche Kräftepfeil? Vereine die Kräftecke für die Knoten  $A_1$  und  $A_2$  zu einer einzigen Zeichnung (Fig 65 f). Eine solche Darstellung erspart das doppelte Zeichnen des Kräftepfeils  $\mathcal{S}_2$  und ist deshalb den beiden getrennten

Bildern vorzuziehen. Da  $F_1$  und  $F_2$  bekannt sind, kann man sofort den Kraftpfeil  $\mathfrak{S}_2$  zeichnen.

Das Lagebild (Fig. 65a) nennt man ein *Seileck* und die Strecke  $s_4$  seine *Schlußseite*. Die Fig. 65f ist der *Kräfteplan*,  $O$  sein *Pol*, und die Strecken  $\mathfrak{S}_1$ ,  $\mathfrak{S}_2$  und  $\mathfrak{S}_3$  sind *Polstrahlen*. Die Strecken  $B_4B_1$  und  $B_1B_2$  bilden das *Krafteck*.

e) Auf jeden der Knoten  $A_3$  und  $A_4$  wirken die nach oben gerichtete Zugkraft der tragenden Federwage, die Zugkraft des Endseils und die Druckkraft längs dem Stabe. Die Richtungen aller Kräfte und die Größe der Zugkraft im Endseil sind bekannt. Zeichne für jeden der beiden Knoten das *Krafteck*, entnimm dabei die Zugkräfte in den Schnüren  $s_3$  und  $s_1$  den Zeichnungen Fig. 65b und c. In Fig.

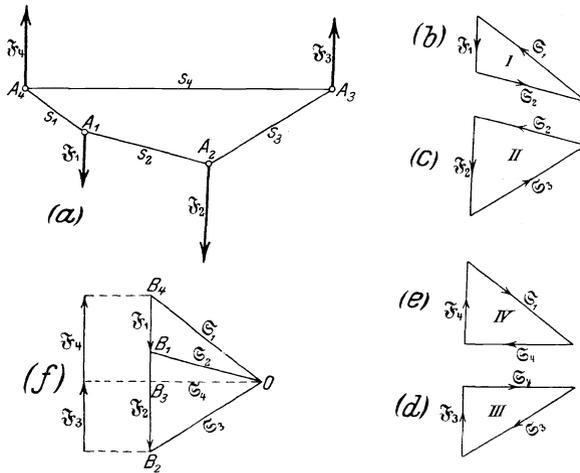


Fig. 65.

65d stellt  $\mathfrak{S}_3$  die Zugkraft in der Schnur  $s_3$  dar;  $\mathfrak{S}_4$  und  $\mathfrak{F}_3$  laufen parallel zu  $s_4$  und  $F_3$ . Ähnlich ist Fig. 65e beschaffen. Hat  $\mathfrak{S}_4$  in beiden Dreiecken dieselbe Größe?  $\mathfrak{F}_3$  und  $\mathfrak{F}_4$  stellen die nach oben gerichteten Zugkräfte der Federwagen dar. Miß diese Kraftpfeile, berechne daraus die Größen dieser Kräfte und vergleiche sie mit den verbesserten Ablesungen an beiden Wagen. Vergleiche die Summe von  $F_1$  und  $F_2$  mit der Summe von  $F_3$  und  $F_4$ .

f) Ziehe durch den Pol  $O$  (Fig. 65f) eine Gerade parallel zu  $s_4$ . Vergleiche die Dreiecke Fig. 65d und  $OB_2B_3$ , ferner Fig. 65e und  $OB_3B_4$  miteinander. War es überflüssig, die Dreiecke Fig. 65d und e zu zeichnen? Welche Linie im Kräfteplan zu ziehen ist ausreichend?  $B_2B_3$  stellt die Zugkraft der einen Wage am Knoten  $A_3$  und  $B_3B_4$  die Zugkraft der andern Wage am Knoten  $A_4$  dar, d. h. zieht man durch den Pol des Kräfteplans die Parallele zur Schlußlinie des Seilecks, so zerlegt diese Gerade das *Krafteck*  $B_2B_4$  in

zwei Teile, die die Zugkräfte darstellen, die an den Stabenden nach oben wirken.

g) Mit dem Kräfteplan kann man also bestimmen: 1. die Größe der Zugkräfte in allen Seilen, wenn man die Größen der Gewichte und die Richtungen der beiden Endseile kennt, 2. die Richtungen aller Seile, wenn die Richtungen von zweien gegeben sind, und 3. die Größen der Zugkräfte, die in den Aufhängestellen lotrecht nach oben wirken.

h) Die vier äußern Kräfte  $\mathfrak{F}_1$ ,  $\mathfrak{F}_2$ ,  $\mathfrak{F}_3$  und  $\mathfrak{F}_4$  halten sich das Gleichgewicht und bilden daher ein geschlossenes Krafteck. Da die Kräfte parallel gerichtet sind, liegt das Krafteck auf einer Geraden. In Fig. 65 f besteht es aus den vier Pfeilen  $B_4B_1$ ,  $B_1B_2$ ,  $B_2B_3$  und  $B_3B_4$ . Die Gewichte  $F_1$  und  $F_2$  kg\* dürfen an jedem Punkt ihrer Wirkungslinie angreifen, also auch ohne weiters am Stabe hängen.

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Stab Nr. . . . Länge des Stabes = . . . cm.  
 In  $s_1$  Federwage Nr. . . . In  $s_2$  Federwage Nr. . . .  
 In  $s_3$  Federwage Nr. . . .  
 Bei  $A_3$  Federwage Nr. . . . Bei  $A_4$  Federwage Nr. . . .  
 $F_1 = \dots$  [kg\*].  $F_2 = \dots$  [kg\*].  
 Kräfemaßstab . . . Längenmaßstab . . .

Zugkräfte	An der Federwage		In der Zeichnung	
	Zeiger- ablesung in kg*	Verbesserte Ablesung in kg*	Länge des Kraft- pfeils in cm	Berechnete Kraft- größe in kg*
$S_1$				
$S_2$				
$S_3$				
$F_3$				
$F_4$				

**Bemerkungen.** Bei dem Versuch werden die Gewichte des Stabes und der Federwagen nicht berücksichtigt; man muß mithin große Gewichte an die Seilknoten hängen.

Anstatt der beiden obern Federwagen kann man Rollen, Schnüre und Gewichte anwenden. Die auftretenden Kräfte lassen sich auch mit Kautschukfäden messen, wenn man nur kleine Gewichte an die Seilknoten hängt und einen leichten Stab verwendet.

Zwar führen fünf Schüler den Versuch gemeinsam aus, doch soll jeder einzelne die Ablesungen machen und die Zeichnungen anfertigen.

Vgl. FÖPPL, *Techn. Mech.*<sup>1</sup> 2, 66.

**22. Aufgabe.** Wie groß sind die Auflagedrucke eines wagerechten Stabes, der zwischen den Auflagern mit Gewichten belastet ist?

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Geräte.** Holzstab (150 cm  $\times$  5 cm  $\times$  2,5 cm) mit großen Ösen an den Enden der Oberseite und in den Stirnflächen. | Zwingen mit starken Haken. Universalrolle. 2 Haken.

<p><b>Geräte.</b> 2 Federwagen mit Kreis- teilung bis 20 kg*, geteilt in 0,05 kg*. Starker Bindfaden. Wasserwaage.</p>	<p>Ringgewichte von 5, 10 und 10 kg*. Vollständige Zeichenaus- rüstung.</p>
--	---

**Anleitung.** a) Befestige die Universalrolle am Tischrand, lege eine Schnur darüber, binde das eine Ende an einen festen Gegenstand, etwa an ein recht schweres Gewichtstück (20 kg\*), und das andere Ende so an den Ring der einen Federwaage, daß ein  $\sim 15$  cm langes Schnurstück zwischen Rolle und Ring liegt. Befestige die Hakenzwinde am Tischrand und hänge den Ring der andern Federwaage mit einer Schnur so daran auf, daß die Ringe beider Wagen in gleicher Höhe liegen und die Schnüre ebenso weit wie die Ösen des Stabes voneinander abstehen. Bestimme mit den Federwagen die

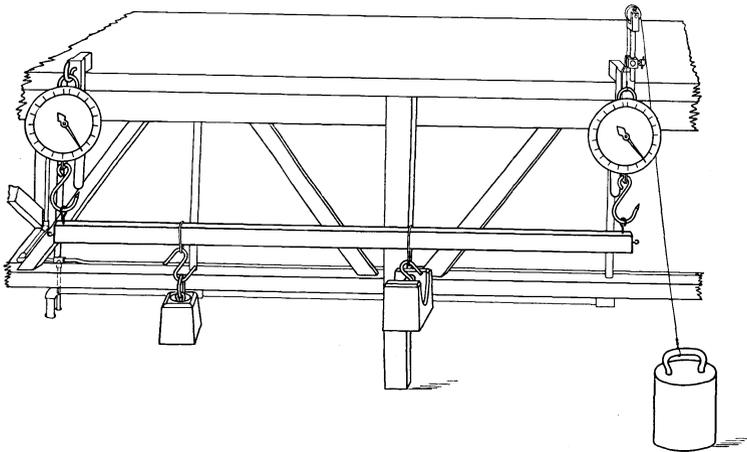


Fig. 66.

Gewichte jedes einzelnen Gewichtstücks und nimm aus den zusammengehörigen Ergebnissen die Mittel ( $F_1$  und  $F_2$  kg\*). Hänge die Ösen des Stabes an die Haken der Wagen. Hebe oder senke die Ösen der Schnur, die über die Rolle führt, das eine Ende des Stabes, bis er genau wagerecht steht, und befestige die Rollenschnur sicher.

b) Binde Schleifen um den Stab und befestige daran mit Haken Ringgewichte von 5 und 10 kg\*. Hebe oder senke die eine Waage so, daß der Stab wagerecht steht (Fig. 66). Klopfe gegen die Federwagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Vergleiche die Gesamtbelastung mit der Summe der Zugkräfte an den Wagen. Miß die Abstände der Angriffstellen der Lasten von den Ösen, in denen die Wagenhaken sitzen, und die Entfernung dieser Ösen.

e) Zeichne mit dem Längenmaßstab 1:10 und dem Kräftemaßstab 1 cm  $\sim$  1 kg\* das Lagebild (Fig. 67a) und trage die Wirkungslinien der Zugkräfte an den Enden des Stabes und der angehängten Gewichte ein.  $A_1$  und  $A_2$  sind die Angriffstellen der Lasten  $F_1$  und  $F_2$  kg\* und  $A_3$  und  $A_4$  die Angriffstellen der Auflagedrucke  $F_3$  und  $F_4$  kg\*, die hier durch die Zugkräfte der Federwagen ersetzt werden.

d) Zeichne das Kräfteck der Lasten  $F_1$  und  $F_2$  kg\* (*Lastlinie*). In Fig. 67 b stellt  $B_4B_1$  den Kraftpfeil  $\mathfrak{F}_1$  und  $B_1B_2$  den Kraftpfeil  $\mathfrak{F}_2$  dar. Wähle einen beliebigen Pol  $O$  und ziehe die Polstrahlen  $\mathfrak{S}_1, \mathfrak{S}_2$

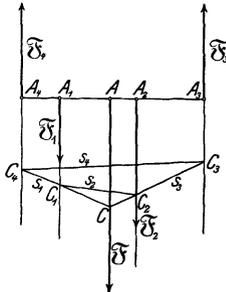


Fig. 67 a.

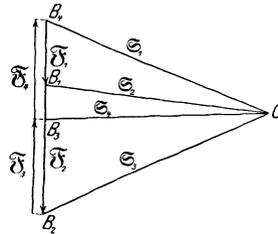


Fig. 67 b.

und  $\mathfrak{S}_3$ . Nimm auf der Wirkungslinie von  $F_4$  einen beliebigen Punkt  $C_4$  an und zeichne in das Lagebild das Seileck so ein, daß  $s_1, s_2$  und  $s_3$  zu  $\mathfrak{S}_1, \mathfrak{S}_2$  und  $\mathfrak{S}_3$  parallel laufen.

e) Zeichne die Schlußseite  $s_4$  des Seilecks und ziehe durch  $O$  den Strahl  $\mathfrak{S}_4$  parallel dazu. Es stellt dann  $B_2B_3$  den aufwärts wirkenden Auflagedruck  $\mathfrak{F}_3$  und  $B_3B_4$  den Auflagedruck  $\mathfrak{F}_4$  dar. Vergleiche die Werte, die auf diese Weise durch Zeichnung ermittelt worden sind, mit den Ablesungen an den Federwagen.

f) Wiederhole die Bestimmung durch Zeichnung für verschiedene Lagen des Pols  $O$ .

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Linke Federwage Nr. . . .      Rechte Federwage Nr. . . .  
 Holzstab Nr. . . .       $F_1 = \dots$  [kg\*].       $F_2 = \dots$  [kg\*].  
 $A_4A_1 = \dots$  cm.       $A_4A_2 = \dots$  cm.       $A_4A_3 = \dots$  cm.  
 Kräftemaßstab . . .      Längenmaßstab . . .

Auflage- druck	An der Federwage		In der Zeichnung	
	Zeiger- ablesung	Verbesserte Ablesung	Länge des Kraft- pfeils in cm	Größe der Kraft in kg*
$F_3$				
$F_4$				

**h)** Welche Kräfte greifen im Knoten  $C_1$  an? Jede dieser Kräfte ist gleich der Gesamtkraft der beiden andern. Die Zugkraft im Seil  $s_1$ , die in der Richtung von  $C_1$  nach  $C$  wirkt, ist die Mittelkraft der Zugkraft im Seil  $s_2$  ( $\mathfrak{S}_2$  im Kräfteplan) und der Last  $\mathfrak{F}_1$  ( $B_4B_1$  im Kräfteplan). Diese Mittelkraft wird im Kräfteplan durch den Strahl  $\mathfrak{S}_1$  dargestellt. Ebenso würde die Kraft, die im Kräfteplan durch  $\mathfrak{S}_3$  bestimmt ist, wenn sie am Knoten  $C_2$  von  $C_2$  nach  $C$  wirkte, die Gesamtkraft der Zugkraft im Seil  $s_2$  und der Last  $\mathfrak{F}_2$  sein. Diese beiden Mittelkräfte schneiden sich im Punkt  $C$ . Man kann sie durch eine einzige Kraft ersetzen, deren Wirkungslinie durch  $C$  geht. Im Kräfteplan stellt  $\mathfrak{S}_1$  die eine und  $\mathfrak{S}_3$  die andere Mittelkraft dar, daher bildet  $B_4B_2$  eine Kraft ab, die gleich der Gesamtkraft dieser beiden wäre, wenn sie in der Richtung von  $B_4$  nach  $B_2$  wirkte. Die Lastlinie  $B_4B_2$  stellt aber  $\mathfrak{F}_1 + \mathfrak{F}_2$  dar. Mithin ist  $C$  ein Punkt auf der Wirkungslinie von  $\mathfrak{F}$ , der Gesamtkraft von  $\mathfrak{F}_1$  und  $\mathfrak{F}_2$ . Diese Wirkungslinie ist parallel zu  $B_4B_2$  und daher lotrecht. Mithin ist Größe und Richtung der Gesamtbelastung bestimmt. Ein Seileck und der zugehörige Kräfteplan gestatten also, die Lage der Gesamtkraft verschiedener Teilkräfte zu bestimmen, wenn deren Größen und Wirkungslinien bekannt sind.

**i)** Wiederhole die Versuche und Zeichnungen für verschiedene Angriffstellen der Lasten.

**Bemerkungen.** Der kräftige Haken ist in eine Holzzwinge eingeschraubt, die man an den Tischrand klemmt. Man prüfe, ob die Eichung der Federwagen nur richtig ist, wenn die zugehörigen Schalen daran hängen.

Da man bei diesem Versuch das Gewicht des Stabes nicht berücksichtigt, muß man große Belastungen wählen.

Benutzt man einen Holzstab von 60 bis 80 cm Länge und 4 cm  $\times$  2 cm Querschnitt, so genügen zwei Federwagen bis 5 kg\*, geteilt in 0,1 kg\* und entsprechend schwächere Belastungen.

Bei der Aufgabe wurde angenommen, daß die Auflagerung des Stabes so erfolgt, daß bei senkrecht wirkenden Lasten auch nur senkrechte Auflagekräfte übertragen werden.

Vgl. FÖPPL, *Techn. Mech.*<sup>1</sup> 2, 71.

Die Aufgaben 22 und 23 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen lassen.

**23. Aufgabe.** *Wie bestimmt man Größe und Pfeilrichtung der Gesamtkraft von parallelen Kräften?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WELLS 49 Nr. 6.

<b>Geräte.</b>	Hebel (vgl. S. 93). Ringgewichte von 2 und 5 kg*. Meterstab. Starker Bindfaden.	Becherglas mit Wasser. Unterlegklötze. Vollständige Zeichenaus- rüstung (vgl. S. 60). Schmieröl.
----------------	---	--

**Anleitung.** **a)** Wäge den Hebel und nimm an, daß in seinem Mittelpunkt das Gewicht angreift. Setze den Hebel in sein Lager und öle dieses.

b) Hänge in 28 cm Abstand von der Drehachse das Gewichtstück 5 kg\* mit einer engen Bindfadenschleife an den rechten Hebelarm. Binde ebenso an den andern Hebelarm das Gewicht 2 kg\* und schieb es auf die Achse

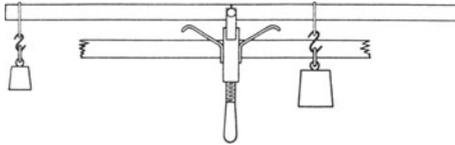


Fig. 68.

zu oder davon weg, bis der Hebel annähernd wagrecht steht. Halte das Auge so, daß die obern Kanten des Hebels in eine Gerade zusammenfallen und prüfe, ob sie zu dem

Wasserspiegel in einem Becherglas parallel liegen, das hinter dem Hebel aufgestellt ist. Verschiebe, wenn dies nicht der Fall ist, die Schleife des linken Gewichts so lange, bis sich der Hebel genau wagrecht einstellt, nachdem man schwach auf seinen rechten Arm geklopft hat (Fig. 68).

e) Miß die Länge des Hebels und die Abstände der Angriffstellen der Gewichte von der Drehachse.

d) Entwirf mit dem Längenmaßstab 1 : 10 und dem Kräftemaßstab 1 cm ~ 1 kg\* das Lagebild und trage die Wirkungslinien der Gewichte ein (Fig. 69a). Zeichne ferner wie in Aufg. 22 (d) das zu-

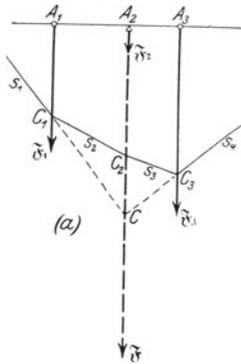


Fig. 69 a.

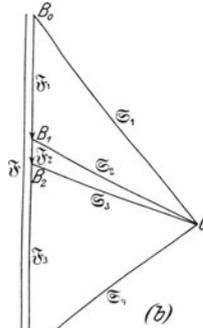


Fig. 69 b.

gehörige Krafteck und ziehe für einen beliebigen Pol  $O$  die Polstrahlen (Fig. 69b).

e) Zeichne in das Lagebild das Seileck ein. Verlängere die Seile  $s_1$  und  $s_4$  bis zum Schnittpunkt  $C$ , durch den die lotrechte Wirkungslinie der Gesamtkraft  $\bar{s}$  geht. In welchem Punkt schneidet diese Gerade das Hebelbild?

f) Miß die Abstände der Gesamtkraft von den Wirkungslinien der Gewichte und vergleiche sie mit den Abständen, die bei Versuch (c) gemessen worden sind.

g) Welche Strecke des Kraftecks liefert die Größe  $\bar{s}$  der Ge-

samtkraft? Berechne mit dem Kräftemaßstab daraus  $\mathfrak{F}$  in kg\* und vergleiche das Ergebnis mit dem Gewicht des Hebels und den angehängten Gewichten. Welche Regel läßt sich aufstellen?

h) Wiederhole die Zeichnungen und Messungen (d) bis (g) für einen andern Pol.

i) Wiederhole die Versuche und Zeichnungen mit andern Gewichten und andern Angriffstellen der Gewichte.

k) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Hebel Nr. . . . Gewicht des Hebels  $F_2 = \dots$  [kg\*].  
Länge des Hebels . . . cm.

Linker Arm		Rechter Arm		Gesamtkraft $F$		
Angehängtes Gewicht $F_1$ kg*	Abstand der Angriffstelle von der Drehachse in cm	Angehängtes Gewicht $F_2$ kg*	Abstand der Angriffstelle von der Drehachse in cm	Größe des Pfeils im Kräfteplan in cm	Berechnete Größe in kg*	Abstand der Angriffstelle von der Drehachse in cm

**Bemerkungen.** Der Hebel ist ein Stab aus hartem Holz (150 cm lang, 4 cm hoch und 2 cm breit). In die Mitte des Stabes ist ein Stahlstab von quadratischem Querschnitt (1,3 cm  $\times$  1,3 cm) eingesetzt, dessen Stirnflächen schwach trichterförmig ausgebohrt sind. Der Stabquerschnitt, worin die Achse liegt, ist auf den Seiten durch Striche bezeichnet. Auf einer Holzwinde ist der Lagerbock befestigt (Fig. 70). Durch seine lotrechten Schenkel führen zwei Schrauben, die durch Gegenmuttern gesichert sind. Die gehärteten kegelförmigen Spitzen der Stellschrauben greifen in die Grübchen der Achse ein. An den Seiten der Zwinde sind zwei gebogene schmale Eisenstäbe angeschraubt, die der Hebelstange nur mäßigen Spielraum gewähren. WELLS (52 Nr. 1) setzt das Lager auf einen Holzträger, den er an einem Wandbrett festschraubt. Man kann auch eine Holzleiste von 60 bis 80 cm Länge und 4 cm  $\times$  2 cm Querschnitt verwenden. Durch ihre Mitte ist ein Loch gebohrt. Durch dieses zieht man einen Faden, bindet den Stab mit einer Schleife an den Haken einer Federwage und befestigt diese an einem Gestell oder am Wandbrett. Man liest die Federwage ab, belastet den Stab so stark, daß er nicht wahrnehmbar verbogen wird und die Gesamtkraft in die obere Hälfte des Meßbereichs der Federwage fällt, und ordnet die

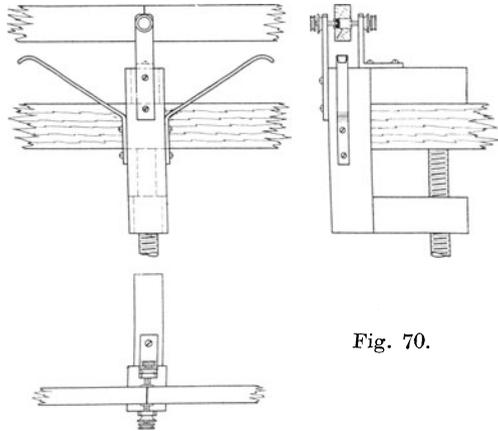


Fig. 70.

Gewichte so an, daß sich der Stab genau wagerecht stellt. Mit einem Hebel, dessen Achse festliegt, arbeitet es sich jedoch viel bequemer.

Die Aufgaben 22 und 23 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen lassen.

**24. Aufgabe.** *Eine Kraft greift einen Körper, der um eine feste Achse drehbar ist, in einer Ebene an, die auf der Achse senkrecht steht. Wovon hängt die Wirkung der Kraft ab?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Hebel (vgl. S. 93). Ringgewichte von 1 bis 2 kg*. Meterstab. Bindfaden. Becherglas.	Holzklötze. Papier. Millimeterpapier. Vollständige Zeichenausrüstung (vgl. S. 60). Schmieröl.
----------------	---	---

**Anleitung.** **a)** Setze wie in Aufgabe 23 (a) den Stab in sein Lager ein, schmiere dieses und prüfe, ob der Hebel genau wagerecht steht. Belaste ihn, wenn nötig, mit einem kleinen Gewicht oder Reiter aus Draht oder Bleiblatt.

**b)** Befestige mit einer engen Schleife am linken Arm in  $\sim 30$  cm Abstand von der Achse ein 2 kg\*-Stück. Was geschieht?

**c)** Hänge mit einer engen Schleife an den andern Arm ein 1 kg\*-Stück und verschiebe es auf die Achse zu oder davon weg, bis der Stab wieder genau wagerecht steht. Miß den Abstand der Schleife von der Achse. Vergleiche die beiden Gewichte und ihre Entfernungen von der Achse miteinander.

**d)** Ersetze das 1 kg\*-Stück durch ein 2 kg\*-Stück. Wie dreht sich der Hebel? In welchem Abstand von der Achse stellt die neue Belastung das Gleichgewicht her?

**e)** Ersetze am rechten Arm das 2 kg\*-Stück durch das Gewicht 4 kg\*. Was geschieht? In welchem Abstand von der Achse bewirkt die neue Belastung das Gleichgewicht?

**f)** Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Hebel Nr. . . .

Linker Arm			Rechter Arm			Algebraische Summe der Drehantriebe $P_1 + P_2$	$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{l_2}{l_1}$	$\frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{l_2}{l_1}$
Kraft $F_1$ kg*	Kraftarm $l_1$ cm	Drehantrieb $P_1$ Sinn $F_1 l_1$ kg*cm	Kraft $F_2$ kg*	Kraftarm $l_2$ cm	Drehantrieb $P_2$ Sinn $F_2 l_2$ kg*cm				
Summe									
Mittel									

**g)** Vergleiche die Verhältnisse  $F_1/F_2$  und  $l_2/l_1$  miteinander. Wovon hängt die Drehwirkung einer Kraft ab? *Drehachse. Kraftarm. Drehantrieb (Drehmaß, Drehmoment). Einheit des Drehantriebs. Drehsinn. Positiver und negativer Drehantrieb.*

h) Stelle die Ergebnisse bildlich dar und setze dabei

$$x = l_2 \text{ und } y = P_2.$$

i) Auf einen Körper, der sich um eine feste Achse drehen kann, wirken zwei Kräfte in einer Ebene, die auf der Achse senkrecht steht. Unter welchen Bedingungen ist er im Gleichgewicht? Welche Winkel bilden bei diesen Versuchen die Wirkungslinien der Kräfte mit den Kraftarmen?

**Bemerkungen.** Man kann auch einen Stab, der an einem Ende  $O$  (Fig. 71) durchbohrt ist, mit einem runden Vorstecher oder einem Nagelbohrer am Wandbrett drehbar befestigen. Man legt in einem unveränderlichen Abstand  $O A_1$  von der Achse um den Stab eine Bindfadenschleife, verbindet diese mit dem Haken einer Federwage und befestigt deren Ring am Wandbrett. Mit einer Schleife hängt man an den Stab ein Gewicht oder eine Wagschale mit Gewichten. Man ordnet die Federwage und das Gewicht so an, daß die Wage lotrecht nach oben zieht und sich der Stab genau wagerecht stellt. Bei geringer Belastung ist das Stabgewicht zu berücksichtigen. Das wird vermieden, wenn man mit DUNCAN (42) die lotrechte Stellung des Stabes als Gleichgewichtslage verwendet und in wagerechter Richtung entweder mit Federwagen oder besser mit

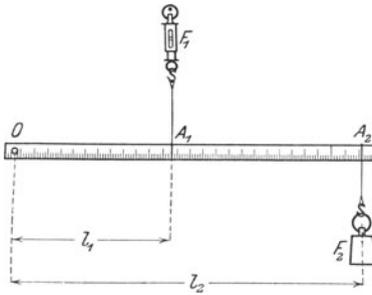


Fig. 71.

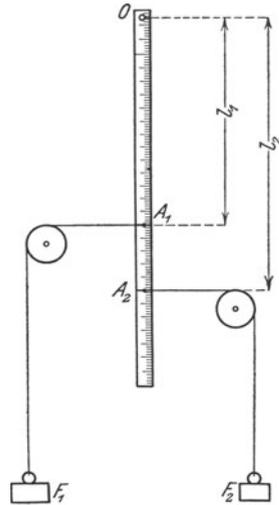


Fig. 72.

Rollen, Schnüren und Gewichten wagerechte Kräfte auf den Stab einwirken läßt (Fig. 72). Hier bereitet die Verschiebung der Rollen und der Angriffstellen der Schnüre (Hülsen) einige Unbequemlichkeiten. In beiden Fällen wird man durch Einschlagen von Stiften die Bewegungsfreiheit des Stabes in enge Grenzen einschließen, damit man die scharfe Einstellung bequem ausführen kann. Außerdem muß man sorgfältig darauf achten, daß die Zugrichtungen und die Längsachse des Stabes in einer Ebene liegen.

**25. Aufgabe.** Auf einen Körper, der sich um eine Achse drehen kann, wirken in einer Ebene, die senkrecht zur Achse steht, mehrere Kräfte. Unter welchen Bedingungen halten sie sich das Gleichgewicht?

## 1. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WATSON, *Elem. Pract. Phys.* 75 Nr. 59.

<b>Geräte.</b> 2 Federwagen bis 4 kg*. 2 Zapfenklemmen für die Wagen. Meterstab. Glasperle oder kleiner Metallring oder Zapfenklemme für den Maßstab.	Spiegelstreifen. Angelschnur. Runder Vorstecher oder Nagel. Vollständige Zeichenausrüstung (vgl. S. 60).
--	---

**Anleitung.** a) Hefte auf das Reißbrett einen Zeichenbogen, ziehe in  $\sim 2,5$  cm Abstand von der hintern Kante eine Gerade, trage vom Punkt  $O$  (Fig. 73), der etwa in der Mitte des Strichs liegt, nach beiden Seiten 30 cm ab und errichte in den so erhaltenen Punkten  $A_1$  und  $A_2$  Senkrechte auf  $A_1A_2$ . Bohre auf der Längsachse eines Meterstabes bei den Teilstrichen 20, 50 und 80 cm Löcher, binde an den beiden äußern Durchbohrungen die Enden von Schnüren fest, schiebe durch das mittlere Loch einen runden Vorstecher als Achse und streife dann über dessen Spitze noch eine Perle oder einen Me-

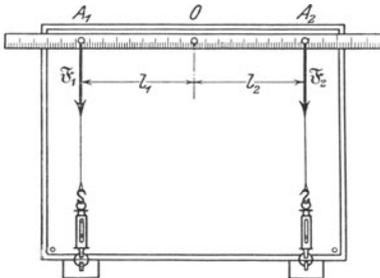


Fig. 73.

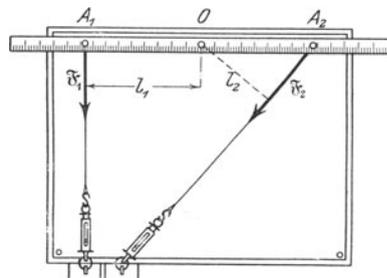


Fig. 74.

tallring. Befestige diese Achse genau im Punkt  $O$  senkrecht zum Reißbrett und an den Enden der Schnüre die Haken der Federwagen, halte den Maßstab genau in der Richtung  $A_1A_2$  fest und zieh an den Ringen der Wagen, bis die Zeiger in der oberen Hälfte der Teilungen stehen und die Schnüre und Schlitzlöcher der Wagen genau über den Loten auf  $A_1A_2$  liegen. Befestige die Ringe wie in Aufgabe 8, S. 60. Welche Kräfte wirken auf den Meterstab? In welchem Sinn sucht ihn jede Kraft zu drehen? Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Berechne die Drehmomente  $P_1 = F_1 l_1$  und  $P_2 = F_2 l_2$  der beiden Kräfte in bezug auf die Achse  $O$  und vergleiche sie nach Sinn und Größe.

b) Halte den Maßstab fest, mache den Ring der rechten Federwagen frei und befestige ihn so in einer andern Lage (Fig. 74), daß die Längsachse des Stabes wieder über  $A_1A_2$  steht und die Schnur

genau in der Richtung des Schlitzes liegt und mit dem Stab einen spitzen Winkel bildet. Nimm mit dem Spiegelstreifen die Schnurrichtung in einem Punkt auf, der möglichst weit von  $A_2$  entfernt ist. Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab, verbessere die Ablesungen und schreibe die Ergebnisse  $F_1$  und  $F_2$  kg\* neben die Richtungsmarken.

c) Wiederhole den Versuch (b) noch zweimal, ändere dabei die Wirkungslinie und die Angriffstelle der Kraft  $F_2$ .

d) Fülle von der Drehachse  $O$  das Lot auf die Wirkungslinie von  $F_2$ . Miß seine Länge  $l_2$ , berechne die Drehantriebe  $P_1 = F_1 l_1$  und  $P_2 = F_2 l_2$  von  $F_1$  und  $F_2$  in Bezug auf  $O$  und vergleiche sie nach Sinn und Größe.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Meterstab Nr. . . . Links Federwage Nr. . . . Rechts Federwage Nr. . . .

Links				Rechts				Algebraische Summe der Drehantriebe $(P_1 + P_2)$ kg* cm
Zeigerablesung	Verbesserte Ablesung $F_1$ kg*	Kraftarm $l_1$ cm	Drehantrieb $P_1$		Zeigerablesung	Verbesserte Ablesung $F_2$ kg*	Drehantrieb $P_2$	
			Sinn	$F_1 l_1$ kg* cm			Sinn	$F_2 l_2$ kg* cm
Summe								. . . . .

f) Welche Regel läßt sich für das Gleichgewicht der Kräfte am Stab aufstellen?

**2. Verfahren.**

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** AMES-BLISS 118 Nr. 19.

**Geräte.** Meterstab.  
 Angelschnur.  
 Papier.  
 2 Federwagen bis 4 kg\*.  
 Nagel.

Runder Vorstecher oder  
 Nagelbohrer.  
 Spiegelstreifen.  
 Vollständige Zeichenausrüstung (vgl. S. 60).

**Anleitung.** g) Bohre auf der Längsachse eines Meterstabes in der Mitte und nahe den Enden Löcher durch den Stab. Ziehe durch die Endlöcher  $A_1$  und  $A_2$  Schnüre und binde Schleifen. Stecke durch das Loch  $O$  in der Mitte einen Vorstecher und treibe ihn in das Wandbrett (Fig. 75). Binde an die Schleifen  $A_1$  und  $A_2$  Schnüre und an deren Enden die Ringe zweier Federwagen. Knüpfe an die Haken der Wagen Schnüre, verbinde sie mit einem kleinen Ring und befestige diesen mit einem Nagel  $N$  so am Wandbrett, daß der Stab und die Schnüre geeignete Stellungen haben, die Schlitzte der Wagen

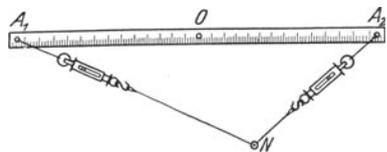


Fig. 75.

so genau wie möglich in den Richtungen  $A_1N$  und  $A_2N$  liegen und die Wagen über die Hälfte ihres Meßbereichs hinaus beansprucht werden.

h) Lege mit dem Spiegelstreifen die Schnurrichtungen fest an Stellen, die möglichst weit von  $N$  entfernt sind. Klopfe gegen die Federwagen, lies die Zeigerstellungen ab, verbessere die Ablesungen und schreibe die Ergebnisse  $F_1$  und  $F_2$  kg\* an die Schnurmarken.

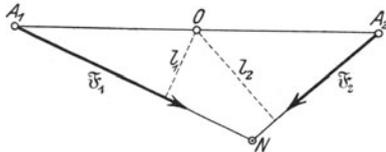


Fig. 76.

i) Wickle das Ende der Schnur  $A_2N$  mehrmals um den Nagel, ändere so die Kräfte und Kraftarme und miß wiederum die Kräfte und ihre Richtungen. Wiederhole den Versuch etwa dreimal.

k) Nimm den Papierbogen ab und zieh die Wirkungslinien von  $F_1$  und  $F_2$  (Fig. 76). Fülle von  $O$  auf die Wirkungslinien Lote und miß ihre Längen  $l_1$  und  $l_2$  cm. Bestimme Sinn und Größe jedes Drehantriebs in bezug auf die Achse  $O$ .

l) Schreibe die Ergebnisse wie in (e) auf. Welche Regel läßt sich für das Gleichgewicht der Kräfte am Stab aufstellen?

### 3. Verfahren.

(4 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. WELLS 54 Nr. 2.

<p><b>Geräte.</b> Eine unregelmäßig gestaltete Scheibe aus Pappe oder Holz (<math>\sim 25 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}</math>). Weiche Seidenschnüre von <math>\sim 1,5 \text{ mm}</math> Durchmesser. 4 Rollen (vgl. S. 53). 4 Ringgewichte von <math>1 \text{ kg}^*</math>.</p>	<p>Satz von Scheibengewichten. Runder Vorstecher oder Nagelbohrer. Spiegelstreifen. Vollständige Zeichenausrüstung (vgl. S. 60).</p>
--	--

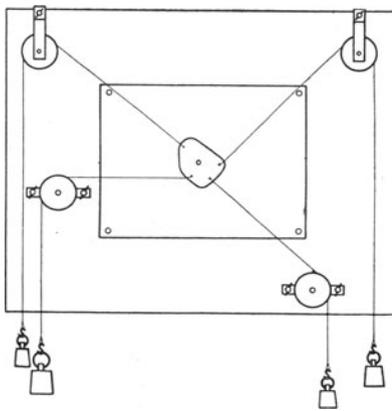


Fig. 77.

**Anleitung. m)** Hefte auf das Wandbrett einen Bogen Zeichenpapier. Stecke durch die Mitte der Scheibe einen dünnen Vorstecher oder eine Zwecke mit kräftigem langen Stift oder eine Tuchnadel. Drehe die Scheibe um den Stift und mache dadurch das Loch so groß, daß sich die Scheibe ganz frei drehen kann. Befestige die Achse senkrecht auf dem Wandbrett. Bringe an diesem Brett vier Rollen so an, daß ihre Rinnen in einer Ebene liegen. Binde Schnüre an die durchlocherten Randstellen der Scheibe, führe sie über Rollen

und belaste ihre freien Enden mit geeigneten Gewichten, sagen wir 1, 1,5, 2 und 2 kg\*, so daß die Gleichgewichtslage etwa wie in Fig. 77 aussieht.

n) Lege mit einem Spiegelstreifen an je zwei möglichst weit voneinander entfernten Stellen die Richtungen der vier Schnüre fest und schreibe deren Belastungen an die Marken.

o) Nimm das Papier ab und ziehe die Wirkungslinien der Kräfte, die an der Scheibe angreifen. Fülle von dem kleinen Loch, das die Lage der Achse angibt, Lote auf die Wirkungslinien.

p) Miß die Längen dieser Lote und berechne für jede Kraft den Drehantrieb in bezug auf die Achse und zähle die gleichsinnigen Antriebe zusammen. Vergleiche die Summe der positiven mit der Summe der negativen Antriebe.

q) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Scheibe Nr. . . .

Kraft $F$ kg*	Kraftarm $l$ cm	Drehantrieb $P$		Summe der positiven Antriebe	Summe der negativen Antriebe	Algebraische Summe der Drehantriebe
		Sinn	$Fl$			

r) Welche Regel läßt sich für das Gleichgewicht der Kräfte aufstellen?

s) Ändere die Belastung und wiederhole die Versuche (m) bis (r).

**Bemerkungen.** Bei dem ersten Verfahren befestigt man am besten die Mitte  $O$  des Maßstabes an dem Zapfen einer Klemme (Fig. 77 a), die man an dem hintern Rande des Reißbretts festschraubt, und die Ringe der Federwagen an den Zapfen von Klemmen (Fig. 77 b), die man an dem vordern Rande des Reißbretts anbringt. Man kann auch Zapfen vom „Tisch-Krocket“ verwenden. Es ist ratsam, die Schnüre doppelt zu nehmen, damit man ihre Längen bequem ändern kann, und hinter dem Maßstab zu beiden Seiten der Drehachse Nägel einzuschlagen, die beim Reißen der Schnüre ein Ausschlagen des Stabes verhindern. Anstatt der Federwagen kann man Kautschukschnüre verwenden, durch die man an zwei Stellen Nähnadeln gesteckt oder um die man Schleifen mit weißem Garn gebunden hat.

Benutzt man beim zweiten Verfahren kein Wandbrett, so mißt man die Kraftarme mit Dreieck und Maßstab. Dann kann man als Achse auch eine Schneide verwenden und diese auf ein geeignetes Lager setzen. Anstatt Löcher in den Stab zu bohren, kann man Ösen einschrauben und die Mittelöse durch einen Faden mit einem festen Haken verbinden. An Stelle eines Nagels läßt sich auch ein

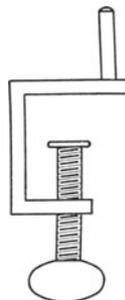


Fig. 77 a.

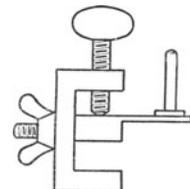


Fig. 77 b.

schweres Gewichtstück verwenden, das man auf dem Boden oder Tisch verschiebt, um Größe und Richtung der Kräfte zu ändern. Man kann auch in der Schnur  $A_1N$  die Federwaage weglassen und an  $A_1$  ein Gewicht mit einem Faden aufhängen, ferner bei Verwendung kleiner Gewichte die Federwaage und die Schnur  $A_2N$  durch einen Kautschukfaden ersetzen. Auch läßt sich der Zug in der Schnur  $A_2N$  mit Rolle und Gewicht herstellen.

Benutzt man das eine Ende des Stabes als Drehpunkt (Fig. 78), so muß man große Kräfte anwenden, wenn man das Gewicht des Stabes vernachlässigen will. Es empfiehlt sich, das obere Ende des Stabes und nicht wie

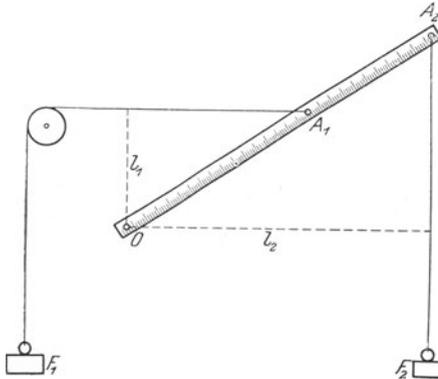


Fig. 78.

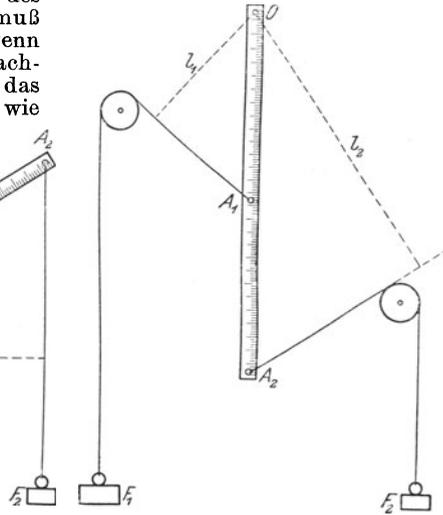


Fig. 79.

in Fig. 78 das untere Ende als Drehpunkt zu verwenden. Bei der Anordnung, die in Fig. 79 abgebildet ist, braucht man das Gewicht des Stabes nicht zu berücksichtigen, doch ist auch hier die Verwendung großer Gewichte ratsam. Die in Fig. 78 und 79 angedeuteten Verfahren liefern keine guten Ergebnisse.

Beim dritten Verfahren wird das Gewicht der Scheibe nicht berücksichtigt; man wähle also eine leichte Scheibe und schwere Gewichte.

Besondere Vorrichtungen für Versuche über den Drehantrieb findet man bei DUFF 125 Nr. 20. HORTVET 82. MILLIKAN 29. NICHOLS 1, 42. NOACK, Leitfaden 34 Nr. 25, 26, u. 38 Nr. 34, Aufgaben 18 Nr. 19.

Man lasse die verschiedenen Verfahren gleichzeitig von verschiedenen Gruppen anwenden.

**26. Aufgabe.** *Unter welchen Bedingungen halten sich parallele Kräfte, die in einer Ebene auf einen Körper wirken, das Gleichgewicht?*

### 1. Verfahren.

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** AMES-BLISS 129 Nr. 21 und WELLS 57 Nr. 3.

**Geräte.** Wie in Aufgabe 22, dazu Millimeterpapier.

**Anleitung.** a) Verfahre wie bei Aufg. 22 (a) S. 89. Klopfte gegen die Federwagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ab-

lesungen. Die gemessenen Zugkräfte  $F_3'$  und  $F_4'$  halten dem Stabgewichte das Gleichgewicht.

b) Binde mit einer Schleife, die so groß ist, daß man sie bequem verschieben kann, das 5 kg\*-Stück an den Stab in  $\sim 30$  cm Abstand von dem einen Ende und befestige ebenso das 10 kg\*-Stück in  $\sim 50$  cm Abstand von dem andern Ende. Wenn nötig, verschiebe die Schleife und die Hakenzwinde und ändere die Länge der Rollenschnur, bis alle Schnüre lotrecht sind und der Stab genau wagerecht steht.

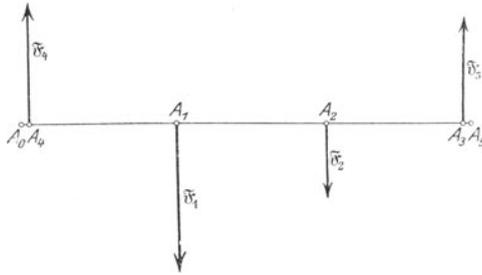


Fig. 80.

c) Klopfte gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Sind die Ergebnisse  $F_3''$  und  $F_4''$  kg\*, so sind die Auflagedrucke, die die Belastungen  $F_1$  und  $F_2$  kg\* hervorrufen,  $F_3 = F_3'' - F_3'$  und  $F_4 = F_4'' - F_4'$ . Es seien  $A_1, A_2, A_3$  und  $A_4$  die Angriffstellen der Belastungen  $F_1$  und  $F_2$  kg\* und der Auflagedrucke  $F_3$  und  $F_4$  und  $A_0$  das linke Ende des Stabes. Miß die Abstände  $A_0A_1, A_0A_2, A_0A_3$  und  $A_0A_4$  und zeichne das Lagebild der ganzen Anordnung auf Millimeterpapier (Fig. 80).

d) Wiederhole die Versuche viermal, ändere dabei die Stellungen der beiden Gewichte und auch die Stellung der Wage, die an der Hakenzwinde hängt (befestige dabei ihre untere Schnur nicht an der Öse, sondern an einer verschiebbaren Schleife), und bringe bei einem Versuch diese Wage zwischen den Angriffstellen der beiden Gewichte an.

e) Berechne für jeden Versuch die Drehantriebe in bezug auf eine Drehachse, die senkrecht zur Längsachse des Stabes wagerecht durch  $A_0$  geht. Die Kraftarme seien  $A_0A_1 = l_1, A_0A_2 = l_2, A_1A_3 = l_3$  und  $A_0A_4 = l_4$ .

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf und rechne dabei die Kräfte, die lotrecht nach oben wirken, als positiv:

Stange Nr. . . . Links Federwage Nr. . . . Rechts Federwage Nr. . . .  
 Auflagedrucke des unbelasteten Stabes  $F_3' = \dots$  [kg\*],  $F_4' = \dots$  [kg\*].  
 Auflagedrucke des belasteten Stabes  $F_3'' = \dots$  [kg\*],  $F_4'' = \dots$  [kg\*].

	Kraft		Kraftarm $l$ cm	Drehantrieb $P$ in bezug auf . . .	
	Sinn	Größe		Sinn	Größe
Summe der Kräfte	.....	.....	Summe der Antriebe	.....	.....

g) Berechne für jeden Versuch der Reihe nach die Drehantriebe und deren algebraische Summe auch für die Drehachsen  $A_1, A_2, A_3, A_4$  und  $A_5$  (das rechte Ende des Stabes) und außerdem für eine ganz beliebige Drehachse.

h) Wie groß ist die algebraische Summe aller Kräfte? Wie groß ist die algebraische Summe der Drehantriebe für irgend eine Achse, die senkrecht zur Ebene der Kräfte steht? Unter welchen Bedingungen halten sich parallele Kräfte, die in einer Ebene auf einen Körper wirken, das Gleichgewicht?

i) Sieh  $F_3$  und  $F_4$  als Unbekannte an und berechne sie aus den Antriebgleichungen für die beiden Stabenden. Vergleiche die Ergebnisse mit den Ablesungen an den Wagen.

k) Hänge den unbelasteten Stab an zwei Federwagen auf, deren Meßbereich etwas größer als das Stabgewicht ist. Verschiebe die eine Wage und ihre Schleife so, daß die Schnüre beider Wagen lotrecht bleiben, lies bei den verschiedenen Stellungen jedesmal die Wagen ab und berechne daraus die jeweilige Lage der Angriffstelle des Stabgewichts. Ändert sie sich mit der Stellung der Wagen? *Schwerpunkt.*

## 2. Verfahren.

(3 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	3 Federwagen bis 10 kg*.	Meterstab.
	Schlitten zu den Wagen.	Angelschnur.
	Zwingen.	Millimeterpapier.

**Anleitung.** l) Binde bei den Teilstrichen 2 und 98 cm des Meterstabes mit Schleifen die Enden zweier Schnüre an und befestige deren andere Enden an den Haken zweier Federwagen. Klemme die Schlitten der Federwagen mit Zwingen an den Tischrand. Bringe ebenso am Teilstrich 50 mit einer Schnur eine dritte Federwage an und klemme ihren Schlitten an gegenüberliegenden Tischrand fest. Richte die ganze Anordnung so aus, daß alle Schnüre und Schlitze der Federwagen genau gleich laufen und die beiden Federwagen, die nach derselben Seite ziehen, Zugkräfte von  $\sim 5$  kg\* anzeigen (Fig. 81).

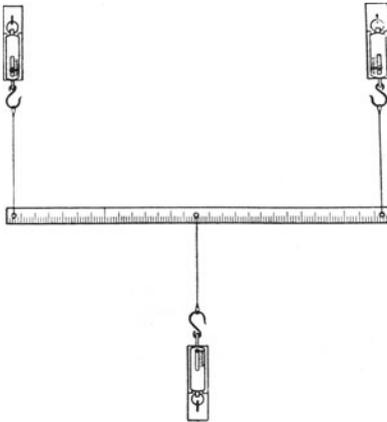


Fig. 81.

m) Klopfte gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Zeichne den Lageplan auf Millimeterpapier.

n) Bewege die mittlere Federwage so, daß ihre Schnur der Reihe nach bei 34, 26, 76 und 84 cm angreift, jedoch stets parallel den andern Schnüren bleibt und wiederhole die Messungen und Zeichnungen von (m).

o) Schreibe die Ergebnisse ähnlich wie in (e) auf.

p) Berechne jedesmal die Drehantriebe der drei Kräfte und wähle dabei der Reihe nach Achsen, die durch die Endpunkte, den Mittelpunkt und die drei Angriffstellen der Federwagen gehen.

q) Wie groß ist die algebraische Summe aller Kräfte? Sieh eine der Kräfte als Gegenkraft der beiden andern an. Welche Größe und Pfeilrichtung hat die Gesamtkraft der beiden andern Kräfte? Vergleiche Größen und Pfeilrichtungen der Teilkräfte und der Gesamtkraft miteinander.

r) Wie groß ist die algebraische Summe der Drehantriebe für irgend eine Achse, die zur Kraftebene senkrecht steht? In welchem Verhältnis teilt die Angriffstelle der Gegenkraft die Strecke zwischen den Angriffstellen der Teilkräfte? Unter welchen Bedingungen halten sich daher parallele Kräfte, die in einer Ebene wirken, das Gleichgewicht?

s) Ändere die Richtungen der Federwagen so, daß die Schnüre schräg, aber alle parallel, an dem Meterstab angreifen. Bleiben die bei (r) gefundenen Gleichgewichtsbedingungen bestehen?

### 3. Verfahren.

(3 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** GAGE 28 Nr. 24. GILLEY 88 Nr. 14.

<b>Geräte.</b>	HALLS Scheibe. 3 eiserne Stifte zur Scheibe. 3 Federwagen bis 4 kg*. Schlitten für die Wagen. Angelschnur.	3 kleine Lagerkugeln von gleicher Größe. Zwingen. Meterstab. Millimeterpapier.
----------------	--	---

**Anleitung.** t) Befestige am Haken jeder Wage mit einer Schleife eine Schnur von  $\sim 60$  cm Länge und an deren andern Ende einen Stift. Lege die Scheibe auf die drei Lagerkugeln.

u) Stecke einen Stift fest in das zweite Loch einer Reihe und einen andern Stift nacheinander in das dritte, vierte usw. Loch derselben Reihe und übe mit den Federwagen genau in der Richtung der Reihe aber in entgegengesetztem Sinn gleiche Zugkräfte aus (Fig. 82, S. 104). Lies die Wagen ab. Ändert sich die Wirkung einer Kraft, wenn man die Angriffstelle in der Wirkungslinie der Kraft verlegt?

v) Stecke die drei Stifte in Löcher derselben Reihe, z. B. in das erste, dritte und siebente Loch der zweiten Reihe. Befestige mit Zwingen

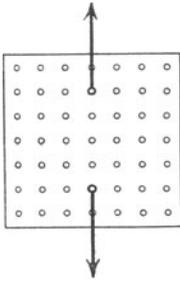


Fig. 82.

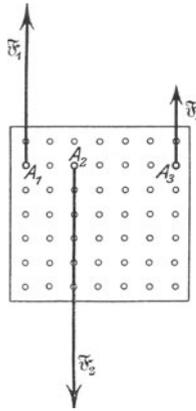


Fig. 83.

x) Stelle wie bei (v) das Gleichgewicht der Kräfte her. Lies die Federwagen ab. Stecke den Stift  $A_1$  in ein anderes Loch, das auf der Wirkungslinie von  $F_1$  liegt (Fig. 84). Herrscht Gleichgewicht, wenn die Kräfte, die in  $A_1$ ,  $A_2$  und  $A_3$  angreifen, die gleichen Stärken wie zuvor haben? Verlege die Angriffstelle  $A_2$  in der Wirkungslinie von  $F_2$ . Hat dies einen Einfluß auf die Wirkung, wenn dabei die Stärken der drei Kräfte nicht geändert werden?

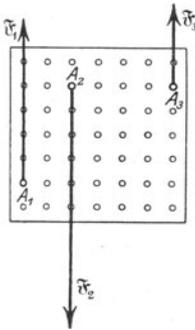


Fig. 84.

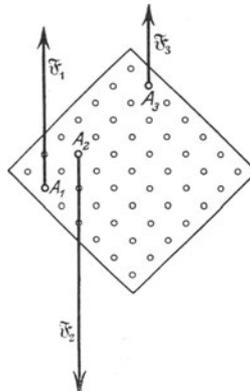


Fig. 85.

die Schlitten der Wagen so, daß die Schnüre den Lochreihen genau gleich laufen, die auf der Stiftreihe senkrecht stehen (Fig. 83). Herrscht Gleichgewicht? Klopfe gegen die Wagen, lies die Zeigerstellungen ab und verbessere die Ablesungen. Miß die Abstände  $A_1A_2$  und  $A_1A_3$  und zeichne den Lageplan auf Millimeterpapier.

w) Wiederhole den Versuch (v) dreimal, ändere dabei die Lagen der Angriffstellen, die jedoch stets auf einer Geraden liegen sollen, und verfähre wie bei (o) bis (r).

y) Stelle wieder wie bei (v) das Gleichgewicht her. Drehe das Brett wie in Fig. 85, verschiebe zugleich die Klemmen am Tischrand und ändere die Längen der Schnüre so, daß die Wirkungslinien der

Kräfte einander parallel und die Stärken der Kräfte so groß wie vorher bleiben. Halten sich die Kräfte auch jetzt noch das Gleichgewicht?

**Bemerkungen.** Zum 1. Verfahren. Will man das Gewicht des Stabes berücksichtigen, so hat man den Stab zu wägen und seinen Schwerpunkt auf 1 mm genau zu bestimmen, d. h. die Stelle des Stabes zu ermitteln, mit der man ihn an einer Aufhängeschnur befestigen oder unter die man die Schneide eines Keils setzen muß, damit der Stab genau wagrecht liegt. Das Gewicht des Stabes ist  $F_3' + F_4'$ . Diese Bestimmung ist jedoch ungenau; ein besseres Ergebnis erhält man, wenn

man ein Gewicht, das größer als die Hälfte des Meßbereichs der Federwagen ist, an beide Wagen hängt, aus beiden verbesserten Messungen das Mittel nimmt, dann den Stab an die parallelen Wagen hängt, mit dem Gewicht belastet und wiederum die Wagen abliest. Zieht man von der Summe der beiden verbesserten Ablesungen das Gewicht der Belastung ab, so erhält man das Stabgewicht. Es ist das Stabgewicht bei dem Zusammenzählen der Kräfte und der Drehantrieb des Stabgewichts bei dem Zusammenrechnen der Antriebe zu berücksichtigen.

Da bei einer schrägen Stellung des Stabes die Krafrichtungen in den Federwagen nicht mehr parallel laufen, wurde die eine Wage an eine Rolle gehängt. Weniger einfach ist es, nach dem Vorschlage von DE FORREST ROSS (*School Science* 6, 777; 1906) den Ring der Wage an den Haken eines Schlittens zu hängen, den man in der Krafrichtung verschieben und mit einer Schraube feststellen kann. Wegen der Eichung der Federwagen vgl. S. 91.

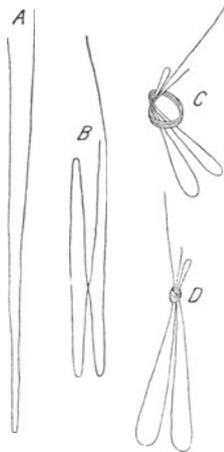


Fig. 86.

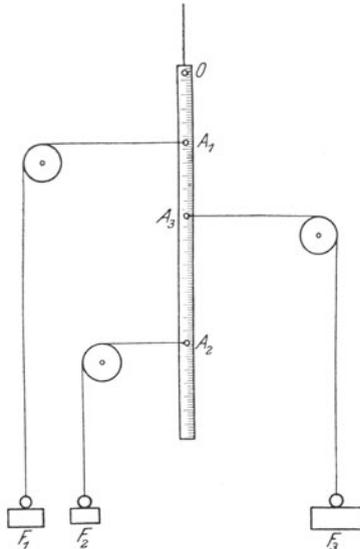


Fig. 87.

Anstatt zweier Federwagen kann man auch nur eine oder deren drei anwenden. Bei einer Federwage muß man während der Einstellungen durch untergeschobene Klötze oder festgeklemmte Stäbe oder Ringe die Bewegungsfreiheit des Stabes einschränken. Die Verwicklung des Versuchs durch drei Federwagen vergrößert nur die Schwierigkeiten, nicht aber das Verständnis.

Die nach oben gerichteten Zugkräfte kann man zwar genauer, doch nicht bequemer, durch Schnüre, Rollen und Gewichte herstellen. Gleicht man das Gewicht des Stabes durch ein Gegengewicht aus, das an einer Schnur hängt, die über eine Rolle geführt wird, so lagere man den Stab auf eine geeignete Unterlage, von der man ihn nur dann emporzieht, wenn man das Gleichgewicht prüft.

Es ist zweckmäßig, bei diesen Versuchen lotrechte Kräfte anzuwenden. Entweder hängt man, wie angegeben, den Körper an Zugfederwagen auf oder lagert ihn auf Druckfederwagen. Benutzt man Druckfederwagen, so stelle man auf jeden Teller zwei Holzklötze mit scharfer wagerechter Schneide, etwa Monochordstege, bestimme das Gewicht und

ziehe es von den spätern Ablesungen ab. Doch ist eine genau wagerechte Lagerung des Stabes nicht bequem zu erreichen; noch schwieriger ist dies, wenn man Tafelwagen verwendet und die Auflagedrucke sehr verschieden sind.

Statt des schweren Stabes kann man auch einen Meterstab, den man auf die hohe Kante stellt, verwenden. Die Gesamtbelastung wird man dabei nicht unter 2 kg\* und nicht über 10 kg\* wählen und demgemäß auch nur Federwagen von entsprechendem Meßbereich verwenden. Benutzt man nur ein Gewicht zur Belastung, so legt man es zunächst in die Mitte und verschiebt es dann jedesmal um 10 cm, erst nach links und dann nach rechts. Die Federwagen läßt man 2 bis 10 cm von den Enden des Maßstabes angreifen.

Benutzt man als Körper, woran die Kräfte angreifen, eine Hebelstange mit herausragender Achse, so hängt man diese mit einer Doppelschleife an einer Federwage oder dem Bügel einer andern Wage auf. Eine solche Schleife, die man häufig mit Nutzen verwenden kann, stellt man nach WATSON (*Elem. Pract. Phys.* 86 Nr. 65) folgendermaßen her: Man legt einen  $\sim 15$  cm langen Faden doppelt (Fig. 86 A) und dann noch einmal doppelt (B) und bindet mit diesem vierfachen Faden genau so, als wäre es nur ein einfacher Faden, einen Knoten möglichst weit vom Ende (C).

Zum 2. Verfahren. Es liefert schlechtere Ergebnisse als das erste Verfahren. TWISS (48 Nr. 15) hängt den Meterstab mit einem Draht, der an Ösen in den Stirnflächen des Stabes befestigt ist, so an einem festen Haken auf, daß der Stab  $\sim 1$  cm über der Tischfläche schwebt. Hierdurch wird das Gewicht des Stabes ausgeglichen. Er verwendet Federwagen vom Meßbereich 2 kg\*.

DUNCAN (47) hängt einen Stab, dessen eines Ende *O* (Fig. 87) durchbohrt ist, an einem Haken auf, der nahe dem obern Rande des Wand-

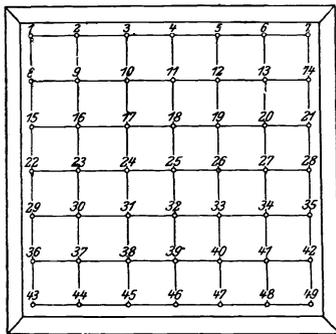


Fig. 88.

bretts eingeschraubt ist, und läßt mit Schnüren, Rollen und Gewichten parallele Zugkräfte wagerecht auf den Stab einwirken. Er schaltet zwar so den Einfluß des Stabgewichts aus, erschwert aber die genaue Einstellung.

Zum 3. Verfahren. HALLS Scheibe (*Descript. List* 47 Nr. 35 u. 86 Nr. 74) besteht aus einem Brett, das durch einen Rahmen gegen das Werfen geschützt ist. Darauf ist ein Quadrat (30 cm  $\times$  30 cm) gezeichnet und dieses durch Geraden, die mit Blei gezogen oder mit dem Messer eingeschnitten sind, in kleine Quadrate (5 cm  $\times$  5 cm) zerlegt (Fig. 88). In alle Ecken sind Löcher von 0,3 cm Durchmesser gebohrt. Die Löcher sind benummert. Hat man weiches Holz verwendet, so muß

man auf der untern Fläche des Bretts eine dicke, recht ebene Blech-scheibe befestigen. In die Löcher sind einige (mindestens vier) eiserne Stifte eingepaßt. Die Schlitten der Wagen sollen so hoch sein, daß die Schnüre nur wenig über dem Brett liegen, wenn dieses auf den Fahrradkugeln ruht. Ein solches Brett hat ein Untersekundaner des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums am 21. Dezember 1893 angefertigt. Es bezeugt den frühzeitigen Einfluß der Harvard University auf die Übungen dieser Schule.

Man lasse die verschiedenen Verfahren gleichzeitig von verschiedenen Gruppen anwenden.

**27. Aufgabe.** *Unter welchen Bedingungen halten sich zwei Kräftepaare das Gleichgewicht?*

**1. Verfahren.**

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** DUNCAN 49.

<p><b>Geräte.</b> 4 Rollen. Meterstab. Holzstab (50 cm × 1 cm × 0,5 cm), an beiden Enden mit Ösen und in der Mitte durchbohrt. Ringgewichte von 1, 1, 2 kg*.</p>	<p>Zwei 0,5 kg*-Stücke. Runder Vorstecher. Spiegelstreifen. Papier. Vollständige Zeichenaus-rüstung (vgl. S. 60). Millimeterpapier. Scheibengewichtssatz.</p>
--	---

**Anleitung.** a) Befestige das obere Ende des Meterstabes mit einer Schnur an einem Haken, der am oberen Rande des Wandbretts eingeschraubt ist (Fig. 89). Befestige bei  $A_{11}$  (10 cm) und  $A_{12}$  (50 cm) Schnüre, führe sie wagerecht über Rollen und belaste ihre Enden mit 1 kg\*. In welchem Sinn dreht sich der Stab? Versuche eine dritte Kraft anzubringen, die den Stab in lotrechter Stellung erhält. *Kräftepaar. Arm. Drehantrieb (Moment) des Kräftepaars. Drehsinn.* Wie groß ist der Antrieb des Kräftepaars und welchen Drehsinn hat es?

b) Befestige bei  $A_{21}$  (15 cm) und  $A_{22}$  (95 cm) Schnüre, führe sie wagerecht über Rollen und belaste ihre Enden mit 0,5 kg\*, so daß ein Kräftepaar von entgegengesetztem Drehsinn entsteht. Wie hängt nun der Stab? Bringe ihn aus seiner lotrechten Stellung heraus. Kehrt er wieder dahin zurück? Zeichne den Lageplan auf Millimeterpapier. Wie groß ist der Antrieb eines Kräftepaars? Wie groß ist die algebraische Summe aller Kräfte? Wie groß ist die algebraische Summe aller Drehantriebe?

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:  
Meterstab Nr. . . .

	Kraft $F$ kg*	Arm $l$ cm	Drehantrieb des Kräftepaars	
			Sinn	$F l$ kg* cm
Algebraische Summe	.....		.....	.....

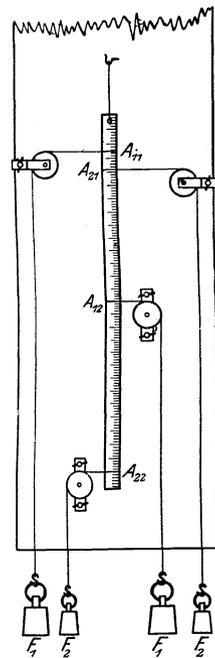


Fig. 89.

d) Unter welchen Bedingungen halten sich die Kräftepaare das Gleichgewicht? Stelle noch bei drei weiteren Versuchen das Gleichgewicht her, ändere dabei die Größen der Kräfte und der Arme. Hat es einen Einfluß, wenn man die Angriffstellen verlegt, ohne dabei den Arm des Kräftepaars und die Größen und Pfeilrichtungen der Kräfte zu ändern?

e) Ändere die Schnurrichtungen der Kräfte  $F_1$  und der Kräfte  $F_2$ . Die Schnüre jedes Paares müssen parallel bleiben, doch können sie verschiedene Winkel mit dem Stabe bilden. Mache die Antriebe der Kräftepaare durch Änderung der Schnurbelastungen gleich. Ist es für das Gleichgewicht notwendig, daß die Kräfte senkrecht zum Stabe wirken?

f) Hefte auf das Wandbrett einen Bogen Papier. Befestige mit einem runden Vorstecher oder einem Nagelbohrer, der durch die Mitte des 50 cm langen Stabes gesteckt ist, den Stab drehbar im Punkt  $O$  des Papiers (Fig. 90). Prüfe, ob er im allseitigen Gleichgewicht ist.

g) Bringe an den Endösen mit Schnüren, Rollen und Gewichten das nach rechts drehende Kräftepaar ( $F_1 | - F_1$ ) und das nach links drehende Kräftepaar ( $F_2 | - F_2$ ) an. Drehe den Stab aus seiner Gleichgewichtslage heraus. Kehrt er wieder dahin zurück?

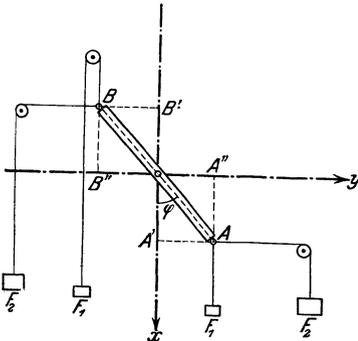


Fig. 90.

h) Merke die Mitten der Ösen an und mit einem Spiegelstreifen die Richtungen der Schnüre, die in  $A$  und  $B$  befestigt sind, und schreibe die zugehörigen Kräfte an die Marken.

i) Nimm den Papierbogen ab. Zeichne durch  $O$  das Achsenkreuz  $x, y$ . Entwirf das Lagebild. Wie groß sind die Arme der Kräftepaare ( $F_1 | - F_1$ ) und ( $F_2 | - F_2$ )? Wie groß ist jeder Antrieb und die algebraische Summe der Antriebe? Wie groß ist die algebraische Summe aller Kräfte? Wie groß ist die Ab-

lenkung  $\varphi$  der Stabachse aus der Lotrichtung? Welche Beziehung besteht zwischen den Kräften  $F_1$  und  $F_2$  und der Ablenkung  $\varphi$ ?

k) Wiederhole die Versuche (f) bis (i) mit andern Belastungen der Schnüre.

## 2. Verfahren.

(4 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. HALL, *Descript. List* 47 Nr. 35.

<p>Geräte. HALLsche Scheibe (vgl. S. 106). 4 Stifte aus Eisen. 4 Federwagen bis 10 kg*, mit 60 cm langen Schnüren an den Haken.</p>	<p>Schlitten zu den Wagen. Zwingen. 3 kleine Lagerkugeln gleicher Größe.</p>
---	--



**Bemerkungen.** Die Versuche (f) bis (k) sind für das Verständnis wichtiger magnetischer und elektrischer Messungen von Wert. Ist die Durch-  
nahme der Kräftepaare ausgeschlossen, so kann man das Tangentengesetz,  
wie bei Aufgabe 11 S. 65, ableiten. In der Fig. 91 ist der Sinn der Kraft-  
pfeile  $F_2$  und  $F_4$  absichtlich verkehrt.

Man kann beide Verfahren gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

**28. Aufgabe.** *Wo liegt der Schwerpunkt einer Scheibe, deren Umfang unregelmäßig gestaltet ist?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Pappe (100 bis 200 cm <sup>2</sup> ). Drahtstifte. Lot. Spiegelstreifen.	Runder Vorstecher. Hammer. Zeichendreiecke. Spitzer harter Bleistift.
----------------	---	--

**Anleitung.** a) Stecke durch den Rand der Pappe einen Nagel. Drehe ihn mehrmals in dem Loch herum und erweitere es so ein wenig, damit die Pappe mit sehr geringer Reibung frei schwingt, wenn man den Nagel wagerecht in das Wandbrett einschlägt. Welche Kraft wirkt auf die Pappe? Welche andere Kraft hebt diese Wirkung auf? Durch welchen Punkt gehen die Wirkungslinien beider Kräfte?

b) Halte das Lot mit der Hand neben den Nagel und bestimme ungefähr die Stelle, wo es den untern Rand der Pappe schneidet. Zieh an dieser Stelle dicht nebeneinander mehrere kurze parallele Striche.

c) Hänge das Lot mit einer Endschleife an den Nagel und bestimme nun mit dem Spiegelstreifen genau die Stelle, wo der Faden den untern Rand schneidet. Nimm die Pappe ab und zeichne mit einem spitzen harten Bleistift die *Schwerlinie*.

d) Bestimme ebenso für einen zweiten Randpunkt der Pappe, der von dem ersten ziemlich entfernt ist, die Schwerlinie. Sie soll die erste nahezu rechtwinklig schneiden. Welcher Punkt liegt in beiden Fällen unter dem Aufhängepunkt? In welchem Punkt schneiden sich die Schwerlinien? *Schwerpunkt*.

e) Bestimme ebenso mit zwei Schwerlinien die Lage des Schwerpunkts auf der Rückseite der Pappe. Ist der Punkt auf der Vorderseite oder der Punkt auf der Rückseite der wahre Schwerpunkt? Stich mit dem Nagel genau durch den vordern Schwerpunkt. Geht der Stich durch den hintern Schwerpunkt? Was für eine Linie ist das Stichloch? Wo liegt der wahre Schwerpunkt der Scheibe?

f) Bestimme noch eine dritte Schwerlinie. Geht sie auch durch den Schwerpunkt?

g) Setze die Scheibe mit dem Schwerpunkt genau auf den Kopf des lotrecht gehaltenen Nagels. Wie stellt sich die Scheibe ein?

**h)** Schneide ein Stück von mindestens  $10\text{ cm}^2$  aus der Scheibe heraus und bestimme von neuem die Lage des Schwerpunkts. Welchen Einfluß hat die Wegnahme des Pappenteils auf die Lage des Schwerpunkts?

**i)** Bestimme auf der einen Seite eines andern Pappstücks den Schwerpunkt. Lege die Pappe flach auf den Tisch, mit dem gefundenen Schwerpunkt nach oben, schiebe sie behutsam über den Tischrand, bis sie noch eben auf der Kante in der Schwebelage schwingt. Halte die Pappe in dieser Stellung mit der flachen linken Hand fest und zieh mit einem spitzen harten Blei auf der Unterseite der Pappe einen Strich, benutze dabei den Tischrand als Lineal. Wo liegt der Schwerpunkt, wenn die Pappe über der Tischkante in der Schwebelage ist?

**k)** Drehe die Pappe um  $\sim 90^\circ$  und wiederhole den Versuch (i). Wo liegt der Schwerpunkt der Pappe? Stich mit dem Nagel durch den Schwerpunkt auf der Unterseite und prüfe, ob er mit dem auf der Oberseite nahezu zusammenfällt.

**l)** Hänge das erste Pappstück an einem Faden auf und laß es pendeln. Was für eine Bahn beschreibt der Schwerpunkt? Wie liegt der Schwerpunkt zum tiefsten Punkte der Bahn, wenn die Pappe im Gleichgewicht ist? *Sicheres Gleichgewicht.*

**m)** Stecke durch den Schwerpunkt einen Nagel, halte ihn waagrecht und setze die Pappe in Drehung. Kommt sie stets in derselben Stellung zur Ruhe? (Es ist schwierig, den Nagel genau durch den Schwerpunkt hindurchzustoßen.) *Allseitiges Gleichgewicht.*

**n)** Stecke den Nagel durch ein Randloch und versuche die Pappe so zu stellen, daß der Schwerpunkt genau über dem Nagel liegt. Gib, sobald es gelungen ist, der Pappe einen Stoß. Welche Lage nimmt der Schwerpunkt ein? Hat sich der Schwerpunkt dabei gehoben oder gesenkt? *Unsicheres Gleichgewicht.*

**Bemerkungen.** Überträgt man mit Kohlepapier den Umfang des Deutschen Reiches, des Landes oder der Stadt, auf die Pappe und schneidet diese längs der Grenze aus, so läßt sich der Schwerpunkt der so erhaltenen Scheibe bestimmen.

Man kann auch am Rande der Pappe ein Loch einstechen und durch dieses einen Faden ziehen, der einen Knoten  $K$  in der Mitte hat (Fig. 92). Das eine Fadenende hängt man mit einer Schleife an einen Nagel im Wandbrett, und an das andere Ende bindet man eine Bleikugel, eine Schraube oder einen andern schweren Gegenstand.

Ferner kann man dabei, um die Schwerlinie anzuzeichnen, den Lotfaden einkreiden, ihn oben und unten festhalten, sobald er sich in die Schwerlinie eingestellt hat, und einen Gehilfen die Mitte des Fadens von der Scheibe wegziehen und dann dagegenschnellen lassen.

Vgl. auch H. HAHN, *Freihandversuche* 1, 96 § 54.

Eine besondere Vorrichtung zur Bestimmung des Schwerpunkts findet man bei AMES-BLISS 133 Nr. 22 u. 136 Nr. 23. DUFF 129 Nr. 21.

Die Aufgaben 28 bis 30 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen lassen.

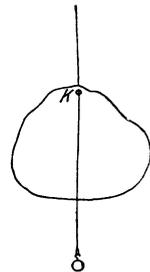


Fig. 92.

**29. Aufgabe.** *Wo liegt der Schwerpunkt einer dreieckigen Scheibe?*(2 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

<b>Geräte.</b> Pappe. Messer. Eiserner Winkel. Schere. Lot.	Nagel. Maßstab (30 cm). Spitzer harter Bleistift. Kautschukfäden.
---	--

**Anleitung.** a) Schneide aus einer gleichförmigen Pappe ein ungleichseitiges Dreieck ( $\sim 100$  bis  $150 \text{ cm}^2$ ).

b) Bestimme den Schwerpunkt als Durchschnitt zweier Schwerlinien. Mache dabei die Aufhängelöcher nicht nahe bei den Ecken. Stich mit einem Nagel durch den Schwerpunkt.

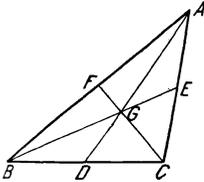


Fig. 93.

c) Wende die Pappe um, verbinde auf der leeren Seite die Ecken  $A, B$  und  $C$  (Fig. 93) mit dem Schwerpunkt  $G$  und verlängere diese Geraden bis zu den Schnittpunkten  $D, E$  und  $F$  mit den Gegenseiten.

d) Miß die Längen der Seiten  $AB, BC$  und  $CA$  und der Abschnitte  $AF, BD$  und  $CE$ . Berechne die Verhältnisse  $AF/AB, BD/BC$  und  $CE/CA$ . In welchem Verhältnis teilen die durch die Ecken gehenden Schwerlinien die Gegenseiten? Wie kann man den Schwerpunkt einer dreieckigen Scheibe durch Zeichnung finden?

e) Miß  $AD, BE, CF, GD, GE$  und  $GF$  und berechne die Verhältnisse  $GD/AD, GE/BE$  und  $GF/CF$ . In welchem Verhältnis teilt der Schwerpunkt die Mittellinien des Dreiecks?

f) Zerlegt bei jeder Figur jede Schwerlinie die Fläche in zwei gleiche Teile?

g) Hänge eine dreieckige Scheibe ( $900 \text{ gr}^*$ ) in einer Spitze und in der Mitte der Gegenseite an zwei parallelen Kautschukfäden auf und bestimme mit diesen die Zugkräfte. Miß die Mittellinie des Dreiecks. In welchem Verhältnis teilt die Angriffstelle der Gesamtkraft der beiden gemessenen Zugkräfte die Mittellinie?

**Bemerkung.** Die Aufgaben 28 bis 30 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen lassen.

**30. Aufgabe.** *Wo liegt der Schwerpunkt eines rechtwinklig umgebogenen Drahts?*(2 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)**Literatur.** WORTHINGTON 103 Nr. 2—4.

<b>Geräte.</b> 27 cm Kupferdraht von 1,6 mm Durchmesser. Papier. Garn. Lot.	Pappe. Maßstab. Klebwachs. Holzstäbchen.
---	---

**Anleitung.** a) Biege ein Stück Kupferdraht, das 27 cm lang und sorgfältig gerade gerichtet ist, rechtwinklig so um, daß der eine Schenkel genau 9 und der andere 18 cm lang wird.

b) Zeichne auf ein Blatt Papier das Bild des Drahts in wahrer Größe. Binde an den kurzen Schenkel einen Faden, hänge den Winkel damit an einem Haken im Wandbrett auf und bezeichne auf dem Papier die Aufhängestelle und die Schwerlinie. Wiederhole diesen Versuch dreimal und kennzeichne den so gefundenen Schwerpunkt.

c) Übertrage mittels Durchstechens die Zeichnung des Winkels und die Lage seines Schwerpunkts auf ein anderes Stück Papier.

d) Wo liegen die Schwerpunkte des kurzen und des langen Schenkels? Auf welcher Strecke liegt der Schwerpunkt des ganzen Drahts? Wie verhalten sich die Gewichte der Schenkel, die an den Enden dieser Strecke angreifen? In welchem Verhältnis teilt also die Angriffsstelle des Gesamtgewichts diese Strecke? Wo liegt mithin der Schwerpunkt des Winkels? Vergleiche das Ergebnis dieser Zeichnung und Rechnung mit dem des Versuchs.

e) Bringe den Drahtwinkel auf der Tischkante oder der Schneide eines Keils in die Schwebelage. Bestätigt dieser Versuch die frühern Ergebnisse?

f) Bestimme die Schwerpunkte von Drähten, die die Gestalt eines **L**, **H** oder **T** haben.

g) Stelle aus Holzstäbchen ein Vierflach- oder ein Würfelgerüst her. Hänge es an einer und dann an einer andern Ecke auf. Mache die Lotrichtungen durch Fäden oder Drähte sichtbar, befestige diese mit Klebwachs und bestimme so die Lage des Schwerpunkts.

**Bemerkung.** Die Aufgaben 28 bis 30 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen lösen lassen.

**31. Aufgabe.** *Unter welchen Bedingungen stehen die Kräfte, die an einem Hebel angreifen, im Gleichgewicht?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

<b>Geräte.</b>	Hebel mit fester Achse in der Mitte (vgl. S. 93). Hebel mit verschiebbarer Achse (vgl. S. 116). Ringgewichte von 10, 5 und 2 kg*. Stabgewichte und Scheibengewichte.	Wagschale von 20 cm Durchmesser (vgl. S. 124). Bindfaden. Schere. Gewichtssatz. Bunsengestell mit Haken. Federwage bis 5 kg*. Meterstab.
----------------	---	--

**Anleitung.** a) Prüfe, ob der unbelastete Hebel im Gleichgewicht ist, und stelle, wenn es nicht der Fall ist, das Gleichgewicht her mit einem kleinen Gewicht oder einem Reiter aus Draht oder Blei.

b) Hänge ein 5 kg\*-Stück in  $\sim 30$  cm Abstand von der Achse an den linken Arm und mit einer Schleife eine Wagschale in  $\sim 50$  cm

Abstand von der Achse an den rechten Arm. Belaste diese Schale, bis Gleichgewicht eintritt.

c) Entwirf das Lagebild der Vorrichtung.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Hebel Nr. . . . Gewicht des Hebels . . .  
 Wageschale Nr. . . . Gewicht der Schale  $F_o = \dots$  [kg\*].

Linker Arm				Rechter	
Last $F_l$ kg*	Lastarm $l_l$ cm	Drehantrieb der Last $P_l$		Belastung $F'$ kg*	Kraft $F_k = F_o + F'$
		Sinn	$F_l l_l$ kg*cm		

Arm		Algebraische Summe der Antriebe	Übersetzungs- verhältnis $F_l/F_k$
Kraftarm $l_k$ cm	Drehantrieb der Kraft $P_k$		
Mittel		. . . . .	

e) Wie groß ist der Drehantrieb der Last? In welchem Sinn wirkt er? Wie groß ist der Drehantrieb der Kraft? In welchem Sinn wirkt er? Wie groß ist die algebraische Summe der Antriebe? Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis von Kraft und Last? Wird beim Hebel Kraft gewonnen?

f) Ändere die Belastung der Schale, verschiebe sie so lange, bis das Gleichgewicht hergestellt ist, und verfähre dann wie bei (c) bis (e).

g) Hänge die Schale an den rechten Arm in verschiedenen Abständen von der Achse, ermittle die Belastungen, die das Gleichgewicht herstellen, und verfähre wie bei (c) bis (e).

h) Löse mit dem Antriebsatz folgende Aufgaben und prüfe durch Versuche, ob die Ergebnisse richtig sind:

a) Wie groß ist der Lastarm, wenn  $F_l = 5$  [kg\*],  $l_l = 28$  [cm] und  $F_k = 2$  [kg\*] sind?

β) Wie groß ist die Kraft, wenn  $F_l = 10$  [kg\*],  $l_l = 24$  [cm] und  $l_k = 60$  [cm] sind?

γ) Hänge an den linken Hebelarm in 24 cm Abstand von der Achse ein 5 kg\*-Stück und in 48 cm Abstand von der Achse ein 2 kg\*-Stück. Welche Kraft muß man in 60 cm Abstand von der Achse auf den rechten Arm einwirken lassen?

i) Hänge ein unbekanntes Gewicht (Bleistück oder dergl.) an das Ende des linken Hebelarms. Stelle durch ein größeres bekanntes Gewicht das Gleichgewicht her und berechne mit dem Antriebsatz



**Bemerkungen.** Über Hebel mit fester Achse vgl. Aufgabe 23, S. 93. Für den Hebel mit beweglicher Achse benutzt man ebenfalls einen Stab, der 150 cm lang, 4 cm hoch und 2 cm breit ist. Man versieht ihn mit einer Hülse, in deren Vorder- und Hinterseite Zapfen mit trichterförmigen Vertiefungen sitzen (Fig. 94). Die Hülse wird am Stabe festgeklemmt mit Schrauben, die in die Ober- und die Unterseite eingesetzt sind. Auf der Hülse ist durch eingeritzte Striche der Querschnitt angegeben, worin die Achse liegt. Zur Befestigung der Achse dient die in Aufg. 23 S. 93 beschriebene Lagerzwinde.

Als Hebel kann man auch einen Meterstab verwenden. Man darf ihn freilich nicht so stark wie den großen Hebel

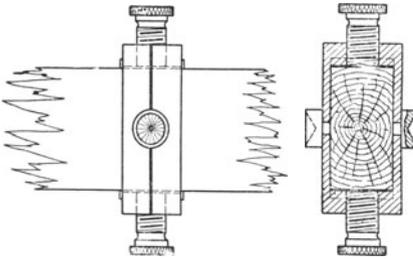


Fig. 94.

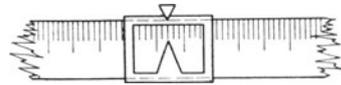


Fig. 95.

belasten; doch arbeite man auch bei ihm stets mit langen Hebelarmen. Den Meterstab, der immer auf die hohe Kante gestellt wird, versieht man am besten mit einer beweglichen Achse. Das ist auf verschiedene Weise ausführbar.

Man kann ein Stahlprisma so auf einer Messinghülse befestigen, daß die Schneide mit der geteilten Kante des Stabes in einer Ebene liegt (Fig. 95). Auf der Unterseite der Hülse ist eine Schraube angebracht, womit man sie am Stabe festklemmt, und auf der einen Seite der Hülse ist ein rundes oder besser ein viereckiges Fenster ausgeschnitten, mit Dorn und Strich im Achsenquerschnitt, so daß man die Lage der Achse an der Teilung des Maßstabes genau ablesen kann.

Einfacher ist es, wie in Fig. 96, aus federhartem Messing eine Hülse zu biegen, sie oben zu durchbohren und auf der einen Seite ein Fenster

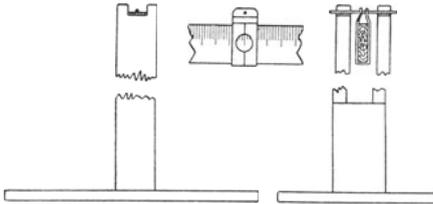


Fig. 96.

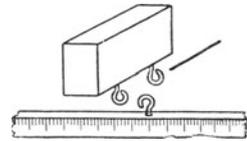


Fig. 97.

auszuschneiden und den Achsenquerschnitt durch einen Strich zu markieren. Als Achse verwendet man je nach der Belastung, die man anzuwenden gedenkt, Nähnadeln, Stopfnadeln oder Stricknadeln. Das Lager besteht aus dem Grundbrett und zwei Pfosten. Die Pfosten sind oben rechteckig ausgeschnitten, und auf die untern Flächen der Ausschnitte sind Glasplatten gekittet. Die Pfosten müssen so hoch sein, daß Platz für die kleinen Wagschalen bleibt, die die Belastungen aufnehmen. Man kann aber das Lager auch auf einer Holzzwinde anbringen.

Noch einfacher ist es, in einen Holzklötz zwei Ösen und in die Mitte des Meterstabes eine Öse einzuschrauben (Fig. 97). Den Holzklötz spannt

man in die Feilklobenzwinge oder in eine Gestellklemme ein; als Achse dient eine Nadel.

Es empfiehlt sich nicht, an die Öse des Meterstabes eine Schnur zu binden und diese an einem Haken zu befestigen. Ebensovienig ist es ratsam, den Meterstab auf die Schneide eines Monochordsteges oder auf einen Keil von  $\sim 5$  cm Länge und 2,5 cm Schenkellänge oder auf eine Dreikantfeile zu setzen.

Liegt die Hebelstange über der Tischfläche, so muß man durch untergesetzte Holzklötze, hochgestellte Keile oder festgeklemmte Ringe Anschläge herstellen, die dem Hebel nur geringe Schwingungsweiten erlauben.

Die wagerechte Gleichgewichtstellung legt man fest durch ein Glas mit Wasser oder durch einen Holzklötz mit einer oder zwei Nadeln, den man an dem einen Ende des Hebels aufstellt.

Vgl. auch H. HAHN, *Freihandversuche* 1, 142 ff. Über die Verwendung des Hebels zur Auflösung algebraischer Gleichungen vgl. WALTER DYCK, *Katalog math. u. math.-physik. Modelle* 155 Nr. 40. A. C. LUNN, *Mathem. Suppl. of School Science* 1, 20; 1903. F. C. DONECKER, *School Science* 5, 411; 1905. N. J. LENNES, *ebd.* 5, 602; 1905. G. H. MEYERS, *ebd.* 7, 19; 1907 u. J. V. COLLINS, *ebd.* 7, 524; 1907. *Enzyklopädie d. math. Wissensch.* I 2, 1067.

### 32. Aufgabe. Bestimme das Verhältnis der Wagearme.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WORTHINGTON 88 Nr. 4.

<b>Geräte.</b> Wage. Gewichtssatz. Kleine Bechergläser.	Schrot. Zinn- oder Bleiblatt.
---	----------------------------------

**Anleitung.** a) Berichtige mit Papier, Zinn- oder Bleiblatt die Wage, bis der Zeiger genau einspielt.

b) Lege auf die linke Schale ein 200 gr-Stück, setze auf die rechte Schale ein Becherglas und belaste es mit Schrot, Papier u. dgl., bis die Wage wieder einspielt. Bezeichne die Länge des linken Wagebalkens mit  $l$ , die des rechten mit  $r$ , die Abgleichung des Becherglases mit  $p_1$  und stelle die Antriebsgleichung auf.

c) Ersetze das 200 gr-Stück durch ein zweites Becherglas voll Schrot, Papier u. dgl. Bezeichne die Abgleichung dieses Becherglases mit  $p_2$  und stelle wieder die Antriebsgleichung auf.

d) Ersetze die Abgleichung  $p_1$  durch das 200 gr-Stück. Lege, wenn kein Gleichgewicht vorhanden ist, auf der leichtern Schale  $p$  gr zu. Stelle die Antriebsgleichung auf, schaffe mit den frühern Gleichungen die Größen  $p_1$  und  $p_2$  fort und berechne das Verhältnis  $r/l$  der beiden Wagearme.

e) Wiederhole die Bestimmung mit den Belastungen 150, 100 und 50 gr.

**Bemerkung.** Wegen genauerer Verfahren vgl. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 58 Nr. 12. FELGENTRÄGER 259 Nr. 87.

**33. Aufgabe.** *Bestimme das Gewicht der Hebelstange ohne Wage mit dem Antriebsatz.*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Hebel mit verschiebbarer Achse (S. 116). Unterlegkeil (Monochordsteg) oder Gestell (Zwinge) mit Haken.	Ringgewichte von 1 kg* und 10 kg*. Meterstab.
----------------	---	--

**Anleitung.** a) Bringe den Hebel auf der Schneide eines Keils in die Schwebelage oder hänge ihn mit Schleife und Schnur wagerecht auf und bestimme so auf 1 mm genau die Lage des Schwerpunkts.

b) Verschiebe die Achse, bis sie vom rechten Stabende 20 cm absteht, und belaste das linke Ende mit einem 1 kg\*-Stück. Hänge an das rechte Ende ein 10 kg\*-Stück und verschiebe es so lange, bis der Hebel wagerecht steht. Miß die Entfernungen der Angriffstellen des 1 kg\*-Stücks, des 10 kg\*-Stücks und des Schwerpunkts von der Achse.

c) Stelle die Antriebsgleichung auf und berechne daraus das Gewicht des Stabes.

d) Wiederhole die Messungen dreimal mit andern Belastungen des Hebels und andern Lagen der Achse.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Hebel Nr. . . . Länge des Hebels . . . cm. Abstand des Schwerpunkts von dem linken Ende des Hebels . . . cm.

Belastung am linken Arm $F_l$ kg*	Linker Hebelarm $l_l$ cm	Belastung am rechten Arm $F_r$ kg*	Rechter Hebelarm $l_r$ cm	Gewicht des Hebels $F_0$ kg*
Mittel				

## VI. Arbeit.

**34. Aufgabe.** *Andert sich die Reibung zwischen einem Seil und einem festen Stabe mit der Größe der Umschlingung?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WORTHINGTON 120 Nr. 1 u. 2. RINTOUL 119 Nr. 6 bis 9.

<b>Geräte.</b>	Dünne Kautschukschnur mit 2 Knoten (S. 39). Reiner Holzstab (10 cm × 3 cm × 1 cm). Reine Glasröhren von 10 cm Länge und mindestens 1 cm Durchmesser. Rolle.	Bunsengestell. Reinerglatte Bindfaden. Haken. Maßstab (30 cm). Gewichtsatz. Leichte Wagschale (Pillenschachtel). Schmirgelpapier.
----------------	--	---

**Anleitung.** a) Befestige an dem einen Ende eines reinen glatten Bindfadens mit Haken und Schleife ein 100gr\*-Stück und binde an das andere Ende eine dünne Kautschukschnur, die mit zwei Knoten versehen ist. Nimm das eine Ende der Kautschukschnur in die Hand, laß die Schnur nebst Faden und Gewicht lotrecht hinabhängen und miß den Abstand der Knoten.

b) Lege den Faden gegen die linke Seite des frisch abgeschmirlgerten Holzstabes, halte die Schnur so, daß der Faden mit der Oberseite des Stabes einen großen Winkel bildet (Stellung 1, Fig. 98). Verringere die Zugkraft an der Schnur ein wenig. Gleitet der Faden? Wer verhindert das Sinken des Gewichtes? Vermindere die Zugkraft an der Schnur so weit, daß das Gewicht eben zu sinken beginnt, und miß den Abstand der Knoten. Zieh an der Schnur,

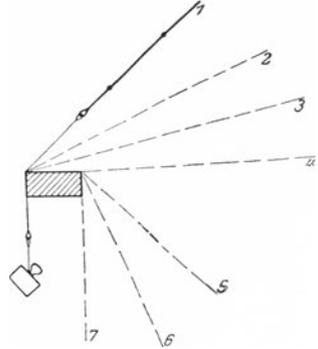


Fig. 98.

bis sich das Gewicht eben zu heben beginnt, und miß den Abstand der Knoten. Ist er größer als zuvor und auch größer als bei Versuch (a)? Was hat die Zugkraft außer dem Gewicht zu überwinden?

c) Senke die Hand, die das Ende der Kautschukschnur hält, allmählich und bringe den Faden so in die Stellungen 2, 3, 4 usw. Ziehe jedesmal so stark, daß sich das Gewicht eben hebt, vermindere dann den Zug so weit, daß es sich eben senkt, und miß in beiden Fällen den Abstand der Knoten. Wie ändert sich die Reibung mit der Stellung des Fadens?

d) Wickle den Faden ein-, zwei- oder dreimal um den Holzstab. Wird die Reibung so groß, daß sie allein das Gewicht trägt?

e) Ersetze den Holzstab durch ein reines Stück einer Glasröhre von  $\sim 1$  cm Durchmesser und wiederhole die Versuche (a) und (b). Mache dabei den Winkel zwischen den beiden Fadenstücken  $\sim 45^\circ$  und miß die Abstände der Knoten, wenn das Gewicht eben sinkt und wenn es eben steigt. Sind die Längen in beiden Fällen gleich? Hänge das Ende der Kautschukschnur an einem Gestell auf, belaste das untere Ende des Fadens so stark mit Gewichten, daß der Abstand der Knoten genau so groß wie bei den beiden Messungen wird, und bestimme so die Zugkräfte in Grammgewicht. Wie groß ist die Reibung zwischen Faden und Glaswand?

f) Mache die Winkel zwischen den beiden Schnurteilen  $90, 135, 180, 225, 270$  und  $315^\circ$  groß. Lege dabei stets dieselbe Stelle des Fadens an die Glasröhre und schätze die Winkel mit dem Auge.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Belastung des Fadens  $F_0 = \dots$  [gr\*].

Winkel zwischen den Schnurteilen $\alpha$	Zugkraft, die das Abwärtsgleiten eben verhindert		Reibung $F_r'$ gr*	Zugkraft, die das Aufwärtsgleiten bewirkt		Reibung $F_r''$ gr*
	Knoten- abstand	$F_1$ gr*		Knoten- abstand	$F_2$ gr*	

h) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei

$$x = \alpha, y' = F_r' \text{ und } y'' = F_r''.$$

Wie ist der Unterschied der beiden Ordinaten zu erklären?

i) Mache die bildliche Darstellung  $x = \alpha$  und  $y = \log F_2$ . Welche Gestalt hat die Kurve?

k) Wiederhole die Versuche mit andern Belastungen des Fadens und mit weitem Glasröhren.

l) Wiederhole die Versuche (e) bis (k) mit einer Rolle. Wie lassen sich die großen Unterschiede der Reibungen an einem festen Rohr und an einer Rolle erklären? Welche Vorzüge hat bei der Änderung einer Zugrichtung die Rolle vor einem festen runden Stabe?

**Bemerkungen.** Besondere Geräte zur Untersuchung der Seilreibung findet man bei PERRY, *Applied Mechanics* 228 und DUNCAN 144.

Man wird wohl selten in der Lage sein, auf die Seilreibung tiefer einzugehen, und daher meistens die bildliche Darstellung (i) weglassen.

**35. Aufgabe.** Wie groß ist das Wegverhältnis, das Übersetzungsverhältnis und der Wirkungsgrad einer festen Rolle?

(2 Schüler, 2 Stunden.)

<b>Geräte.</b>	Baurolle (S. 124).	Wagschale von 20 cm
	Ringgewichte von 5, 10, 20 kg*.	Durchmesser (S. 124).
	Stabgewichte von 1, 2, 2, 5, 10 kg*.	Schmieröl.
	Scheibengewichtssatz von 0,01 bis 0,5 kg*.	Aufhängebügel.
	Seil.	Keil.
	Tafelwage.	Hammer.
		Schwarzes Garn.
		Millimeterpapier.
		Spitzes hartes Blei.

**Anleitung.** a) Bestimme die Gewichte der Wagschale nebst Zubehör  $f_k$  kg\*, des Lasthakens  $f_t$  kg\* und, wenn es geht, auch der Rollenscheibe  $f_o$  kg\*.

b) Schmiere die Rolle und hänge sie an den Galgenbügel, lege das Seil so in die Nute, daß die Enden  $\sim 1$  m über dem Fußboden liegen. Befestige am linken Ende einen starken Haken und am rechten Ende eine Wagschale. Zieh das Seil so, daß die Schale tiefer als der

Haken hängt (Fig. 99). Befestige an diesem ein 5 kg\*-Stück (Last  $F_l'$ ) und lege auf die Schale so viel Gewichte (Kraft  $F_k'$ ), daß Gleichgewicht herrscht und das Seil straff gespannt wird. Sieh zu, ob die Maschine gut arbeitet.

e) Mache einen Handriß der Maschine und erläutere sie kurz.

d) Um wieviel Meter würde sich das eine Seilende heben, wenn man das andere um 1 m nach unten zöge? Wie groß ist bei der festen Rolle das Verhältnis der Falltiefe der Kraft zur Steighöhe der Last? *Wegverhältnis*. Wird hier der Weg der Last verkürzt?

e) Bezeichne mit Kreidestrichen je eine Stelle am Last-Gewichtstück und an der Kraftschale und miß die Höhen ( $h_l'$  und  $h_k'$  m) der Marken über dem Fußboden. Bewege die Schale um  $\sim 50$  cm nach unten und miß die Höhen ( $h_l''$  und  $h_k''$  m) der Marken von Last und Kraft über dem Fußboden.

f) Wiederhole mindestens dreimal die Messungen und ändere dabei die Längen der Wege.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:  
Rolle Nr. . . .

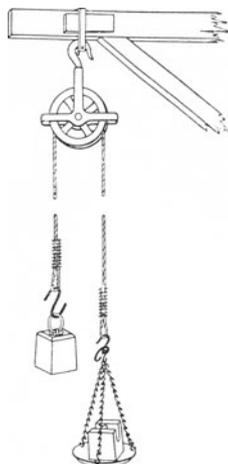


Fig. 99.

Höhe der Kraft		Falltiefe der Kraft $h_k = h_k' - h_k''$	Höhe der Last		Steighöhe der Last $h_l = h_l' - h_l''$	Wege- verhältnis $\sigma = h_k/h_l$
vor dem Senken $h_k'$ m	nach dem Senken $h_k''$ m		vor dem Steigen $h_l'$	nach dem Steigen $h_l''$		
Mittel						.....

Berechne das Wegverhältnis und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

h) Hängt das Wegverhältnis von der Kraft und der Last (von der Ausdehnung des Seils ist abzusehen) oder nur von dem geometrischen Bau der Maschine ab, mit andern Worten, ist dieses Verhältnis eine physikalische oder eine geometrische Größe? Wie groß ist der theoretische Wert dieses Verhältnisses? (Vgl. d.) Wie ist seine Abweichung von dem gefundenen Mittelwert zu erklären?

i) Belaste die Schale mit so vielen Gewichten, daß sie nach schwachem Ziehen am Kraftseil mit gleichförmiger Geschwindigkeit sinkt. Die Belastung ist  $F_k'$  kg\*. Nimm nun so viele Gewichte weg, daß die Schale nach schwachem Ziehen am Kraftseil mit gleichförmiger Geschwindigkeit steigt. Diese Belastung

ist  $F_k''$  kg\*. Wie ist der Gewichtsunterschied zu erklären? Wie wirkt die Reibung beim Heben und wie beim Senken der Kraft? Wie kann man aus  $F_k'$  und  $F_k''$  die Belastung der Kraftschale ermitteln, die der Last das Gleichgewicht hielte, wenn die Maschine ohne Reibung arbeitete?

k) Hänge an den Lasthaken der Reihe nach (0), 5, 10, 15 und 20 kg\* und wiederhole den Versuch (i).

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Rolle Nr. . . . Schale Nr. . . .  
 Gewicht der Wagschale nebst Zubehör  $f_k = \dots$  [kg\*].  
 Gewicht des Lasthakens  $f_l = \dots$  [kg\*].  
 Gewicht der Rollenscheibe  $f_o = \dots$  [kg\*].

Be- lastung des Hakens $F_l$ kg*	Last $F_l = F_l' + f_l$	Belastung der Schale		Verbesserte Kraft $F_v =$ $\frac{1}{2}(F_k' + F_k'') + f_k$	Verbessertes Übersetzungs- verhältnis $\alpha_v = F_l/F_v$
		beim Sinken $F_k'$ kg*	beim Steigen $F_k''$ kg*		

m) Berechne das Verhältnis der Last zur Kraft für jeden Versuch und nimm aus den Ergebnissen den Mittelwert. *Übersetzungsverhältnis*. Vergleiche das mittlere „verbesserte Übersetzungsverhältnis“ mit dem Wegverhältnis. Wie ist die Abweichung beider Werte zu erklären? Werden nur die Kraft und die Last bewegt oder auch Teile der Maschine? Es sei  $h_k$  der Weg der Kraft  $F_v$ , und  $h_l$  der Weg der Last  $F_l$ . Welche Gleichung besteht zwischen  $F_v$ ,  $F_l$ ,  $h_k$  und  $h_l$ ? Vergleiche die Arbeit der Kraft mit der der Last. Wird bei der Maschine Arbeit gewonnen? *Gesetz der Erhaltung der Arbeit*. Wird Kraft gespart? Welchen Vorteil bietet diese Maschine?

n) Stelle die Ergebnisse bildlich dar und setze dabei  $x = F_l$  und  $y = F_v$ .

o) Wir wollen nun als wirkliche Kraft  $F_k$  kg\* das Gewicht der Schale  $f_k$  kg\* und die Belastung der Schale  $F_k'$  kg\* ansehen, die nach schwachem Ziehen am Kraftseil die Schale gleichförmig nach unten bewegt, und also jetzt  $F_k = F_k' + f_k$  setzen. Berechne aus den Versuchen (i) und (k) das *wirkliche Übersetzungsverhältnis*  $\alpha = F_l/F_k$ .

p) Stelle die Ergebnisse in folgender Form zusammen:

Last $F_l = F_l' + f_l$	Kraft $F_k = F_k' + f_k$	Wirkliches Übersetzungs- verhältnis $\alpha = F_l/F_k$	Reibung $F_r = F_k - F_l$

Achsenbelastung $F = F_k + F_l + f_o$	$\frac{F}{F_r}$	Leistung der Last bei 1 m Hub $L_l = F_l' \frac{\text{kg}^* \text{m}}{\text{sek}}$	Leistung der Kraft bei 1 m Fall $L_k = F_k \frac{\text{kg}^* \text{m}}{\text{sek}}$	Wirkungs- grad $\eta = \frac{F_l'}{F_k}$

q) Stelle die Beziehung zwischen Kraft und Last bildlich dar und setze dabei  $x = F_l$  und  $y = F_k$ . Welche Kurve erhält man? *Kraftkurve.*

r) Spanne zwischen den erhaltenen Punkten der bildlichen Darstellung einen Faden aus schwarzem Garn so aus, daß er ebenmäßig dazu liegt, und bezeichne dessen Enden. Ziehe die so bestimmte Gerade. Ihre Gleichung sei  $y = mx + n$ . Entnimm aus der Zeichnung die Koordinaten zweier Punkte, die möglichst weit voneinander entfernt sind, aber noch innerhalb des Bereichs der Messungen liegen. Setze diese Werte in die Gleichung der Geraden ein und berechne aus den beiden so erhaltenen Zahlengleichungen die Werte  $m$  und  $n$ . Es besteht also zwischen der Last  $F_l$  und der Kraft  $F_k$  die Beziehung  $F_k = mF_l + n$ , wo  $m$  und  $n$  die soeben berechneten Werte haben. Welche Kraft ist erforderlich, um die unbelastete Maschine ( $F_l = 0$ ) in Bewegung zu setzen? Das Übersetzungsverhältnis ist

$$z = \frac{F_l}{F_k} = \frac{F_l}{mF_l + n} = \frac{1}{m + \frac{n}{F_l}}$$

Hängt also das Übersetzungsverhältnis von der Last  $F_l$  ab? Wie ändert es sich mit wachsender Belastung? Gibt es einen größten Wert des Übersetzungsverhältnisses?

s) Wäre keine Reibung da, so wäre  $F_l = F_k$ . Was mißt der Unterschied  $F_k - F_l$ ?

t) Wie groß ist die gesamte Belastung  $F \text{ kg}^*$  der Rollenachse, wenn man das Gewicht des Seils vernachlässigt? Berechne aus den Versuchen (i) und (k) die Werte von  $F$  für alle Belastungen.

u) Stelle die Beziehung zwischen der Gesamtbelastung der Rolle  $F$  und der Reibung  $F_r$  bildlich dar und setze dabei  $x = F$  und  $y = F_r$ .

v) Verfahre wie bei (r) und bestimme aus der Geraden die Zahlenwerte  $m'$  und  $n'$  der Beziehung  $F_r = m'F + n'$ . Wie groß ist die Reibung der unbelasteten Rolle? Ändert sich die Reibung mit der Belastung der Rolle? Gibt es einen größten Wert der Reibung?

w) Ist  $h_l \text{ m}$  die Steighöhe der Last  $F_l' \text{ kg}^*$  und  $h_k \text{ m}$  die Falltiefe der Kraft  $F_k \text{ kg}^*$ , so ist das Wegverhältnis  $\sigma = h_k/h_l$ . Die aufgewandte positive Arbeit der Kraft ist  $Q_k = F_k h_k [\text{kg}^* \text{m}]$ , die ge-

leistete negative Arbeit der Last  $Q_l = F_l' h_l$  [kg\* m] und der Arbeitsverlust bei der Rolle  $Q_r = Q_k - Q_l$ . Verläuft die Umformung der Arbeit in  $t$  sek, so sind die Leistung der Kraft  $L_k = Q_k/t$  [kg\* m/sek], die Leistung der Last  $L_l = Q_l/t$  [kg\* m/sek] und der *Wirkungsgrad* der Rolle

$$\eta = \frac{L_l}{L_k} = \frac{F_l'}{F_k}.$$

x) Berechne aus den Versuchen (i) und (k) für jede Belastung den Wirkungsgrad. Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei  $x = F_l'$  und  $y = \eta$  und benutze hier dasselbe Achsenkreuz wie bei (q). *Wirkungsgradkurve*. Ist die Kurve eine Gerade? Kann man eine einfache Beziehung zwischen dem Wirkungsgrad  $\eta$  und der Belastung  $F_l'$  aufstellen?

y) Ändert sich der Wirkungsgrad mit der Belastung? Gibt es einen größten Wirkungsgrad der Rolle? Der Wirkungsgrad der Rolle ist  $\eta = F_l'/F_k$ , ferner besteht die Beziehung

$$F_k = m F_l + n = m F_l' + m f_l + n = m F_l' + p,$$

wo  $p = m f_l + n$  ist. Mithin ist

$$\eta = \frac{F_l'}{m F_l' + p} = \frac{1}{m + \frac{p}{F_l'}}.$$

Für welchen Wert von  $F_l'$  ist  $\eta$  am größten? Was ist der größte Wert von  $\eta$ ?

**Bemerkungen.** Als feste Rolle benutzt man eine „Baurolle“ von 15 bis 20 cm Durchmesser. Die Weite der Seilnute ist 2,6 bis 2,8 cm, die Baulänge 33 bis 37 cm und das Gewicht 4,5 bis 5,9 kg\*. Der drehbare Haken ist aus Schmiedeeisen, die gußeiserne Rolle ist ausgebohrt, der stählerne Bolzen gedreht und das Gehänge aus schmiedbarem Guß.

Die Rolle befestigt man mit Bügel und Keil an einem Galgen und benutzt ein Seil von 0,75 cm Durchmesser mit geflochtenen Ösen. Die Wagschale besteht aus starkem Blech von  $\sim 20$  cm Durchmesser und ist durch kleine Ketten mit einem Haken verbunden. Ihr Gewicht ist  $\sim 220$  gr\*. Statt der Baurolle kann man auch eine der kleinen Rollen (vgl. S. 53) benutzen; dann muß man aber mit kleinern Lasten und kleinern Kräften arbeiten. Zur Messung der Kräfte kann man auch Federwagen verwenden, doch muß man hierbei dafür sorgen, daß beim Messen die Seilstücke gleich laufen.

Ist die Rolle einige Monate nicht gebraucht worden, so läßt man die Versuche erst mit der ungeschmierten Maschine ausführen, diese dann ölen und die Versuche wiederholen. Man kann so bestimmen, um wieviel Hundertstel der Wirkungsgrad durch das Schmieren erhöht wird.

Bei den Gleichungen  $F_k = m F_l + n$  und  $F_r = m' F + n'$  wurden die Zahlenwerte von  $m$ ,  $n$ ,  $m'$  und  $n'$  mit Hilfe der bildlichen Darstellung bestimmt. Die Ermittlung der besten Werte nach dem Verfahren der kleinsten Quadrate ist auf der Schule im allgemeinen ausgeschlossen.

Man lasse nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs die Aufgaben 35 bis 39 gleichzeitig von verschiedenen Gruppen erledigen.

**36. Aufgabe.** *Wie groß ist das Wegverhältnis, das Übersetzungsverhältnis, die Reibung und der Wirkungsgrad eines einrolligen Flaschenzuges?*  
(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** DUNCAN 197.

<b>Geräte.</b> 2 feste Rollen (S. 127).	Tafelwage.
1 bewegliche Rolle (S. 127).	Wagschale (S. 124).
Ringgewichte von 5, 10 und 20 kg*.	Schmieröl.
Stabgewichte von 1, 2, 2, 5 und 10 kg*.	2 Keile.
Scheibengewichtsatz von 0,01 bis 0,5 kg*.	2 Aufhängebügel.
Seil.	Hammer.
	Schwarzes Garn.
	Millimeterpapier.
	Spitzer harter Bleistift.

**Anleitung.** a) Bestimme das Gewicht der Wagschale nebst Zubehör  $f_k$  kg\*, des Lasthakens  $f_l$  kg\* und der beweglichen Rolle  $f_o$  kg\*.

b) Schmiere die Rollen. Keile die Bügel für die Rollen *A* und *C* (Fig. 100) fest und hänge die Rollen auf. Befestige bei *D* an der festen Rolle *A* ein Seil, führe es abwärts unter der beweglichen Rolle *B* hindurch, dann aufwärts und über die festen Rollen *A* und *C* und belaste das freie Ende *E* mit der Gewichtschale. Hänge an die Rolle *B* ein 5 kg\*-Stück, ziehe die Gewichtschale nach unten, so daß sie tiefer als die Last und  $\sim 80$  cm über dem Fußboden hängt und lege so viele Gewichte darauf, daß das Seil straff gespannt wird und Gleichgewicht herrscht. Prüfe, ob die Maschine richtig arbeitet.

c) Verfahre wie bei Aufg. 35 (c).

d) Um wieviel Meter würde die Last gehoben, wenn man die Kraft um ein Meter senkte? Wie groß ist bei dieser Maschine das Verhältnis der Falltiefe der Kraft zur Steighöhe der Last? *Wegverhältnis*. Wird hier der Weg der Last verkürzt? Welche Aufgabe haben die Rollen *A* und *C* zu erfüllen?

e) Bestimme wie in Aufg. 35 (e) bis (g) durch Versuche das Wegverhältnis  $\sigma$  von Kraft und Last.

f) Untersuche wie in Aufg. 35 (h), ob das Wegverhältnis nur vom geometrischen Bau der Maschine abhängt, und erkläre, warum der theoretische Wert von  $\sigma$  von dem gefundenen Mittelwert abweicht.

g) Ermittle wie in Aufg. 35 (i) bis (n) das verbesserte Übersetzungsverhältnis  $\kappa_v$  der beweglichen Rolle, rechne dabei zur Last



Fig. 100.

noch das Gewicht der beweglichen Rolle  $f_o$  kg\* hinzu, setze also  $F_l = F_l' + f_l + f_o$ . Vergleiche das Übersetzungsverhältnis  $\kappa_v$  mit dem Wegverhältnis  $\sigma$ . Wird das Gesetz der *Erhaltung der Arbeit* erfüllt? Wird bei der Maschine Kraft gespart?

h) Betrachte als wirkende Kraft  $F_k$  kg\* das Gewicht der Wagschale  $f_k$  kg\* und die Belastung der Schale  $F_k'$  kg\*, die nach schwachem Ziehen am Kraftseil die Schale gleichförmig nach unten bewegt. Es ist also nunmehr  $F_k = F_k' + f_k$ . Ermittle das wirkliche Übersetzungsverhältnis  $\kappa = F_l/F_k$ .

i) Stelle die Ergebnisse von Versuch (g) in folgender Form zusammen:

Feste Rollen Nr. . . . und Nr. . . . Bewegliche Rolle Nr. . . .  
Schale Nr. . . . Gewicht der Wagschale nebst Zubehör  $f_k = \dots$  [kg\*].  
Gewicht des Lasthakens  $f_l = \dots$  [kg\*]. Gewicht der beweglichen Rolle  $f_o = \dots$  [kg\*].  
Wegeverhältnis (vgl. e)  $\sigma = \dots$

Last $F_l = F_l' + f_l + f_o$	Kraft $F_k = F_k' + f_k$	Wirkliches Übersetzungsverhältnis $\kappa = F_l/F_k$	Kraft zum Heben von Last und Maschinenteilen $F_l/\sigma$

Reibung $F_r = F_k - \frac{F_l}{\sigma}$	Leistung der Last bei 1 m Hub $L_l = F_l' \left[ \frac{\text{kg}^* \text{m}}{\text{sek}} \right]$	Leistung der Kraft bei $\sigma$ m Fall $L_k = \sigma F_k \left[ \frac{\text{kg}^* \text{m}}{\text{sek}} \right]$	Wirkungsgrad $\eta = \frac{F_l'}{\sigma F_k}$

k) Verfahre wie in Aufg. 35 (q) und (r). Zeichne und erläutere die *Kraftkurve*.

l) Die Kraft  $F_k$  leistet bei den Versuchen dreierlei: sie hebt die Last und Teile der Maschine und überwindet die Reibung der Maschine. Die zum Heben der Last und der Teile der Maschine verwendete Kraft wird nach dem Gesetz der Erhaltung der Arbeit durch  $F_l/\sigma$  gemessen. Wie groß ist also die zur Überwindung der Reibung erforderliche Kraft  $F_r$  kg\*?

$$F_r = F_k - \frac{F_l}{\sigma}$$

Berechne aus den Versuchsergebnissen von (g) die Kraft  $F_l/\sigma$  und die Reibung für jede einzelne Last.

m) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei  $x = F_l$  und  $y = F_r$  und benutze dasselbe Achsenkreuz wie bei der Kraftkurve. Was für eine Kurve erhält man? *Reibkurve*.

n) Spanne zwischen den erhaltenen Punkten der bildlichen Darstellung einen Faden aus schwarzem Garn so aus, daß er ebenmäßig

dazu liegt, und bezeichne die Enden. Ziehe die so bestimmte Gerade. Ihre Gleichung sei  $y = m'x + n'$ . Entnimm der Zeichnung die Koordinaten zweier Punkte, die möglichst weit voneinander entfernt sind, aber noch innerhalb des Bereichs der Messungen liegen. Setze diese Werte in die Gleichung ein und berechne aus den so erhaltenen beiden Gleichungen die Werte von  $m'$  und  $n'$ . Es besteht also zwischen der Last  $F_l$  und der Reibung  $F_r$  die Beziehung

$$F_r = m' F_l + n',$$

wo  $m'$  und  $n'$  die soeben berechneten Werte haben. Welche Reibung besitzt die unbelastete Maschine? Ist die Reibung von der Belastung der Maschine abhängig? Gibt es einen größten Wert der Reibung? Wann kann die Maschine überholen?

o) Wie groß ist das Wegverhältnis  $\sigma$ , die geleistete negative Arbeit  $Q_l$  der Last  $F_l'$  und die aufgewandte positive Arbeit  $Q_k$  der Kraft  $F_k'$ ? Wie verhalten sich die Leistungen  $L_l$  und  $L_k$  von Last und Kraft? Der Wirkungsgrad ist

$$\eta = \frac{L_l}{L_k} = \frac{Q_l}{Q_k} = \frac{F_l' h_l}{F_k' h_k} = \frac{F_l'}{\sigma F_k'}$$

p) Berechne aus den Versuchen (g) die Wirkungsgrade für die einzelnen Belastungen.

q) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei  $x = F_l'$  und  $y = \eta$  und benutze dasselbe Achsenkreuz wie bei der Kraftkurve. *Wirkungsgradkurve*. Ist die Kurve eine Gerade? Kann man eine einfache Beziehung zwischen  $\eta$  und  $F_l'$  aufstellen?

r) Ändert sich der Wirkungsgrad mit der Belastung? Gibt es einen größten Wirkungsgrad der Maschine? Beachte bei der Beantwortung der Frage, daß  $F_k = m F_l + n$  und  $F_l = F_l' + f_l + f_o$  ist.

**Bemerkungen.** Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 35.

Die Rolle  $O$  soll verhindern, daß die Seilstücke, die um die bewegliche Rolle führen, die Kraftschale berühren. Die Schale soll tiefer als das Lastgewicht hängen und  $\sim 80$  cm über dem Fußboden liegen.

Man benutzt eiserne, verzinkte Flaschenzugrollen mit breiter Rille. Die Rille ist ausgedreht, Kranz und Seitenränder sind abgedreht und die Löcher gebohrt. Das Gehäuse besteht aus schmiedbarem Guß und ist verzinkt. Der Kranzdurchmesser ist 5 cm, die Rillenbreite 1,1 cm und die Rillentiefe 0,7 cm. Zwei Rollen haben je eine bewegliche Öse; die dritte Rolle hat eine feste und eine bewegliche Öse.

Man achte beim Befestigen der Rollen darauf, daß die Schneiden der Keile der Zugrichtung entgegengesetzt sind.

**37. Aufgabe.** *Wie groß ist das Wegverhältnis, das Übersetzungsverhältnis, die Reibung und der Wirkungsgrad eines dreirolligen Flaschenzuges?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** WELLS 131 Nr. 1–5.

<b>Geräte.</b>	Dreirolliger Flaschenzug (S. 129). Wagschale (S. 124). Tafelwage. Aufhängebügel. Keil. Hammer. Ringgewichte von 5, 10, 20 kg*.	Stabgewichte von 1, 2, 2, 5, 10 kg*. Scheibengewichtssatz von 0,01 bis 0,5 kg*. Schmieröl. Schwarzes Garn. Millimeterpapier. Spitzer harter Bleistift.
----------------	--	---



Fig. 101.

**Anleitung.** a) Bestimme das Gewicht des untern Klobens  $f_o$  kg\* und der Gewichtschale  $f_k$  kg\*.

b) Öle die Kloben, zieh das Seil ein, hänge den Flaschenzug an einem Deckenhaken oder einem Galgen auf und prüfe, ob er ganz sicher hängt und gut arbeitet. Befestige am Seilende die Wagschale und an der untern Flasche ein 5 kg\*-Stück und lege so viele Gewichte auf die Schale, daß die Last in jeder Stellung in Ruhe bleibt. Ziehe das Seil so, daß die Schale tiefer als die Last und  $\sim 1$  m über dem Fußboden hängt (Fig. 101).

c) Verfahre wie in Aufgabe 35 (c).

d) Wieviel Seilstücke gehen vom untern Kloben aus? Um wieviel Meter würde die Last gehoben, wenn man die Kraft um ein Meter nach unten zöge? Wie groß ist bei diesem Flaschenzug das Verhältnis der Falltiefe der Kraft zur Steighöhe der Last? *Wegverhältnis*. Wird hier der Weg der Last verkürzt?

e) Bestimme wie in Aufgabe 35 (e) bis (h) durch Versuche das Wegverhältnis  $\sigma$  von Kraft und Last.

f) Bestimme die Kraft, die erforderlich ist, um die unbelastete Maschine in Gang zu setzen, lege dabei so viele Gewichte auf die Schale, daß sie sich gleichförmig nach unten bewegt, sobald man ein wenig am Kraftseil gezogen hat.

g) Wiederhole den Versuch mit 5, 10, 15 und 20 kg\*.

h) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Flaschenzug Nr. . . . Schale Nr. . . .  
 Gewicht des untern Klobens  $f_o = \dots$  [kg\*]. Gewicht der Wagschale  
 $f_k = \dots$  [kg\*].  
 Wegeverhältnis  $\sigma \dots$

Belastung des untern Klobens $F_l'$ kg*	Last $F_l = F_l' + f_o$	Belastung der Schale $F_k'$ kg*	Kraft $F_k = F_k' + f_k$	Übersetzungsverhältnis $\alpha = F_l/F_k$	Kraft zum Heben von Last und Maschinenteilen $F_l/\sigma$

Reibung $F_r = F_k - \frac{F_l}{\sigma}$	Leistung der Last bei 1 m Hub $L_l = F_l' \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{sek}} \right]$	Leistung der Kraft bei $\sigma$ m Fall $L_k = \sigma F_k \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{sek}} \right]$	Wirkungs- grad $\eta = \frac{F_l'}{\sigma F_k}$

i) Berechne das Übersetzungsverhältnis  $\kappa$  für jede einzelne Belastung. Wird an Kraft gespart? Welchen Vorteil bietet die Maschine? In welcher Beziehung stände nach dem Gesetz der Erhaltung der Arbeit das Wegverhältnis zum Übersetzungsverhältnis, wenn keine Reibung vorhanden wäre? Wird nur die Last  $F_l'$  oder auch ein Teil der Maschine gehoben? Wozu wird außerdem Kraft verbraucht?

k) Verfahre wie in Aufgabe 35 (q) und (r) und Aufgabe 36 (l) bis (r) und zeichne die Kraftkurve, die Reibungskurve und die Wirkungsgradkurve der Maschine.

**Bemerkungen.** Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 35.

Jeder Kloben des Flaschenzuges hat drei gleichgroße Rollen aus Gußeisen, die nebeneinander auf derselben Achse sitzen. Die Rollen sind gebohrt und gedreht. Der Durchmesser ist 6,5 cm und die Weite der Seilnute 0,95 cm. Die Seitenteile sind aus zähem Stahl, die drehbaren Haken und Ringe, sowie die Kreuzköpfe und Bügel aus sehnigem Schmiedeeisen, die Bolzen gedreht. Die Baulänge beträgt 24 cm und das Gewicht  $\sim 1,6 \text{ kg}^*$ . Die Prüfbelastung ist  $250 \text{ kg}^*$ , doch ist es ratsam, die höchste Arbeitsbelastung erheblich niedriger zu wählen, sie bleibt bei den Versuchen unter  $50 \text{ kg}^*$ . Das Seil habe mindestens 0,75 cm Durchmesser.

**38. Aufgabe.** Wie groß ist das Wegverhältnis, das Übersetzungsverhältnis, die Reibung und der Wirkungsgrad eines Differentialflaschenzuges?

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** WELLS 133 Nr. 2 bis 5.

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 37, nur Differentialflaschenzug statt des dreirolligen Flaschenzuges. Vgl. Bemerkungen.

**Anleitung.** a) Bestimme das Gewicht der Wagschale  $f_k \text{ kg}^*$  und, wenn es geht, das der untern Rolle nebst Haken  $f_o \text{ kg}^*$ , woran die Last gehängt wird.

b) Öle die Maschine. Hänge den Flaschenzug an einem Bügel des Galgens auf und prüfe, ob er ganz sicher hängt und gut arbeitet. Befestige am Haken des Flaschenzuges ein  $10 \text{ kg}^*$ -Gewicht und an der Kette die Gewichtschale. Ziehe die Kette so, daß die Schale tiefer als die Last und  $\sim 1 \text{ m}$  über dem Fußboden hängt (Fig. 102).

H a h n, Handbuch, 2. Aufl.



Fig. 102.

c) Verfahre wie bei Aufgabe 35 (c).

d) Leite aus dem geometrischen Bau der Maschine durch einfache Rechnung ab, daß das Wegverhältnis beim Heben der Last  $\sigma_h = 2d_1 : (d_1 - d_2)$  und beim Senken der Last  $\sigma_s = 2d_2 : (d_1 - d_2)$  ist, wenn  $d_1$  cm den Durchmesser der großen Nute und  $d_2$  cm den Durchmesser der kleinen Nute bezeichnen. Miß beide Durchmesser und berechne die Wegverhältnisse. Hat die Dicke  $\delta$  der Kette auf die Nenner oder auf die Zähler jener Brüche einen Einfluß? Was wird gleichsam durch die Dicke der Kette vergrößert? Miß die Dicke  $\delta$  cm der Kette und berechne unter Berücksichtigung von  $\delta$  nochmals die Wegverhältnisse.

e) Bestimme wie bei Aufgabe 35 (e) bis (h) durch Versuche die Wegverhältnisse des Flaschenzuges für das Heben und das Senken der Last.

f) Verfahre wie bei Aufgabe 37 (f) bis (k), doch belaste bis  $\sim 50$  kg\*.

**Bemerkungen.** Die Tragfähigkeit des WESTON-Differentialflaschenzuges ist 250 kg\*. Er darf jedoch nur auf  $\frac{2}{3}$  dieser Belastung beansprucht werden und ist vor dem Gebrauch auf seine volle Tragkraft zu prüfen. Die Durchmesser der obern Rollen sind 8,3 und 6,5 cm und der Durchmesser der untern Rolle ist 7,6 cm. Das Gewicht ist  $\sim 1,4$  kg\*. Für 1 m Falltiefe braucht man  $\sim 4$  m Kette.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 35.

**39. Aufgabe.** *Wie groß ist das Wegverhältnis, das Übersetzungsverhältnis, die Reibung und der Wirkungsgrad einer Schraubenwinde?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** WELLS 133 Nr. 2 bis 5.

<b>Geräte.</b> Schraubenwinde (131). Seil. Wagschale (S. 124). Universalrolle (S. 53). Ringgewichte von 5, 10, 20, 20 kg*. Stabgewichte von 1, 2, 2, 5, 10 kg*.	Tafelwage. Scheibengewichtssatz von 0,01 bis 0,5 kg*. Schmieröl. Schwarzes Garn. Meterstab. Millimeterpapier. Spitzer harter Bleistift.
--	--

**Anleitung.** a) Bestimme das Gewicht der Wagschale  $f_k$  kg\* und das der Spindel nebst Seilscheibe und Lastbrett  $f_o$  kg\*.

b) Befestige die Winde sicher auf dem Tisch. Ole die Maschine und die Führungsrolle. Setze auf das Lastbrett ein 10kg\*-Stück. Befestige das Seil mit einem Ende an der Seilscheibe, führe es wagerecht über eine feste Rolle und hänge an das andere Ende die Gewichtschaale. Wickle das Seil so weit auf, daß der Haken der Schale dicht unter der Rolle und  $\sim 1$  m hoch über dem Fußboden hängt. Lege in die Schale so viel Gewichte, daß sie zwar das Seil straff spannen, doch keine Bewegung hervorrufen (Fig. 103).

- c) Verfahre wie in Aufgabe 35 (c).  
 d) Leite aus dem geometrischen Bau der Maschine durch Rechnung ab, daß das Wegverhältnis der Winde

$$\sigma = \pi \frac{d + \delta}{h}$$

ist, wo  $d$  cm den Durchmesser der Seilscheibe,  $\delta$  cm die Dicke des Seils und  $h$  cm die Ganghöhe der Spindel bezeichnet. Miß  $d$ ,  $\delta$  und  $h$  (vgl. S. 17) und berechne daraus das Wegverhältnis.

e) Miß die Höhe ( $h_1'$  cm) der obern oder untern Kante der Seilscheibe oder des Lastbretts über dem Tisch, worauf die Winde ruht, und wie in Aufgabe 35 (e) die Höhe ( $h_k'$  cm) der Kraftschale über dem Fußboden. Bewege die Kraftschale nach unten, bis sie den Fußboden nahezu berührt und miß wieder die Höhe der Last ( $h_1''$  cm) und der Schale ( $h_k''$  cm) über dem Tisch und dem Fußboden.

f) Wiederhole die Messungen zweimal und verfahre wie in Aufgabe 35 (g).

g) Nimm die Gewichtschale ab, wickle möglichst viele (sagen wir  $z_1$ ) ganze Windungen des Seils von der Seilscheibe ab und miß die Länge ( $l$  cm) des abgewickelten Seilstücks. Es ist dann  $l \text{ cm} / z_1$  die Falltiefe der Kraft für eine Umdrehung der Scheibe.

h) Schraube die Spindel so tief, wie es geht, mach, einer Marke oder einem festen Punkt auf dem Tisch oder der Wand gegenüber, einen Kreidestrich auf der Seilscheibe und miß sorgfältig die Höhe ( $s'$  cm) der obern oder untern Kante der Scheibe über dem Tisch. Drehe die Spindel so hoch wie möglich, zähle dabei die Anzahl  $z_2$  der vollen Umdrehungen und miß wieder die Höhe  $s''$  cm der Scheibe über dem Tisch. Es ist dann  $(s'' - s') / z_2$  cm die Steighöhe der Last für eine Umdrehung der Seilscheibe.

i) Berechne aus den Messungen (g) und (h) das Wegverhältnis. Bilde aus diesem Wert und den Ergebnissen von (e) und (f) das Mittel und vergleiche es mit dem in (d) berechneten Wegverhältnis. Beantworte die Fragen in Aufgabe 35 (h).

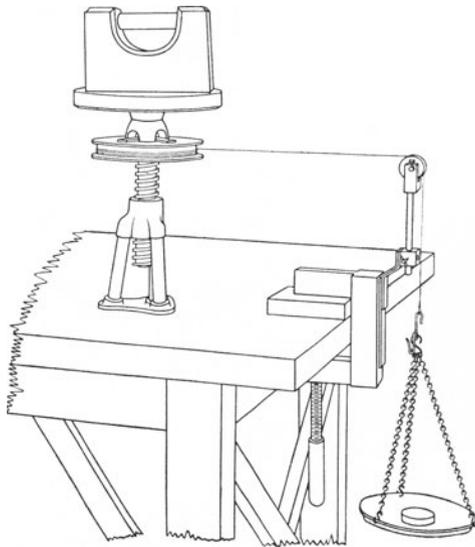


Fig. 103.

k) Verfahre wie in Aufgabe 37 (f) bis (k), doch belaste die Winde bis  $\sim 50 \text{ kg}^*$  und höher.

**Bemerkungen.** Die drei Füße und die Spindel der Schraubenwinde sind aus Schmiedeeisen, die Mutter ist aus Rotguß. Die Tragfähigkeit ist  $2000 \text{ kg}^*$ , der Durchmesser der Spindel  $3,8 \text{ cm}$ , die Höhe beim niedrigsten Stand  $28 \text{ cm}$ , der Hub  $10 \text{ cm}$  und das Gewicht  $\sim 6 \text{ kg}^*$ . Die Gewindehöhe beträgt  $1,3 \text{ cm}$  und die Länge der Spindel  $14 \text{ cm}$ . Auf dem Kopf der Spindel ist eine Holzscheibe von  $16,5 \text{ cm}$  Durchmesser befestigt, woran das Kraftseil angreift. Darüber ist ein Brett angebracht, worauf man die Last stellt. Die Rolle zur Änderung der Krafrichtung hat  $6 \text{ cm}$  Durchmesser. Eine andere Anordnung der Schraube findet man bei BORCHARDT 252 Nr. 28.

Auch andere Maschinen, wie Wellrad, Schneckengetriebe, Haspel usw. lassen ähnliche Messungen zu. Weitere schöne Aufgaben bieten die Bestimmungen der Wirkungsgrade eines Wassermotors, eines elektrischen Motors oder einer kleinen Wärmekraftmaschine.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 35.

## B. Bewegung der festen Körper.

### I. Fall auf der schiefen Ebene.

**Vorbemerkung.** GALILEI hatte bemerkt, daß ein Stein, der von bedeutender Höhe aus der Ruhelage herabfällt, fortwährend neue Zuwüchse an Geschwindigkeit erhält, und machte die Annahme, daß die Änderung der Geschwindigkeit in der einfachsten Weise stattfindet, d. h. daß in gleichen Zeiten gleiche Zuwüchse an Geschwindigkeit eintreten. Bezeichnet man die Änderung der Geschwindigkeit in einer Sekunde, die Beschleunigung, mit  $b$  und die Geschwindigkeit, die der Körper am Ende von  $t$  Sekunden erlangt hat, mit  $v$ , so nimmt GALILEIS Annahme die mathematische Form

$$v = bt$$

an. Hieraus läßt sich durch Rechnung oder geometrische Betrachtung ableiten, daß der Körper in  $t$  Sekunden den Weg

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

zurücklegt. Gelingt es nun, durch Versuche zu zeigen, daß diese Beziehung zwischen Zeit und Weg tatsächlich besteht, so wird GALILEIS Annahme gerechtfertigt.

Der gelehrte Pisaner führte die entscheidenden Versuche mit der Fallrinne aus. GALILEO GALILEI, *Unterredungen u. mathem. Demonstrationen*. OSTWALD, *Klassiker d. exakt. Wissenschaften* 24, 25.

**1. Aufgabe.** Prüfe durch Versuche mit der Fallrinne die Richtigkeit von Galileis Weg-Zeit-Gesetz.

**1. Verfahren.**

Versuche ohne Zeitmessung.

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** EGGAR 49.

<p><b>Geräte.</b> 3 Fallrinnen (vgl. S. 143). 2 Lagerkugeln von 5 cm Durchmesser. Langer Holzkeil, der am dicken Ende <math>\sim 7,5</math> cm hoch ist (vgl. S. 143). Zielbügel oder Karton und Schere (vgl. S. 144). Winkel. Reißnägeler oder Klebwachs. Schublehre.</p>	<p>2 Auslöser (vgl. S. 143). Auffangeklotz aus Holz (<math>25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}</math>). Wasserwaage. 2 gleiche große Holzklötze (<math>20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}</math>). Kasten mit Watte. Quecksilberbrett. Millimeterpapier. Kohlepapier. Bunsengestell.</p>
--	---

**Anleitung.** a) Eine Kugel rollt in  $t$  Sekunden die ganze Länge ( $s$  cm) der schiefen Ebene  $AB$  (Fig. 104) hinab. In wieviel Sekunden durchläuft die Kugel eine schiefe Ebene, deren Länge  $\frac{1}{4}s$  ist? Es sollen die Punkte  $C, D$  und  $E$  die Strecke  $AB$  in vier gleiche Teile zerlegen. In wieviel Sekunden rollt die Kugel von  $A$  nach  $C$  und in wieviel Sekunden von  $C$  nach  $B$ ? In welcher Zeit erreicht eine andere gleiche Kugel, die bei  $E$  aufgesetzt wird, das untere Ende der schiefen Ebene? Wir wollen annehmen, man setze bei  $A$  und bei  $E$  gleiche Kugeln auf und lasse die Kugel bei  $E$  in dem Augenblick los, wo die erste Kugel bei  $C$  angelangt ist. Kommen beide Kugeln gleichzeitig an dem untern Ende der schiefen Ebene an?

b) Gib der Fallrinne von 2 m Länge durch Unterschieben des Keils eine geringe Neigung. Miß den Durchmesser jeder Kugel.

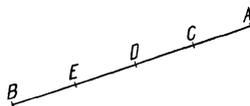


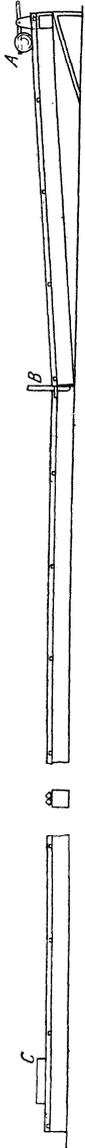
Fig. 104.



Fig. 105.

Halte mit dem einen Auslöser eine Kugel am oberen Ende der Rinne fest und lege den Auffangeklotz vor das untere Ende der schiefen Ebene. Kennzeichne auf der Rinne die Stellen  $A$  und  $B$ , worüber die Kugelmitte vor und nach dem Hinabrollen liegt. Nimm den vierten Teil des Abstandes  $AB$  und trage ihn von  $A$

aus nach unten bis  $C$  und von  $B$  aus nach oben bis  $E$  ab. Lege mit einem andern Auslöser die zweite Kugel so auf der Rinne fest, daß sich ihr Mittelpunkt über  $E$  befindet. Schneide aus Karton einen 2 cm breiten und 26 cm langen rechteckigen Streifen und falte ihn an den Stellen  $G$  und  $H$  (Fig. 105), die 6 cm voneinander abstehen, so um, daß  $I$  auf die Strecke  $FG$  und  $F$  auf die Strecke  $HI$  fällt. Klappe die Seitenteile  $FG$  und  $HI$  lotrecht nach unten und biege an ihren untern Enden je ein 2 cm langes Stück wagerecht nach innen. Vgl. Fig. 110, wo jedoch die Endlappen nach innen geklappt sein sollten. Hefte diese Zielvorrichtung mit Reißnägeln oder Klebwachs so auf die Fallrinne, daß die Ebene  $FGHI$  auf der Rinne senkrecht steht und in der Richtung  $CB$  um den Kugelhalbmesser von  $C$  absteht.



c) Laß den Mitarbeiter die Kugel, die über  $A$  steht, auslösen und gib, sobald ihr vorderster Punkt an dem Rande  $FGHI$  des Zielbügels vorübergeht, die über  $E$  lagernde Kugel frei. Treffen beide Kugeln nahezu gleichzeitig in  $B$  ein? Wiederhole den Versuch mehrmals. Werden die Folgerungen, die wir aus dem Weg-Zeit-Gesetz gezogen haben, und damit die Annahme GALLERS bestätigt? Liegt am Ende der Bewegung der Mittelpunkt der ersten Kugel über  $B$ ? Ist der hierdurch bewirkte Zeitunterschied wahrnehmbar?

d) Gib der 1 m langen Fallrinne  $AB$  (Fig. 106) eine ganz geringe Neigung (höchstens  $10^\circ$ ) und setze die 2 m lange Rinne  $BC$  wagerecht daran. Befestige an der langen Rinne bei  $B$  die Zielvorrichtung. Füge bei  $B$  beide Rinnen mit der größten Sorgfalt so aneinander, daß eine Kugel, die von  $A$  nach  $B$  hinabrollt, mit dem geringsten Stoß auf die wagerechte Rinne hinübergeht. Stelle die Rinne  $BC$  genau wagerecht; laß die Kugel sehr langsam von  $B$  nach  $C$  und dann von  $C$  nach  $B$  zurückrollen und prüfe so die wagerechte Stellung der Rinne. Laß die Kugel von  $A$  nach  $C$  rollen und prüfe, ob die Fuge bei  $B$  stoßfrei ist. Miß den Durchmesser der Kugel. Stelle den Auslöser so auf, daß sein Blech genau über  $A$  liegt. Miß den Abstand  $AB$ , nimm ihn doppelt und trage diese Länge ( $BC$ ) von  $B$  aus auf der wagerechten Rinne ab. Stelle den Aufhängeklötz so auf, daß die Stirnfläche, die gegen  $B$  gekehrt ist, genau über der Stelle  $C$  der wagerechten Rinne liegt.

e) Wir wollen annehmen, daß in  $t$  Sekunden die Kugel von  $A$  bis  $B$  rollt. Mit welcher Geschwindigkeit kommt sie in  $B$  an? Wie groß ist der Weg, den die Kugel mit gleichförmiger Geschwindigkeit auf der wagerechten Bahn zurücklegt? Wo befindet sich also die Kugel  $2t$  Sekunden nach dem Loslassen?

Fig. 106.

f) Halte die Augen so, daß die beiden Kanten der Zielvorrichtung, die über  $B$  stehen, zusammenfallen. Laß den Mitarbeiter die Kugel bei  $A$  auslösen und sofort eine gleiche, bereit gehaltene zweite Kugel hinter das Auslöserblech legen, das nicht verschoben werden darf. Klopfe, sobald der vorderste Punkt der Kugel über  $B$  hinweggeht, mit einem Bleistift schnell und scharf auf den Tisch und laß den Mitarbeiter in demselben Augenblick die andere Kugel auslösen. Klopfe, sobald der vorderste Punkt der zweiten Kugel über  $B$  hinweggeht, wieder auf den Tisch. Stößt in demselben Augenblick die erste Kugel gegen den Auffangeklotz? Bestätigt auch dieser Versuch die Annahme GALILEIS? Vgl. GALILEI, *a. a. O.*, S. 60.

g) Stelle beide Fallrinnen mit zwei gleich hohen Klötzen so auf, daß die untern Enden nebeneinander liegen, und unterstütze das obere Ende der längern Rinne durch einen höhern dritten Klotz. Trage auf der Rinne  $AP_1$  (Fig. 107) von  $A$  aus die Strecke  $AP_2$  und auf der Rinne  $AP_2$  von  $A$  aus die Strecke  $AP_1$  ab. Man erhält so die Punkte  $Q_1$  und  $Q_2$ . Stelle zwei Auslöser so auf, daß ihre Bleche genau über  $Q_1$  und  $Q_2$  stehen. Setze vor die Enden  $A$  der beiden Rinnen den Auffangeklotz. Verbinde beide Auslöserhebel durch eine Schnur. Lege bei  $Q_1$  und  $Q_2$  zwei gleiche Kugeln auf die Rinnen und löse gleichzeitig durch Ziehen an der Schnur beide Kugeln aus. Erreichen sie zu gleicher Zeit die untern Enden der Rinnen?

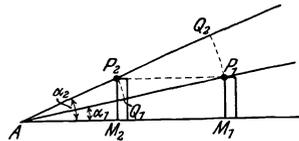


Fig. 107.

h) Bezeichnen  $s_1, b_1, t_1$  und  $s_2, b_2, t_2$  die Wegstrecken, die Beschleunigungen und die Fallzeiten auf beiden schiefen Ebenen, so ist nach dem Weg-Zeit-Gesetz

$$s_1 = \frac{1}{2} b_1 t_1^2, \quad s_2 = \frac{1}{2} b_2 t_2^2$$

und, da die Fallzeiten  $t_1$  und  $t_2$  gleich sind,  $s_1/s_2 = b_1/b_2$ . Da aber beide schiefen Ebenen auf gleich hohen Klötzen stehen, so ist ferner

$$s_2 \sin \alpha_1 = s_1 \sin \alpha_2,$$

wo  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  die Neigungswinkel der Rinnen  $AP_1$  und  $AP_2$  sind. Mithin ist

$$\frac{b_1}{\sin \alpha_1} = \frac{b_2}{\sin \alpha_2}$$

und, wenn  $g$  eine gleichbleibende Größe bezeichnet,

$$b = g \sin \alpha.$$

Welchen Wert nimmt  $b$  an, wenn  $\alpha = 90^\circ$  wird, wenn also die Kugel lotrecht fällt? Welche physikalische Bedeutung hat mithin  $g$ ? *Beschleunigung des freien Falls.* Vgl. GALILEI, *a. a. O.*, S. 32.

i) Die Bewegung der Kugel auf der schiefen Ebene wird durch die Gleichungen

$$v = bt \quad \text{und} \quad s = \frac{1}{2} bt^2$$

beschrieben. Es ist ferner, wie eine kleine Rechnung zeigt,

$$\frac{1}{2} v^2 = bs \quad \text{oder, da} \quad b = g \sin \alpha,$$

$$\frac{1}{2} v^2 = gs \sin \alpha = gh.$$

Mithin hängt die Geschwindigkeit der Kugel am untern Ende der Fallrinne nur von der Höhe  $h$  ab, aus der die Kugel hinabrollt. Diese Folgerung aus den Fallgesetzen läßt sich durch Versuche prüfen, wenn man annimmt, daß die Wurfweite der hinabgerollten Kugel ein Maß für die Geschwindigkeit sei.

k) Füge an die 1 m lange Fallrinne  $AB$  (Fig. 108) die kurze Rinne  $BC$  unter Beachtung der Vorsichtsmaßregeln, die bei Versuch (d)

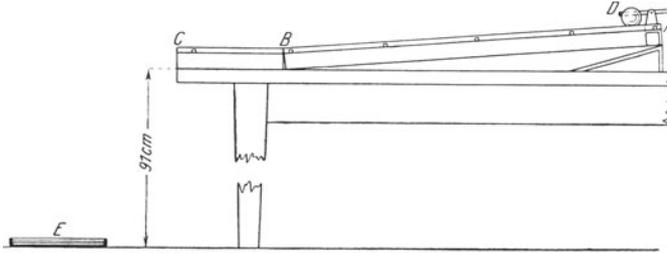


Fig. 108.

angegeben worden sind, so an, daß  $C$  über dem Tischrand liegt. Befestige die kurze Rinne mit Zwingen oder Sorge irgendwie für ihre unveränderliche Stellung. Bringe an die Stelle  $D$  der Rinne das Blech des Auslösers und lege die Kugel dahinter. Laß die Kugel die Rinne hinabrollen und setze auf die Stelle des Fußbodens, wo die Kugel aufschlägt, einen kleinen Kasten  $E$  mit Watte oder ein Quecksilberbrett, worin ein mit Kohlepapier bedecktes Blatt Millimeterpapier liegt. Wiederhole den Versuch mehrmals. Verschiebe dabei den Keil oder Holzklotz unter der Rinne und laß jedesmal die Kugel aus derselben Höhe hinabrollen. Beachte dabei stets sorgfältig die bei (d) angegebenen Vorsichtsmaßregeln. Wird bei den Versuchen die Fallstrecke geändert? Muß man den Kasten  $E$  verschieben? Liegen auf dem Millimeterpapier, dessen Ort man nicht verändern darf, alle Fallspuren an derselben Stelle? Bestätigen die Versuche die aus den Fallgesetzen gezogenen Folgerungen?

## 2. Verfahren.

Messung der Fallzeiten für bestimmte Fallstrecken.

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** GALILEO GALILEI, *Unterredungen usw.* OSTWALD, *Klassiker d. exakt. Wissenschaften* 24, 25.

<b>Geräte.</b>	Mariottesche Flasche (vgl. S. 144). 2 Bechergläser. Wage nebst Massensatz. Fallrinne von 2 m Länge (vgl. S. 143). Lagerkugel von 5 cm Durchmesser.	Auslöser (vgl. S. 143). Auffangeklotz (25 cm × 25 cm × 5 cm). Keil (vgl. S. 143). Millimeterpapier. Stechuhr. Untersatzklotz (25 cm × 25 cm × 5 cm).
----------------	--	---

**Anleitung.** l) Gleiche auf der Wage das Becherglas ab. Fange darin die Wassermenge auf, die in  $\sim 30$  sek (Stechuhr) aus der Mariotteschen Flasche ausfließt, und wäge die aufgefangene Wassermasse. Berechne daraus die Zeit, in der ein Gramm Wasser ausströmt. Wiederhole den Versuch dreimal und nimm aus den erhaltenen Ergebnissen das Mittel.

m) Gib der Fallrinne eine Neigung von  $\sim 5^\circ$  (Fig. 109). Halte mit dem Auslöser eine Kugel am oberen Ende der Rinne fest,

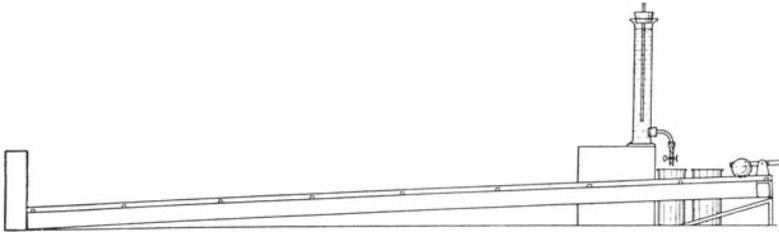


Fig. 109.

lagere vor das untere Ende den Auffangeklotz und miß den Abstand  $s$  des Auslöserblechs von der Stirnfläche des Auffängers, die der Kugel zugewandt ist. Stelle die Mariottesche Flasche auf und davor ein abgeglichenes kleines Becherglas. Laß aus der Flasche das Wasser ausfließen und gib gleichzeitig die Kugel frei. Unterbrich den Wasserausfluß in dem Augenblick, wo die Kugel gegen den Auffangeklotz schlägt. Wäge die Wassermasse, die während der Fallzeit ausgeflossen ist, und berechne daraus die Fallzeit.

n) Verschiebe den Auslöser, laß die Kugel die Strecken  $\frac{1}{4}s$ ,  $\frac{2}{3}s$  und  $\frac{3}{4}s$  hinabrollen und bestimme jedesmal mit der Mariotteschen Flasche und der Wage die Fallzeit.

o) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Fallrinne Nr. . . . Kugel Nr. . . . Länge der Fallrinne  $l = \dots$  [cm].  
Höhenunterschied der Enden der Fallrinne  $h = \dots$  [cm].  $\sin \alpha = h/l = \dots$   
 $\alpha = \dots^\circ$ . Mariottesche Flasche Nr. . . . Wage Nr. . . . Massensatz Nr. . . .  
1 gr Wasser fließt in . . . sek aus.

Fallstrecke $s$ cm	Ausflußmasse in gr	Fallzeit $t$ sek	$t^2/s$
			Mittel . . . . .

Nimm den Mittelwert von  $t^2/s$  und berechne daraus die Beschleunigung  $b = 2s/t^2$  und den Wert  $t^2 \sin \alpha/s$ .

**p)** Stelle die Ergebnisse bildlich dar und setze dabei  $x = s$  und  $y = t^2$ . Zieh eine Gerade, die sich der Kurve möglichst anschmiegt, und berechne aus dem Richtungswinkel die Beschleunigung. Bestätigen diese Versuche die Annahme und die Schlüsse GALLERIS?

**q)** Gib der Fallrinne eine Neigung von  $\sim 10^\circ$ , wiederhole die Versuche, die Berechnungen und die bildliche Darstellung von (m) bis (p). Vergleiche für beide Neigungen das Verhältnis der  $\sin \alpha$  mit dem Verhältnis der Mittelwerte von  $b$ .

### 3. Verfahren.

Messung der Fallstrecken während bestimmter Fallzeiten.

(5 Schüler, 2 Stunden.)

<b>Geräte.</b>	Fallrinne von 2 m Länge (vgl. S. 143).	Taktschläger (Metronom).
	Keil (vgl. S. 143).	4 Zielbügel (vgl. S. 144).
	Lagerkugel von 5 cm Durchmesser.	Karton.
	Auslöser (vgl. S. 143).	Schere.
		Millimeterpapier.
		Schublehre.

**Anleitung.** **r)** Schiebe den Keil so unter die Rinne, daß der Höhenunterschied ihrer beiden Enden mindestens 2,5 cm beträgt. Miß den Durchmesser der Kugel und lege sie mit dem Auslöser an dem oberen Ende der Rinne fest. Kennzeichne auf der Rinne die Stellung des Auslöserblechs. Stelle den Taktschläger so ein, daß er Sekunden angibt, und zähle 3, 2, 1, 0, 1, 2, 3 usw. Löse bei Null mit dem Sekundenschlag die Kugel aus und stelle auf der Fallrinne Zielbügel (Fig. 110) auf, die ermöglichen, genau die Stellen der Rinne zu bestimmen, über denen der vorderste Punkt der Kugel bei den folgenden drei bis vier Sekundenschlägen steht. Stelle die Zielbügel durch Umbiegen aus 2 cm breiten Kartonstreifen her, deren Ränder gerade sind. Vgl. (b). Die Ebene der Bügelkanten, die dem oberen Ende der Rinne zugekehrt sind, soll senkrecht zur Rinne stehen, und der vorderste Punkt der Kugel soll mit dem Sekundenschlag durch diese Ebene hindurchtreten. Nach einigen Versuchen gelingt es, die Bügel mit ziemlicher Genauigkeit richtig aufzustellen (Fig. 111). Kennzeichne die Durchschnitte dieser Bügel-

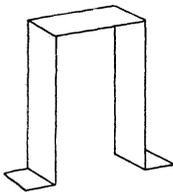


Fig. 110.

ebenen mit der Rinne. Miß die Entfernungen  $s$  dieser Marken von der Hinablotung (Projektion) des Auslösersperriblechs auf die Rinne.

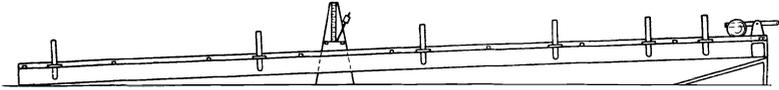


Fig. 111.

s) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Fallrinne Nr. . . . Kugel Nr. . . . Taktgeber Nr. . . . Länge der Rinne  $l = \dots$  [cm]. Höhenunterschied der Enden der Rinne  $h = \dots$  [cm].  $\sin \alpha = h/l = \dots$   $\alpha = \dots^\circ$ .

Fallzeit $t$ sek	Ganze Fallstrecke $s$ cm	Teilstrecke während jeder einzelnen Sekunde $\Delta s$	Geschwindigkeit $v$ am Ende jeder Sekunde	Geschwindigkeitszunahme während jeder einzelnen Sekunde $\Delta v$	$b = \frac{2s}{t^2}$
Mittel					

t) Berechne die Strecken  $\Delta s$ , die die Kugel in der ersten, zweiten, dritten usw. Sekunde zurückgelegt hat. Wie groß sind die mittlern Geschwindigkeiten während der einzelnen Sekunden? Berechne aus je zwei aufeinander folgenden mittlern Geschwindigkeiten die Geschwindigkeiten am Ende jeder einzelnen Sekunde. Wie groß ist die Geschwindigkeitsänderung in jeder Sekunde? Berechne die Beschleunigungen  $b = 2s/t^2$ . Vergleiche den Mittelwert von  $\Delta v$  mit dem Mittelwert von  $b$ .

u) Stelle den Zusammenhang zwischen Weg und Zeit durch eine Kurve dar und setze dabei  $x = t$  und  $y = s$  (Fig. 112).

Bezeichnet  $s$  den in  $t$  Sekunden zurückgelegten Weg und  $v_m$  die mittlere Geschwindigkeit in dieser Zeit, so ist  $s = v_m t$  und mithin  $v_m = s/t$ . Bei der Betrachtung der Weg-Zeit-Kurve ( $s$ ) sehen wir, daß der bis zu dem Ende der dritten Sekunde zurückgelegte Weg durch  $AB$  und der bis zu dem Ende der vierten Sekunde zurückgelegte Weg durch

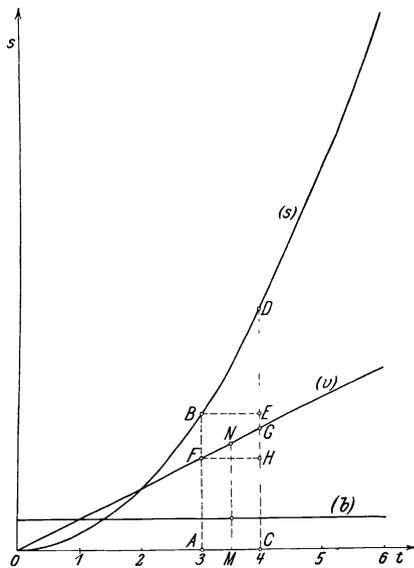


Fig. 112.

$CD$  dargestellt ist. Mithin ist der in der vierten Sekunde zurückgelegte Weg  $CD - AB = ED$ , also die mittlere Geschwindigkeit in der vierten Sekunde  $ED/1$ , d. h. die mittlere Geschwindigkeit während jeder Sekunde wird durch den Wegzuwachs  $1s$  während dieser Sekunde dargestellt.

Um die Kurve der mittlern Geschwindigkeit zu erhalten, zeichnen wir in der Mitte  $M$  der Strecke  $AC$  die Ordinate  $v_m = MN = ED$ . Wiederholen wir die Zeichnung für alle Punkte der Wegkurve, so erhalten wir die *Geschwindigkeitskurve* ( $v$ ).

Bezeichnet  $v_a$  die Geschwindigkeit am Anfang und  $v_e$  die Geschwindigkeit am Ende der Zeit  $t$  und  $b$  die Beschleunigung, so ist  $v_e = v_a + bt$ , also  $b = (v_e - v_a)/t$ . In der Geschwindigkeitskurve ( $v$ ) stellt  $AF$  die Geschwindigkeit am Anfang und  $CG$  die Geschwindigkeit am Ende der vierten Sekunde dar, es ist also die Beschleunigung in der vierten Sekunde  $b = (CG - AF)/AC = HG$ , da  $AC$  eine Sekunde darstellt. Zeichnen wir also in der Mitte  $M$  der Strecke  $AC$  die Ordinate  $ML = HG$ , so ist  $L$  ein Punkt der *Beschleunigungskurve* ( $b$ ). Dieses Verfahren ist nur zulässig, wenn die Beschleunigung sich stets gleichbleibt.

v) Mache den Höhenunterschied der Enden der Rinne erst gleich 5 und dann gleich 7,5 cm und verfähre wie bei (r) bis (u). Stelle aus den Ergebnissen der Versuche (r) bis (v) die Werte der Beschleunigungen und Neigungen zusammen.

Länge der Fallrinne  $l = \dots$  [cm].

Höhenunterschied $h$ der Enden der Rinne	Neigung der Rinne $\sin \alpha = h/l$	Mittelwert der Beschleunigung $b$	$b/\sin \alpha$

Stelle den Zusammenhang zwischen  $\sin \alpha$  und  $b$  bildlich dar und setze dabei  $x = \sin \alpha$  und  $y = b$ . Wie hängt also die Beschleunigung von der Neigung der Rinne ab?

#### 4. Verfahren.

Versuche mit der Fallrinne von FREY.

(1 Schüler, 2 Stunden.)

Literatur. O. FREY, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 19, 224; 1906.

O. FREY, *Physik. Schülerübungen* 40. A. WILMER DUFF, *School Science* 7, 141 u. 236; 1907.

Geräte.	Fallrinne nach FREY (vgl. S. 144).	Streubüchse mit Bärlappsaamen.
	Lagerkugel von 3,8 cm Durchmesser.	Watte.
	Keil (vgl. S. 143).	Tuch.
	Auffangeklotz.	Millimeterpapier.
	Meterstab.	Stechuhr.

**Anleitung. w)** Wische die Fallrinne (Fig. 113) mit einem feuchten weichen Lappen gründlich ab, reibe sie tüchtig trocken und bestreue sie mit Bärlappsamen. Gib mit dem Holzkeil der Rinne eine

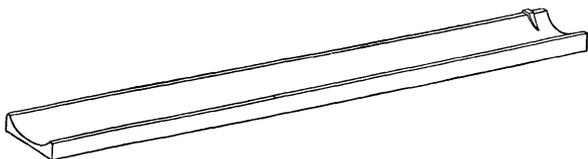


Fig. 113.

geringe Neigung, Sorge dabei dafür, daß die untern Ränder an dem obern und dem untern Ende genau wagerecht liegen.

**x)** Setze die Kugel oben an den Rand des Metallstreifens und laß sie los. Blase den Samen weg oder kippe die Rinne um. Welche Kurve hat die Kugel auf der Rinne aufgezeichnet? Miß von der Spitze des Metallstreifens aus längs der Mittellinie der Rinne die Strecken  $P_0P_v$  (Fig. 114).

**y)** Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Rinne Nr. . . . Kugel Nr. . . . Höhenunterschied der beiden Enden der Rinne  $h = \dots$  [cm]. Länge der Rinne  $l = \dots$  [cm].  
 $\sin \alpha = h/l \dots \alpha = \dots$



Fig. 114.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fallstrecke $s_v = P_0P_v$	Folge der halben Wellenlängen $\frac{1}{2} \lambda$	Unterschiede der halben Wellenlängen $\Delta (\frac{1}{2} \lambda)$	Folge der ganzen Wellenlängen $\lambda$	Unterschiede der ganzen Wellenlängen $\Delta \lambda$	Folge der drei halben Wellenlängen $\frac{3}{2} \lambda$	Unterschiede der drei halben Wellenlängen $\Delta (\frac{3}{2} \lambda)$	Folge der doppelten Wellenlängen $2 \lambda$	Unterschiede der doppelten Wellenlängen $\Delta (2 \lambda)$
Mittel		.....		.....		.....		.....

**z)** Welche Bewegung würde die Kugel ausführen, wenn die Rinne wagerecht stände? Wie würde sich die Kugel bewegen, wenn man sie auf der Mittellinie der Rinne losließe? Wie entsteht die Wellenlinie? Am Anfang einer halben Schwingung ist die Kugel in  $P_v$  und an deren Ende in  $P_{v+1}$ . Um welche Strecke bewegt sich also die Kugel während der halben Schwingungsdauer längs der Mittellinie der Rinne abwärts? Wie groß sind die einzelnen aufeinanderfolgenden halben Wellenlängen  $P_0P_1, P_1P_2, P_2P_3, \dots$ ? Trage die Ergebnisse in die zweite Spalte der Tafel ein. Man mißt hier die Zeit in halben Schwingungsdauern. Werden in  $t_1$  halben Schwingungsdauern  $s_1$  cm zurückgelegt, so ist  $P_0P_v = s_1 = \frac{1}{2} b_1 t_1^2$ . Mithin sind die in den

aufeinanderfolgenden halben Schwingungsdauern zurückgelegten Wege  $P_0P_1, P_1P_2, P_2P_3 \dots$  gleich  $\frac{1}{2} b_1, \frac{3}{2} b_1, \frac{5}{2} b_1, \dots$  und die Unterschiede dieser halben Wellenlängen  $P_1P_2 - P_0P_1, P_2P_3 - P_1P_2, \dots$  gleich  $b_1$ . Trage diese Unterschiede in die dritte Spalte ein. Sind alle Unterschiede gleich groß? Bilde den Mittelwert von  $b_1$ .

aa) Wie groß sind die einzelnen aufeinanderfolgenden ganzen Wellenlängen  $P_0P_2, P_2P_4, P_4P_6, \dots$ ? Trage die Ergebnisse in die vierte Spalte ein. Werden in  $t_2$  ganzen Schwingungsdauern  $s_2$  cm zurückgelegt, so ist  $s_2 = \frac{1}{2} b_2 t_2^2$ , und es sind mithin die Unterschiede der ganzen Wellenlängen  $P_2P_4 - P_0P_2, P_4P_6 - P_2P_4, \dots$  gleich  $b_2$ . Trage die Ergebnisse in die fünfte Spalte ein. Sind alle Unterschiede gleich groß? Bilde den Mittelwert von  $b_2$ . Welche Beziehung besteht bei (z) und (aa) zwischen den Zeiteinheiten und welcher Zusammenhang daher zwischen  $b_1$  und  $b_2$ ? Berechne  $b_1$  aus  $b_2$ .

bb) Miß die Wege in drei halben Wellenlängen und die Zeiten in drei halben Schwingungsdauern und berechne den Mittelwert  $b_3$  und daraus  $b_1$ .

cc) Miß die Wege in doppelten Wellenlängen und die Zeiten in doppelten Schwingungsdauern und berechne den Mittelwert  $b_4$  und daraus  $b_1$ . Nimm den Mittelwert aus den vier Werten von  $b_1$ , die sich bei (z) bis (cc) ergeben haben. Bestimme die Schwingungsdauer der Kugel und berechne aus  $b_1$  die in  $\text{cm/sek}^2$  gemessene Beschleunigung  $b$ .

dd) Stelle die Ergebnisse von (x) und (z) bildlich dar, setze dabei  $x = t_1$  und  $y = s_v = P_0P_v$ . Wegkurve (Fig. 115).

ee) Ziehe in einem Punkte der Wegkurve die Berührende. Mache  $TR$  gleich einer halben Schwingungsdauer und miß die Ordinate  $RQ$ .

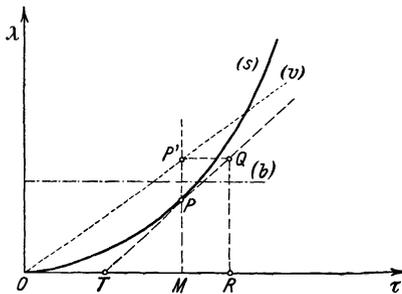


Fig. 115.

Ihre Länge stellt die Geschwindigkeit zur Zeit  $OM$  am Ende des Weges  $MP$  dar. Zeichne in  $M$  die Ordinate  $MP' = RQ$ .  $P'$  ist ein Punkt der Geschwindigkeitskurve. Verbinde die einzelnen Punkte dieser Kurve durch eine punktierte Linie.

ff) Leite in ähnlicher Weise aus der Geschwindigkeitskurve die Beschleunigungskurve ab. Verbinde die einzelnen Punkte durch eine strichpunktierte Linie.

gg) Stelle mit der Tafel von (y) die Kurve  $x = t_1, y = \frac{1}{2} \lambda$  und die Kurve  $x = t_1, y = \Delta (\frac{1}{2} \lambda)$  dar. Vergleiche sie mit der Geschwindigkeitskurve und der Beschleunigungskurve.

hh) Ändere die Neigung der Rinne und verfare wie bei (w) bis (gg). Stelle aus den Ergebnissen dieser Versuche und der Versuche (w) bis (gg) die Werte der Beschleunigungen und Neigungen zusammen.

Länge der Fallrinne  $l = \dots$  [cm].

Höhenunterschied $h$ der Enden der Rinne	Neigung der Rinne $\sin \alpha = h/l$	Mittelwerte der Beschleunigungen $b$	$b/\sin \alpha$

Stelle den Zusammenhang zwischen  $\sin \alpha$  und  $b$  bildlich dar und setze dabei  $x = \sin \alpha$  und  $y = b$ . Wie hängt also die Beschleunigung von der Neigung der Rinne ab?

**Bemerkungen.** Die lange Fallrinne besteht aus zwei Messingröhren von 1,2 cm Durchmesser und 200 cm Länge, die dicht nebeneinander auf einer Holzleiste (200 cm  $\times$  4 cm  $\times$  4 cm) befestigt sind. Die beiden kürzern schiefen Ebenen sind genau ebenso eingerichtet, doch ist die eine 1 m und die andere nur 28 cm lang.

Wichtig ist es, daß man je zwei Rinnen so aneinander zu setzen vermag, daß die Kugel über die Fuge hinwegrollt, ohne einen schädlichen Stoß zu erhalten.

F. C. G. MÜLLER (*Technik d. phys. Unterr.* 59 Nr. 32) hat den beachtenswerten Vorschlag gemacht, die Fallrinne aus Spiegelglas-Streifen herzustellen; leider ist das nicht allgemein durchführbar, da man solche Streifen nur gelegentlich erhalten kann. Aus Barometerröhren kann man nur Rinnen von 1,50 m Länge anfertigen. Rinnen aus gezogenem Messing von V-förmigem Querschnitt haben sich nicht bewährt, da sich diese Schienen nicht oder doch nur mit großen Kosten ausreichend gerade richten und auch nicht genügend stoßfrei aneinanderfügen lassen.

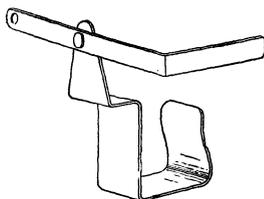


Fig. 116.

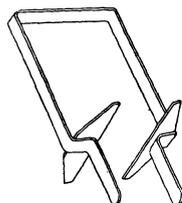


Fig. 117.

GALILEI benutzte bei seinen Versuchen Rinnen von 8 m Länge; man erhält jedoch mit Rinnen von 2 m Länge durchaus befriedigende Ergebnisse.

Der Untersatzkeil hat eine Grundfläche von 24 cm  $\times$  10 cm und einen Rücken von 7,5 cm  $\times$  10 cm. Wenn es auch ratsam ist, mit geringen Neigungen zu arbeiten, so darf man sie doch nicht so klein wählen, daß sich die Unvollkommenheiten der Bahn störend bemerkbar machen können.

Als Unterlegklötze benutzt man bei den Übungen Bretter aus Eichenholz von folgenden Größen: a) 15 cm  $\times$  15 cm  $\times$  1,25 cm. b) 15 cm  $\times$  15 cm  $\times$  2,5 cm. c) 15 cm  $\times$  15 cm  $\times$  5 cm. d) 20 cm  $\times$  20 cm  $\times$  5 cm. e) 25  $\times$  25  $\times$  5 cm. Hat man reichliche Mittel, so schaffe man für jeden Schüler 2 Stück von jeder Sorte an.

Als Rollkörper benutze man Lagerkugeln aus Stahl von 5 cm Durchmesser, doch kann man auch kleinere Kugeln verwenden, deren Durchmesser aber mindestens 1,2 cm betragen soll.

Als Auslöser (Fig. 116) dient nach dem Vorgange von F. C. G. MÜLLER ein Messinghebel, dessen einer Arm rechtwinklig umgebogen ist und als

Sperrblech dient. Das Niederschlagen des andern Hebelendes macht den Rollkörper ohne Stoß frei. Will man die Kugel ganz an dem Ende der Rinne auslösen, so setzt man den Auslöser auf einen Holzklötz und beschwert seinen Fuß, oder man klemmt ihn an einem Gestell fest.

Als Zielbügel kann man die Messingfeder benutzen, die in Fig. 117 abgebildet ist.

Die Zeitmessung bereitet bei dieser Aufgabe große Schwierigkeiten. Beim ersten Verfahren ist sie umgangen, und bei der Galileischen Versuchsförmung wird sie mit einer Mariotteschen Flasche ausgeführt. Diese hat die in Fig. 118 abgebildete Einrichtung. In ein Standglas von 34 cm Höhe und 4,5 cm innerm Durchmesser ist mit einem Kautschukstopfen eine Glasröhre von 32 cm Länge und 0,5 cm lichter Weite eingesetzt. Das untere Ende der Röhre liegt 2 cm über dem obern Ende der Ausflußröhre.

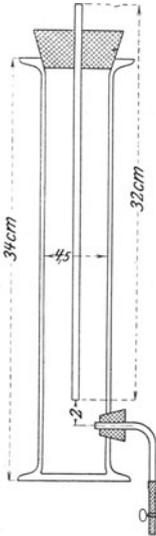


Fig. 118.

Diese ist rechtwinklig umgebogen und die Ausflußöffnung auf 2 mm Durchmesser verengert. (Vgl. H. HAHN, *Freihandversuche 1*, 19.) Über die Ausflußröhre ist ein Kautschukschlauch von 0,3 cm lichter Weite gezogen, den man mit einem Quetschhahn verschließen kann. Damit man bei dem Aufsetzen des Stopfens das untere Ende der Röhre stets in dieselbe Höhe über dem Ende der Ausflußröhre bringen kann, ritzt man auf der Wand des Standglases ringsherum einen wagerechten Strich ein oder biegt nach einem Vorschlage von CURT FISCHER den untern Teil der Glasröhre u-förmig so um, daß ihr Ende 2 cm über dem obern Ende der Ausflußröhre liegt, wenn ihre Biegung den Boden des Gefäßes berührt.

Eine recht einfache Zeitbestimmung gestattet die Fallrinne von FREY (vgl. S. 140). Sie besteht aus einem Holzbrett (120 cm  $\times$  12 cm  $\times$  3,5 cm) mit einer Rinne, deren Querschnitt ein Kreisabschnitt von 6,25 cm Halbmesser, 10 cm Sehne und 2,5 cm Höhe ist. Die Rinne ist schwarz poliert. An ihrem obern Ende ist zur Führung der Kugel ein zugespitzter Streifen aus Messingblech angebracht, dessen oberer Rand der Rinnebreite parallel läuft und bis zur Mitte der Rinne reicht. In die Rinne ist die Mittellinie eingeritzt. Stellt man die Rinne wagerecht, so kann man mit einem isochronen Pendel die Schwingungsdauer  $\tau$  der Kugel bestimmen.

Genauer kann man die Zeit mit einer schwingenden Feder oder Stimmgabel messen, die am obern Ende einer kurzen Fallrinne befestigt ist. Als Rollkörper benutzt man einen Wagen, der eine Schreibfläche trägt, worauf die Feder oder Gabel ihre Schwingungen aufzeichnet. Ich bin jedoch der Meinung, daß eine solche Einrichtung für Schülerübungen nicht einfach genug und ihre Handhabung bei den gebräuchlichen Ausführungen noch zu zeitraubend ist. Freilich kann man mit diesem Verfahren die Schwerebeschleunigung  $g$  bestimmen, was die oben angegebenen Verfahren nicht ohne weiteres gestatten.

Will man mit der Fallrinne  $g$  bestimmen, so kann man nach KELSEY (45) folgende Betrachtungen und Messungen durchführen: Rollt die Kugel von der Masse  $m$  die Strecke  $l$  längs der Rinne hinab, deren Neigungswinkel  $\alpha$  ist, so erleidet ihre Macht (Arbeitsvorrat) den Verlust

$$Q = mgl \sin \alpha$$

oder, wenn  $L$  die Länge und  $H$  die Höhe der schiefen Ebene bezeichnet,

$$Q = mgl \cdot \frac{H}{L}.$$

Diese Macht leistet die Arbeit  $Q_1$ , die erforderlich ist, um die Reibung zu überwinden, und liefert die Wucht  $Q_2$  der Abwärtsbewegung und die Wucht  $Q_3$  der Kugeldrehung, so daß

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

ist. Zur Bestimmung der Arbeit, die bei der Überwindung der Reibung verbraucht wird, gibt man der Rinne eine solche Neigung  $\varphi$ , daß sich die Kugel, wenn man sie schwach anstößt, mit gleichbleibender Geschwindigkeit abwärts bewegt. Es ist dann  $Q_1 = mgl \sin \varphi$ , oder, wenn  $h$  die Höhe bezeichnet, die nunmehr die schiefe Ebene hat,

$$Q_1 = mgl \cdot \frac{h}{L}.$$

Durchrollt die Kugel bei dem Neigungswinkel  $\alpha$  in  $t$  Sekunden die Strecke  $l$  der schiefen Ebene, so hat sie am Ende dieser Zeit die Verschiebungsgeschwindigkeit  $v = 2l/t$  erreicht. Mithin ist die Wucht der Abwärtsbewegung

$$Q_2 = 2m \frac{l^2}{t^2}.$$

Dreht sich dabei die Kugel mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ , so ist, wenn  $\rho$  den Trägheitshalbmesser bezeichnet,  $Q_3 = \frac{1}{3} m \rho^2 \omega^2$  und, wenn  $r$  der Kugelhalbmesser ist,  $\omega = v/r$ , mithin  $Q_3 = \frac{1}{2} m \rho^2 v^2 / r^2 = 2m \rho^2 l^2 / r^2 t^2$  oder, da für die Kugel  $\rho^2 / r^2 = \frac{2}{5}$  ist,

$$Q_3 = \frac{4}{5} m \frac{l^2}{t^2}.$$

Es besteht also die Gleichung

$$mgl \cdot \frac{H}{L} = mgl \cdot \frac{h}{L} + 2m \frac{l^2}{t^2} + \frac{4}{5} m \frac{l^2}{t^2},$$

woraus sich

$$g = \frac{7}{5} \cdot \frac{2lL}{(H-h)t^2}$$

ergibt. Durch Messung von  $l$ ,  $L$ ,  $H$ ,  $h$  und  $t$  kann man also die Größe der Schwerebeschleunigung bestimmen. Vgl. hierzu ferner: P. VOLKMAN, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 7, 161; 1894. W. SCHELL, *Theorie d. Bewegung u. Kräfte* 2, 480. E. J. ROUTH-SCHEPP, *Die Dynamik d. Systeme starrer Körper* I, 127 u. 147. W. VOIGT, *Elementare Mechanik* 250.

Die angeführten Verfahren kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen in alseitigem Angriff ausführen lassen.

Bei den Versuchen (b) und (c) verwendet man besser zwei nebeneinander gestellte Rinnen gleicher Neigung. Die besten Ergebnisse erhält man mit GALILEIS Verfahren. Bequemer, doch weniger genau als mit der Mariotteschen Flasche, kann man die Fallzeiten mit der Stechuhr messen. Recht schwierig ist es, mit dem dritten Verfahren befriedigende Ergebnisse zu erzielen. Beim vierten Verfahren wird man, wenn die Schüler der Klasse nur mäßig begabt sind, die Abschnitte (aa) bis (cc) weglassen. Steht die FREYSche Fallrinne windschief, so erhält man aus den Messungen der halben und dreihalben Wellenlängen schlechte Ergebnisse.

## II. Freier Fall.

**Vorbemerkung.** Die Versuche mit der Fallrinne haben bestätigt, daß zwischen der Beschleunigung  $b$  und dem Wege  $s$ , der in  $t$  Sekunden längs der schiefen Ebene zurückgelegt wird, die Gleichung  $s = \frac{1}{2} b t^2$  besteht, und daß bei einer Rinne, die unter dem Winkel  $a$  gegen die Wagerechte geneigt ist, die Beziehung  $b = g \sin a$  gilt, wo  $g$

die Fallbeschleunigung bedeutet. Wird die Rinne senkrecht gestellt, also  $\alpha = 90^\circ$ , so fällt der Körper lotrecht neben der Rinne hinunter, und es muß

$$s = \frac{1}{2} g t^2$$

sein.

**2. Aufgabe.** *Prüfe mit einem frei fallenden Körper die Richtigkeit von Galileis Weg-Zeit-Gesetz und bestimme angenähert die Fallbeschleunigung.*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WHITING 333 Nr. 56. GREGORY-SIMMONS 1, 163 Nr. 99.

<p><b>Geräte.</b> WHITINGS Pendel nebst Zubehör. Fallkörper. Seidengarn. Weißes Papier. Kohlepapier. Schere.</p>	<p>Reißnägeln. Streichhölzer. Stechuhr. Millimeterpapier. Pinsel oder Feder. Kasten mit Watte u. dgl.</p>
--	---

**Anleitung.** a) Stelle das Pendelbrett so auf, daß seine untere Vorderkante mit dem Rande des Tisches zusammenfällt. Hefte

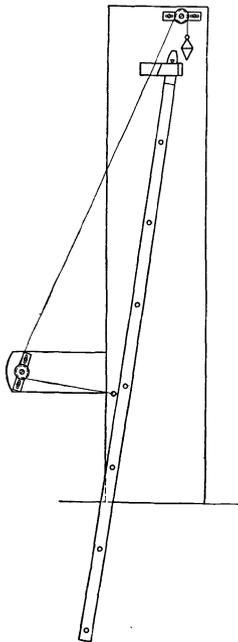


Fig. 119.

auf die polierte Seite des Pendelstabes, woraus die Bleiwalzen entfernt worden sind, einen Streifen weißes Papier und darüber einen Streifen Kohlepapier. Setze das Pendel mit seiner Schneide auf das Lager. Hänge wie in Fig. 119 den Fallkörper an einem Seidenfaden auf, der so lang ist, daß dieser den Pendelstab zur Seite ziehende Doppelkegel einige Zentimeter höher als das obere Ende des Pendels liegt. Nimm den Faden von der untern Rolle, nicht aber von der obern, herunter, halte ihn derart fest, daß der Fallkörper neben dem obern Teil des Pendelstabes hängt, und verschiebe die Pendelschneide so auf ihrem Lager oder die obere Rolle so in ihrem Schlitz, daß die Vorderseite des lotrecht hangenden Pendelstabes den scharfen Mittelrand des Fallkörpers eben berührt. Lege nun, ohne dabei die Pendelschneide zu verschieben, den Faden wieder über die untere Rolle. Das Gewicht des Fallkörpers zieht den Pendelstab etwas zur Seite. Schwingt der Fallkörper, so bringe ihn durch zweckmäßig gerichtete leichte Stöße oder mit einem Pinsel oder einer Feder zur Ruhe, oder warte,

bis er sich von selbst beruhigt hat. Miß die Höhe ( $H$  cm) der Schneide des Fallkörpers über einem festen Punkt unterhalb des Pendels. Setze einen Kasten mit Watte, Sägespänen oder Sand rechts vom Pendel auf den Boden. Brenne den Faden dicht über der untern Rolle durch. Der Fallkörper stößt gegen den Stab, sobald dieser seine lotrechte Stellung erreicht hat, und erzeugt darauf eine Schlagmarke. Miß die Höhe  $h$  dieser Marke über dem erwähnten festen Punkt. Welche Strecke hat der Doppelkegel durchfallen?

b) Welchen Teil der vollen Schwingungsdauer des Pendels bildet die Fallzeit? Befestige am Brett hinter der Pendelstange ein Blatt Papier, auf dem ein lotrechter Strich gezogen ist, und prüfe, ob das Pendel frei schwingt. Bestimme die Zeit, in der das Pendel 50 volle Schwingungen ausführt, und berechne daraus die Schwingungsdauer  $\tau$ .

c) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Pendel Nr. . . .

$H$ cm	$h$ cm	$H - h$	Schwingungszeit $t$ sek	Anzahl der Schwingungen $N$	Schwingungsdauer $\tau = t/N$	$\frac{(1/4 \tau)^2}{H - h}$
					Mittel	.....

d) Setze Bleiwalzen in die Löcher des Stabes und ändere so die Schwingungsdauer des Pendels. Wiederhole jedesmal die Messungen und Rechnungen (a) bis (c).

e) Trage die Ergebnisse in die obige Tafel ein und stelle sie auch bildlich dar. Setze dabei

$$x = (1/4 \tau)^2 \quad \text{und} \quad y = H - h.$$

f) Bilde den Mittelwert aus  $(1/4 \tau)^2 : (H - h)$  und berechne daraus

$$g = 2 \frac{H - h}{(1/4 \tau)^2}.$$

**Bemerkungen.** Die sinnreiche Pendelvorrichtung rührt von WHITING her; sie wurde von S. WHALLEY verbessert und von H. ABRAHAM (1, 96 Nr. 53) verschlechtert. Die hier angegebene Form wird in den Nottingham Science Schools benutzt. Sie hat folgende Einrichtung: Ein Brett von 1 m Höhe, woran eine wagerechte Leiste sitzt, ist an ein Grundbrett geschraubt und außerdem durch eine Strebeleiste damit verbunden (Fig. 119). An das Gestell ist nahe bei der obern Kante ein kleines Brett aus hartem Holz angeschraubt, worin ein Schlitz eingeschnitten ist. Auf diesem Lager ruht die Schneide eines Pendels. Dies besteht aus einem Holzstab, der  $\sim 1,20$  m lang ist und einen quadratischen Querschnitt ( $2,5 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm}$ ) hat. Der Pendelstab ist oben so verjüngt, daß er frei in dem Lagerschlitz schwingen kann. Rechtwinklig zur Schwingungsebene sind 7 Löcher durch den Stab gebohrt, worin man Bleiwalzen einsetzen kann, um die Schwingungsdauer zu ändern. Der Fallkörper, der die Gestalt eines Doppelkegels hat, ist aus Messing und  $\sim 80$  gr schwer. Er hängt an einem Seidenfaden, der

wie in der Figur über zwei leichte Rollen geführt ist. Die Rollenscheiben sind aus Buchsbaumholz gefertigt und sitzen auf Glasröhren, durch die Stahlstifte mit großen Köpfen gesteckt sind. Man kann auch Messingrollen verwenden. Die Achse der obern Rolle sitzt auf einem geschlitzten Blech, das man wagerecht verschieben kann. Die untere Rolle, deren Blech ebenfalls verschiebbar ist, kann man auch durch einen runden Stift ersetzen. Die Vorderseite des Pendelstabes, d. h. die dem Fallkörper zugekehrte Seite, ist schwarz poliert; auf der Rückseite des Stabes ist zur Befestigung des Fadens eine Ringschraube angebracht.

Um die Schlagmarken sichtbar zu machen, kann man die polierte Seite des Pendels mit Bärlappsaamen bestäuben oder auch den scharfen Mittelrand des Fallkörpers mit einem schwarzen Fett oder mit Buchdruckerschwärze einreiben und auf den untern Teil des Pendelstabes weißes Papier heften. Man kann auch die Vorderseite des Pendelstabes mit Paraffin überziehen oder mit berußtem Papier bekleiden.

Die Ergebnisse sind mit einem Fehler von 2 bis 3 v. H. behaftet. Bessere Ergebnisse erhält man mit schwingenden Federn oder Stimmgabeln, die ihre Schwingungen auf fallende Platten aufschreiben. Man kann aber auch die Schreibplatten fest aufstellen und die schwingenden Federn oder Gabeln daran vorbei fallen lassen. Doch ist nach meiner Meinung die Ausführung dieser feineren Messungen für die Schüler zu schwierig und auch zu zeitraubend. Es ist schwerlich ratsam, bei Schülerübungen elektrische Auslösungen und Aufzeichnungen anzuwenden.

### III. Wurfbewegung.

**Vorbemerkung.** „Wenn sich ein Körper ohne jeden Widerstand wagerecht bewegt, so ist . . . bekannt, daß diese Bewegung gleichförmig ist und auf einer unendlichen Ebene unaufhörlich fortbesteht. Ist diese Ebene hingegen begrenzt und ist der Körper schwer, so wird er, am Ende der wagerechten Ebene angelangt, sich weiter bewegen, und zu seiner gleichförmigen unzerstörbaren Bewegung gesellt sich die durch die Schwere erzeugte, so daß eine zusammengesetzte Bewegung entsteht, die ich Wurfbewegung nenne, und die aus der gleichförmigen wagerechten und aus der gleichförmig beschleunigten zusammengesetzt ist.“ GALILEO GALILEI, *Unterredungen, a. a. O. 24, 80. Beharrungsgesetz. Unabhängigkeitsgesetz.*

GALILEI hat mit diesen Gesetzen durch geometrische Betrachtungen den Satz abgeleitet: „Ein Körper, der einer wagerechten, gleichförmigen und zugleich einer gleichförmig beschleunigten Bewegung unterworfen ist, beschreibt eine Halbparabel.“

Bewegt sich ein Körper mit der gleichbleibenden Geschwindigkeit  $c$  in der Richtung der wagerechten  $x$ -Achse und fällt er zugleich frei in der Richtung der lotrechten  $y$ -Achse, so ist, wenn  $t$  die Zeit, vom Beginn des wagerechten Wurfes ab gemessen, und  $g$  die Fallbeschleunigung bezeichnet,  $x = ct$  und  $y = \frac{1}{2}gt^2$  und mithin

$$x^2 = 2 \frac{c^2}{g} y,$$

d. h. der Körper bewegt sich auf einer Halbparabel, deren Parameter  $2c^2/g$  und deren Achse vom Anfangspunkt der Wurfbewegung aus lotrecht nach unten gerichtet ist.

**3. Aufgabe.** *Prüfe durch Versuche die Richtigkeit von Galileis Satz über die Bahn eines wagerecht geworfenen Körpers.*

**1. Verfahren**

(2 Schüler, 2 Stunden.)

<b>Geräte.</b>	Fallrinnen von 1 m und von 28 cm Länge (vgl. S. 143). Lagerkugel von 1,25 bis 2 cm Durchmesser. Auslöser (vgl. S. 143). Auffangekasten mit Watte. Reißbrett. Zeichenbogen, Millimeterpapier.	Reißnägeln. Bleistift. Lot. Reißschiene. Winkel. Meterstab. Schublehre. Gestelle.
----------------	---	--

**Anleitung.** a) Stelle am Tischrand  $AB$  (Fig. 120) die große Fallrinne geneigt auf und füge möglichst stoßfrei die kleine Rinne so daran, daß ihr freies Ende  $D$  mit der Tischkante abschneidet. Miß mit der Schublehre den Durchmesser der Kugel. Hefte auf das Reißbrett einen Zeichenbogen so, daß dessen einer Rand  $EF$  mit der vordern Kante des Reißbretts abschneidet. Zieh auf dem Bogen die Wage-

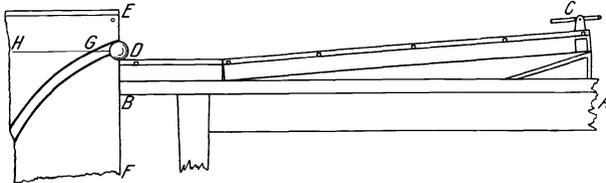


Fig. 120.

rechte  $GH$ . Stelle das Reißbrett lotrecht und parallel der Tischkante  $AB$  so auf, daß die Gerade  $HG$  in der wagerechten Ebene liegt, die durch die Mitte der Kugel geht, wenn diese über dem Punkte  $D$  steht. Die Zeichenfläche des Reißbretts muß so weit hinter der wagerechten Fallrinne liegen, daß die Kugel dicht am Papierbogen vorbeifliegt, ohne ihn jedoch zu streifen. Stelle bei einer bezeichneten Stelle  $C$  der langen Rinne den Auslöser auf und lege damit die Kugel fest. Den Auslöser darf man während der ganzen Versuchsreihe nicht von seiner Stelle rücken. Halte den Maßstab derart lotrecht, daß die Kugel bei ihrer Bewegung ganz dicht an seinem untersten Teilstrich vorbeifliegt, ohne ihn jedoch zu berühren, und bestimme so einen Punkt der Wurfbahn.

b) Laß stets die Kugel von derselben Stelle  $C$  der langen Rinne hinabrollen und zeichne auf die angegebene Weise  $\sim 15$  Punkte auf den Zeichenbogen. Zieh durch die so erhaltenen Punkte eine Kurve. Vergrößere die Ordinaten aller Punkte um den Halbmesser der Kugel. Die so bestimmte Kurve ist die Bahn der Kugelmitte.



Kennzeichne das Ende der Fallrinne darauf. Laß die Kugel erst die Fallrinne und dann das Reißbrett hinabrollen. Sie schreibt ihre Bahn auf das Millimeterpapier auf.

f) Nimm das Kohlepapier und die Fallrinne weg und zeichne mit einem Bleistifte die Spur der Kugelbahn nach. Zieh oben durch den Anfangspunkt der Bahn mit der Reißschiene die wagerechte  $x$ -Achse und senkrecht dazu die  $y$ -Achse. Miß für  $\sim 20$  Punkte der Bahn, die dem Anfangspunkt nicht zu nahe liegen, die Abszissen und die Ordinaten und trage sie wie bei (c) in eine Tafel ein.

g) Berechne die Werte  $2y/x^2$  und nimm daraus das Mittel. Miß die Länge und die Höhe des Reißbretts und bestimme so seinen Neigungswinkel  $\alpha$ . Berechne hieraus und aus dem Mittelwert von  $2y/x^2$  die Anfangsgeschwindigkeit  $c$  der Kugel. Bestimme den Brennpunkt und den Parameter der Bahn. Leite aus der Bahn ähnlich wie bei Aufgabe 1, (ee) und (ff), S. 142, die Geschwindigkeitskurve und die Beschleunigungskurve ab.

**Bemerkungen.** Hat man Wandbretter, so ist es beim ersten Verfahren bequemer, den Zeichenbogen darauf zu heften und eine Fallrinne zu benutzen, die die Gestalt eines halben Radlinienbogens und  $\sim 30$  cm Höhe hat. Die Rinne schraubt man am Wandbrett fest und stellt sie mit einem Lot ein.  
Vgl. MÜLLER 79 Nr. 63.

Das hübsche zweite Verfahren rührt von J. C. PACKARD her (*Report of the Eastern Association of Physics Teachers*, 23. März 1907, p. 32. *Scientif. Americ.* 96, 96; 1907 = *School Science* 7, 403; 1907). Die von mir etwas abgeänderte Fallrinne (Fig. 122) besteht aus einer kurzen schiefen Ebene mit Blechrand, die an eine Messingfeder geschraubt ist und damit am Reißbrett befestigt wird. Als Kohlepapier ist das Schreibmaschinenpapier „Attila“ von HONRAT, Berlin, Charlottenstr. 62, sehr zu empfehlen.

Das zweite Verfahren ist dem ersten vorzuziehen.

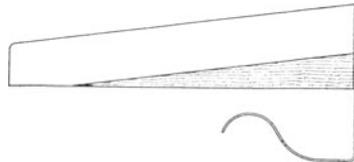


Fig. 122.

## IV. Einfaches Pendel.

**4. Aufgabe.** *Hängt die Schwingungsdauer eines Pendels von der Schwingungsweite ab?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** GALILEO GALILEI. *Unterredungen*, a. a. O. 11, 75 und 24, 89.

<b>Geräte.</b>	Taktschläger oder Stech- uhr. Kugel aus vernickeltem Eisen oder besser aus Blei von 2 cm Durchmesser, mit Öse. Pendelaufhängung (vgl. S. 153).	Dünnes Baumwollgarn. Schere. Maßstab. Schublehre. Bunsengestell. Winkel. Kreide.
----------------	--	--

**Anleitung.** a) Setze das Gestell so an den Rand des Tisches, daß die ganz nach oben geschobene Klemme über den Tischrand hinausragt. Befestige in der Klemme die Pendelaufhängung (Fig. 123), binde die Kugel an den Faden und mache diesen so lang, daß die Kugel fast bis zum Boden hinabhängt. Zieh nun die Schraube der Klemme fest an und Sorge dafür, daß sich dabei die Backen der Aufhängung gerade aneinanderlegen. Bringe das Pendel zur Ruhe und zieh auf dem Boden rechtwinklig zum Tischrand und genau unter der Kugel einen Kreidestrich. Ziehe die Pendelkugel parallel zur Tischkante  $\sim 15$  cm weit zur Seite und laß sie behutsam los, ohne ihr dabei nach irgend einer Richtung einen Stoß zu erteilen. Beobachte die Bewegung. *Schwingungsbewegung. Volle Schwingung. Schwingungsweite.* Ändert sich mit der Zeit die Schwingungsweite?

b) Miß mit Maßstab und Winkel die Fadenlänge, den Abstand des obersten Punkts der Kugelöse vom Aufhängepunkt des Fadens, d. h. der untern Fläche des Holzstücks. Miß mit der Schublehre den Durchmesser der Kugel und zähle seine Hälfte und die Länge der Öse zur Fadenlänge hinzu. *Pendellänge.*

c) Lege unter der ruhenden Kugel den Maßstab so auf den Boden, daß er senkrecht zum Kreidestrich und die Mitte der Teilung unter dem tiefsten Punkte der Kugel liegt. Setze das Pendel so in Schwingung, daß die Schwingungsweite anfangs 5 cm beträgt. Beobachte das Pendel, ohne die Stellung des Auges zu ändern, und klopfe scharf auf den Deckel des Notizbuchs (nicht auf den Tisch) und sage Null, sobald die Kugel genau mit dem Schläge des Taktgebers den Kreidestrich von links nach rechts kreuzt. Zähle beim nächsten Durchgang der Kugel von links nach rechts leise 1 usw. und beobachte so  $\sim 100$  Schwingungen, doch rufe die Zahl 97 laut, um die Aufmerksamkeit des Mitarbeiters zu erregen. Zähle still weiter, bis das Pendel von links nach rechts und genau mit einem Schläge des Taktgebers den Kreidestrich kreuzt. Klopfe in demselben Augenblick nochmals scharf auf das Buch. Der Mitarbeiter zählt die Schläge des Taktgebers vom ersten bis zum zweiten Klopfen, auch er muß die Zählung mit Null beginnen. Miß wiederum die Schwingungsweite. Schreibe die Anzahl  $N$  der Schwingungen, die Anzahl  $t$  der Sekunden und die Schwingungsweite bei dem Anfang und bei dem Ende des Versuchs auf. Berechne die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde. *Schwingungsdauer.*

d) Bestimme die Schwingungsdauer bei derselben Anfangs-Schwingungsweite nochmals und nimm aus beiden Werten das Mittel. Doch zähle diesmal selbst die Schläge des Taktgebers, während der Mitarbeiter die Anzahl der Schwingungen beobachtet.

e) Wiederhole die Versuche (c) und (d) und mache der Reihe nach die Schwingungsweite 10, 15 und 30 cm groß.

f) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Durchmesser der Kugel . . . cm.	Länge der Öse . . . cm.	Fadenlänge
. . . cm.	Länge des Pendels $l = \dots$ [cm].	Taktschläger Nr. . . .

	Anzahl der Schwingungen $N$	Schwingungszeit			Schwingungsdauer $\tau = \frac{t}{N}$	Mittlere Schwingungsdauer $\tau$ sek	Schwingungsweite		Mittlere Schwingungsweite $a$ cm
		min	sek	t sek			zu Anfang cm	zu Ende cm	
a							5		
b							5		

g) Hängt bei kleinen Schwingungsweiten, die nicht größer als der zehnte Teil der Pendellänge sind, die Schwingungsdauer von der Schwingungsweite ab? *Zeitmessung.*

**Bemerkungen.** Hat die Kugel keine Öse, so bindet man drei Schleifen darum, deren Ebenen aufeinander senkrecht stehen, und befestigt die Kreuzungen mit etwas Wachs.

Die Pendelaufhängung (Fig. 123) besteht aus einem Holzstück, das aus zwei Walzen zusammengesetzt und durch einen Achsenschnitt halbiert ist. Die Hälften sind durch ein kleines Blechgelenk miteinander verbunden. Die Aufhängung spannt man in die Klemme eines Bunsengestells ein und befestigt dadurch den Pendelfaden, der zwischen die beiden Holzbacken gelegt wird.

Mißt man die Zeit mit einem Taktschläger, so stellt man ihn so ein, daß er Sekunden schlägt. Benutzt man eine Stechuhr, so setzt man sie in Gang in dem Augenblick, wo man Null zählt, und bringt sie zum Stehen, sobald man Hundert zählt.

Man läßt einige Gruppen die Aufgaben 4 und 5 und gleichzeitig die andern Gruppen die Aufgabe 6 behandeln.

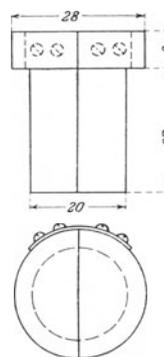


Fig. 123.

**5. Aufgabe.** *Hängt die Schwingungsdauer eines Pendels von der Masse der schwingenden Kugel ab?*

(2. Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Literatur.** GALILEO GALILEI, *Unterredungen a. a. O.* 11, 75.

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 4, dazu eine Holzkugel von 2 cm Durchmesser.

**Anleitung.** a) Hänge an einem 90 bis 100 cm langen Faden die Bleikugel auf und bestimme dreimal aus der Zeit von 100 Schwingungen die Schwingungsdauer.

b) Wiederhole den Versuch mit der Holzkugel, gib dabei dem Pendelfaden genau die gleiche Länge wie bei dem Versuch (a) und zähle so viel Schwingungen, wie du kannst. Haben beide Kugeln gleiche oder verschiedene Schwingungsdauern?

**Bemerkung.** Man lasse einige Gruppen die Aufgaben 4 und 5 und gleichzeitig die andern Gruppen die Aufgabe 6 behandeln.

**6. Aufgabe.** Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer und der Länge eines Pendels?

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** GALILEO GALILEI, *Unterredungen a. a. O. 11, 84.*

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 4, dazu Lot. | Holzklötze.  
Karton. | Reißnägeln.  
Millimeterpapier. | Schere.

**Anleitung.** a) Bestimme wie in Aufgabe 4 (b) bis (d) die Schwingungsdauern von Pendeln, deren Längen 120, 100, 90, 80, 40, 30, 25, 20 und 10 cm sind. Wähle dabei jedesmal die Schwingungsweite kleiner als den zehnten Teil (etwa gleich dem zwanzigsten Teil) der jeweiligen Pendellänge. Bestimme jede Schwingungsdauer dreimal und nimm aus den erhaltenen Werten das Mittel.

Benutze diesmal bei der Zählung der Schwingungen als Marke nicht einen Kreidestrich, sondern folgende Einrichtung: Stelle hinter dem Pendelfaden ein Lot vor einem schwarzen Hintergrund oder einen schwarzen Karton mit lotrechttem weißem Strich auf und vor dem Pendelfaden einen Karton mit einem 3 mm breiten Schlitz. Ist das Pendel in Ruhe, so müssen sich Pendel und Lot oder Strich decken, wenn man durch den Schlitz sieht.

Zähle, wenn es nötig wird, bei den kurzen Pendeln nicht die Durchgänge durch die Ruhelage, sondern die Umkehren auf der linken Seite.

b) Vergleiche die Schwingungsdauern für die Pendellängen 10 und 40, 20 und 80, 25 und 100, 30 und 120 cm und die Schwingungsdauern für die Pendellängen 10 und 90 cm miteinander. Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer und der Länge des Pendels?

c) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Taktgeber Nr. . . . Durchmesser der Kugel . . . cm. Länge der Öse . . . cm.

	Anzahl der Schwingungen $N$	Schwingungszeit $t$ sek	Schwingungsdauer $\tau = \frac{t}{N}$	Mittlere Schwingungsdauer $\tau$	$\tau^2$	Fadenlänge cm	Pendellänge $l$ cm	$\frac{\tau^2}{l}$
a								
b								
c								

d) Berechne  $\tau^2$  und  $\tau^2/l$ . Welche Gleichung besteht also zwischen  $\tau$  und  $l$ ?

e) Stelle die Ergebnisse auf Millimeterpapier bildlich dar, setze erst  $x = l$  und  $y = \tau$  und dann  $x = l$  und  $y = \tau^2$ .

f) Entnimm den Kurven die Länge eines Pendels, das in 2 sek eine volle Schwingung macht. *Sekundenpendel*. Stelle ein Pendel her, das die so gefundene Länge hat, und prüfe, ob es mit dem Taktgeber gleichen Gang hat.

g) Entnimm aus den Kurven die Schwingungsdauer eines Pendels, das 60 cm lang ist. Stelle ein solches Pendel her und prüfe, ob es die so gefundene Schwingungsdauer hat.

**Bemerkungen.** Zur Vermeidung der Parallaxe kann man bei den Längenmessungen kleine Spiegel verwenden, noch zweckmäßiger sind Spiegelmaßstäbe.

Den weißen Strich auf dem schwarzen Karton stellt man her, indem man einen mit Kreide eingeriebenen Faden gegen den Karton schnellt.

Man kann auch mit zwei Pendeln arbeiten, die Länge des einen so ändern, daß es in einer Sekunde erst zwei-, dann dreimal soviel Schwingungen macht als das andere, und durch Vergleichung der Pendellängen die Abhängigkeit zwischen Pendellänge und Schwingungsdauer finden.

Über die Bestimmung von  $g$  mit einem Fadenpendel vgl. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 127 Nr. 35.

Man lasse einige Gruppen die Aufgaben 4 und 5 und gleichzeitig die andern Gruppen die Aufgabe 6 behandeln.

## V. Kraft und Masse.

**7. Aufgabe.** *Wie kann man die Größe einer Kraft durch Messung von Masse, Länge und Zeit bestimmen?*

### 1. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** DUNCAN 160.

<b>Geräte.</b>	2 Rollen.	Maßstab. Gewichtssatz. Stechuhr. Bleibblatt.
	2 Aufhängebügel.	
	2 Keile.	
	Angelschnur.	
	2 leichte Gewichtschalen.	

**Anleitung.** a) Befestige die Rollen mit Zwingen oder mit festgekeilten Bügeln an einem Galgen.

b) Bestimme die Massen der beiden Wagschalen und lege dann so viel Bleibblatt oder in Papier gewickeltes Schrot hinein, daß beide Massen gleich  $m_0$  gr werden.

c) Lege in jede der Schalen *A* und *B* (Fig. 124) die Masse  $m_1 = 500$  [gr]. Tritt eine Bewegung ein? Zieh etwas an der Schnur. Warum hört die Bewegung bald wieder auf?

d) Lege in der Schale *B* die kleinste Masse  $m_2$  gr hinzu, die nach schwachem Ziehen an der Schnur eine ganz gleichförmige Bewegung nach unten hervorruft. Wiederhole mehrmals sorgfältig die Messung und berechne den Mittelwert von  $m_2$ . Welchen Widerstand überwindet noch eben die bewegende Kraft? *Reibwiderstand*.

e) Füge in der Schale *B* eine weitere Masse  $m_3$  gr ( $\sim 25$  gr) hinzu, die durch ihr Gewicht ( $m_3 g$  Dyne) eine beschleunigte Bewegung erzeugt.

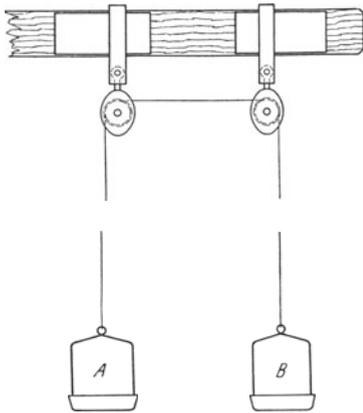


Fig. 124.

f) Ziehe die Schale B bis zu der größten möglichen Höhe über dem Fußboden empor und miß diese Höhe ( $h$  cm). Zähle 3, 2, 1, 0, laß bei Null die Schale los und miß sehr genau mit der Stechuhr die Zeit ( $t$  sek) des Herabsinkens.

g) Berechne aus  $h$  und  $t$  die Beschleunigung  $b$  cm/sek<sup>2</sup>.  $b = 2h/t^2$ .

h) Welche Massen wurden bewegt? Sieh bei der Antwort von den Massen der Rollen und der Schnur ab.

$$m = (2m_0 + 2m_1 + m_2 + m_3) \text{ [gr].}$$

i) Welche Kraft erteilt der Masse  $m$  die Beschleunigung  $b$ ?  $F = mb$  [Dyne].

k) Welches Gewicht hat die beschleunigte Bewegung bewirkt?  $F' = m_3g$  [Dyne]. Vergleiche  $F$  mit  $F'$ .

l) Wiederhole den Versuch mit andern Massen in den Schalen und mit andern Zulagen.

m) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Masse der Schale Nr. . . .  $m' = \dots$  [gr]

Masse der Schale Nr. . . .  $m'' = \dots$  [gr]

Abgeglichene Masse der Schalen  $m_0 = \dots$  [gr]

Massen in den Schalen $m_1$ gr	Massenzulagen		Bewegte Masse $m$ gr	Falltiefe $h$ cm	Fallzeit		Beschleunigung $b = 2h/t^2$ [cm/sek <sup>2</sup> ]	Bewegende Kraft in Dyne		Unterschied $F - F'$
	zur Überwindung der Reibung $m_2$ gr	zur Erzeugung d. beschleun. Bewegung $m_3$ gr			$t$ sek	Mittel		$F = mb$	$F' = m_3g$	
								Mittel		. . . .

n) Bestätigt die Erfahrung die Beziehung  $F = mb$ ?

### 2. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. WHITING 334 Nr. 60.

Geräte.	Drillring (vgl. S. 158).	Bunsengestell.
	Schraubzwinde mit Feilkloben.	Taktschläger.
	Federharter Messingdraht von 0,25 mm Durchmesser.	Maßstab.
	Beißzange.	Schublehre.
	Marke (Nadel in einem Kork) oder Sehrohr.	Wage.
		Gewichtssatz.
		Stelltisch.
		Feder oder Pinsel.

**Anleitung.** o) Nimm die Eisendrähte von den Ringhaken ab und wäge den Ring.

p) Miß den äußern Durchmesser  $d$  und die Dicke  $\delta$  des Ringes.

q) Befestige die Zwinge so am Wandgalgen, daß die Backen des Feilklobens lotrecht stehen (Fig. 125). Schneide von dem Messingdraht ein Stück ab, das mindestens 1 m lang ist. Klemme das obere Ende des Drahts fest zwischen die Backen des Klobens und das untere Ende so in die Klemmschraube der Ringaufhängung, daß der Ring wagrecht dicht über der Tischplatte hängt.

r) Stelle die Nadelmarke dicht vor den Nullstrich der Ringteilung oder richte das Sehrohr auf eine gut beleuchtete Stelle der Teilung. Drehe den Ring um nahezu  $360^\circ$  und laß ihn los. Hemme, falls dies erforderlich ist, die Pendelschwingungen durch Berühren des

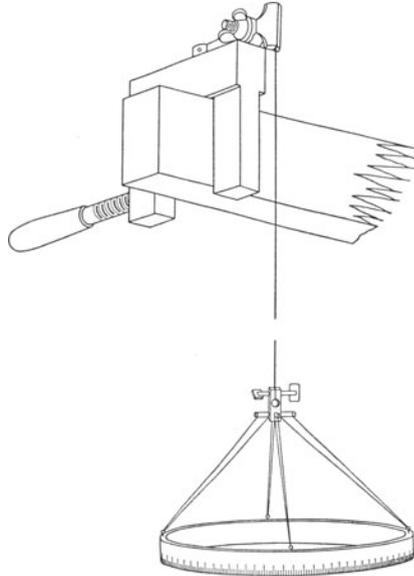


Fig. 125.

langen Aufhänge drahts mit einer Feder oder einem Pinsel. Der Ring macht dann nur noch reine Drillschwingungen.

s) Stelle das Laufgewicht des Taktgebers so, daß er Sekunden schlägt, und lies, wenn sich der Ring einer Umkehr nähert, in Zwischenzeiten von 2 Sekunden die Teilstriche ab, die mit dem Taktschlag an der Nadelmarke oder dem Draht des Sehrohrs vorübergehen. Mache  $\sim 6$  Beobachtungen.

t) Wiederhole die Messungen (s) mehrmals.

u) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Ring Nr. . . .

Masse des Ringes  $m = \dots$  [gr].

Außerer Durchmesser des Ringes  $d = \dots$  [cm].

Dicke des Ringes  $\delta = \dots$  [cm].

Außerer Halbmesser des Ringes  $r_1 = \frac{1}{2} d = \dots$  [cm].

Mittlerer Halbmesser des Ringes  $r = r_1 - \frac{1}{2} \delta = \dots$  [cm].

. . . . Draht.

Länge des Drahts  $= \dots$  [cm].

Durchmesser des Drahts  $= \dots$  [cm].

Teilstrich $s_v$ , der sich mit der Nadelmarke deckt	In 2 Sekunden vorüber- gegangene Bogenlänge $\Delta s_v = s_{v+1} - s_v$	Mittlere Geschwindig- keit $v_v = \frac{1}{2} \Delta s_v$	Änderung der Geschwindigkeit während 2 Sekunden $\Delta v_v = v_{v+1} - v_v$	Beschleuni- gung $\beta = \frac{1}{2} \Delta v_v$
			Mittel	.....

v) Berechne aus den Teilstreichen, die in Zwischenzeiten von je 2 Sekunden an der Nadelmarke vorübergegangen sind, die in Zentimeter gemessene Bogenlänge, um die sich der äußere Ringmantel während dieser Zeit gedreht hat, und daraus die in cm/sek gemessene mittlere Geschwindigkeit während dieser 2 Sekunden. Bezeichne dabei, wenn sich der Ring von seiner Gleichgewichtslage wegdreht, die Geschwindigkeit als positiv und bei entgegengesetztem Drehsinn als negativ. Berechne ferner die Änderung der mittlern Geschwindigkeit während 2 Sekunden und daraus die in  $\text{cm/sek}^2$  gemessene Beschleunigung. Nimm das Mittel aus den so erhaltenen Werten der Beschleunigung  $\beta$ . Dieser Mittelwert stellt die Beschleunigung an dem äußern Mantel des Ringes dar. Für den mittlern Halbmesser  $r$  des Ringes ist die mittlere Beschleunigung des ganzen Ringes  $b = r\beta/r_1$ .

w) Berechne aus der Masse  $m$  des Ringes und aus der Beschleunigung  $b$  die in Dynen gemessene Kraft  $F$ , die der Draht auf den Ring ausübt.

x) Ermittle bei den Versuchsreihen (s) und (t) jedesmal den mittlern Teilstrich. Dieser Mittelwert liefert den in Zentimeter gemessenen mittlern Ausschlag  $a$  des äußern Ringmantels. Berechne daraus und aus dem äußern Halbmesser  $r_1$  des Ringes den in Grad gemessenen mittlern Ausschlag  $\varphi$  des Ringes.  $\varphi = a \cdot 180^\circ / r_1 \pi$ . Wie groß ist also die Kraft, die der um  $\varphi = \dots^\circ$  gedrehte Messingdraht in der Entfernung  $r = \dots$  [cm] von seiner Achse auf einen Körper von der Masse  $m = \dots$  [gr] ausübt?

y) Wie groß ist der Drehantrieb, den der Draht auf den Ring ausübt?  $P = Fr$  [Dyne · cm].

z) Wie groß ist der Drehantrieb des Ringes bei einer Drehung um  $1^\circ$ ?

**Bemerkungen.** Beim ersten Verfahren achte man darauf, daß die Schneiden der Keile der Zugrichtung entgegengesetzt sind. Das Verfahren liefert schlechte Ergebnisse, selbst wenn man Rollen mit Kugellagern an einem Brettchen befestigt und dieses am Galgen festklemmt. Der geringste Fehler war  $\sim 7\%$ .

Der Drillring aus Eisen oder Messing von 20,5 cm äußerem Durchmesser, 0,5 cm Dicke und 2 cm Höhe trägt an vier Punkten seines obern Innenrandes Haken, die gleichweit voneinander abstehen. Von jedem Haken führen, wie Fig. 125 zeigt, zwei 15 cm lange Eisendrähte von 0,25 mm Durchmesser nach je einem Querstabe von 1 cm Länge, der an

einer Messinghülse sitzt. Die Eisendrähte sind an die Stäbe angeschraubt. Anstatt der vier Querstäbe kann man auch eine Scheibe anbringen lassen. In die Hülse wird mit zwei Schrauben der 0,25 mm starke Drilldraht aus federhartem Messing eingeklemmt. Auf dem äußern Umfange des Ringes ist eine Millimeterteilung aufgeklebt, deren Zentimeter beziffert sind.

Das Sehrohr ist eine innen schwarze Pappröhre von 30 cm Länge und 2,5 cm Durchmesser, die am einen Ende mit einem dünnen Blechstreifen und am andern Ende mit einem Sehloch von 6 mm Durchmesser versehen ist.

Eine Prüfung der vorhandenen zahlreichen Fallmaschinen für Schülerübungen und der vielleicht erforderliche Bau einer neuen Maschine konnte bis jetzt in dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut nicht ausgeführt werden, da die vorhandenen Mittel für dringendere Aufgaben verwendet werden mußten. Die Vorrichtung von FLETSCHER bedarf noch der weiteren Vervollkommnung. Den in Amerika üblichen „Acceleration Test“ hat jetzt HALL wesentlich verbessert.

## VI. Anstoß und Bewegungsgröße.

**8. Aufgabe.** *Hängt die Geschwindigkeit, womit die Pendelkugel durch die Gleichgewichtslage geht, von der Schwingungsweite ab?*

(2 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Literatur.** HALL, *Descript. List* 50.

<b>Geräte.</b>	2 Pendelkugeln (vgl. S. 151). 2 Pendelaufhängungen (vgl. S. 153). Garn. Schere.	Holzklötze (15 cm $\times$ 15 cm $\times$ 2,5 cm). Meterstab. 2 Bunsengestelle.
----------------	---	--

**Anleitung.** a) Stelle zwei Pendel her, deren Längen gleich und möglichst groß sind. Ordne sie so an, daß die Kugeln in der Gleichgewichtslage einen Abstand von  $\sim 4$  cm haben. Lege den Meterstab so zwischen die Kugeln, daß die Teilung senkrecht zu der Geraden steht, die die Mitten der Kugeln verbindet. Ziehe die eine Kugel  $P_1$  (Fig. 126) um  $a_1 = 60$  [cm] und die andere Kugel  $P_2$  um  $a_2 = 30$  [cm] seitwärts, und zwar beide nach derselben Seite; miß dabei die Ausweichungen auf dem Meterstab ab. Stelle zwei Klötze  $K_1$  und  $K_2$  so auf, daß die Kugeln dagegen stoßen, sobald sie den dritten Teil ( $d_1$  und  $d_2$ ) ihrer wagerechten Abstände ( $a_1$  und  $a_2$ ) von der Gleichgewichtslage zurückgelegt haben.

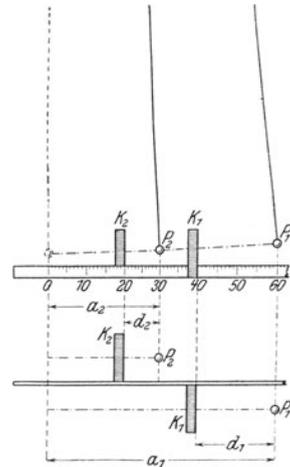


Fig. 126.

b) Laß gleichzeitig beide Kugeln los und beobachte sehr aufmerksam das Anschlagen der Kugeln. Treffen beide die Klötze gleichzeitig?

c) Mache nun  $d_1 = \frac{1}{2} a_1$  und  $d_2 = \frac{1}{2} a_2$  und dann  $d_1 = \frac{2}{3} a_1$  und  $d_2 = \frac{2}{3} a_2$  und wiederhole die Beobachtung (b).

d) Vergleiche für jeden Zeitpunkt das Verhältnis der Kugelgeschwindigkeiten mit dem Verhältnis der wagerechten Ablotungen der Bahnen, auf denen sich die Kugeln bewegen. Wie verhalten sich also die Geschwindigkeiten, mit denen eine Pendelkugel durch ihre Gleichgewichtslage geht, zu den Schwingungsweiten?

**Bemerkungen.** Die Schlußreihe ist in Wirklichkeit nur zulässig, wenn die Ausschläge kleiner als  $20^\circ$  sind.

Man kann auch die beiden Aufhängefäden zwischen zwei Holzbrettchen klemmen, die man zwischen die Backen der Feilkloben einspannt. Die Zwingen, woran die Kloben sitzen, schraubt man an den Wandgalgen fest.

Vgl. O. REICHEL, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 2, 265; 1889.

**9. Aufgabe.** *Wie ändern sich bei dem Zusammenstoßen zweier Kugeln ihre Bewegungsgrößen?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** HALL, *Descript. List* 51 Nr. 37, 38 u. 87 Nr. 79.

<p><b>Geräte.</b> Elfenbeinkugel von 50 gr mit Öse. Elfenbeinkugel von 150 bis 200 gr mit Öse. Aufhängebrett (vgl. S. 163). Sehr dünner blanker Kupfer- draht, der eine Belastung von 400 gr* aushält. Grundbrett (vgl. S. 163). Beißzange.</p>	<p>Hakenstifte. Hammer. Bindfaden. Zwinge. Glaserkitt oder Kleb- wachs. Holzkeile. Wage. Gewichtssatz.</p>
---	--

**Anleitung.** a) Wäge beide Kugeln. Die Masse der großen Kugel sei  $M$  und die der kleinen  $m$  gr. Hänge mit Kupferdraht beide Kugeln am Aufhängebrett auf und lege die Drähte in die Schlitzlöcher  $S$  und  $S_1$  des Bretts (Fig. 127). Setze in  $\sim 50$  cm Abstand die Auslöser auf das Grundbrett und richte es so aus, daß die beiden Aufhängebrähte in der Sehnlinie liegen, die durch die Mittellinien der Auslöserlöcher bestimmt wird (Fig. 128). Ändere durch Drehen der Aufhängewirbel die Längen der Drähte derart, daß die Verbindungslinie der Kugelmitten parallel dem Grundbrett und  $\sim 4$  cm über dem Maßstab und der Berührungspunkt beider Kugeln genau über dem Teilstrich 50 cm liegen. Befestige das sorgfältig ausgerichtete Grundbrett mit Haken, Zwingen oder dgl.

b) Nach Aufgabe 8 verhalten sich die Geschwindigkeiten, mit denen eine Pendelkugel durch ihre Gleichgewichtslage geht, wie die Schwingungsweiten. Wir wollen beide Kugeln gegeneinander stoßen lassen. Der Weg, den die Mitte von  $M$  vor dem Stoß zurücklegt, sei  $A_1$  und der Weg der Mitte von  $m$  vor dem Stoß  $a_1$ . Der Weg, den die Mitte von  $M$  nach dem Stoß zurücklegt, sei  $A_2$  und der

Weg der Mitte von  $m$  nach dem Stoß  $a_2$ . Wir rechnen alle Wege, die im Sinn der wachsenden Zahlen auf dem Maßstab durchlaufen werden, als positiv und die entgegengesetzten Wege als negativ. Man mißt den Weg jeder Kugelmitte, indem man den wagerechten Weg der Stelle auf der Kugelfläche bestimmt, die bei der Gleichgewichtslage von der andern Kugel berührt wird. Die Umkehrstelle bestimmt man mit einem Holzkeil, der auf seinem Rücken steht und längs dem Grundbrett verschoben wird. Mache jedesmal fünf Messungen, zähle aber dabei die Vorversuche nicht mit.

c) Laß die große Kugel in der Gleichgewichtslage hängen. Es ist also  $A_1 = 0$ . Mache  $a_1 = 30$  cm, d. h. stelle den Auslöser so auf, daß sich die kleine Kugel nach dem Loslassen wagerecht 30 cm weit zu bewegen hat, ehe sie gegen die große

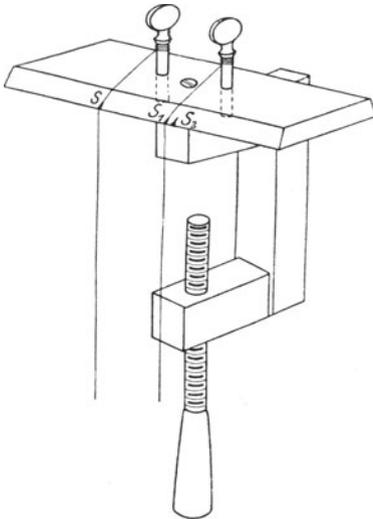


Fig. 127.

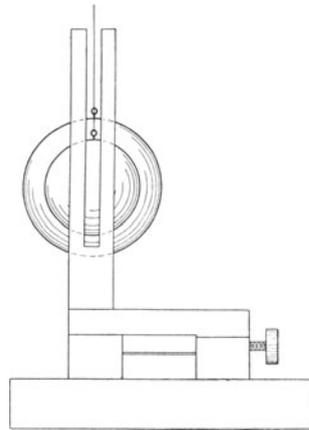


Fig. 128.

Kugel stößt. Klappe, sobald die große Kugel ganz ruhig hängt, den Auslöser vor der kleinen Kugel plötzlich abwärts, ohne jedoch dabei irgend eine Erschütterung zu erregen. Miß die wagerechte Strecke  $A_2$  cm, die die große Kugel infolge des Stoßes zurücklegt, und die wagerechte Strecke  $a_2$ , um die die kleine Kugel infolge des Stoßes zurückspringt.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Aufhängebrett Nr. . . . Grundbrett Nr. . . . Große Elfenbeinkugel  
 Nr. . . . Kleine Elfenbeinkugel Nr. . . .  $M = \dots$  [gr].  $m = \dots$  [gr].

Große Kugel $M$			Kleine Kugel $m$				
Gleichgewichtslage cm	Umkehrpunkt nach dem Stoß cm	Schwingungsweite nach dem Stoß $A_2$ cm	Gleichgewichtslage cm	Stellung vor dem Stoß cm	Schwingungsweite vor dem Stoß $a_1$ cm	Umkehrpunkt nach dem Stoß cm	Schwingungsweite nach dem Stoß $a_2$ cm

e) Berechne die Mittelwerte von  $A_2$ ,  $a_1$  und  $a_2$  und daraus die Produkte  $MA_2$ ,  $ma_1$  und  $ma_2$ , die sich wie die Bewegungsgrößen verhalten. Welche Beziehung besteht zwischen diesen drei Größen?

f) Mache  $A_1 = 20$  cm und  $a_1 = 0$ , miß  $A_2$  und  $a_2$  und berechne für jede Kugel die Bewegungsgröße vor und nach dem Stoß. Verfahre dabei sinngemäß wie bei (b) bis (e). Suche eine Beziehung zwischen den Bewegungsgrößen aufzustellen.

g) Wie wirkt der Luftwiderstand auf die Bewegungen der Kugeln ein? Als Maß für die Geschwindigkeit vor dem Stoß dient die Schwingungsbreite vor dem Stoß und als Maß für die Geschwindigkeit nach dem Stoß die Schwingungsbreite nach dem Stoß. Welche Breite ist zu groß und welche zu klein?

h) Mache  $A_1 = 20$  cm und  $a_1 = 25$  cm. Löse gleichzeitig beide Kugeln aus. Das Auslösen muß ein Schüler allein ausführen.

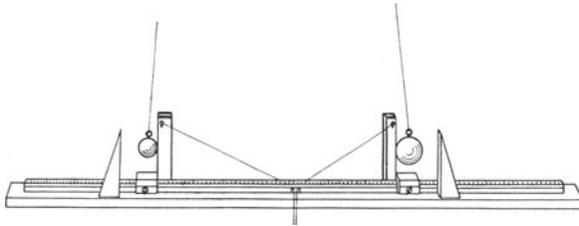


Fig. 129.

Binde an die Ösen auf den Zinken der beiden Auslöser die Enden eines Fadens und führe dessen Mitte durch eine Durchbohrung oder eine Ringschraube, die in der Mitte des Grundbrettes angebracht ist (Fig. 129). Zieh, sobald alle Einstellungen ausgeführt sind, plötzlich an der Mitte des Fadens, ohne dabei das Grundbrett irgendwie zu verschieben. Verfahre wie bei den Versuchen (b) bis (e), doch gib der Tafel folgende Einrichtung.

Große Kugel $M$					Kleine Kugel $m$				
Gleichgewichtslage cm	Stellung vor dem Stoß cm	Schwingungsbreite vor dem Stoß $A_1$ cm	Stellung nach dem Stoß cm	Schwingungsbreite nach dem Stoß $A_2$ cm	Gleichgewichtslage cm	Stellung vor dem Stoß cm	Schwingungsbreite vor dem Stoß $a_1$ cm	Stellung nach dem Stoß cm	Schwingungsbreite nach dem Stoß $a_2$ cm

i) Welche Sätze über die Bewegungsgröße lassen sich bei dem Stoß federnder Körper aufstellen?

k) Hänge die Drähte in die Schlitz  $S$  und  $S_2$  des Aufhängebretts. Lege um die kleinere Kugel einen Ring aus Glaserkitt oder Klebwachs, der  $\sim 1$  cm breit und 0,3 cm dick ist, so daß dieser Gürtel die große Kugel eben berührt, wenn sich beide Kugeln in

der Gleichgewichtslage befinden. Mache  $A_1 = 30$  cm und  $a_1 = 0$ . Bestimme  $A_2$  und  $a_2$  und verfare wie bei (b) bis (e). Hier ist  $m$  die Masse der kleinen Kugel, vermehrt um die Masse des Ringes.

1) Welche Sätze über die Bewegungsgröße lassen sich beim Stoß knetbarer Körper aufstellen?

**Bemerkungen.** Das Aufhängebrett (Fig. 127) ist  $\sim 20$  cm lang, 6 cm breit und 1 cm dick. Die Vorderfläche, von der die Pendeldrähte herabhängen, ist abgeschragt und an der untern Kante mit drei schmalen Einschnitten  $S, S_1$  und  $S_2$  versehen. Der Abstand von  $S$  und  $S_1$  ist gleich der Summe der Kugelhalbmesser und der Abstand  $S_1 S_2$  gleich 0,3 cm. Das Aufhängebrett, das auf einer Schraubzwinde sitzt, befestigt man möglichst hoch, etwa an einem Wandgalgen. Die Kugeln sind aus Elfenbein, Glas oder Stahl (Lagerkugeln). Da das Aufhängebrett und die Kugeln aneinander angepaßt sind, so muß man diese Gegenstände einheitlich zeichnen.

Das Grundbrett ist 1 m lang; auf seine obere Seite ist ein Meterstab geschraubt. Der Stab dient zwei Auslösern als Führung. Jeder Auslöser besteht aus einem Schlitten, den man am Stabe festschrauben kann, und aus einem geschlitzten Stab, der am Schlitten drehbar befestigt ist (Fig. 130). Die durch die Schlitzte festgelegte Sehlinie soll parallel zum Maßstab liegen.

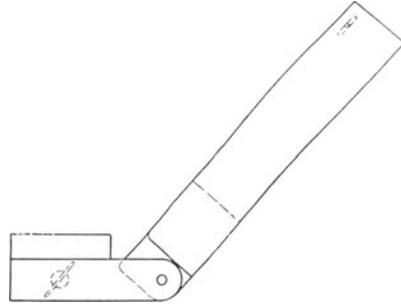


Fig. 130.

Unter dem mittelsten Teilstrich ist der Meterstab unterhöhlt und davor eine Ringschraube angebracht. Ist der Abstand von Grundbrett und Aufhängung  $\sim 2$  m, wie bei allen Maßangaben angenommen worden ist, so genügt ein Grundbrett. Ist der Abstand viel größer, was zwar wünschenswert, doch beschwerlich ist, so muß man, wenn erforderlich, zwei Bretter aneinander schieben. Wenn es nicht anders geht, befestigt man das Grundbrett auf dem Fußboden. Die optische Bank (vgl. Optik, Aufg. 11) kann man als Grundbrett verwenden, wenn ihr Maßstab hinreichend hoch liegt.

Bei den Berechnungen sind die Massen der Aufhängebretter nicht berücksichtigt worden. Will man sie in Betracht ziehen, so hat man zu der Masse jeder Kugel die Hälfte der Masse ihres Aufhängebrettes hinzuzufügen.

Bei Versuch (k) kleben die Kugeln nach dem Stoß zusammen. Das hat wenig zu sagen; will man es verhindern, so bedecke man den Kitt oder das Wachs an der Stoßstelle mit einem Stückchen Papier.

Zumeist hängt man bei den Stoßversuchen die Körper an zwei Fäden auf; hierbei ist jedoch das scharfe Einstellen schwieriger als bei Pendeln mit einem Faden. Aus diesem Grunde bin ich der Versuchsanordnung von E. H. HALL gefolgt.

Es sei noch einmal ausdrücklich hervorgehoben, daß bei diesen Versuchen nicht die Geschwindigkeit  $v$ , sondern die wagerechte Ablotung  $a$  der Schwingungsweite gemessen wird, wobei angenähert  $v = ka$  ist und  $k$  eine Unveränderliche bezeichnet. Man berechnet also nicht den Wert der Bewegungsgröße  $mv$ , sondern die angenäherte Größe  $ma$ . Die Abweichung zwischen  $\frac{1}{2}mv^2$  und  $\frac{1}{2}ma^2$  ist so groß, daß man mit der benutzten Vorrichtung die Gesetze über die Wuchten der aufeinanderstoßenden Körper nicht ableiten kann.

Von den andern Vorrichtungen für Stoßversuche seien hervorgehoben: ALLEN 177 Nr. 8, 221, 249. AMES-BLISS 85 Nr. 14 u. 15. EGGAR 82 Nr. 52. KELSEY 63 Nr. 14. MILLIKAN 54 Nr. 6. WATSON, *Elem. Pract. Phys.* 108 Nr. 85.

**10. Aufgabe.** Bestimme mit der Stoßwage die Masse eines Körpers.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** O. REICHEL, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 2, 267; 1889. R. HEYNE, *ebenda* 7, 73, 1893; HICKS, *Elementary Dynamics* 24. W. WATSON, *Elem. Pract. Phys.* 110 Nr. 86, 113 Nr. 87 u. 235.

**Geräte.** HICKS Stoßwage (vgl. S. 164). | 1 Stück Blei von ~ 750 gr.  
Zwei 500 gr-Stücke. | Wage.  
1 kg-Stück. | Gewichtsatz.

**Anleitung.** a) Stelle auf jedes Brettchen 500 gr, lies für die Gleichgewichtslage die Stellungen der innern Ränder der Zeiger ab, zieh beide Pendel um gleiche Strecken zur Seite und laß sie dann gleichzeitig los. Wo treffen sie sich? Vernichten sich ihre Bewegungen? *Dynamische Begriffsbestimmung der Masse.*

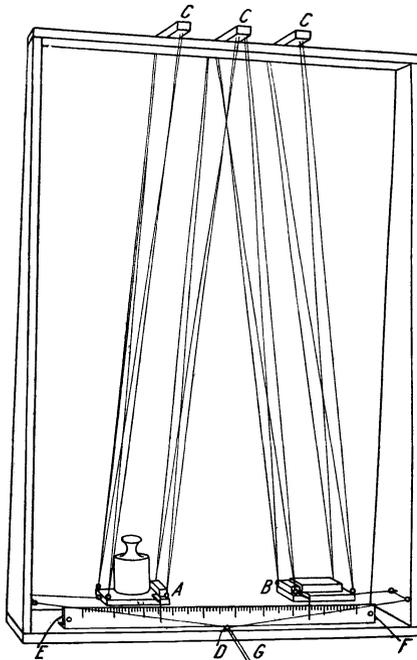


Fig. 131.

b) Fasse beide Brettchen mit den Händen an und ziehe sie behutsam auseinander. Verschiebe das eine Brettchen um 5 cm und das andere um 10 cm. Wo treffen sie sich jetzt? Kommen sie zur Ruhe?

c) Lege auf das rechte Brettchen 1000 gr und verschiebe es jedesmal um 5 cm. Ändere die Schwingungsweite des linken Brettchens, bis beide Pendel beim Zusammenstoßen ihre Geschwindigkeiten gegenseitig vernichten. Berechne die angenäherten Bewegungsgrößen und trage sie in die folgende Tafel ein.

Stoßwage Nr. . . .

Linkes Pendel				Rechtes Pendel				$m_1 a_1 - m_2 a_2$
$m_1$ gr Masse	Nullage cm	Ver- schiebung $a_1$ cm	Angenäherte Bewegungs- größe $m_1 a_1$	Masse $m_2$ gr	Null- lage cm	Ver- schie- bung $a_2$ cm	Angenäherte Bewegungs- größe $m_2 a_2$	
Mittel								. . . . .

**d)** Wiederhole den Versuch (c), doch verschiebe das linke Pendel stets um 12 cm und ändere diesmal die Verschiebung des rechten Brettchens.

**e)** Lege auf das linke Brettchen das Bleistück und auf das rechte 500 gr (Fig. 131). Ermittle die Verschiebungen, bei denen beide Pendel nach dem Zusammenstoßen zur Ruhe kommen. Sind  $a_1$  und  $a_2$  die Verschiebungen beider Brettchen,  $v_1$  und  $v_2$  ihre Geschwindigkeiten beim Zusammenstoßen und  $m$  die Masse des Bleistücks, so ist  $mv_1/500v_2 = ma_1/500a_2$  und  $ma_1 - 500a_2 = 0$ , mithin

$$m = \frac{a_2}{a_1} 500 \text{ [gr]}.$$

**f)** Wiederhole die Massenbestimmung unter Benutzung verschiedener Werte von  $a_1$  und  $a_2$  und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

**g)** Bestimme die Masse des Bleistücks mit der Wage.

**Bemerkungen.** Die Stoßwage von HICKS (Fig. 131). Zwei leichte Brettchen  $A$  und  $B$  ( $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ) hängen mit starken Fäden an drei 20 cm langen Querstäben  $C$ , die auf einem Holzrahmen befestigt sind. Die Enden der Schnüre sind mit Ösen versehen, die mit Reißnägeln auf den Querstäben festgeheftet werden. Die Längen (90 cm) der Schnüre und die Längen (20 cm) der Querstäbe sind so abgepaßt, daß sich beide Brettchen in der Gleichgewichtslage eben berühren und daß sie, wenn man sie seitwärts zieht, die wagerechte Stellung beibehalten. An den einander zugekehrten Enden  $A$  und  $B$  der beiden Brettchen sind kleine Holzklötze aufgeleimt. Aus einem dieser Klötze ragen zwei scharfe Metallspitzen heraus. Sobald die Brettchen aufeinanderstoßen, dringen diese Spitzen in den Klotz des andern Brettchens ein, und es haften mithin  $A$  und  $B$  nach dem Stoß zusammen. Statt der Stifte kann man auch Klebwachs verwenden. Die Brettchen werden mit zwei dünnen Fäden zur Seite gezogen. Jeder Faden geht durch zwei Ringe an den Seitenwänden des Rahmens und von da nach der Ringschraube  $D$  im Grundbrett. Hält man beide Fäden bei  $G$  zwischen Zeigefinger und Daumen derselben Hand, so kann man beide Pendel in demselben Augenblick loslassen. Die Strecken, um die beide Pendel seitwärts gezogen werden, liest man an der Teilung  $EF$  mit den beiden Zeigern ab, die an den Brettchen befestigt sind.

Die richtige Abpassung der Schnüre und die Einstellung der Brettchen ist recht mühsam.

Man lasse nicht mit zu kleinen Verschiebungen arbeiten. Man achte streng darauf, daß die Schüler nicht versuchen, die Brettchen, die sich mit den Spitzen aneinander geheftet haben, mit den Zugschnüren auseinander zu reißen, sondern stets mit den Händen die Brettchen auseinander ziehen.

## VII. Arbeit und Wucht.

**11. Aufgabe.** *An das eine Ende einer Schnur, die um die Achse eines Schwungrades gewunden ist, wird eine Masse befestigt. Ihr Gewicht dreht das Rad. Welche Wucht erlangt die sinkende Masse?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** WELLS 195 Nr. 1.

<b>Geräte.</b>	Rad mit wagerechter Achse (vgl. S. 167). Schnur.	Belastungsgewichte. Maßstab. Stechuhr.
----------------	--	--

## 1. Verfahren.

**Anleitung.** a) Mache die Schnur so lang, daß sie in dem Augenblick abfällt, wo das Gewicht den Boden berührt (Fig. 132). Befestige das eine Ende der Schnur mit einer losen Schleife am Stift der Achse und hänge an das andere Ende eine Masse von  $\sim 100$  gr.

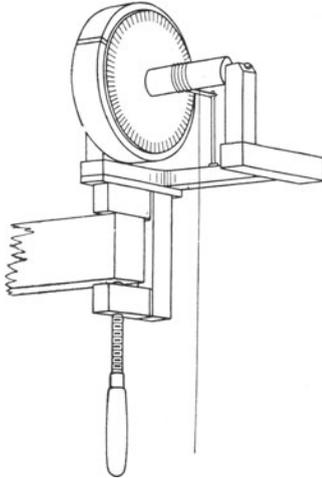


Fig. 132.

b) Drehe das Rad und wickle die Schnur in dicht nebeneinander liegenden vollen Windungen so weit auf die Achse, daß die Masse an ihrem Ende eben frei herabhängt. Miß die Höhe ( $h$  cm) des untern Randes der Masse über dem Fußboden.

c) Laß die Masse los und miß mit der Stechuhr die Fallzeit ( $t$  sek). Bezeichnet  $v$  cm/sek die Endgeschwindigkeit der sinkenden Masse, dann ist die mittlere Geschwindigkeit  $\frac{1}{2}v$ , die Falltiefe  $h = \frac{1}{2}vt$ , mithin  $v = 2h/t$  und die Wucht der aufschlagenden Masse  $Q = \frac{1}{2}mv^2$  [Erg].

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Schwungrad Nr. . . .

Sinkende Masse $m$ gr	Falltiefe $h$ cm	Fallzeit $t$ sek	Endgeschwindigkeit $v = 2h/t$ [cm/sek]	Wucht der aufschlagenden Masse $Q = \frac{1}{2}mv^2$ [Erg]

e) Wiederhole den Versuch mit andern Massen (150, 200, 250 gr) und verschiedenen Falltiefen.

## 2. Verfahren.

f) Verfahre wie vorher. Miß jedoch die Fallzeit  $t$  sek und die Anzahl  $n$  der Umdrehungen während des Sinkens. Ist beim Aufschlagen der Masse  $z$  die Umlaufzahl für 1 sek., so ist die mittlere Umlaufzahl des Rades  $\frac{1}{2}z$  und die Anzahl  $n$  der Umdrehungen während des Sinkens  $n = \frac{1}{2}zt$  und mithin  $z = 2n/t$ .

g) Wickle die Schnur wie bei (b) auf die Achse, drehe das Schwungrad  $n'$  ( $\sim 25$ )mal herum und miß die ganze Falltiefe  $h'$  cm der Masse. Berechne die Falltiefe für eine Umdrehung.  $h_1 = h'/n'$ . Die Endgeschwindigkeit der aufschlagenden Masse ist mithin  $v = h_1 z = 2nh_1/t$ .

h) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Sinkende Masse $m$ gr	Anzahl der Umdrehungen während des Sinkens $n$	Fallzeit $t$ sek	Umlaufzahl für 1 sek beim Aufschlagen $z = 2n/t$	Zahl der Windungen $n'$	Zugehörige Falltiefe $h'$ cm	Falltiefe für eine Umdrehung $h_1 = h'/n'$	Endgeschwindigkeit $v = h_1 z$ [cm/sek]	Wucht der Masse beim Aufschlagen $Q = \frac{1}{2} m v^2$ [Erg]

i) Wiederhole das Verfahren mit andern Massen und verschiedenen Falltiefen. Vgl. (e).

### 3. Verfahren.

k) Miß die Zeit ( $t$  sek) von dem Beginn der Raddrehung bis zu dem Aufschlagen der Masse und die Zeit ( $T$  sek) von dem Beginn des Drehens bis zu dem Stillstehen des Rades und zähle zugleich die Anzahl  $n$  der Umdrehungen während der Zeit  $t$  und die Anzahl  $N$  der Umdrehungen während der Zeit  $T$ . Das Schwungrad macht in den  $T$  Sekunden  $N$  Umdrehungen, also ist die mittlere Umlaufzahl für eine Sekunde  $N/T$ . Bezeichnet  $z$  die Umlaufzahl für eine Sekunde bei dem Aufschlagen des Gewichts, so ist die mittlere Umlaufzahl  $\frac{1}{2} z = N/T$  und mithin  $z = 2N/T$ . Ist  $h_1$  die Falltiefe für eine Umdrehung des Rades, so ist die Geschwindigkeit der aufschlagenden Masse  $v = h_1 z = 2N h_1/T$  und deren Wucht  $Q = \frac{1}{2} m v^2$  [Erg].

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Sinkende Masse $m$ gr	Gesamtzahl der Umdrehungen des Rades $N$	Drehzeit des Rades $T$ sek	Umlaufzahl für 1 sek beim Aufschlagen $z = 2N/T$	Zahl der Windungen $n'$	Zugehörige Falltiefe $h'$ cm	Falltiefe für eine Umdrehung $h_1 = h'/n'$	Endgeschwindigkeit $v = h_1 z$ [cm/sek]	Wucht der Masse beim Aufschlagen $Q = \frac{1}{2} m v^2$ [Erg]

m) Wiederhole das Verfahren mit andern Massen und verschiedenen Falltiefen. Vgl. die zusammengehörigen Ergebnisse von (e), (i) und (m).

**Bemerkungen.** Das Schwungrad (Fig. 132) hat folgende Einrichtung: Auf einer Achse sitzt ein eisernes Rad von 18,3 cm Durchmesser und eine Welle aus Holz von 3,09 cm Durchmesser. Auf die der Welle zugekehrte Radseite ist eine Kreisteilung geklebt. Der rot ausgezogene Nullstrich der Teilung liegt mit einem kurzen Stift, der in die Welle eingesetzt ist, in einer Ebene. Die Achse des Rades ruht auf Lagern, die auf einem ausgeschnittenen Grundbrett sitzen. Dieses wird möglichst hoch mit einer angeschraubten Zwinne auf einem Wandgalgen befestigt. Das Grundbrett ist so ausgeschnitten, daß sich die Schnur frei nach unten bewegen kann. Es trägt außerdem einen lotrechten Messingstab, woran als Zeiger ein wagerechter Blechstreifen befestigt ist, der mit dem Stift und also auch mit dem Nullstrich der Teilung bei richtiger Stellung des Rades in einer Ebene liegt. Der Blechstreifen dient bei der Zählung der Umdrehungen als Marke. Man kann auch die Kreisteilung weglassen und die Um-

drehungen mit einem weißen Strich zählen, den man mit Farbe auf den Radkranz gemalt hat. Die Schnur (Angelschnur) hat an beiden Enden Schleifen und ist so lang, daß sie von dem wagerecht gestellten Stift bis zu einer Höhe von  $\sim 10$  cm über dem Fußboden reicht. Das Anhängengewicht nebst Haken ist so schwer, daß es das Rad mit gleichbleibender Geschwindigkeit dreht, wenn es schwach angestoßen wird. Die geschlitzten Zusatzgewichte versetzen das Rad in eine gleichförmig beschleunigte Bewegung.

WELLS (193) benutzt ein gußeisernes Scheibenschwungrad mit einem schweren Schwungring. Es ist auf einer Stahlachse befestigt und zwischen konischen Lagern auf einem starken gußeisernen Wandbock angebracht. Die Achse des Rades liegt wagerecht. Das Rad hat 38 cm äußern Durchmesser, der Schwungring ist 7 cm breit und 7 cm dick, die Mittelscheibe ist 0,6 cm dick, die Nabe hat 7,6 cm Durchmesser und ist 7,6 cm lang, und die Achse hat 2,9 cm Durchmesser und ist 30 cm lang. Das ganze Schwungrad wiegt 43,6 kg\*. Die Radachse liegt mindestens 1,50 m über dem Fußboden. Um die Achse ist eine Schnur gewunden und mit einer weiten Schleife so an einem zur Achse senkrechten 3 cm langen Stift befestigt, daß sie sich bequem frei machen kann, sobald das daran hangende Gewicht den Boden berührt, aber sicher daran festsitzt, wenn sie sich beim Drehen des Rades auf die Achse aufwickelt und dabei das Gewicht hebt. Die Umdrehungen des Rades zählt man, indem man beobachtet, wie oft der Stift an einem kleinen Stabe vorübergeht, der neben dem Schwungring befestigt ist. Bei dem schweren Schwungrad muß man mit Belastungen von 5 bis 20 kg\* arbeiten und die jeweilige Ausdehnung der Schnur berücksichtigen. Eine auf das Rad gemalte Marke (weißer Strich oder Fleck) ist bei der Umdrehung schlecht sichtbar.

Andere Anordnungen des Schwungrades findet man bei DUNCAN 223 und JOHN PERRY, *Applied Mechanics* 247.

Die Aufgaben 11 bis 14 läßt man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs erledigen.

**12. Aufgabe.** *An dem einen Ende einer Schnur, die um die Achse eines Schwungrades gewunden ist, wird eine Masse befestigt. Ihr Gewicht dreht das Rad. Welche Arbeit wird beim Sinken des Gewichts zur Überwindung der Achsenreibung verbraucht?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** WELLS 196 Nr. 2.

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 11 S. 165.

### 1. Verfahren.

**Anleitung.** a) Hänge an die Schnur die kleinste Masse  $m_0$  ( $\sim 25$ ) gr, die beim Sinken das schwach angestoßene Rad mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiterdreht, und miß die Falltiefe  $h$  cm. Welche Arbeit wird durch die Reibung vernichtet?  $Q_1 = m_0 g h$  [Erg].

b) Schreibe die Versuche in folgender Weise auf:

Schwungrad Nr. . . .

Sinkende Masse $m_0$ gr	Falltiefe $h$ cm	Arbeit gegen die Reibung $Q_1 = m_0 g h$ [Erg]

c) Wiederhole die Versuche mit andern Falltiefen.

**2. Verfahren.**

**d)** Hänge an die Schnur die Masse  $m$  ( $\sim 100$ ) gr, laß sie zu Boden sinken und ihr Gewicht das Rad drehen. Bestimme die Zahl  $N$  der Umdrehungen von dem Beginn der Bewegung bis zu dem Stillstehen des Rades. Das Gewicht  $mg$  Dyne sinkt um  $h$  cm und leistet während des Fallens die positive Arbeit  $Q = mgh$  [Erg].

**e)** Bestimme wie in Aufgabe 11 die Endgeschwindigkeit ( $v$  cm/sek) und die Wucht ( $Q_3$  Erg) der fallenden Masse.

**f)** Vergleiche die verbrauchte Arbeit  $Q$  mit der erzeugten Wucht  $Q_3$  der sinkenden Masse. Wozu wird der Unterschied ( $Q - Q_3$ ) zwischen der verlorenen Arbeit und der erzeugten Wucht verbraucht? Es wird zur Überwindung der Achsenreibung die Arbeit  $Q_1$  Erg aufgewandt und dem Rade selbst die Wucht  $Q_2$  Erg mitgeteilt. Nach dem Abfallen der Schnur hat das Schwungrad die Wucht  $Q_2$ . Welche Arbeit leistet diese Wucht bis zu dem Stillstehen des Rades? Sie überwindet die Achsenreibung. Welche Arbeit wird also von dem Beginn der Drehung bis zu dem Stillstehen des Rades zu der Überwindung der Reibung verbraucht?  $Q_1 + Q_2 = Q - Q_3 = mgh - \frac{1}{2}mv^2$ . Diese Arbeit wird während  $N$  Umdrehungen des Rades verzehrt und daher während einer Umdrehung die Arbeit  $(mgh - \frac{1}{2}mv^2)$  Erg/ $N$ . Welche Arbeit wird also während des Sinkens der Masse  $m$  durch Reibung vernichtet, wenn das Rad von dem Beginn der Bewegung bis zu dem Aufschlagen der Masse  $n$  Umdrehungen gemacht hat?

$$Q_1 = \frac{n}{N} (mgh - \frac{1}{2}mv^2) \text{ [Erg].}$$

**g)** Schreibe die Ergebnisse der Bestimmung von  $v$  wie in Aufgabe 11 auf und die weitem Ergebnisse in folgender Weise:

Sinkende Masse $m$ gr	Falltiefe $h$ cm	Positive Arbeit der sinkenden Masse $Q = mgh$ [Erg]	Endgeschwindigkeit der sinkenden Masse $v$ cm/sek	Wucht der sinkenden Masse $Q_3 = \frac{1}{2}mv^2$ [Erg]	Anzahl der Umdrehungen		Arbeit zur Überwindung der Reibung $Q_1$ [Erg]
					bis zum Aufschlagen der Masse $n$	bis zum Stillstehen des Rades $N$	

**h)** Wiederhole die Versuche mit verschiedenen Massen und Falltiefen.

**i)** Vergleiche die erhaltenen Werte der Arbeit  $Q_1$  mit den Werten, die die Versuche (a) und (c) geliefert haben. Wie sind die Unterschiede zu erklären? Vergleiche die Geschwindigkeiten, womit sich das Rad bei den beiden Verfahren dreht. Vergleiche ferner die Belastungen der Achse bei den beiden Verfahren. Haben die Geschwindigkeit und die Belastung einen Einfluß auf die Reibung? Vergleiche auch die Belastungen mit dem Gewichte des Schwungrades. Bei

welchem Verfahren werden die Versuchsbedingungen am wenigsten geändert? Welches der beiden Verfahren ist also vorzuziehen?

**Bemerkungen.** Benutzt man ein so schweres Schwungrad wie WELLS, so muß man beim zweiten Verfahren sinkende Massen von 5 bis 20 kg anwenden.

Die Aufgaben 11 bis 14 läßt man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs erledigen.

**13. Aufgabe.** *Wie groß ist die Wucht des Schwungrades in dem Augenblick, wo das Gewicht der sinkenden Masse aufhört, darauf zu wirken?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** WELLS 198 Nr. 3.

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 11, dazu Millimeterpapier.

**Anleitung.** a) Die positive Arbeit des sinkenden Gewichts  $mg$  Dyne ist

$$Q = mgh \text{ [Erg]}$$

und die Wucht der sinkenden Masse in dem Augenblick, wo sie auf den Fußboden aufschlägt (vgl. Aufgabe 11),

$$Q_3 = \frac{1}{2} mv^2 \text{ [Erg].}$$

Zur Überwindung der Achsenreibung ist nach Aufgabe 12, die Arbeit

$$Q_1 = \frac{n}{N} (mgh - \frac{1}{2} mv^2) \text{ [Erg]}$$

verbraucht worden.

In dem Augenblick, wo die Einwirkung des sinkenden Gewichts aufhört, hat daher das Schwungrad die Wucht

$$Q_2 = Q - (Q_1 + Q_3)$$

$$Q_2 = mgh - \left[ \frac{1}{2} mv^2 + \frac{n}{N} (mgh - \frac{1}{2} mv^2) \right].$$

b) Bestimme wie bei den Aufgaben 11, und 12, für die sinkenden Massen 100, 150, 200 und 250 gr die Wucht  $Q_2$  des Schwungrades.

c) Stelle die Ergebnisse bildlich dar und setze dabei  $x = v^2$  und  $y = Q_2$ . Zeichne die Gerade, die sich den erhaltenen Punkten am besten anschmiegt. Welche Beziehung besteht zwischen  $Q_2$  und  $v^2$ ?

d) Macht das Schwungrad in einer Sekunde  $z$  Umdrehungen, so ist seine Winkelgeschwindigkeit  $\omega = 2\pi z$ . Bezeichnet  $\rho$  den Drehhalbmesser des Rades, so ist dessen Geschwindigkeit  $\rho\omega$  cm/sek und, wenn  $M$  die Masse des Schwungrades bedeutet, dessen Wucht

$$Q_2 = \frac{1}{2} M \rho^2 \omega^2$$

oder, wenn man die Drehmasse des Rades  $M\rho^2$  mit  $K$  bezeichnet,

$$Q_2 = \frac{1}{2} K \omega^2.$$

e) Berechne aus den Versuchsergebnissen der Aufgaben 11 bis 13 die Drehmasse und mit  $M$  den Drehhalbmesser des Rades.

**Bemerkungen.** Die Drehmasse nennt man auch Schwungmasse oder Trägheitsmoment und den Drehhalbmesser dementsprechend Trägheitsradius.

Benutzt man ein so schweres Schwungrad wie WELLS, so muß man sinkende Massen von 5 bis 20 kg anwenden.

Die Aufgaben 11 bis 14 läßt man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs erledigen.

**14. Aufgabe.** *Wie groß ist der Drehantrieb der Achsenreibung und die Drehmasse eines Rades?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** KELSEY 52 Nr. 35.

<p><b>Geräte.</b> Rad mit wagerechter Achse (vgl. S. 167). Schnur. Belastungsgewichte. Maßstab.</p>	<table border="0"> <tr><td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px;">Schublehre.</td></tr> <tr><td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px;">Wage.</td></tr> <tr><td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px;">Gewichtssatz.</td></tr> <tr><td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px;">Stechuhr.</td></tr> </table>	Schublehre.	Wage.	Gewichtssatz.	Stechuhr.
Schublehre.					
Wage.					
Gewichtssatz.					
Stechuhr.					

**Anleitung.** a) Nimm das Rad aus seinem Lager, miß den Durchmesser  $d$  der Welle, lege die eine Endschleife der Schnur über den Stift auf der Welle, wickle die Schnur in dicht nebeneinanderliegenden Windungen auf die Welle, zähle dabei die Anzahl der Windungen und schreibe diese Zahl  $n$  und den Halbmesser  $r$  der Welle auf.

b) Hängt man an die freie Endschleife der Schnur die Masse  $m$  gr, so durchfällt sie die Höhe  $h$  cm und das Gewicht  $mg$  Dyne setzt das Rad in eine gleichförmig beschleunigte Drehung. Sobald sich die Schnur abgewickelt hat, fällt sie vom Stift ab. Welche Beziehung besteht zwischen  $h$ ,  $r$  und  $n$ ? Man kann auch  $h$  selbst messen, indem man die Schnur aufwickelt und die Höhe des Gewichts mißt, einmal, wenn es hinaufgewunden ist, und das andere Mal, wenn es die Stellung hat, wo die Schnur vom Stift abfällt. Wie groß ist die gewonnene Macht (Arbeitsvorrat)  $Q$  der Masse  $m$ , wenn der Faden aufgewunden ist?

c) Beim Abrollen der Schnur leistet das fallende Gewicht positive Arbeit. Diese überwindet die Achsenreibung des Rades in den Lagern und erteilt dem Rad und dem fallenden Körper eine gewisse Wucht.

d) Die Arbeit  $Q_1$ , die zur Überwindung der Achsenreibung erforderlich ist, mißt man mit dem Produkt aus dem Drehantrieb  $P$  dieser Reibung und dem Winkel  $2\pi n$ , um den sich das Rad von dem Beginn der Bewegung bis zu dem Abfallen der Schnur dreht. Der Drehantrieb  $P$  der Reibung ist der Antrieb, der unter Überwindung der Reibung das schwach angestoßene Rad eben in gleichförmiger Drehung erhält. Es ist also

$$Q_1 = 2\pi n \cdot P,$$

wo  $P$  noch zu bestimmen ist.

e) Ermittle durch Versuche das kleinste Gewicht  $m_0 g$  Dyne, das, an die freie Endschleife der Schnur gehängt, beim Sinken das schwach angestoßene Rad mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiter dreht. Es ist dann

$$P = m_0 g \cdot r.$$

Bestimme die Masse  $m_0$  mit der Wage. Wiederhole den Versuch mehrmals, nimm das Mittel aus den Werten von  $m_0$  und berechne  $P$  und  $Q_1$ .

f) Wickle die Schnur wieder mit  $n$  Windungen auf die Welle, hänge an die freie Endschleife das Gewicht  $mg$  Dyne. Stelle das Rad so, daß der Nullpunkt der Kreisteilung, also auch der Stift, mit der wagerechten Drahtmarke in einer Ebene liegt. Setze in dem Augenblick, wo das Gewicht losgelassen wird und das Rad sich von selbst zu drehen beginnt, die Stechuhr in Gang und hemme sie in dem Augenblick, wo die Schnur vom Stift abfällt. Lies die Fallzeit  $t$  sek ab. Der Mitarbeiter zähle von dem Augenblick an, wo die Schnur herabgefallen ist, die Umdrehungen (die vollen Umdrehungen und den Bruchteil der letzten Umdrehung), die das Rad bis zu seinem Stillstehen macht. Schreibe diese Zahl  $n'$  auf. Bestimme die Masse  $m_{gr}$  mit der Wage. Wiederhole die Messungen mehrmals und bilde die Mittelwerte von  $t$  und  $n'$ .

g) Das Rad hat in dem Augenblick, wo die Schnur vom Stift abfällt, die Wucht (vgl. S. 170)

$$Q_2 = \frac{1}{2} K \omega^2,$$

wenn  $K$  die Drehmasse und  $\omega$  die Winkelgeschwindigkeit des Rades bezeichnen. Die Dauer  $t$  der beschleunigten Bewegung des Rades ist mit der Stechuhr bereits bestimmt worden. Die mittlere Winkelgeschwindigkeit des Rades ist  $2\pi n/t$  und, da die größte Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  doppelt so groß ist,

$$\omega = \frac{4\pi n}{t}.$$

h) Die Wucht  $Q_3$  des fallenden Gewichts  $mg$  selbst ist  $\frac{1}{2}mv^2$ . Die mittlere Geschwindigkeit des Gewichts ist  $h/t$  oder, da  $h = 2\pi n \cdot r$  ist,  $2\pi n \cdot r/t$ , und mithin die doppelt so große Endgeschwindigkeit

$$v = 4\pi n \cdot \frac{r}{t}.$$

Ermittle, falls  $h$  selbst gemessen worden ist,  $v$  auch aus der Beziehung  $v = 2h/t$ . Berechne aus dem so erhaltenen Wert von  $v$  die Wucht  $Q_3$ .

i) Es ist  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$   
und  $Q_2 = \frac{1}{2} K \omega^2$ , mithin

$$K = 2 \frac{Q - Q_1 - Q_3}{\omega^2}.$$

Berechne aus den bereits ermittelten Werten von  $Q$ ,  $Q_1$ ,  $Q_3$  und  $\omega$  die Drehmasse des Rades.

k) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Rad Nr. . . . .

Durchmesser der Welle  $d = \dots$  [cm].

Halbmesser der Welle  $r = \dots$  [cm].

Anzahl der Windungen  $n = \dots$

Drehwinkel  $2\pi n = \dots$  [Radiant].

Fallhöhe  $h = 2\pi n \cdot r = \dots$  [cm].

Masse des Fallkörpers  $m = \dots$  [gr].

Gewicht des Fallkörpers  $mg = \dots$  [Dyne].  
 Macht (Arbeitsvorrat) des hinaufgewundenen Fallkörpers  
 $Q = mgh = \dots$  [Erg].  
 Masse des Reibgewichts (Mittelwert)  $m_0 = \dots$  [gr].  
 Reibgewicht  $m_0g = \dots$  [Dyne].  
 Drehantrieb der Reibung  $P = m_0g \cdot r = \dots$  [Dyne  $\times$  cm].  
 Negative Arbeit der Reibung  $Q_1 = 2\pi n \cdot P = \dots$  [Erg].  
 Fallzeit (Mittelwert)  $t = \dots$  [sek].  
 Anzahl der Umdrehungen nach dem Abfallen der Schnur  
 (Mittelwert)  $n' = \dots$ .  
 Mittlere Winkelgeschwindigkeit  $2\pi n'/t = \dots$  [Rad/sek].  
 Größte Winkelgeschwindigkeit des Rades  $\omega = 4\pi n'/t = \dots$  [Rad/sek].  
 Mittlere Geschwindigkeit des Fallkörpers  $h/t = \dots$  [cm/sek].  
 Endgeschwindigkeit des Fallkörpers  $v = 2h/t = \dots$  [cm/sek].  
 Wucht des Fallkörpers  $Q_3 = \frac{1}{2}mv^2 = \dots$  [Erg].  
 Drehmasse des Rades  $K = 2(Q - Q_1 - Q_3)/\omega^2 = \dots$  [cm<sup>2</sup>gr].

1) Den Drehantrieb der Achsenreibung kann man auch aus der Anzahl  $n'$  der Umdrehungen bestimmen, die das Rad nach dem Abfallen der Schnur noch macht. Da die ganze Wucht  $Q_2$  des Rades zur Überwindung der Reibung verbraucht wird, ist

$$Q_2 = 2\pi n' \cdot P,$$

mithin

$$P = \frac{Q_2}{2\pi n'} = \frac{4\pi n'^2 \cdot K}{n' \cdot t^2}.$$

Man muß also hier erst  $K$  und dann daraus  $P$  berechnen. Da

$$Q = 2\pi n \cdot mg \cdot r$$

$$Q_1 = 2\pi n \cdot P = \frac{8\pi^2 n^2 \cdot K}{n' \cdot t^2}$$

$$Q_2 = 8\pi^2 n^2 \cdot \frac{K}{t^2}$$

$$Q_3 = 8\pi^2 n^2 \cdot \frac{mr^2}{t^2}$$

und

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

so liefert eine leichte Rechnung

$$K = \frac{mr \left( \frac{1}{2}gt^2 - h \right)}{2\pi n \left( 1 + \frac{n}{n'} \right)}.$$

Berechne mit dieser Formel  $K$  und daraus  $P$ . Vergleiche den so erhaltenen Wert von  $P$  mit dem, der sich aus Versuch (e) ergeben hat.

**Bemerkungen.** Die Aufgabe 14 ist im Wesen von den Aufgaben 11 bis 13 nicht verschieden.

Man lasse die Aufgaben 11 bis 14 gleichzeitig von den verschiedenen Gruppen nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs erledigen.

Feinere Messungen mit schreibenden Stimmgabeln (AMES-BLISS 79 Nr. 13 und MILLIKAN 79 Nr. 10) eignen sich kaum für Schülerübungen.

Vgl. VOIGT, *Elementare Mechanik*<sup>1</sup> 195.

## Dritter Teil.

### Eigenschaften der Flüssigkeiten.

**1. Aufgabe.** *Wie kann man mit einer U-Röhre die Dichten zweier Flüssigkeiten, die sich nicht mischen, miteinander vergleichen?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	U-Röhre.	Quecksilber oder Terpentinöl, Paraffinöl, Petroleum.
	2 Bunsengestelle.	
	Lot oder Stahlwinkel und Wasserwaage.	2 Trichter, über deren Hälse kurze Kautschukschläuche gestreift sind.
	Maßstab, am besten auf Spiegel.	Thermometer.
	Papier.	Quecksilberbrett.
	Schere.	Quecksilberzange.
	Klebwachs.	Becherglas.

**Anleitung.** a) Klemme die Röhre ungefähr senkrecht an dem Gestell fest, das auf dem Quecksilberbrett steht. Setze die Wasserwaage auf den einen Schenkel des Stahlwinkels, lege den andern Schenkel an die Röhre an und richte diese genau lotrecht aus oder bringe sie mit einem Lot in die richtige Stellung. Hänge oder stelle den Maßstab hinter der Röhre genau lotrecht so auf, daß man die Flüssigkeitenhöhen in beiden Schenkeln bequem und sicher ablesen kann.

b) Gieße mit dem einen Trichter so viel Quecksilber (die dichtere Flüssigkeit) in die Röhre, daß es  $\sim 5$  cm über der Biegung steht.

c) Gieße mit dem andern Trichter langsam so viel Wasser (die dünnere Flüssigkeit) darauf, daß es den einen Schenkel bis zu  $\sim \frac{2}{3}$  seiner Länge füllt. Gib acht, daß nicht das Wasser das Quecksilber aus der Biegung hinausdrückt. Ist dies zu befürchten, so fülle mit dem ersten Trichter im andern Schenkel Quecksilber nach.

d) Tauche das an einem Faden hangende Thermometer eine Minute lang erst ins Quecksilber und dann ebenso lange ins Wasser und lies die Warmheit jeder Flüssigkeit ab.

e) Klopfe leise gegen die Röhre und lies dann am Maßstabe die Höhe ( $h_1$  cm) der Wasserkuppe A, die Höhe ( $h_2$  cm) der Quecksilber-

kuppe *B* und die Höhe ( $h_3$  cm) der Quecksilberkuppe *C* ab (Fig. 133).

Besitzt man keinen Spiegelmaßstab, so schneidet man zwei lange schmale Papierstreifen mit geraden, glatten und gleichlaufenden Rändern. Das eine Ende jedes Streifens rollt man zu einer Papierhülse, die eben über die Glasröhre paßt, und heftet den Ring mit etwas Klebwachs zusammen. Das gerade andere Ende des Streifens soll als Zeiger über die Teilung des Maßstabes hinwegragen (Fig. 134). Schiebe den Zeiger so weit über den Schenkel der U-Röhre, daß die Kuppe der Flüssigkeit den Rand (beim Quecksilber den untern und beim Wasser den obern

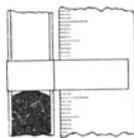


Fig. 134.

Rand) des Zeigerrings berührt, wenn man das Auge so hält, daß das vordere und hintere Stück des Randes genau zusammenfallen.

f) Wie hoch sind die Wassersäule und die Quecksilbersäule, die sich das Gleichgewicht halten?  $h_w = h_1 - h_2$  und  $h_q = h_3 - h_2$ . Wie verhalten sich die Drücke (d. h. die Druckkräfte für jedes Quadratcentimeter des Querschnitts) zu den Höhen und zu den Dichten der Flüssigkeiten? Es bezeichnen  $\rho_q$  und  $\rho_w$  gr/cm<sup>3</sup> die Dichten von Quecksilber und Wasser und  $h_q$  und  $h_w$  cm die Höhen der Wasser- und der Quecksilbersäule. Welche Beziehung besteht zwischen diesen vier Größen?  $\rho_q/\rho_w = h_w/h_q$ . Drücke  $h_w$  und  $h_q$  durch  $h_1$ ,  $h_2$  und  $h_3$  aus.

g) Gieße so viel Wasser hinzu, daß es fast bis zum obern Rande des Schenkels steigt, und wiederhole die Messungen (e). Die Ergebnisse seien  $h'_1$ ,  $h'_2$  und  $h'_3$  cm. Welche Beziehung besteht zwischen diesen Größen und  $\rho_q$  und  $\rho_w$ ?

h) Miß nochmals die Warmheiten (d).

i) Aus den beiden Gleichungen  $\rho_q/\rho_w = (h_1 - h_2)/(h_3 - h_2)$  und  $\rho_q/\rho_w = (h'_1 - h'_2)/(h'_3 - h'_2)$  folgt

$$\frac{\rho_q}{\rho_w} = \frac{(h'_1 - h_1) - (h'_2 - h_2)}{(h'_3 - h_3) - (h'_2 - h_2)}$$

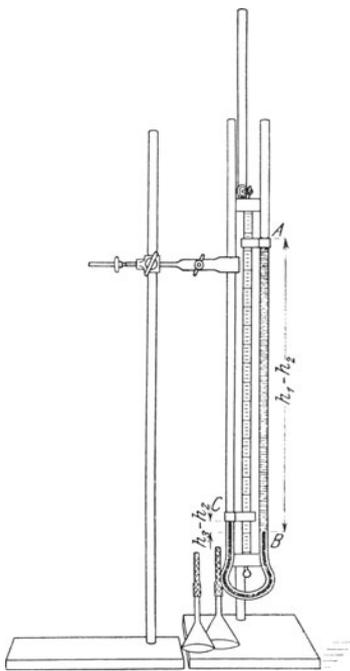


Fig. 133.

k) Berechne mit dieser Formel das Verhältnis der Dichten  $\rho_q/\rho_w$ . Wie groß ist die Dichte  $\rho_w$  des Wassers und mithin die Dichte des Quecksilbers?

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

U-Röhre Nr. . . .

Wärmestufe des Quecksilbers am Anfang . . . °C, am Ende . . . °C.

Wärmestufe des Wassers am Anfang . . . °C, am Ende . . . °C.

Die Dichte des Wassers bei der Wärmestufe . . . °C ist  $\rho_w = \dots$  [gr/cm<sup>3</sup>].

	1. Messung $h_v$ cm	2. Messung $h'_v$ cm	Unterschied $h'_v - h_v$
Höhe von A			
B			
C			

m) Schreibe deinen Namen und das Ergebnis auf einen Zettel und gib ihn dem Lehrer.

n) Laß den Lehrer die U-Röhre entleeren und reinige sie dann gründlich.

**Bemerkungen.** Die Schenkel der U-Röhren haben eine Länge von mindestens 60 cm, eine lichte Weite von 0,8 bis 1 cm und einen innern Abstand von 3 cm. Will man nicht bei andern Versuchen die U-Röhren als Druckmesser benutzen, so erweitert man ihre Enden trichterförmig. Weitere Röhren (von  $\sim 2$  cm Durchmesser) liefern zwar bessere Ergebnisse, doch erfordern sie mehr Quecksilber.

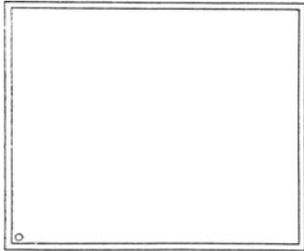


Fig. 135.

Wasser und Quecksilber sind die geeignetsten Flüssigkeiten; Petroleum, Terpentinöl, Paraffinöl veranlassen eine unbequeme und zeitraubende Reinigung. Hat man keinen Diener und muß man selbst die Röhren reinigen und trocknen, so ist es ratsam, bei geteilten Klassen, wo innerhalb einer Woche zwei Abteilungen dieselben Geräte benutzen, eine größere Anzahl von U-Röhren anzuschaffen, damit auch die nachfolgende Abteilung eine gebrauchsfertige Ausrüstung vorfindet. Nach dem Trocknen verschließt man die Röhren mit Wattepfropfen.

Die Röhren kann man auch an lotrechten Brettern, die mit Grundbrettern und Teilungen versehen sind, oder an den Wandbrettern befestigen, und zwar am

besten mit Federklemmen. Vgl. HAHN, *Freihandversuche* 2, 27 Nr. 60. Die Höhen mißt man dann von dem Grundbrett oder von dem untern Rande des Wandbretts aus.

Beim Entleeren der Röhren gießt man erst eine kleine Menge der schweren Flüssigkeit und dann den Gesamthalt der Röhre in einen großen Trichter, dessen Hals man mit dem Zeigefinger verschließt. Man läßt nun erst die schwere und dann die leichtere Flüssigkeit aus dem Trichter in untergesetzte Gefäße auslaufen.

Das Quecksilberbrett (Fig. 135) besteht aus einer dreifach verleimten Holzplatte (65 cm  $\times$  45 cm), die Randleiste ist 2 cm hoch. Man kann in

der einen Ecke ein Ausgubloch von 0,8 cm Durchmesser anbringen und mit einem Kork verschließen; ebenso bequem ist es aber, das Quecksilber über die eine Ecke auszugießen.

Haben alle Schüler mit den gleichen Flüssigkeiten gearbeitet, so bildet man aus ihren Ergebnissen das Mittel.

Man kann die Aufgaben 1 und 2 gleichzeitig bearbeiten lassen.

**2. Aufgabe.** *Wie kann man mit einer U-Röhre die Dichten zweier sich mischenden Flüssigkeiten vergleichen?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b> Wie bei Aufgabe 1, doch statt Quecksilber gesättigte Lösungen von Kochsalz oder Cuprisulfat, dazu	Pipette. Klebepapier.
--	--------------------------

**Anleitung.** a) Gieß etwas Quecksilber ( $\sim 5$  cm hoch) in die Röhre und klebe sorgfältig um den einen Schenkel ein Stück Papier derart, daß dessen unterer Rand genau die Kuppe berührt, wenn man das Auge so hält, daß das vordere und hintere Randstück zusammenfallen.

b) Fülle mit der dünnern der beiden Flüssigkeiten, die miteinander zu vergleichen sind, den einen Schenkel bis zu einem Stande, der  $\sim 5$  cm unter dem obern Rande liegt. Achte darauf, daß dabei die Flüssigkeit das Quecksilber nicht durch die Biegung drückt. Ist diese Gefahr vorhanden, so gieß in den andern Schenkel etwas von der dichtern Flüssigkeit und fahre dann mit der Füllung des ersten Schenkels fort.

c) Gieße vorsichtig in den andern Schenkel die dichtere Flüssigkeit, bis in beiden Schenkeln das Quecksilber wieder gleich hoch steht, was man mit dem Papierring feststellt. Hat man von einer Flüssigkeit zuviel eingegossen, so entferne man den Überschuß mit der Pipette oder mit Fließpapier.

d) Miß die Höhen der Flüssigkeitssäulen über dem Quecksilberstand und berechne daraus das Verhältnis ihrer Dichten. Vgl. Aufgabe 1 (f).

e) Verfahre wie in Aufgabe 1 (m) und (n).

**Bemerkung.** Vgl. die Bemerkungen zur 1. Aufgabe auf S. 176.

**3. Aufgabe.** *Welchen Gewichtsverlust erleidet ein Körper, den man ganz in eine Flüssigkeit eintaucht?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b> Wage. Gewichtssatz. Brücke. Walze (vgl. Teil 1, Aufg. 3, S. 7). Schublehre. Seidenfaden.	Schere. Pipette. 2 Bechergläser (600 cm <sup>3</sup> ). Unterlegklötze. Thermometer. Kamelhaarpinsel. Bunsengestell.
--	--

**Anleitung.** a) Schlage nach, welchen Raum die Walze Nr. . . . einnimmt, oder miß wie in Teil 1 Aufgabe 3 und 4 (S. 7 u. 10) ihren Durchmesser und ihre Höhe und berechne daraus ihren Inhalt. Wieviel Kubikzentimeter Wasser verdrängt die Walze? Wieviel Gramm gewicht Wasser sind dies?

b) Setze über die linke Wagschale die Brücke und darauf das leere Becherglas. Achte darauf, daß die Brücke die Schale nicht berührt. Hänge mit einer Watsonschen Doppelschleife (vgl. Teil 2 Aufg. 26 S. 105) die Walze so an den Haken des Schalenbügels, daß sie die Wand des Bechers nicht berührt und ganz von dem Wasser bedeckt werden wird, das man später in das Glas gießt. Befestige nötigenfalls mit einer Spur Klebwachs die Schleife an der Walze. Lege auf die andere Wagschale einen Faden, der so lang wie der

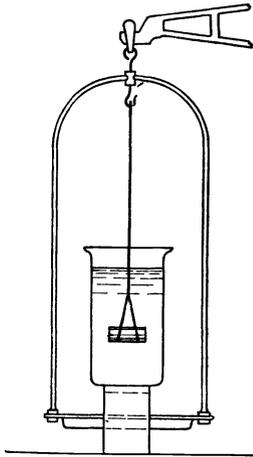


Fig. 136.

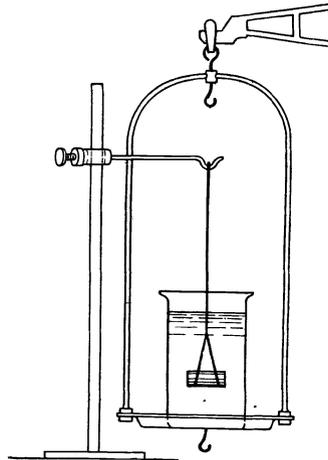


Fig. 137.

Aufhängefaden ist. Die Doppelschleife soll so groß sein, daß später nur möglichst kleine Stücke des Fadens im Wasser hängen und nur ein Fadenstück durch den Wasserspiegel hindurchtritt. Bestimme mit der Waage genau das Gewicht ( $F_1$  gr\*) der Walze.

c) Nimm vorsichtig das Becherglas von der Brücke, laß aber die Walze an der Waage hängen. Fülle so viel Wasser in das Glas, daß die Walze vollkommen darin untertaucht, wenn man sie später hineinhängt und die Waage ins Gleichgewicht bringt. Stelle das Becherglas wieder auf die Brücke und hänge die Walze hinein. Entferne sorgfältig alle Luftblasen mit einem Pinsel oder durch Auf- und Abbewegen der Walze und sieh nach, ob diese irgendwo die Glaswand oder ob die Brücke die Wagschale berührt. Stelle das Gleichgewicht her und bestimme das Gewicht ( $F_2$  gr\*) der Walze, während sie ganz ins Wasser eintaucht (Fig. 136).

d) Wieviel Grammgewicht hat die Walze verloren? Ist die Walze an sich wirklich leichter geworden? Wer übt einen Gegen-  
druck auf sie aus? *Auftrieb*. Wieviel Grammgewicht beträgt der  
Auftrieb? Wie groß ist das Gewicht des verdrängten Wassers? Ver-  
gleich es mit dem Auftrieb. Welches Gesetz kann man aufstellen?  
*Gesetz des Archimedes*.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Walze Nr. . . . Wage Nr. . . . Gewichtssatz Nr. . . .  
Gewicht der Walze in der Luft  $F_1 = \dots$  [gr\*].  
Gewicht der Walze im Wasser  $F_2 = \dots$  [gr\*].  
Auftrieb der eingetauchten Walze  $F_a = F_1 - F_2 = \dots$  [gr\*].  
Raum des verdrängten Wassers  $V = \dots$  [cm<sup>3</sup>].  
Gewicht des verdrängten Wassers  $F = \dots$  [gr\*].  
Unterschied  $F_a - F = \dots$  [gr\*].

f) Nimm die Brücke weg, setze das Becherglas mit Wasser auf  
die linke Schale und gleiche es ab.

g) Hänge mit dem Faden die Walze so an einem Gestell auf,  
daß sie ganz in das Wasser im Becherglas eintaucht, ohne dessen  
Wand zu berühren (Fig. 137), und bestimme die Gewichtsvermehrung  
[ $F'$  gr\*].

h) Vergleiche den Abtrieb  $F'$ , den die Walze auf das Wasser  
ausübt, mit dem Auftrieb  $F_a$ , den das Wasser auf die Walze ausübt.

i) Verfahre wie in Aufgabe 1 (m).

k) Trockne die Walze tüchtig ab, reinige das Becherglas und  
stülpe es auf das Ablaufbrett.

**Bemerkungen.** Man bildet die Mittelwerte von  $F_a - F$  und  $F_a - F'$ .  
Den Versuch kann man auch mit denaturiertem Spiritus ausführen  
lassen.

Die Seitenteile der Brücke sind 5,2 cm breit und 7 cm hoch. Die  
Brückenplatte ist 5,2 cm breit und 20 cm lang. Das Holz der Seitenteile  
ist 0,8 cm, und das der Platte 0,9 cm stark. Die Schalen der REIMANNschen  
Wage Nr. 3053 haben eine ausnutzbare Fläche von 13 cm Durchmesser.

#### 4. Aufgabe. Wie groß ist die Dichte eines Glasstopfens?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<p><b>Geräte.</b> Großer Glasstopfen. Wage. Gewichtssatz. Brücke. 2 Bechergläser (600 cm<sup>3</sup>).</p>	<p>Dünnere Seidenfaden. Kamelhaarpinsel. Pipette. Unterlegklötze.</p>
--	---

**Anleitung.** a) Bestimme wie in Aufgabe 3 (b) und (c) das Gewicht  
( $F$  gr\*) des Stopfens in der Luft und seinen Gewichtsverlust ( $F_a$  gr\*)  
im Wasser.

b) Wie groß ist der Raum des verdrängten Wassers und also  
auch der Raum ( $V$  cm<sup>3</sup>) des Stopfens?

c) Welche Masse ( $m$  gr) hat der Glasstopfen, wenn sein Gewicht  
 $F$  gr\* ist?

**d)** Berechne aus der Masse und dem Raum des Stopfens seine Dichte  $\rho = m/V$  [gr/cm<sup>3</sup>].

**e)** Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Glasstopfen Nr. . . .    Wage Nr. . . .    Gewichtssatz Nr. . . .

Gewicht des Stopfens in der Luft  $F_1 = \dots$  [gr\*].

Gewicht des Stopfens im Wasser  $F_2 = \dots$  [gr\*].

Gewichtverlust im Wasser  $F_a = F_1 - F_2 = \dots$  [gr\*].

Raum des Stopfens  $V = \dots$  [cm<sup>3</sup>].

Masse des Stopfens  $m = \dots$  [gr].

Dichte des Glases  $\rho = m/V = \dots$  [gr/cm<sup>3</sup>].

**f)** Verfahre wie in Aufgabe 1 (m) und in Aufgabe 3 (k).

**Bemerkungen.** Man achte darauf, ob die Glasstopfen hohl sind. Sind einige hohl, so liefern sie willkommene, lehrreiche Prüfsteine für die Sorgfalt der Schüler.

Die Aufgaben 4 bis 8 kann man gleichzeitig von verschiedenen Schülern nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs erledigen lassen.

### 5. Aufgabe. *Wie dick ist der vorgelegte Kupferdraht?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Wie bei Aufgabe 4, nur statt des Glasstopfens 6 m Kupferdraht von $\sim 0,9$ mm Durchmesser, dazu: Meterstab.	Beißzange. Abgleichbecher. Abgleichschrot. Feinschraube.
----------------	--	---

**Anleitung.** **a)** Schneide ein 6 m langes Stück Kupferdraht ab, wickle daraus eine Spule von 3 bis 5 cm Durchmesser, winde das eine Ende mehrmals um den so hergestellten Ring und biege es dann zu einem Haken um.

**b)** Bestimme wie in Aufgabe 3 (b) und (c) den Raum ( $V$  cm<sup>3</sup>), den der Draht einnimmt. Der Draht wird nicht gewogen, sondern nur abgeglichen.

**c)** Welche Beziehung besteht zwischen dem Querschnitt ( $q$  cm<sup>2</sup>), der Länge ( $l$  cm) und dem Raum des Drahts?

**d)** Welche Beziehung besteht zwischen dem Querschnitt und dem Halbmesser des Drahts? Berechne den Halbmesser ( $r$  cm) und daraus den Durchmesser ( $d$  cm) des Drahts. Gib an, wieviel Millimeter der Draht stark ist.

**e)** Miß mit der Feinschraube an drei Stellen des Drahts je zwei Durchmesser, die aufeinander senkrecht stehen. Vergleiche die Ergebnisse von (d) und (e) miteinander.

**f)** Verfahre wie in Aufg. 1 (m) und Aufg. 3 (k).

**Bemerkungen.** Die Drahtspulen verwahrt man in einem Kasten, auf dessen Deckel man die Länge und den Durchmesser des Drahts vermerkt.

Die Luftblasen entfernt man durch Auf- und Abbewegen und Schüttern der Spule.

Vgl. Bemerkungen zu Aufg. 4.

**6. Aufgabe.** Welche Dichte hat das vorgelegte Stück Paraffin?

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufg. 4, doch statt des Glasstopfens ein Paraffinstück,  $\sim 5$  cm lang, 4 cm breit und ebenso dick wie ganze die Paraffinscheibe, dazu:  
 Bleikugel mit Haken als Senker.  
 Abgleichbecher.  
 Abgleichschrot.

**Anleitung.** a) Setze über die linke Wagschale die Brücke und darauf das Becherglas. Befestige am Haken des Schalenbügels einen Faden und daran das Paraffinstück und binde am Ende des Fadens eine Schleife. Hänge in diese Schleife den Haken des Bleisenkers. Der Faden soll so lang sein, daß das Paraffinstück und der Senker ganz in das Wasser des Becherglases eintauchen, ohne dessen Wände zu berühren, wenn dieses später mit Wasser hinreichend gefüllt wird und der Wagebalken wagerecht steht.

b) Nimm das Becherglas von der Brücke, hake den Senker ab und bestimme die Masse ( $m$  gr) des Paraffinstücks.

c) Hänge nun den Senker an die untere Fadenschleife. Fülle so viel Wasser ins Becherglas, daß später nur der Senker, nicht aber das Paraffinstück, ins Wasser eintaucht. Stelle das Becherglas auf die Brücke, laß den Senker ins Wasser eintauchen und stelle durch Abgleichen das Gleichgewicht her (Fig. 138).

d) Fülle so viel Wasser ins Becherglas, daß auch das Paraffinstück ganz ins Wasser eintaucht, sobald der Wagebalken wagerecht steht. Entferne alle Luftblasen und lege auf die linke Schale so viel Gewichtstücke, daß wieder das Gleichgewicht hergestellt wird.

e) Wem halten die aufgelegten Gewichtstücke das Gleichgewicht? Wieviel Kubikzentimeter Wasser hat das Paraffin verdrängt? Welchen Raum nimmt also das Paraffin ein?

f) Bestimme aus dem Raum ( $V$  cm<sup>3</sup>) und der Masse ( $m$  gr) des Paraffinstücks seine Dichte ( $\rho$  gr/cm<sup>3</sup>).

g) Verfahre wie in Aufg. 1 (m) und Aufg. 3 (k).

**Bemerkungen.** Bleiblatz (Tapeziererblei) ist wegen der Luftblasen, die sich daran und darin festsetzen, nicht zu empfehlen zur Beschwerung von Körpern, die leichter als Wasser sind. Statt Paraffin kann man auch Holzstücke oder Korke verwenden, die man in Paraffin ausgekocht und so wasserdicht gemacht hat.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 4.

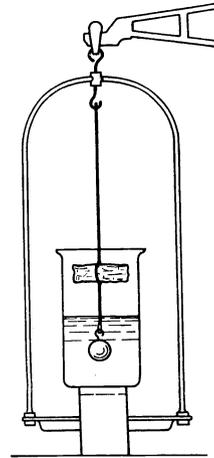


Fig. 138.

**7. Aufgabe.** *Wie groß ist die Dichte eines Cuprisulfat-Kristalls?*  
(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 4, nur statt des Glasstopfens ein Cuprisulfat-Kristall und statt des Wassers eine gesättigte Cuprisulfatlösung oder eine andere Flüssigkeit, z. B. Terpentinöl, worin sich der Kristall nicht löst.

**Anleitung.** **a)** Bestimme wie in Aufg. 3 (b) und (c) die Masse und den Auftrieb des Kristalls in einer gesättigten Cuprisulfatlösung.

**b)** Bestimme wie in Aufgabe 8 die Dichte der Cuprisulfatlösung.

**c)** Wie groß ist das Gewicht und die Masse der Cuprisulfatlösung, die denselben Raum wie der Kristall einnimmt?

**d)** Wie groß ist der Raum ( $V \text{ cm}^3$ ), den diese Masse der Cuprisulfatlösung einnimmt, wenn ihre Dichte  $\rho_l \text{ gr/cm}^3$  ist?

**e)** Berechne aus dem Raum ( $V \text{ cm}^3$ ) und der Masse ( $m \text{ gr}$ ) des Cuprisulfatkristalls dessen Dichte  $\rho_k = m/V [\text{gr/cm}^3]$ .

**f)** Verfahre wie in Aufg. 1 (m) und in Aufg. 3 (k). Gieße die Cuprisulfatlösung in das Gefäß, das der Lehrer dafür bestimmt hat.

**Bemerkungen.** Man lasse die Messung (b) von dem einen der beiden Schüler ausführen.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 4.

**8. Aufgabe.** *Bestimme mit der Wage die Dichte einer Flüssigkeit.*  
(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b> Wie in Aufgabe 3, nur statt der Walze einen großen Glasstopfen, dazu: Alkohol, Terpentinöl, Petroleum, Benzin, Glycerin, Lösungen von	Salzen wie Kochsalz, Cuprisulfat, Ammoniumchlorid, Kaliumnitrat usw. Mehrere Bechergläser. Thermometer.
---	---

**Anleitung.** **a)** Bestimme wie in Aufgabe 3 (b) und (c) den Auftrieb des großen Glasstopfens der Reihe nach in Wasser und in den verschiedenen Flüssigkeiten. Miß die Warmheiten des Wassers und der andern Flüssigkeiten. Der große Glasstopfen wird nicht gewogen, sondern nur abgeglichen. Reinige und trockne nach jeder Benutzung den Stopfen sehr sorgfältig.

**b)** Berechne aus dem Auftrieb des Stopfens im Wasser seinen Raum ( $V \text{ cm}^3$ ).

**c)** Berechne aus dem Gewichtverlust des Stopfens in den Flüssigkeiten die Gewichte und die Massen ( $m \text{ gr}$ ) der verdrängten Flüssigkeiten.

**d)** Berechne aus dem Raum und der Masse der verdrängten Flüssigkeit ihre Dichte  $\rho = m/V [\text{gr/cm}^3]$ .

**e)** Verfahre wie in Aufg. 1 (m) und Aufg. 3 (k). Gieße die Flüssigkeiten in die Gefäße, die der Lehrer dafür bestimmt hat.

**Bemerkung.** Vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 4 und 7.

## Vierter Teil.

### Eigenschaften der Gase.

**1. Aufgabe.** Welche Beziehung besteht bei gleichbleibender Warmheit zwischen dem Raum und der Spannung einer eingeschlossenen Luftmasse?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** F. MELDE, *Wied. Ann.* 32, 659; 1887.

<b>Geräte.</b> Barometer.	Quecksilberbrett (vgl. S. 176). Sehr dünner Stahldraht mit einem winzigen Siegellackknopf. Schmaler Ablesespiegel.
MELDES Kapillar-Barometer (vgl. S. 185).	
2 Maßstäbe.	
Gestell mit drehbarer Klemme.	
Reißschiene oder Lot, Garn und Schere.	

#### 1. Verfahren.

a) Lies das Barometer ab oder frage den Lehrer, wie hoch der Luftdruck ( $b$  cm) ist.

b) Stelle recht behutsam die MELDESche Röhre lotrecht und zwar mit dem offenen Ende nach unten. Miß sorgfältig, ohne dabei die Röhre zu erschüttern, unter Benutzung eines schmalen Spiegelstreifens die Länge ( $l_1$  cm) der abgeschlossenen Luftsäule. Sollte bei diesem und den folgenden Versuchen der Quecksilberfaden reißen, so melde es sofort dem Lehrer. Fasse die Röhre selbst so wenig wie möglich an und dann nur am offenen Ende. Vermeide sorgfältig die abgesperrte Luft durch die Hand, den Atem oder sonstwie (Sonnenstrahlen) zu erwärmen. Die Röhre hat den Querschnitt  $q$  cm<sup>2</sup>, und es ist daher der Raum  $V_1$  der abgeschlossenen Luftmasse  $q l_1$  cm<sup>3</sup> oder, wenn wir  $q$  cm<sup>3</sup> als Raumeinheit wählen, gleich  $l_1$  [ $q$  cm<sup>3</sup>].

c) Miß genau die Länge ( $l_0$  cm) des Quecksilberfadens. Sein Raum ist  $l_0$  [ $q$  cm<sup>3</sup>], sein Druck  $h_1 = l_0$  [cm Quecksilber] und daher die Spannung der abgesperrten Luftmasse  $p_1 = (b - h_1)$  [cm Quecksilber].

d) Neige behutsam das geschlossene Ende der Röhre um 10 bis 15 cm. Miß genau die Länge ( $l_2$  cm) der abgesperrten Luft. Es ist diesmal  $V_2 = l_2$  [ $q$  cm<sup>3</sup>].

e) Miß genau mit Maßstab und Reißschiene oder Lot, wie hoch die Enden  $A$  und  $B$  des Quecksilberfadens über dem Tisch liegen (Fig. 139). Die Höhen seien  $h'_2$  und  $h''_2$  cm. Der Unterschied

der Höhen,  $h_2 = h_2'' - h_2'$ , liefert die Druckhöhe des Quecksilbers. Diesmal ist die Spannung der eingeschlossenen Luft  $p_2 = b - h_2$ .

f) Neige in Stufen von jedesmal 10 bis 15 cm das geschlossene Ende der Röhre, bis zuletzt die Röhre wieder lotrecht steht, das geschlossene Ende aber nach unten gekehrt ist. Miß jedesmal die Höhen

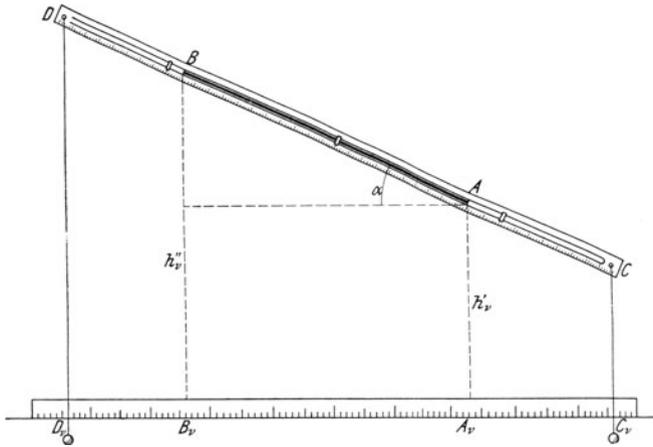


Fig. 139.

$h_v'$  und  $h_v''$  der Enden des Quecksilberfadens und berechne die Druckhöhe des Quecksilbers  $h_v = h_v'' - h_v'$  und die Spannung der abgesperrten Luft  $p_v = b - h_v$ . Liegt das geschlossene Ende der Röhre höher als das offene, so ist die Spannung kleiner als der äußere Luftdruck, liegt es dagegen tiefer als das offene Ende, so ist die Spannung größer als der äußere Luftdruck.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Luftdruck  $b = \dots$  cm. Länge des Quecksilberfadens  $l_0 = \dots$  cm.

Stellung der Röhre	Raum der abgesperrten Luft $V_v$	Höhe von A über dem Tisch $h_v'$ cm	Höhe von B über dem Tisch $h_v''$ cm	Druckhöhe des Quecksilbers $h_v = h_v'' - h_v'$	Spannung der abgesperrten Luft $p_v = b - h_v$	$k = p_v V_v$
Mittel						.....

h) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei  $x = V$  und  $y = p$ . *Hyperbel, Asymptoten.*

i) Mach eine zweite bildliche Darstellung, wo  $x = V$  und  $y = 1/p$  ist.

k) Welche Beziehung besteht bei gleichbleibender Warmheit

zwischen dem Raum und der Spannung einer eingeschlossenen Luftmasse? *Gesetz von Boyle.*

l) Ist  $l_0$  cm die Länge des Quecksilberfadens,  $V_1$  der Raum der abgesperrten Luft, wenn die Röhre lotrecht mit dem offenen Ende nach unten steht, und  $V_n$  der Raum der Luftmasse, wenn die Röhre lotrecht mit der Mündung nach oben steht, so ist nach dem Boyle'schen Gesetz  $(b - l_0) V_1 = (b + l_0) V_n$ . Berechne hieraus  $b$  und vergleiche den gefundenen Wert mit der Ablesung des Barometers. *Kapillar-Barometer.*

## 2. Verfahren.

m) Verfahre wie bei (a) und (c).

n) Stelle die Röhre so auf, daß der Maßstab mit der Tischkante gleich läuft und etwas darüber hinausragt. Hänge an den Enden  $C$  und  $D$  (Fig. 139) des Maßstabes Lote auf und lege auf den Tischrand einen zweiten Maßstab.

o) Verfahre wie bei (d) bis (f), doch miß nicht den Höhenunterschied der Enden des Quecksilberfadens, sondern die Länge  $CD = d$  und ihre Ablotung auf die Tischebene  $C_v D_v = d_v$ , ferner jedesmal die Länge  $l_0$  des Fadens  $AB$ . Ist  $\alpha_v$  der Neigungswinkel des Maßstabes gegen den Tisch, so ist  $\cos \alpha_v = d_v/d$ ,  $h_v = l_0 \sin \alpha_v$  und die Spannung der eingeschlossenen Luft  $p_v = b - h_v$ .

p) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

$$\text{Luftdruck } b = \dots [\text{cm}].$$

$$CD = d = \dots [\text{cm}].$$

Stellung der Röhre	Raum der abgesperrten Luft $V_v$	$C_v D_v = d_v$	$\cos \alpha_v = \frac{d_v}{d}$	Neigungswinkel $\alpha_v$	Länge des Quecksilberfadens		Druckhöhe des Quecksilbers $h_v = l_0 \sin \alpha_v$	Spannung der abgesperrten Luft $p_v = b - h_v$	$k = p_v V_v$
					A	B			
								Mittel	.....

q) Verfahre wie bei (h) bis (l).

**Bemerkungen.** Bei der Herleitung des BOYLESchen Gesetzes ist es schwierig, die Warmheit der abgesperrten Luftmasse unverändert zu erhalten. Auch das Arbeiten der Schüler mit Quecksilber vermeidet man mit Recht soviel als möglich. Man hat daher mannigfache andere Vorrichtungen eronnen, um das Gesetz abzuleiten. Vgl. u. a. CREW-TATNALL 83 Nr. 37. H. L. CURTIS, *School Science* 5, 187; 1905. MACKENZIE 49 Nr. 38. ROBSON 39. TROWBRIDGE 30 Nr. 30ff. TWISS 94 Nr. 27. Am geeignetsten zur Auffindung des Gesetzes ist MELDES *Kapillar-Barometer*, vgl. ABRAHAM 1.199 Nr. 40. HAHN, *Freihandversuche* 2, 201 Nr. 507—511. MILLIKAN-GALE 26 Nr. 10. NICHOLS-SMITH-TURTON 95 Nr. 35. NOACK, *Aufgaben* 51 Nr. 54. C. H. PERRINE, *School Science* 5, 48; 1905. SCHREBER-SPRINGMANN 1, 84 Nr. 105. Anfangs verwandte man kurze Röhren und kurze Quecksilberfäden, man ist aber jetzt zu längeren Röhren und Fäden übergegangen.

Die Weite der Röhre ist sorgfältig zu prüfen, da zuweilen die Längen  $l_0$  des Quecksilberfadens bei der aufrechten und bei der umgekehrten Stellung der Röhre um 2 cm abweichen. Es empfiehlt sich nicht, die einfache Vorrichtung von den Schülern herstellen zu lassen; der Lehrer fertige sie selbst auf folgende Weise an: Man reinige eine Barometerröhre von  $\sim 110$  cm Länge und 1 bis 1,5 mm lichter Weite zunächst außen und gieße dann mit einem Trichter, den man mit einem Kautschukschlauch auf das eine Ende ansetzt, eine heiße Lösung von etwas Kaliumdichromat in starker Schwefelsäure hindurch. Man spüle erst mit fettfreiem destilliertem Wasser und dann mit reinem Alkohol nach und sauge trockene Luft durch die Röhre hindurch, bis sie ganz trocken ist. Nun taucht man die Röhre in ein weites Rohr, das ganz reines Quecksilber enthält, so weit ein, daß 12 bis 15 cm von Quecksilber freibleiben, verschließt das obere Ende mit Wachs und schmelzt das Röhrende ab. Man kann auch die Röhre wagerecht legen, mit einem Kautschukschlauch an das eine Ende einen Trichter ansetzen, durch diesen so viel Quecksilber eingießen, daß es sich bis auf 5 oder 6 cm dem andern Ende nähert, und dann die Röhre verschließen. Andere Füllungsverfahren findet man bei ABRAHAM und NOACK. Werden die Röhren nicht gebraucht, so verschließt man sie mit Wappropfen. Die Abweichung des verschlossenen Rohrendes von der Walzenform erfordert Verbesserungen, die man umgehen kann, wenn man nach der Füllung die Röhre mit dem offenen Ende nach oben hält und durch einen schwachen Stoß einen kurzen Quecksilberfaden abtrennt und in das untere Ende bringt. Das Verfahren erfordert einige Geschicklichkeit. Den Quecksilberfaden kann man mit einem dünnen Strahldraht verschieben, der mit einem winzigen Siegellackknopf versehen ist.

Wendet man das erste Versuchsverfahren an, so genügt es, die Röhre durch einen großen Kork zu stecken und diesen in einer drehbaren Klemme zu befestigen.

Beim zweiten Versuchsverfahren soll das fertige Rohr  $\sim 98$  cm lang sein. Man befestigt es mit drei Schleifen aus besponnenem Kupferdraht auf einem Meterstab. Eine Befestigung mit Kautschukringen ist nicht ratsam. Durch die Enden des Maßstabes bohrt man bei den Teilstrichen 0,5 und 99,5 cm feine Löcher, wodurch man die Lotfäden zieht. Den Maßstab befestigt man in einer drehbaren Klemme. Man kann auch die Ablotung des Quecksilberfadens  $AB$  auf die Tischebene messen,  $A_r B_r = l_r$ , und daraus die Druckhöhe,  $h_r = l_r \operatorname{tg} \alpha_r$ , berechnen.

**2. Aufgabe.** *Vergleiche nach dem Verfahren von JAMES WATT die Dichten zweier Flüssigkeiten miteinander.*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** AMES-BLISS 183 Nr. 30. NOACK, *Aufgaben* 7 Nr. 8.

<b>Geräte.</b> Dreiwege-Stück aus Glas oder Messing (vgl. S. 188).	Drahtzange. Beißzange.
2 Glasröhren von 8 bis 10 mm lichter Weite und mindestens 1 m Länge.	2 Bechergläser (600 cm <sup>3</sup> ) oder Glasschalen von $\sim 7,5$ cm Durchmesser und 5 cm Höhe.
Kurze Glasröhre (Mundstück).	Guter Schrauben-Quetschhahn.
4 kurze Kautschukschläuche.	Maßstab, am besten Spiegelmaßstab.
1 Kautschukschlauch von $\sim 50$ cm Länge.	Papier.
Kupferdraht.	Schere.

<b>Geräte.</b>	Lot. Wandbrett oder Bunsen- gestell. 3 Federklemmen (vgl. S. 176).	Rizinusöl. Lösungen von Kochsalz oder Cuprisulfat. Thermometer.
----------------	--	--

**Anleitung.** a) Bestreiche die Enden des Dreiwegestücks mit etwas Rizinusöl und streife über den mittlern Schenkel den längern Kautschukschlauch und über jeden Seitenschengel einen kurzen Kautschukschlauch. Fette das eine Ende des Mundstücks und die Enden der langen Röhren ebenfalls mit etwas Rizinusöl ein und verbinde sie mit den Schläuchen des Dreiwegestücks. Streife über die untern Enden der langen Röhren kurze Kautschukschläuche. Binde alle Schläuche mit Kupferdraht fest auf die Glasröhren. Befestige das Dreiwegestück mit zwei Federklemmen am Wandbrett und laß die langen Röhren hinabhängen. Hänge zwischen den beiden Schenkeln einen Maßstab frei auf. Tauche den einen untern Schlauch in das Becherglas mit Wasser und den andern in das Becherglas mit der Lösung von Cuprisulfat (Fig. 140).

b) Setze auf den langen Schlauch den Quetschhahn. Saug am Mundstück, bis die eine Flüssigkeit fast das obere Ende ihrer Röhre erreicht. Presse mit den Fingern den Schlauch fest zusammen und schließe den Quetschhahn. (Statt des Quetschhahns darf man auch einen Bindfaden benutzen, dann braucht man aber einen Gehilfen.)

c) Beobachte den Stand der Flüssigkeiten in beiden Schenkeln. Prüfe, wenn er sich ändert, alle Dichtungen und verbessere oder erneuere sie. Tauche eine Minute lang das Thermometer in jede Flüssigkeit und miß ihre Warmheit. Spüle nach dem Herausnehmen jedesmal das Thermometer ab und wische es dann trocken. Wurden die Flüssigkeiten emporgezogen oder hinaufgedrückt? Wie groß ist die Spannung der eingeschlossenen Luft? Wie groß ist der Druck der äußern Luft auf die Flüssigkeitsspiegel in den Bechergläsern? Welche Beziehung besteht zwischen dem Druck der äußern Luft auf die Flüssigkeitsspiegel und den Drucken, die die Flüssigkeitssäulen in den Röhren darauf ausüben? Wie verhalten sich die Drucke der beiden Flüssigkeitssäulen?

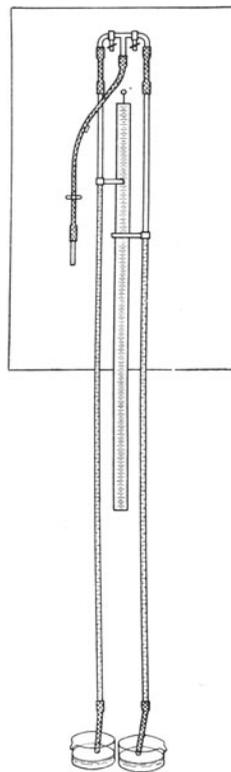


Fig. 140.

**d)** Miß sorgfältig wie im dritten Teil, Aufg. 1 (e), in beiden Röhren die Höhen der Flüssigkeitskuppen über den Flüssigkeitsspiegeln in den Gefäßen. Es sei  $H_w$  cm die Höhe der Wasserkuppe und  $H_l$  die Höhe der Lösungskuppe. Bezeichnet  $\rho_l$  gr/cm<sup>3</sup> die Dichte der Lösung und  $\rho_w$  gr/cm<sup>3</sup> die Dichte des Wassers, so ist  $\rho_l/\rho_w = H_w/H_l$ .

**e)** Öffne vorsichtig den Quetschhahn und laß ein wenig Luft ein, so daß sich die Flüssigkeitskuppen um einige Zentimeter senken. Miß wiederum die Höhen  $h_w$  und  $h_l$  der Flüssigkeitssäulen. Es ist auch  $\rho_l/\rho_w = h_w/h_l$  und mithin

$$\frac{\rho_l}{\rho_w} = \frac{H_w - h_w}{H_l - h_l}$$

**f)** Wiederhole den Versuch (e) noch zweimal, berechne aus der ersten und dritten und aus der zweiten und vierten Messung das Verhältnis der Dichten und nimm aus beiden Ergebnissen das Mittel.

**g)** Miß nochmals die Warmheiten der beiden Flüssigkeiten.

**h)** Wie groß ist die Dichte des Wassers bei der gemessenen Wärmestufe und wie groß also die Dichte der Lösung bei der gemessenen Warmheit?

**i)** Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Warmheit der Lösung am Anfang . . . ° C, am Ende . . . ° C.

Warmheit des Wassers am Anfang . . . ° C, am Ende . . . ° C,

Dichte des Wassers bei der Warmheit . . . ° C ist  $\rho_w = \dots$  [gr/cm<sup>3</sup>].

Höhe der Wasserkuppe cm	Höhe der Lösungskuppe cm	$H_w - h_w$	$H_l - h_l$	$\rho$
Mittel				. . . . .

**k)** Gieße die Lösung in das Gefäß, das der Lehrer dafür bestimmt hat. Nimm die Vorrichtung auseinander, reinige die Röhren und Schläuche mit Seifenwasser und spüle gründlich mit Leitungswasser nach.

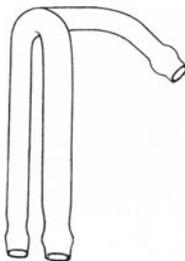


Fig. 141.

**Bemerkungen.** Der Abstand der Seitenschenkel des Dreiwegestücks, dessen lichte Weite auch 8 bis 10 mm ist, sei so groß, daß man den Maßstab bequem zwischen die Röhren hängen kann. Es empfiehlt sich, den mittlern Schenkel weder nach oben, noch, wie in Fig. 140, nach unten, sondern in schwacher Krümmung nach vorn zu richten (Fig. 141). Die Enden des Dreiwegestücks und der langen Röhren sind zu Schlauchansätzen ausgestaltet. Nach dem Gebrauch lasse man die Vorrichtung auseinandernehmen und reinigen und verschließe nach dem Trocknen alle Enden mit Wattebäuschen.

Man kann die Höhen der Wasserkuppen und der Lösungskuppen auch mit Kautschukringen oder mit Klebepapier festlegen und beim Auseinandernehmen der Vorrichtung die Höhenunterschiede messen.

## Fünfter Teil.

### Schwingungen und Wellenbewegungen.

**1. Aufgabe.** *Hängt die Schwingungsdauer einer Spulfeder von der Schwingungsweite ab?*

(1 Schüler,  $\frac{1}{4}$  Stunde.)

**Geräte.** Spulfeder.  
Zeiger.  
Draht.  
Beißzange.  
Kleine Wagschale.  
Gewichtsatz.  
Stechuhr.  
Pinsel oder Feder.  
Maßstab.  
2 Bunsengestelle.

**Anleitung.** a) Befestige wie bei der 1. Aufgabe des 2. Teils (S. 35) die Spulfeder am Gestell, hänge an ihr unteres Ende die Wagschale und belaste diese so stark (mit  $\sim 80 \text{ gr}^*$ ), daß die Schwingungen für ein genaues Zählen nicht zu rasch sind. Bringe am untern Ende der Feder einen Zeiger an; ein wagerechter Draht genügt. Stelle dicht hinter dem Zeiger einen Maßstab auf und bezeichne daran durch einen aufgeklemmten federnden Drahtbügel oder durch eine eingesteckte Nadel die Gleichgewichtslage des Zeigers (Fig. 142). Ziehe die Feder um 2 bis 3 cm

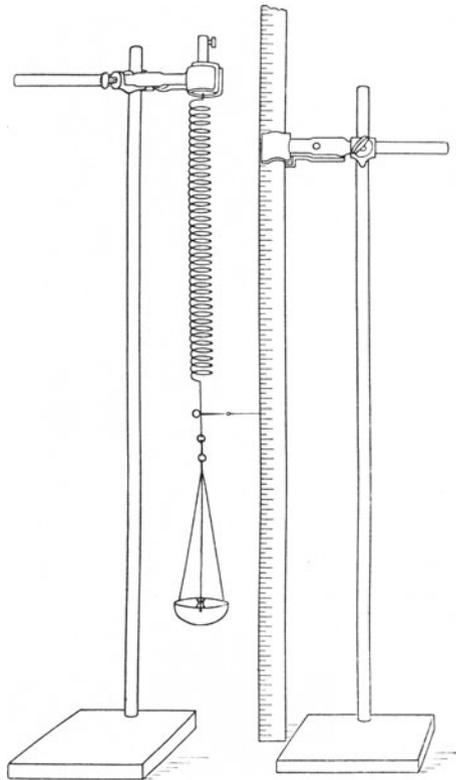


Fig. 142.

aus und laß sie so los, daß keine seitlichen Schwingungen auftreten. Sollte dies doch geschehen, so berühre die Spulfeder mit der Hand, einem Pinsel oder einer Vogelfeder und beseitige so die störenden Schwingungen. Bestimme die Zeit von 100 Schwingungen. Zähle bei dem ersten Durchgang durch die Gleichgewichtslage Null.

b) Wiederhole den Versuch mit einer kleinern Schwingungsweite der Feder.

c) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Spulfeder Nr. ... Wagschale Nr. ... Belastung  $F = \dots$  [gr\*].

Anzahl der vollen Schwingungen $N$	Schwingungszeit $t$		Schwingungsdauer $\tau = t/N$
	min sek	sek	

Hängt die Schwingungsdauer von der Schwingungsweite ab, wenn diese klein ist?

**Bemerkungen.** Die Spulfeder ist aus englischem hartgezogenem Klaviersaitendraht (Music Wire) von 1,02 mm Durchmesser gefertigt und hat 100 Windungen von 1 cm Halbmesser.

Man lasse nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs die Hälfte der Gruppen die Aufgaben 1, 2 und 4 und gleichzeitig die andere Hälfte die Aufgabe 3 behandeln.

**2. Aufgabe.** Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer einer Spulfeder und der bewegten Masse?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 1.

**Anleitung.** a) Wäge die Feder und die kleine Wagschale einzeln. Befestige am Gestell die Spule und belaste die angehängte Schale so stark (mit  $\sim 30$  gr\*), daß sie höchstens drei volle Schwingungen in der Sekunde macht. Lege wie in Aufgabe 1 die Gleichgewichtslage des Zeigers fest, der an der Feder angebracht ist. Setze die Spule in kleine Schwingungen und bestimme aus der Zeit von 100 vollen Schwingungen die Schwingungsdauer. Wiederhole den Versuch noch zweimal und nimm aus den drei so erhaltenen Werten der Schwingungsdauer das Mittel. Zähle zu der Masse der Belastung die Masse der Wagschale und den dritten Teil der Masse der Feder hinzu. Die so erhaltene Summe ist die schwingende Masse.

b) Belaste die angehängte Wagschale so stark, daß die schwingende Masse doppelt so groß ist wie vorher und verfähre wie bei Versuch (a).

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Feder Nr. . . . Schale Nr. . . .  
 Masse der Feder  $m' = \dots$  [gr].  $\frac{1}{3} m' = \dots$  [gr].  
 Masse der Wagschale  $m'' = \dots$  [gr].

Zahl der Schwingungen $N$	Schwingungszeit $t$		Schwingungsdauer $\tau' = t/N$	Mittlere Schwingungsdauer $\tau$ sek	Verhältnis der mittlern Schwingungsdauern $\tau_1/\tau_2$	Masse der Belastung $m''$ gr	Schwingende Masse $m = \frac{1}{3} m' + m''$	Verhältnis der schwingenden Massen $m_1/m_2$	$\tau^2/m$
	min sek	sek							

d) Vergleiche die Verhältnisse  $\tau_1/\tau_2$ ,  $m_1/m_2$ ,  $\tau_1^2/\tau_2^2$  und  $m_1^2/m_2^2$  miteinander. Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer und der schwingenden Masse?

e) Belaste die Feder mit 80 gr\*, nimm der Reihe nach je 5 gr\* weg und bestimme die Schwingungsdauer. Trage die Ergebnisse oben in die Tafel ein.

f) Stelle die Ergebnisse von (e) bildlich dar, setze erst  $x=m$ ,  $y=\tau$  und dann  $x=m$ ,  $y=\tau^2$ .

g) Belaste die Feder mit  $\sim 80$  gr\* und bestimme die Schwingungsdauer. Entferne die Masse aus der Wagschale und binde sie an einen leichten Faden so an, daß sie 15 bis 20 cm unterhalb der Schale hängt. Ist die Schwingungsdauer so groß wie vorher?

**Bemerkungen.** Ist die Masse  $m'$  der Feder nicht so gering, daß man sie vernachlässigen darf, so muß man nach POYNTING-THOMSON, *Properties of Matter*<sup>1</sup> 103 den dritten Teil ihrer Masse zur Masse der Belastung und der Schale hinzufügen.

Man lasse nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs die Hälfte der Gruppen diese Aufgabe und die Aufgaben 1 und 4 und gleichzeitig die andere Hälfte die Aufgabe 3 behandeln.

**3. Aufgabe.** *Hängt die Schwingungsdauer einer Spulfeder von ihrem Kraftwert ab?*

(1 Schüler, 2 Stunden.)

<p><b>Geräte.</b> Wie bei Aufgabe 1, dazu:                  Spiegelmaßstab oder Ablesespiegel.</p>	<p>Spulfeder aus federhartem Messingdraht von 1,02 mm Dicke, die 100 Windungen von 1 cm Halbmesser hat.</p>
--	---

**Anleitung.** a) Wäge die Federn und die kleine Wagschale einzeln.

b) Hänge die Feder aus Stahldraht auf und befestige den Maßstab so, daß der Federzeiger dicht vor der Teilung spielt.

c) Belaste die Feder mit 30 gr\* und beseitige mit der Hand, einem Pinsel u. dgl. die etwa auftretenden seitlichen Schwingungen.

Lies unter Benutzung des Spiegels die Gleichgewichtstellung des Zeigers ab.

d) Vermehre die Anfangsbelastung der Reihe nach um 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 und 50 gr\* und lies jedesmal die Zeigerstellung ab.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

... Feder Nr. ... Masse der Feder  $m' = \dots$  [gr]. Masse der Wagschale  $m'' = \dots$  [gr].

	Belastungszulagen gr*	Zeigerstellungen cm	Verlängerungen der Feder in cm
Summe		Summe	. . . . .

f) Zähle alle Belastungszulagen und alle Verlängerungen zusammen und berechne aus beiden Summen die mittlere Belastungszulage, die eine Verlängerung von 1 cm hervorruft. Wie groß ist die in Dynen gemessene Kraft, die die Feder um ein Zentimeter verlängert, d. h. der Kraftwert der Feder,  $k_1$  Dyne/cm?

g) Belaste die Feder so stark, daß das Gewicht der Schale und der darauf gelegten Massen im ganzen 60 gr\* beträgt und bestimme dreimal aus der Zeit von 100 Schwingungen die Schwingungsdauer  $\tau_1$  der Feder.

h) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

1. Feder Nr. ... Schwingende Masse  $m_1 = \dots$  [gr].

Anzahl der Schwingungen $N_1$	Zeit $t_1$ der Schwingungen		Schwingungs- dauer $\tau_1' = t_1/N_1$	Mittlere Schwingungs- dauer $\tau_1$ sek	Kraftwert $k_1$
	min sek	sek			

2. Feder Nr. ... Schwingende Masse  $m_2 = \dots$  [gr].

Anzahl der Schwin- gungen $N_2$	Zeit $t_2$ der Schwingungen		Schwin- gungsdauer $\tau_2' = t_2/N_2$	Mittlere Schwin- gungsdauer $\tau_2$	Kraftwert $k_2$	$\tau_1/\tau_2$	$k_2/k_1$
	min sek	sek					

i) Bestimme wie in (a) bis (f) den Kraftwert  $k_2$  der Messingfeder, belaste sie jedoch nur bis 60 gr\*. Wähle dann eine so große

Belastung, daß die schwingende Masse ebenso groß wird wie bei Versuch (g) und bestimme wie dort die Schwingungsdauer  $\tau_2$  der Messingspule.

k) Berechne die Verhältnisse  $\tau_1/\tau_2$ ,  $k_2/k_1$ ,  $k_1/k_2$ ,  $(\tau_1/\tau_2)^2$ ,  $(k_2/k_1)^2$  und  $(k_1/k_2)^2$  und vergleiche sie miteinander. Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer  $\tau$  und dem Kraftwert  $k$ ? Fasse die Ergebnisse dieser und der vorigen Aufgabe zusammen.

**Bemerkungen.** Anstatt durch die Aufgaben 1 bis 3 die Beziehung  $\tau^2 \sim m/k$  finden zu lassen, kann man auch durch Rechnung und durch Vorführungen die Gleichung  $\tau^2 = 4\pi^2 m/k$  ableiten und diese dann dadurch bestätigen, daß man wie oben den Kraftwert der Feder aus Stahldraht mißt, dann die Feder mit 40, 60 und 80 gr\* belastet und jedesmal die Schwingungsdauer bestimmt. Über die Berücksichtigung der Feder-masse vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 2.

Man lasse nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs die Hälfte der Gruppen diese Aufgabe und gleichzeitig die andere Hälfte die Aufgaben 1, 2 und 4 behandeln.

**4. Aufgabe.** Bestimme mit einer schwingenden Spulfeder die Masse eines Körpers.

(1 Schüler,  $\frac{3}{4}$  Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 1, dazu: Masse von  $\sim 50$  gr. Wage.

**Anleitung.** a) Hänge an das Gestell die Spule und daran die kleine Wagschale. Lege den Körper, dessen Masse zu bestimmen ist, auf die Schale und lies die Gleichgewichtstellung des Zeigers ab. Bestimme aus 100 Schwingungen die Schwingungsdauer  $\tau_0$  der Feder.

b) Entferne den Körper, lege an seine Stelle so viel Gewichtstücke, daß die Feder ebenso stark wie vorher gestreckt wird, und bestimme die Schwingungsdauer  $\tau$ .

c) Entferne Gewichte, wenn  $\tau > \tau_0$  ist, und lege noch Gewichte hinzu, wenn  $\tau < \tau_0$  ist. Ermittle so eine Masse  $m_1$ , deren Schwingungsdauer  $\tau_1$  ein klein wenig kürzer als  $\tau_0$  ist, und eine Masse  $m_2$ , deren Schwingungsdauer  $\tau_2$  ein klein wenig länger als  $\tau_0$  ist.

d) Berechne aus  $m_1, m_2, \tau_0^2, \tau_1^2$  und  $\tau_2^2$  die Masse  $m$ , deren Schwingungsdauer mit der des Körpers übereinstimmt. Berücksichtige dabei die Masse der Schale und der Feder oder benutze die Eichkurve der Spule.

**Bemerkungen.** Man lasse nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs die Hälfte der Gruppen diese Aufgabe und die Aufgaben 1 und 2 und gleichzeitig die andere Hälfte die Aufgabe 3 behandeln.

**5. Aufgabe.** Wie groß ist das Federmaß (der Elastizitätsmodul) einer Kautschukschnur, die Längsschwingungen macht?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** KELSEY 59 Nr. 38.

<b>Geräte.</b> Runde Kautschukschnur von 1,5 bis 3 mm Durchmesser.	Meterstab. Feinschraubenlehre. Bunsengestell.
---	---

**Geräte.** Leichte Wagschale. | Gewichtsatz.  
Wage. | Stechuhr.

**Anleitung.** a) Wäge die Schnur und die Schale. Klemme das eine Ende der Schnur fest ein, so daß diese lotrecht hinabhängt. Miß mit dem Maßstabe die Länge ( $l$  cm) und mit der Feinschraubenlehre den Durchmesser ( $d$  cm) der Schnur. Befestige die Schale an deren unterm Ende.

b) Lege der Reihe nach 10, 20, 30, 40 und 50 gr\* auf die Schale und bestimme aus der Zeit von 20 oder mehr Schwingungen die Schwingungsdauer  $\tau$ .

c) Bezeichnet  $m$  die Masse der Schale, der Belastung und des dritten Teils der Schnur und  $k$  den Kraftwert der Schnur, so wird  $\tau^2 = 4\pi^2 m/k$ . Bedeutet  $[E]$  Dyne/cm<sup>2</sup> das Federmaß (den Elastizitätsmodul),  $p$  Dyne/cm<sup>2</sup> die Spannung,  $F$  Dyne die Belastung,  $e$  die Dehnung,  $\lambda$  cm die Längenänderung und  $q$  cm<sup>2</sup> den Querschnitt der Schnur, so ist nach dem Hookeschen Gesetz  $p = [E]e$  oder, da  $p = F/q$  und  $e = \lambda/l$ ,  $F/q = [E]\lambda/l$  und  $k = F/\lambda = [E]q/l$ , also, wenn  $r$  cm den Halbmesser der Schnur bezeichnet,  $k = [E] \cdot \pi r^2/l$ . Mithin ist

$$\tau^2 = 4\pi^2 ml/\pi r^2 [E]$$

und 
$$[E] = 4\pi \frac{ml}{\tau^2 r^2}.$$

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Länge der Schnur  $l = \dots$  [cm]. Durchmesser der Schnur  $d = \dots$  [cm].  
Halbmesser der Schnur  $r = \dots$  [cm]. Masse der Schnur  $= \dots$  gr. Masse  
des dritten Teils der Schnur  $m' = \dots$  [gr]. Masse der Schale  $m'' = \dots$  [gr].

Masse auf der Schale $m'''$ gr	Schwingende Masse $m =$ $m' + m'' + m'''$	Zahl der Schwin- gungen $N$	Schwingsungs- zeit $t$		Schwingsungs- dauer $\tau = \frac{t}{N}$ [sek]	$[E]$
			min sek	sek		

**Bemerkung.** Die Ergebnisse stimmen meist nicht gut überein.

**6. Aufgabe.** Gilt die Formel  $\tau^2 = 4\pi^2 m/k$  auch für schwin-  
gende Flüssigkeiten?

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** F. C. G. MÜLLER, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 2, 118; 1889 und *Techn. d. phys. Unterr.* 80. K. NOACK, *Aufgaben* 29 Nr. 32.

**Geräte.** Röhre. | Meßglas bis 100 cm<sup>3</sup>.  
Bunsengestell. | Klebpapier.  
Wage und Gewichtsatz. | Maßstab.  
Wassersack (vgl. S. 251). | Kautschukschlauch.

**Geräte.** Quetschhahn. 2 Bechergläser.  
 Lot. Stechuhr.

**Anleitung.** a) Spanne in das Gestell die U-Röhre lotrecht ein, fülle sie bis  $\sim 1$  cm unter dem obern Rande mit Wasser, laß etwas davon in das eine Becherglas ausfließen, merke den untern Rand der Kuppen an und laß dann  $100 \text{ cm}^3$  ausfließen. Lege wiederum den untern Rand der Kuppen fest und miß in beiden Schenkeln die Spiegelsenkungen  $l_1$  und  $l_2$  cm. Die Länge der ausgeflossenen Wassersäule ist  $2l = l_1 + l_2$ , ihre Masse  $m' = 100$  [gr] und ihr Gewicht  $F = 100 \cdot 981$  [Dyne]. Bei den Schwingungen der Wassersäule ist also der Kraftwert  $k = 100 \cdot 981 / l$  [Dyne/cm].

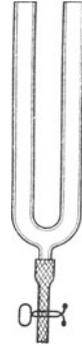


Fig. 143.

b) Bestimme den Kraftwert dreimal und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

c) Wäge in dem abgeglichenen andern Becherglas  $m = 100$  [gr] Wasser ab, gieß es in die U-Röhre, merke den Stand an und versetze die Flüssigkeit durch schwaches taktmäßiges Hin- und Herbewegen der Röhre in Schwingungen. Blase mit einem reinen Kautschukschlauch durch den Wassersack taktmäßig in den einen Schenkel, um die Schwingungsbewegung aufrecht zu erhalten. Bestimme dreimal aus der Zeit von 100 Schwingungen die Schwingungsdauer und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Röhre Nr. . . .

Ausgeflossene Wassermenge $m' \text{ cm}^3$	Spiegelsenkung		Länge der ausgeflossenen Wassersäule $2l = l_1 + l_2$	Gewicht des ausgeflossenen Wassers $F = m'g$ [Dyne]	Kraftwert $k = F/l$ [Dyne/cm]
	links $l_1$ cm	rechts $l_2$ cm			
					Mittel   . . . . .

Schwingende Wassermasse  $m = \dots$  [gr].

Zahl der Schwingungen $N$	Schwingungszeit $t$		Schwingungsdauer $\tau' = t/N$	Mittlere Schwingungsdauer $\tau$	$\tau^2$	$4 \pi^2 \frac{m}{k}$	$\tau^2 - 4 \pi^2 m/k$
	min sek	sek					
							Mittel   . . . . .

**Bemerkungen.** Die U-Röhre (Fig. 143) ist mit einem Stutzen versehen, der mit Kautschukschlauch und Quetschhahn verschlossen wird. Die Schenkel sind 30 cm lang und mindestens 2 cm weit. Die Schwingungen kann man auch auf folgende Weise erzeugen. Man neigt die Röhre, verschließt mit der Hand den untern Schenkel, richtet das Gefäß

wieder auf und nimmt dann die Hand weg. Es fällt den Schülern schwer, die Schwingungen hinreichend lange aufrecht zu erhalten. Benutzt man zum Blasen einen Kautschukschlauch, so muß man sich hüten, Speichel hineinfließen zu lassen und daher den Wassersack einschalten.

**7. Aufgabe.** Welche Beziehung besteht zwischen der Länge, der Dicke und der Schwingungszahl eines schwingenden Stabes?

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** GREGORY-SIMMONS 1, 132 Nr. 81. WATSON, *Elem. Pract. Phys.* 113 Nr. 88, 114 Nr. 89.

<b>Geräte.</b> Holzstab. Stahlstreifen (62 cm × 0,8 cm × 0,06 cm). Stricknadel. Schublehre.	Zwinge mit Feilkloben. Taktschläger oder Stech- uhr. Kreide. Millimeterpapier.
---	--

**Anleitung.** a) Befestige im Feilkloben das eine Ende des Holzstabes so, daß dessen schmale Seite wagerecht liegt (Fig. 144). Zieh unter der Gleichgewichtslage des Stabes mit Kreide einen Strich auf dem Tisch. Stelle den Taktgeber so ein, daß er Sekunden schlägt. Zieh das freie Ende des Stabes etwas zur Seite und laß es los. Klopfe, sobald der Stab genau mit dem Schläge des Taktgebers über den

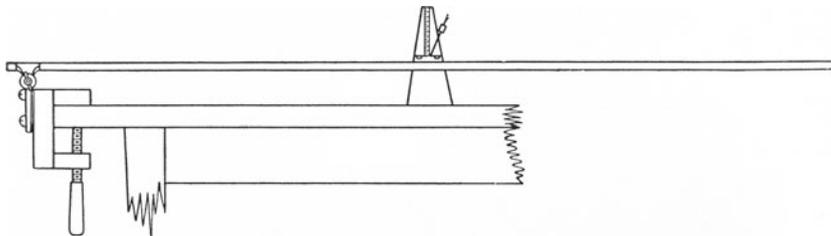


Fig. 144.

Strich hinweggeht, mit dem Bleistift gegen den Heftdeckel und zähle leise von nun an möglichst viele volle Schwingungen (Durchgänge von derselben Seite her). Klopfe, wenn nun wiederum der Stab von derselben Seite her mit dem Schläge des Taktgebers über den Strich hinweggeht, von neuem mit dem Bleistift gegen den Heftdeckel. Der Mitarbeiter sagt bei dem ersten Klopfen Null und zählt leise von da ab alle Taktschläge bis zu dem zweiten Klopfen. Berechne aus der beobachteten Zahl  $N$  der Schwingungen und der Schwingungszeit  $t$  die Schwingungszahl  $n = N/t$ .

b) Ändere die Schwingungsweite und prüfe, ob die Schwingungszahl von der Schwingungsweite abhängt, wenn diese klein ist.

c) Miß möglichst genau die Länge und die Dicke des schwingenden Stabteils an verschiedenen Stellen und bilde die Mittelwerte. Unter der Dicke versteht man die Abmessung in der Schwingungsrichtung. Bestimme die Schwingungszahl aus drei Messungen und nimm daraus das Mittel.

d) Verkürze den schwingenden Teil einige Zentimeter und miß die Länge und die Schwingungsdauer.

e) Wiederhole die Messungen für zwei andere Längen, bei denen die Schwingungen noch nicht so rasch sind, daß man sie nicht mehr genau zählen kann.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stab Nr. . . . Dicke  $d =$  cm.

Zahl der Schwingungen $N$	Schwingungszeit $t$ sek	Schwingungszahl $n' = N/t$	Mittlere Schwingungszahl $n$	$n^2$	Länge des schwingenden Stabteils $l$ cm	$l^2$	$n^2 l$	$n l^2$

g) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei das eine Mal  $x = l$  und  $y = \tau^2 = 1/n^2$  und das andere Mal  $x = l^2$  und  $y = \tau = 1/n$ . Prüfe, ob  $n^2 l$  wie beim Pendel stets den gleichen Wert hat, und wenn nicht, ob dies bei  $n l^2$  der Fall ist.

h) Wiederhole den Versuch (a) und drehe dann den Stab, ohne seine Länge im geringsten zu ändern, um  $90^\circ$ , so daß seine Breitseite wagerecht liegt, miß sehr genau die Dicke und bestimme aus drei Beobachtungssätzen die mittlere Schwingungszahl.

i) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stab Nr. . . . Länge des schwingenden Stabteils  $l =$  . . . cm.

Zahl der Schwingungen $N$	Schwingungszeit $t$ sek	Schwingungszahl $n' = N/t$	Mittlere Schwingungszahl $n$	Stabdicke $d$	Verhältnis der Schwingungszahlen $n_1/n_2$	Verhältnis der Dicken $d_1/d_2$

k) Wie verhalten sich bei gleichen Längen die Schwingungszahlen zu den Stabdicken? Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungszahl, der Länge und der Dicke eines Stabes?  $n = \text{konst. } d/l^2$ .

l) Wiederhole die Versuche (a) bis (g) mit einem Stahlstreifen und mache dabei die schwingenden Teile 60, 50, 40 und 30 cm lang. Halte bei diesen Versuchen den Teil des Streifens fest, der rückwärts aus den Backen des Klobens hervorragt. Welche Beziehung besteht zwischen der Länge und der Schwingungszahl eines Stahlstabes?

m) Verkürze die Stahlstreifen noch weiter und prüfe, ob die Schwingungen schneller oder langsamer werden, und ob Töne zu hören

sind. Gib dem Streifen die Gestalt einer Stimmgabel, halte ihn zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand und untersuche seine Schwingungen.

**n)** Klemme eine Stricknadel so zwischen die Backen des Klobens, daß sie 15 cm hervorragt. Ziehe dieses Ende seitwärts und laß es los. Hört man einen Ton? Sieht man das Ende der Nadel schwingen? Halte den Fingernagel eben gegen das freie Ende der Nadel. Berühre das freie Ende der Nadel mit dem Finger und vernichte so die Schwingungen. Verstummt der Ton?

**o)** Verkürze den Teil der Nadel, der aus dem Kloben herausragt und bringe ihn durch Zupfen zum Schwingen. Ist der Ton höher als vorher? Welche Beziehung besteht zwischen der Häufigkeit der Schwingungen, die durch die Schwingungszahl gemessen wird, und der Höhe des entstehenden Tons?

**Bemerkungen.** Der Stab besteht aus trockenem astfreiem Kiefernholz (1,83 m  $\times$  1,2 cm  $\times$  0,6 cm).

Diese Aufgabe läßt man mit Vorteil erst bei der Behandlung des Schalls lösen. Man kann die Versuche (a) bis (g) von einem Teil der Gruppen und die Versuche (l) bis (o) von den übrigen Gruppen ausführen lassen. Die Ergebnisse der Versuche (h) bis (k) befriedigen meist wenig. Es ist zwar wissenschaftlich besser, die Schwingungszahl  $n$  einzuführen und die Unveränderlichkeit von  $n\tau^2$  festzustellen, doch im Unterricht wirkungsvoller, die Schwingungsdauer  $\tau$  zu bestimmen und die Beständigkeit von  $\tau/l^2$  nachzuweisen.

Bei den Versuchen (n) und (o) ermahne man die Schüler zur Vorsicht, damit keiner durch die umherfliegenden Stücke zerspringender Nadeln verletzt wird.

**8. Aufgabe.** Gilt für die Schwingungen eines Stabes auch die Beziehung  $\tau^2 = 4\pi^2 m/k$ ?

(1 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** NOACK, Aufgaben 16 Nr. 17 und 28 Nr. 30.

<b>Geräte.</b>	Stahlstreifen (70 cm $\times$ 2 cm $\times$ 0,1 cm). Zwinge. Holzklötze. Schemel. 20 kg*-Stück. Leichte Wagschale (Pillenschachtel mit 3 Zwirnfäden). Kleine Haken. Klebwachs.	Garn. Schere. Spiegelmaßstab. NOACKS Diopter. Bunsengestell mit Haken. Wage. Gewichtsatz. Geschlitzte Blei- oder Messingscheiben von 10 bis 100 gr. Stechuhr.
----------------	---	---

**Anleitung.** **a)** Lege den Stahlstreifen flach zwischen zwei Holzklötze und klemme diese mit der Schraubenzwinge am Rande des Schemels fest, der mit einem 20kg\*-Stück belastet wird. Befestige am freien Ende des Stabes mit einer einfachen Fadenschleife und etwas Klebwachs einen kleinen Haken und hänge an diesen NOACKS Diopter

und daran die Wagschale (Fig. 145). Lies am Maßstab die Gleichgewichtstellung  $n'_0$  des Diopterstrichs ab.

b) Belaste die Schale der Reihe nach mit  $F = 1, 2, 3 \dots 10$  [gr\*] und lies jedesmal auf dem Maßstabe die Einstellung  $n'$  des Diopters ab.

c) Entlaste die Schale in Stufen von je 1 gr\* und lies jedesmal die Einstellung  $n''$  des Diopters ab.

d) Bestimme nochmals die Gleichgewichtstellung  $n''_0$  der unbelasteten Schale.

e) Nimm aus den zusammengehörigen Werten der Dioptereinstellungen das Mittel  $n$  und bestimme die Senkungen  $h = n - n_0$  des

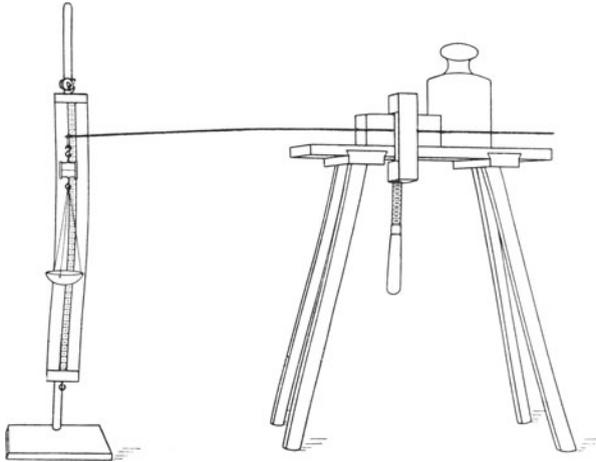


Fig. 145.

Stabendes. Berechne aus der Summe der Senkungen und der Summe der Belastungen wie in Aufgabe 3 (f) S. 192 den Kraftwert  $k' = F/h$  [gr\*/cm], gemessen durch die Anzahl Grammgewichte, die das Stabende um 1 cm senken, und daraus den Kraftwert  $k = k'g$  [Dyne/cm].

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stahlstreifen Nr. . . .

Gleichgewichtslagen des unbelasteten Stabes  $n'_0 = \dots$  [cm].  $n''_0 = \dots$  [cm].

$n = \frac{1}{2}(n'_0 + n''_0) = \dots$  [cm].

	Belastung $F$ gr*	Dioptereinstellungen in cm			Senkungen $h = n - n_0$
		$n'$	$n''$	Mittel $n$	
Summe	. . . . .			Summe	. . . . .
	$k' = \dots$ [gr*/cm].		$k = \dots$ [Dyne/cm].		

g) Nimm die Wagschale ab und schiebe auf das freie Ende des Stabes eine Anzahl Bleischeiben, deren Masse  $m$  gr ist, und befestige sie mit etwas Klebwachs. Stelle dicht hinter dem freien Ende des Stahlstreifens einen Maßstab auf und bezeichne mit einer hineingesteckten Nadel oder mit einem aufgeklebten Drahtbügel die Gleichgewichtslage des Stabes. Versetze den Stahlstreifen in kleine lotrechte Schwingungen und bestimme die Zeit  $t$  von 50 oder 100 vollen Schwingungen. Berechne daraus die Schwingungsdauer. Wiederhole die Messungen noch zweimal und nimm aus den Ergebnissen das Mittel  $\tau$ .

h) Bestimme die Masse  $m$  durch Wägung.

i) Prüfe, ob die erhaltenen Werte von  $m$ ,  $k$  und  $\tau$  die Gleichung  $\tau^2 = 4\pi^2 m/k$  befriedigen.

**Bemerkungen.** Es ist die Masse des schwingenden Stabteils zu berücksichtigen. Statt NOACKS Diopter kann man auch die Ersatzvorrichtungen benutzen, die in Aufg. 1 S. 38 angegeben sind, oder in die Schachtelwand an zwei gegenüberliegenden Stellen je eine Nadel einstecken oder am Boden mit etwas Klebwachs eine kurze steife Borste befestigen. Bringt man den Zeiger an der Schachtel an, so muß man die Gewichte mit großer Sorgfalt auf die Mitte des Bodens setzen. Bequemer ist ein Hakengewicht mit aufschiebbaren geschlitzten Zusatzscheiben.

**9. Aufgabe.** *Vergleiche die Richtkräfte verschiedener Drähte miteinander.*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

<b>Geräte.</b> Federharter Messingdraht von 0,25 mm Durchmesser. Harter Kupferdraht von 0,25 mm Durchmesser. Zwinge mit Feilkloben.	Drillscheibe. Klemmschraube. Beißzange. Feder oder Pinsel.
---	---

**Anleitung.** a) Bei Drillschwingungen hängen die Drehmasse (das Trägheitsmoment)  $K$ , die Richtkraft  $D$  und die volle Schwingungsdauer  $\tau$  durch die Gleichung

$$\tau^2 = 4\pi^2 \frac{K}{D}$$

zusammen. Wir benutzen erst ein Drahtstück von 100 cm Länge; hierbei ist die Schwingungsdauer  $\tau_1$ , die Richtkraft  $D_1$  und die Drehmasse  $K$ . Dann verwenden wir ein Stück desselben Drahts von 50 cm Länge; nun ist die Schwingungsdauer  $\tau_2$ , die Richtkraft  $D_2$  und die Drehmasse wiederum  $K$ . Wir haben daher

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{\tau_2^2}{\tau_1^2}$$

b) Schraube die Zwinge so an den Wandgalgen, wie dies Fig. 125 (S. 157) zeigt, klemme das obere Ende des Messingdrahts zwischen die Backen des Klobens und befestige am untern Ende mit der Klemme die Drillscheibe (Fig. 146). Passe dabei die Länge des Drahts so ab, daß

zwischen den beiden Klemmen genau 100 cm eingespannt sind. Stelle, sobald das Drillpendel zur Ruhe gebracht ist, dem Zeigerstrich auf der Scheibe gegenüber ein Papier mit einem Strich so auf, daß beide Striche in einer Geraden liegen. Den Strich auf dem Papier wollen wir die Gleichgewichtsmarke nennen.

c) Drehe die Scheibe um  $90^\circ$  und laß sie los. Hemme durch Berühren des Drahts mit der Hand, einer Feder oder einem Pinsel die etwa auftretenden Pendelschwingungen.

d) Bestimme die Schwingungsdauer  $\tau_1$  auf folgende Weise: Klopfe, sobald der Scheibenzeiger an der Gleichgewichtsmarke von links nach rechts vorübergeht, mit dem Blei scharf auf den Heftdeckel. Der Mitarbeiter, der die Uhr beobachtet, liest bei diesem Zeichen die Zeit in Minuten und Sekunden ab, schätzt dabei noch die Zehntelsekunden und schreibt diese Zeitbestimmung auf. Beobachte auf die gleiche Weise die Zeiten der folgenden fünf Durchgänge. Nimm aus dem 3. und 4., dem 2. und 5. und dem 1. und 6. Zeitpunkt das Mittel und aus den so erhaltenen drei Mitteln das Hauptmittel. Warte nach dem sechsten Durchgang  $\sim 5$  Minuten und bestimme wieder die Zeitpunkte von sechs aufeinander folgenden Durchgängen, von denen der erste wiederum von links nach rechts erfolgen muß. Berechne wie beim ersten Satz der Durchgangszeiten die Mittel und daraus das Hauptmittel.

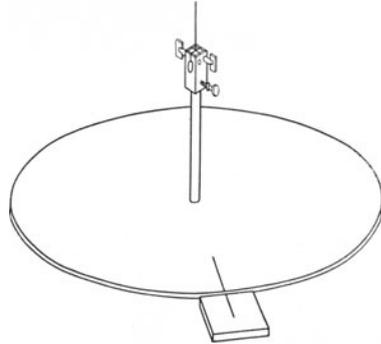


Fig. 146.

Schreibe die Beobachtungen in folgender Weise auf:

1. Satz.				2. Satz.			
Durchgang	Zeit		Mittel	Durchgang	Zeit		Mittel
	min	sek			min	sek	
1			min sek	1			min sek
2				2			
.				.			
.		3.4		.		3.4	
.		2.5		.		2.5	
6		1.6		6		1.6	
Hauptmittel				Hauptmittel			

Der Unterschied der aus beiden Beobachtungssätzen erhaltenen Hauptmittel, geteilt durch die Anzahl der zwischen ihnen verfloßenen vollen Schwingungen, gibt die Schwingungsdauer. Die vollen

Schwingungen werden nicht gezählt, sondern mit einem angenäherten Wert der Schwingungsdauer berechnet. Bestimme aus dem 1. und 2. Zeitpunkt des ersten Satzes von Beobachtungen den Zeitpunkt des 1. Umkehrpunkts und aus dem 5. und 6. Zeitpunkt desselben Satzes den 5. Umkehrpunkt. Der Zeitunterschied zwischen dem 5. und 1. Umkehrpunkt ist gleich der Dauer von zwei vollen Schwingungen. Hieraus berechnet man einen angenäherten Wert der vollen Schwingungsdauer in Sekunden. Teilt man den in Sekunden ausgedrückten Unterschied der Hauptmittel durch die angenäherte Schwingungsdauer, so ist die ganze Zahl, die dem Quotienten am nächsten liegt, die Anzahl der vollen Schwingungen zwischen den beiden Hauptmitteln.

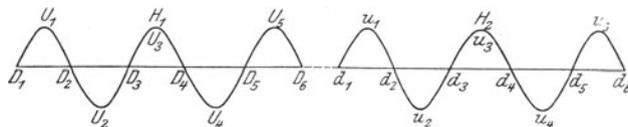


Fig. 147.

An der bildlichen Darstellung Fig. 147, wo  $D_v$  und  $d_v$  die Durchgänge des ersten und des zweiten Satzes,  $U_v$  und  $u_v$  die Umkehrpunkte und  $H_1$  und  $H_2$  die Hauptmittel darstellen, kann man sich das Rechenverfahren klar machen.

e) Drehe die Drillscheibe um  $180^\circ$  und verfare wie bei (c) und (d). Ist die Schwingungsdauer von der Schwingungsweite abhängig?

f) Verkürze den Draht genau auf die Länge 50 cm und bestimme wie bei (d) die Schwingungsdauer  $\tau_2$ . Wie ändert sich die Richtkraft des Drahts mit der Länge?

g) Ersetze den Messingdraht durch einen gleich starken Kupferdraht von genau 100 cm Länge und bestimme wie bei (d) die Schwingungsdauer  $\tau_3$ . Wie verhalten sich die Richtkräfte gleich großer Drähte aus Messing und Kupfer?

**Bemerkungen.** Die Drillscheibe ist aus Zink gefertigt. Sie hat einen Durchmesser von 25 cm und eine Masse von 1000 gr. In der Mitte ist ein 5 cm langer Stift befestigt und am Rande der Oberseite ein nach der Mitte gerichteter Strich als Marke eingeritzt. Ferner ist um die Mitte der obern Fläche ein Kreis eingeschnitten, dessen Durchmesser so groß wie der äußere Durchmesser des Drillrings ist (vgl. S. 158).

Guter Messingdraht ist nicht immer leicht zu beschaffen, ebenso gut, wenn nicht besser, ist Konstantandraht.

Ist der Galgen zu hoch, so klemmt man in den Kloben der Zwinde einen Stab fest, der unten eine Befestigungsklemme trägt. Die Drillscheibe läßt sich dann stets in die bequemste Arbeitshöhe bringen.

Es empfiehlt sich nicht, bei Schülerübungen die Abhängigkeit der Richtkraft von dem Durchmesser des Drahts oder von dem Drillmaß (Torsionsmodul) nach dem Schwingungsverfahren zu bestimmen, da hierzu die sehr genaue Bestimmung der Drahtdicke erforderlich ist. Diese könnte man allenfalls durch Wägung ermitteln.

Über die Bestimmung der Schwingungsdauer vergleiche KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 111. SABINE 26 Nr. 17. WATSON, *Textbook of Pract. Phys.*

107 Nr. 43. Will man das genaue Verfahren zur Bestimmung der Schwingungsdauer nicht anwenden, so ermittle man sie aus der Zeit von 25 vollen Schwingungen.

**10. Aufgabe.** *Wie groß ist die Drehmasse (Trägheitsmoment) der Drillscheibe und die Richtkraft des Aufhängedrahts?*

*Wie groß ist die Drehmasse eines Stabes mit kreisförmigem Querschnitt, bezogen auf den Kreisdurchmesser?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 9, dazu: 

Wage.
Gewichtssatz.
Maßstab.
Schublehre.

**Anleitung.** a) Hänge die Drillscheibe an einen genau 100 cm langen Messingdraht von 0,25 mm Durchmesser und bestimme wie in Aufgabe 9 die Schwingungsdauer  $\tau_1$ .

b) Lege den Drillring auf die Scheibe, hänge diese wieder an dem 100 cm langen Messingdraht auf, rücke den Ring sorgfältig so,

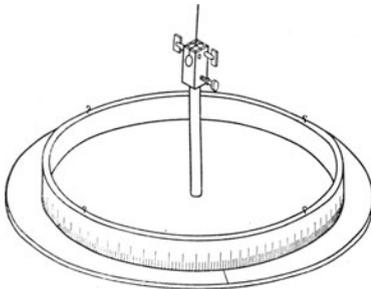


Fig. 148.

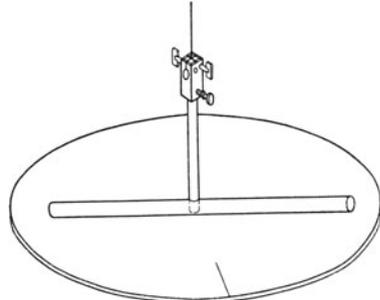


Fig. 149.

daß der Draht durch seinen Mittelpunkt geht (Fig. 148) und bestimme die Schwingungsdauer  $\tau_2$ .

c) Ist  $K_1$  die Drehmasse der Scheibe,  $K_2$  die Drehmasse des Ringes und  $D$  die Richtkraft des Drahts, so gelten die Gleichungen:

$$\tau_1^2 = 4\pi^2 \frac{K_1}{D} \quad \text{und} \quad \tau_2^2 = 4\pi^2 \frac{K_1 + K_2}{D} \quad \dots \quad (1)$$

Es ist also

$$\frac{\tau_1^2}{\tau_2^2} = \frac{K_1}{K_1 + K_2}$$

und mithin

$$K_1 = \frac{\tau_1^2}{\tau_2^2 - \tau_1^2} K_2 \quad \dots \quad (2)$$

d) Bestimme durch Wägung die Masse  $m_2$  des Ringes. Miß den äußern Durchmesser und die Breite des Ringes und ermittle daraus seinen äußern Halbmesser  $r_1$  und seinen innern Halbmesser  $r_2$ . Berechne die Drehmasse des Ringes bezogen auf die Achse

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 (r_1^2 + r_2^2).$$

Setze diesen Wert in die Gleichung (2) ein und berechne daraus die Drehmasse  $K_1$  der Scheibe und der Klemme und aus der ersten der Gleichungen (1) die Richtkraft des Drahts.

e) Entferne den Ring und schiebe den Messingstab auf den Stift der Scheibe (Fig. 149, S. 203). Bestimme durch Beobachtung der Schwingungsdauer  $\tau_3$  die Drehmasse des Stabes. Bestimme durch Wägung die Masse  $m_3$  des Stabes und vergleiche den aus der Schwingungsdauer hergeleiteten Wert  $K_3$  mit dem nach der Formel

$$K_3 = m_3 \left( \frac{1}{12} l_3^2 + \frac{1}{4} r_3^2 \right)$$

berechneten Wert, wo  $r_3$  den Halbmesser und  $l_3$  die Länge des Stabes bezeichnen.

**Bemerkung.** Der Messingstab, der in der Mitte, senkrecht zur Längsachse, durchbohrt ist, hat 1 cm Durchmesser und 20 cm Länge.

**11. Aufgabe.** *Wie hängt die Drehmasse (Trägheitsmoment) eines Körpers von den Massen der einzelnen Teile und deren Entfernungen von der Drehachse ab?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** BOWER-SATTERLY 104 Nr. 80.

**Geräte.** Drillstab (vgl. S. 206).  
2 Bleireiter von 500 gr.  
2 Bleireiter von 1000 gr.  
Zwinge mit Feilkloben.  
Nadeln.

Stahldraht von 0,4 mm Durchmesser.  
Unterlegklötze.  
Feder oder Pinsel.

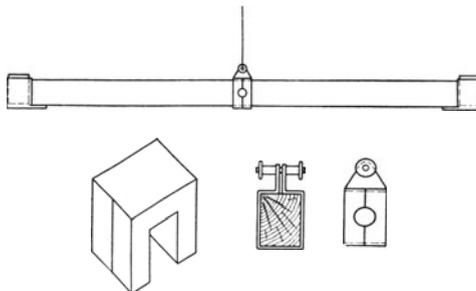


Fig. 150.

**Anleitung.** a) Befestige die Hülse genau in der Mitte des Stabes, von dem sämtliche Massen entfernt worden sind, hänge den Stab am Stahldraht auf und drehe ihn um  $\sim 10$  bis  $15^\circ$  (Fig. 150). Laß ihn los und hemme etwa auftretende Pendelschwingungen durch Berühren des Drahts mit der Hand, einer Feder oder einem

Pinsel. Bestimme aus der Zeit  $t_0$  sek für 10 oder 12 volle Schwingungen die Schwingungsdauer  $\tau_0$  des unbelasteten Stabes.

b) Lagere das Drillpendel auf Unterlegklötze, schiebe auf jeden Arm des Stabes einen Bleireiter von 500 gr so, daß deren Mitten vom Draht um 7,5 cm abstehen und miß die Schwingungsdauer  $\tau_1$  des belasteten Drillstabes.

c) Mache den Abstand der Bleireiter vom Draht 15 cm groß und bestimme die Schwingungsdauer  $\tau_2$ .

d) Verschiebe die Bleireiter so weit, daß ihre Abstände vom Draht 22,5 cm werden und miß die Schwingungsdauer  $\tau_3$ .

e) Ersetze die Bleireiter von 500 gr durch solche von 1000 gr Masse, gib ihren Mitten erst 7,5 und dann 15 cm Abstand vom Draht und bestimme die Schwingungsdauern  $\tau_4$  und  $\tau_5$ .

f) Der unbelastete Drillstab hat die Schwingungsdauer  $\tau_0$  und die Drehmasse  $K_0$ . Hat der Draht die Richtkraft  $D$ , so ist

$$\tau_0^2 = 4\pi^2 \frac{K_0}{D}.$$

Belasten wir den Stab ebenmäßig mit zwei Massen, die in bezug auf die Drehachse die Drehmasse  $K_v$  haben, so wird die Schwingungsdauer  $\tau_v$ , und es ist

$$\tau_v^2 = 4\pi^2 \frac{K_0 + K_v}{D}$$

oder

$$\tau_v^2 - \tau_0^2 = 4\pi^2 \frac{K_v}{D}.$$

Wir erhalten mithin

$$\frac{K_v}{K_1} = \frac{\tau_v^2 - \tau_0^2}{\tau_1^2 - \tau_0^2}.$$

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Drillstab Nr. . . .

Masse des Drillstabes  $m_0 = \dots$  [gr].

Massen der Bleistücke:  $m_1 = \dots$  [gr].  $m_2 = \dots$  [gr].

$m_3 = \dots$  [gr].  $m_4 = \dots$  [gr].

Anzahl der Schwingungen des unbelasteten Stabes  $N_0 = \dots$

Schwingungszeit  $t_0 = \dots$  [sek]. Schwingungsdauer  $\tau_0 = \dots$  [sek].

$\nu$	Anzahl der Schwingungen $N_\nu$	Schwingungszeit $t_\nu$		Schwingungsdauer $\tau_\nu = t_\nu / N_\nu$	$\tau_\nu^2$	$\tau_\nu^2 - \tau_0^2$	$\frac{K_\nu}{K_1} = \frac{\tau_\nu^2 - \tau_0^2}{\tau_1^2 - \tau_0^2}$
		min sek	sek				

h) Wie ändert sich die Drehmasse, wenn man bei gleichem Abstand die Masse verdoppelt? Wie ändert sich die Drehmasse, wenn man die Masse in die doppelte oder dreifache Entfernung schiebt?

**Bemerkungen.** Das Drillpendel (Fig. 150) besteht aus einem Holzstab, der 55 cm lang, 2,5 cm breit und 3,5 cm hoch ist. Seine Mitte ist durch einen Strich bezeichnet. Der Stab wird mit einem Messingschiffchen aufgehängt, das wie in der Figur gebogen ist. Die Mitte des Schiffchens ist durch einen Strich bezeichnet und mit einem Ausschnitt versehen. Man kann also die Hülse genau ebenmäßig auf dem Stabe befestigen. Durch die obere Enden des Schiffchens führt eine Schraube, die an jedem Ende eine Mutter trägt. Das Ende des Aufhängedrahts legt man um die Schraube und zieht die Muttern ganz fest an.

An den Enden des Stabes sind zwei Becher aus Messingblech befestigt, die so groß sind, daß sie Zink- oder Eisenwalzen von 200 gr Masse gerade aufnehmen können. Die Becher tragen lotrechte Striche, die als Schwingungsmarken dienen. Man legt die Gleichgewichtslage fest mit zwei Nadeln, die man in einen Holzklötz steckt, oder mit dem Sehrohr. (Vgl. Teil 2 B, Aufg. 7, S. 159).

Die  $\Omega$ -förmig gebogenen Bleireiter sind 5 cm breit und in der Mitte mit einem Strich versehen.

CREW und TATNALL (47 Nr. 21) benutzen als Drillstab eine leichte Stahlröhre von 30 cm Länge und 6 mm Durchmesser, als verschiebbare Massen durchlochte Blei- oder Messingscheiben von 1,3 cm Dicke und 5 cm Durchmesser und einen Drilldraht von solcher Länge und Stärke, daß die Schwingungsdauer 1 bis 5 Sekunden beträgt. Sie schieben anfangs beide Scheiben nach der Mitte und vergrößern dann jedesmal den Abstand der Innenflächen um 2 cm. Sie berechnen die Schwingungsdauern aus den Zeiten für 10 bis 20 Schwingungen und machen eine bildliche Darstellung, wobei sie den Abstand der Masse von der Drehachse als Abszisse und die Schwingungsdauer als Ordinate wählen.

Ein anderes schönes Verfahren, das auch für Schülerübungen geeignet ist, hat M. KOPPE (*Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 5, 8; 1891) beschrieben.

**12. Aufgabe.** Bestimme mit dem Drillstab die Masse eines Körpers.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** COLEMAN 65 Nr. 20.

<b>Geräte.</b>	Wie bei Aufgabe 11, doch ohne Bleireiter; dazu: Schrot. Löffel. 2 Zinkwalzen von 200 gr,	die gerade in die Becher passen. Becherglas. Wage. Gewichtssatz.
----------------	---	---

**Anleitung.** a) Hänge das Drillpendel wie in Aufg. 11 auf.

b) Setze die Zinkwalzen in die Becher ein und bestimme die Schwingungsdauer  $\tau_0$ .

c) Nimm die Zinkwalzen heraus und fülle die Becher ebenmäßig etwa zur Hälfte mit Schrot. Bestimme die Schwingungsdauer. Setze Schrot zu, wenn sie kleiner als bei Versuch (b) ist, und entferne Schrot, wenn sie größer ist, doch achte stets darauf, daß beide Becher gleich voll sind. Ermittle auf diese Weise die Schrotmasse, wofür die Schwingungsdauer ebenfalls gleich  $\tau_0$  ist.

d) Schütte das Schrot in ein abgeglichenes Becherglas, bedecke dabei den einen Becher, damit kein Korn verloren geht. Wäge das Schrot und die Walzen. Haben beide gleiche Massen? *Unterschied*

von Masse und Gewicht. Trägheit der Körper bei fortschreitenden und drehenden Bewegungen. Kraft und Masse. Drehantrieb und Drehmasse.

**13. Aufgabe.** Bestimme mit einem schwingenden Stahlstab die Masse eines Körpers.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** ABRAHAM 1, 108 Nr. 71.

<b>Geräte.</b> Stahlstab.	Klebwachs.
Zwinge mit Feilkloben.	Stechuhr.
500 gr-Stück aus Eisen.	Drahtzeiger.
500 gr-Stück aus Messing.	Wage.
Bleischeiben von 100, 200,	Gewichtsatz.
200 und 500 gr.	Millimeterpapier.

**Anleitung.** a) Spanne die Stahlstreifen so zwischen die Backen des Feilklobens, daß die Glasscheibe wagerecht liegt, befestige darauf mit Klebwachs genau in der Mitte das eiserne 500 gr-Stück und bestimme möglichst genau die Schwingungsdauer (Fig. 151).

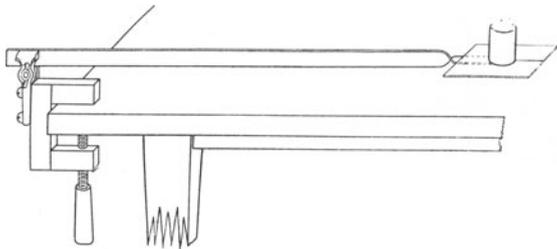


Fig. 151.

b) Ersetze das eiserne Gewicht durch ein Messinggewicht von 500 gr. Ist die Schwingungsdauer

die gleiche wie vorher? Haben Körper von gleichem Gewicht auch gleiche Masse?

c) Belaste nun die Glasscheibe der Reihe nach mit Massen, von 100 gr an um 100 gr bis zu 1000 gr aufsteigend, und bestimme jedesmal die Schwingungsdauer.

d) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Stahlstab Nr. . . .

Belastungs- masse $m$ gr	Anzahl $N$ der Schwingungen	Schwingungs- zeit $t$ sek	Schwingungs- dauer $\tau = t/N$	$\frac{\tau^2}{m}$

e) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, wähle dabei  $x = m$  und  $y = \tau^2$ . Zeichne eine Gerade, die sich der erhaltenen Kurve möglichst anschmiegt.

f) Befestige irgend einen Körper auf der Mitte der Scheibe, bestimme die Schwingungsdauer und entnimm der bildlichen Darstellung die Masse des Körpers.



e) Wie verhalten sich bei gleichen Belastungen die Schwingungszahlen des Fadens zu den Wellenlängen? Wie verhalten sich bei gleichen Schwingungszahlen des Fadens die Geschwindigkeiten zu den Belastungen?

f) Ersetze den Faden durch gleich lange dünnere und dickere Schnüre und prüfe, ob die Wellenlänge von der Masse der Längeneinheit abhängt und ob diese die Wellengeschwindigkeit beeinflußt.

**Bemerkungen.** STROUD benutzt ein „Stahllineal“ von den oben angegebenen Abmessungen. Ich konnte kein solches erhalten, da die jetzt im Handel befindlichen Lineale teils Einlagen, teils Auflagen haben. Mit den Stahlstreifen, die ich benutzte, gelangen die Versuche nur schlecht.

Genauere Ergebnisse erhält man, wenn man statt des Stahlstreifens eine große Stimmgabel ( $n = 30$  bis  $60$ ) mit elektrischem Antrieb verwendet, eine  $\sim 3$  m lange Packschnur wagerecht ausspannt und über eine Rolle führt.

**15. Aufgabe.** *Hängt die Schwingungsdauer einer Spulfeder von der Länge ab, wenn das Verhältnis der Masse zur Belastung ungeändert bleibt?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** ASHWORTH 93 Nr. 4.

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 1, dazu:

Wage.

VOLKMANNsche Klammer.

**Anleitung.** a) Hänge die Feder auf und laß sie sich beruhigen. Erteile der Feder einen schwachen Stoß, der von unten nach oben gerichtet ist. Die Verdichtung laufe in  $t$  sek bis zu dem obern Ende der Spule und wieder zurück bis zu dem untern Ende. Welche Beziehung besteht zwischen dieser Zeit  $t$  und der Schwingungsdauer  $\tau$  der Spule?  $t = \frac{1}{2}\tau$ . Wie lang müßte die Spule sein, damit die Verdichtung sie in  $\tau$  sek genau einmal durchliefe? 4l. Welche Beziehung besteht zwischen der Schwingungsdauer und der Länge der Spule?  $\tau \sim l$ .

b) Hänge an die Feder die Schale und belaste sie so stark (mit  $\sim 80$  gr\*), daß die Feder höchstens zwei volle Schwingungen in der Sekunde macht. Bestimme dreimal aus den Zeiten für 100 Schwingungen die Schwingungsdauer und berechne daraus den Mittelwert.

c) Klemme die mittlere Windung fest, so daß jetzt die Schale an der Hälfte der Federwindungen hängt, und entferne aus der Schale so viele Gewichte, daß die Summe aus dem sechsten Teil des Federgewichts und dem Gewichte der Schale nebst Belastung jetzt halb so groß wie vorher ist. Das von jedem Zentimeter der Federlänge getragene Gewicht ist jetzt ebenso groß wie vorher. Bestimme dreimal aus der Zeit für 100 Schwingungen die Schwingungsdauer und berechne daraus den Mittelwert.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Feder Nr. . . . Schale Nr. . . .  
 Masse der Feder  $m' = \dots$  [gr].  $\frac{1}{3} m' = \dots$  [gr].  
 Masse der Schale  $m'' = \dots$  [gr].

Zahl der Schwingungen $N$	Schwingungszeit $t$ sek		Schwingungsdauer $\tau' = t/N$	Mittlere Schwingungsdauer $\tau$	Verhältnis der mittlern Schwingungsdauern $\tau_1/\tau_2$	Masse der Belastung $m'''$ gr	Gesamtmasse $m = \frac{1}{3} m' + m'' + m'''$	Zahl der Windungen $l$	Verhältnis der Windungszahlen $l_1/l_2$
	min sek	sek							

Welche Beziehung besteht zwischen den Längen und den Schwingungsdauern der Feder?

e) Es sei  $\lambda$  cm die Länge einer Feder, durch die sich während  $\tau$  sek eine Verdichtung fortpflanzt. Welche Beziehung besteht zwischen  $\lambda$  und  $l$ ?  $\lambda = 4l$ . Wenn  $v$  cm/sek die Geschwindigkeit bezeichnet, mit der sich die Verdichtung durch die Spule fortpflanzt, so ist

$$\lambda = v\tau.$$

Miß die Länge der Spule und berechne aus  $l$  und  $\tau$  die Geschwindigkeit  $v$  cm/sek.

## Sechster Teil.

### Schall.

#### I. Stimmgabel.

**1. Aufgabe.** *Wieviel Schwingungen macht eine Stimmgabel in einer Sekunde?*

(1 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** HALL, *Descript. List* 67 Nr. 49, 91 Nr. 95 u. 96.

<b>Geräte.</b> $c_1$ -Stimmgabel aus Stahl ( $n = 256$ ).	Streubüchse mit Bärlapp- samen.
Schreibvorrichtung (vgl. S. 213).	Borsten.
Spiegelglasplatten (30 cm $\times$ 5 cm).	Klebwachs.
Taktgeber oder Stechuhr.	Anschlaghammer (vgl. S. 214).
Ölläppchen.	Watte.
	2 Bunsengestelle.

**Anleitung.** a) Stelle die Feder des Pendels so ein, daß es in der Sekunde  $1\frac{1}{2}$  bis 2 volle Schwingungen macht (Fig. 152). Bestimme

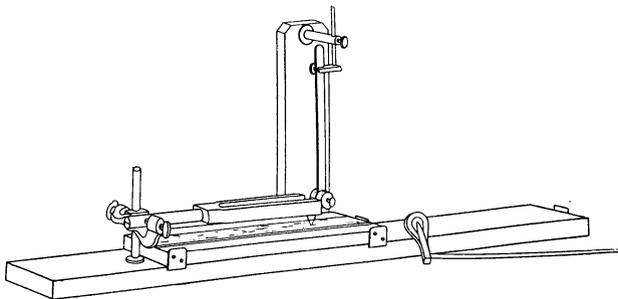


Fig. 152.

sorgfältig aus der Zeit von 100 Schwingungen die Schwingungsdauer. Wiederhole die Messung noch zweimal und nimm aus den erhaltenen Werten das Mittel.

**b)** Befestige die Stimmgabel so in der Klemme, daß die durch die Zinkenachse gehende Ebene wagerecht steht. Lege die Spiegelglasplatte auf den Schlitten und befestige mit etwas Klebwachs an der einen Zinke und an dem Pendelkörper je eine Borste. Die ruhenden Schreibborsten müssen in derselben lotrechten Ebene und so dicht beieinander liegen, als dies ausführbar ist. Man muß das Pendel und die Stimmgabel so einstellen, daß die Achsen ihrer Wellenlinien bei der Verschiebung des Schlittens genau zusammenfallen.

**c)** Wische die Glasplatte mit einem Ölläppchen ab, bestreue sie mit Bärlappsamen und blase das überflüssige Pulver weg.

**d)** Lege die Glasplatte, mit der bestäubten Seite nach oben, auf den Schlitten und stelle an ihrem Rande die Schreibspitzen so ein, daß sie eben auf der Staubschicht aufliegen. Laß das Pendel schwingen, schlage die Stimmgabel an, verschiebe die Platte langsam und prüfe, ob die Borsten richtig schreiben.

**e)** Setze, sobald die Schreibvorrichtungen gut arbeiten, Pendel und Stimmgabel in Schwingungen und zieh dann schnell den Schlitten unter den schreibenden Borsten fort. Suche, falls das Pendel oder die Stimmgabel ihre Bewegungen nicht gut aufgeschrieben haben, mit Überlegung und ohne Hast nach den Mängeln der Einstellungen. Lege, wenn nötig, kleine Papierstücke zwischen die Glasplatte und

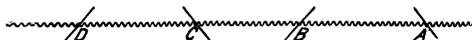


Fig. 153.

den Schlitten und gib so der Scheibe die richtige Lage. Verschieb auf dem Schlitten die bestäubte Platte etwas seitwärts und mach eine neue Aufzeichnung. Nach einigen Vorversuchen, die man mit Geduld und Ausdauer ausführen muß, gelingen auch dem Ungeübten die Aufnahmen.

**f)** Befestige, sobald eine gute Aufzeichnung gelungen ist, die bestäubte Platte wagerecht so in den Klemmen zweier Gestelle, daß das Tageslicht durch die Scheibe fällt oder halte die Scheibe schräg geneigt über ein wagerechtes schwarzes Papier, und zähle sorgfältig die Anzahl der ganzen Wellen, die zwischen den Zeitmarken des Pendels *A* und *C*, *B* und *D* liegen (Fig. 153).

**g)** In wieviel Sekunden ist die Platte von *A* nach *C* bewegt worden? Wieviel volle Schwingungen hat in dieser Zeit die Stimmgabel ausgeführt? Wie groß ist also die Anzahl der vollen Schwingungen, die die Stimmgabel in einer Sekunde macht?

**h)** Bestimme ebenso die Schwingungszahl der Stimmgabel aus der Anzahl der ganzen Wellen auf der Strecke *BD* und nimm aus den beiden erhaltenen Werten das Mittel.



läßt man unter einem Abzug oder an einem andern Ort ausführen, wo der Ruß weder belästigt noch schadet. Hat man einen Diener zur Verfügung, so lasse man ihn vor der Übung die Glasplatten,  $\sim 5$  für jede Gruppe, berußen. W. ELSÄSSER (*Graph. Methoden im physik. Unterr. Wissenschaftl. Beilage z. Jahresb. d. Städt. Realgymn. zu Charlottenburg 1905, S. 4*) berußt nicht die Platten, sondern wischt sie mit einem Ölläppchen ab, bestreut sie dann mit Bärlappsamen und bläst das überschüssige Pulver weg. Man kann die Platten auch mit Schlemmkreide anstreichen, die mit Alkohol angerührt ist.

Es ist davor zu warnen, die Schwingungszahl der Stimmgabel aus der Anzahl der Wellen während einer halben Pendelschwingung zu berechnen, da dies zu erheblichen Fehlern führen kann, wenn die Schreibstifte nicht genau in der Verschiebungsrichtung der Platte stehen.

Stimmgabeln aus Bronze sind zwar billiger als Stahlgabeln, doch haben sie sich in dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut nicht bewährt. Man lasse in die Grundfläche des Gabelstiels eine Nute einfeilen. Stahlgabeln reibe man nach jeder Benutzung mit Vaseline ein. Zum Anschlagen der Stimmgabeln benutze man Klavierhämmer aus Filz, die auf Stielen aus spanischem Rohr sitzen. Das sonst sehr empfehlenswerte Erregen der Stimmgabeln durch Abziehen eines Korks, der zwischen die Zinken geklemmt worden ist, läßt sich bei diesem Versuch nicht bequem ausführen. Das Anstreichen der Gabeln mit einem Cellobogen wird bei den Übungen zu teuer. Man halte darauf, daß die Schüler bei den Versuchen Stimmgabeln nie auf den Tisch oder gar einer Metallplatte anschlagen; das Anschlagen auf einem Stück Filz oder Sohlenleder ist zulässig.

Die Übung bereitet den Schülern nicht geringe Schwierigkeiten, doch gelingt nach meinen Erfahrungen allen Schülern in einer Doppelstunde die Bestimmung der Schwingungszahl. Man muß sie nur immer wieder anspornen, nach mißlungenen Aufzeichnungen von neuem eine bessere Einstellung zu versuchen. Auf keinen Fall ist es ratsam, daß der Lehrer selbst die Schwingungen aufzeichnet und den Schülern nur das Auszählen überläßt.

Die Aufgabe schließt man am besten an die Versuche über schwingende Stäbe (vgl. S. 196) an.

## II. Schwingende Saiten.

**2. Aufgabe.** *Wie ändert sich die Schwingungszahl einer Saite bei gleichbleibender Spannung mit der Länge?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** SCHUSTER-LEES, *Intermed. Course 163 Nr. 1.*

<b>Geräte.</b> Monochord nebst Zubehör	Anschlaghammer.
(vgl. S. 215).	Meterstab.
$c_1$ -Stimmgabel ( $n = 256$ ).	Papier.
$d_1$ -Stimmgabel ( $n = 288$ ).	Schere.

**Anleitung.** a) Schneide einen sehr schmalen Streifen Papier ab, wickle ihn um den Stiel des Hammers und stelle so einen ringförmigen Reiter her.

b) Prüfe, ob der Ton der Saite, die zwischen den beiden Wirbeln ausgespannt ist, tiefer als  $c_1$  ist; wenn nicht, entspanne die Saite so weit, daß dies der Fall wird (Fig. 155).

c) Setze den Reiter neben die Mitte der Saite. Schlage die Stimmgabel an, setze die Nute des Stiels auf die Saite und fahre mit der Gabel von dem einen festen Steg aus langsam die Saite entlang, bis eine Stelle erreicht wird, wo der Reiter in heftige Bewegung gerät. Das so abgegrenzte Stück der Saite steht dann mit der Stimmgabel im Einklange. Schiebe nun den beweglichen

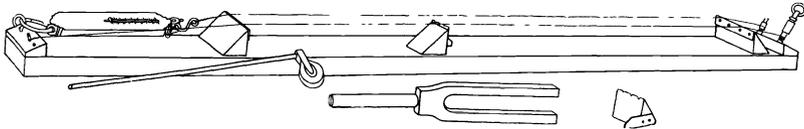


Fig. 155.

Steg an die Stelle, die der Gabelstiel einnimmt. Setze den Stiel der Stimmgabel auf den beweglichen Steg oder neben dem Reiter auf das Monochordbrett und prüfe, ob der Reiter wieder in heftige Bewegung versetzt wird; wenn nicht, verschiebe den Steg in kleinen Stufen, bis dies eintritt.

d) Miß die Länge des schwingenden Drahtstücks.

e) Wiederhole den Versuch zweimal.

f) Bestimme ebenso die Länge der Saite, die mit der  $d_1$ -Gabel im Einklange schwingt.

g) Schreibe die Ergebnisse in der folgenden Weise auf:

Monochord Nr. . . .  $c_1$ -Gabel Nr. . . .  $d_1$ -Gabel Nr. . . .

Stimmgabel			Saitenlänge		
Ton	Schwingungszahl $n$	Verhältnis der Schwingungszahlen $n_1/n_2$	Gemessen	Mittelwert $l$	Umgekehrtes Verhältnis der Längen $l_2/l_1$

h) Nimm für jede Gabel das Mittel aus den gemessenen Saitenlängen. Berechne das Verhältnis der Schwingungszahlen beider Gabeln und das umgekehrte Verhältnis der Saitenlängen. Vergleiche die erhaltenen Werte miteinander. Wie ändert sich die Schwingungszahl bei gleichbleibender Spannung mit der Länge der Saite?

**Bemerkungen.** Das Monochord (Fig. 155) besteht aus einem Holzbrett (110 cm  $\times$  10 cm  $\times$  2,5 cm), worauf in 75 cm Abstand zwei Stege befestigt sind. Es ist mit zwei Saiten bespannt, wovon die eine mit einem Wirbel und Stift und die andere mit einem Wirbel und mit einer Federwage (Meßbereich 15 kg\*, geteilt in  $\frac{1}{4}$  kg\*) verbunden ist. Zur Bespannung verwende man Klaviersaiten-Stahldraht von 0,3 mm Durchmesser. Bei der Befestigung der Saiten achte man darauf, daß man die Drahtenden so um die Wirbel windet, daß die spannende Kraft den Wirbel im Holz estzieht. Der bewegliche Steg trägt eine Messingplatte, deren obere Kante



g) Wie ändert sich die Schwingungszahl einer Saite bei gleichbleibender Länge mit der spannenden Kraft?

**Bemerkungen.** Man führe den Versuch erst mit der  $d_1$ - und dann mit der  $c_1$ -Gabel aus. Der Schüler, der die Federwage abliest, stelle sich mit dem Rücken gegen das Monochord gekehrt so auf, daß der Draht, wenn er reißen sollte, nicht sein Auge verletzen kann.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 2.

**4. Aufgabe.** Wie ändert sich die Länge einer Saite bei gleichbleibender Schwingungszahl mit der spannenden Kraft?

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** SCHUSTER-LEES, *a. a. O.* 166 Nr. 3.

<b>Geräte.</b> Monochord nebst Zubehör. $c_1$ -Stimmgabel ( $n = 256$ ). Anschlaghammer. Papier. Schere. Klaviersaiten-Stahl-	draht von 0,3 mm Durchmesser. Drahtzange. Beißzange. Meterstab.
--	--

**Anleitung.** a) Stimme wie in der 3. Aufgabe mit der Federwage die ganze Saite so ab, daß sie mit der  $c_1$ -Gabel im Einklange steht. Klopfe schwach gegen die Federwage, lies die spannende Kraft ab und verbessere die Ablesung.

b) Vermindere die spannende Kraft auf  $\sim \frac{3}{4}$  des soeben bestimmten Werts, setze den beweglichen Steg unter die Saite und miß die Drahtlänge, die nun mit der  $c_1$ -Gabel im Einklange steht.

c) Vermindere die spannende Kraft auf etwa die Hälfte ihres ursprünglichen Werts und verfahre dann wie bei (b).

d) Wiederhole dreimal die Beobachtungen und bilde aus den Ergebnissen das Mittel.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Monochord Nr. . . .       $c_1$ -Gabel Nr. . . .

Spannende Kraft		Saitenlänge $l$ cm	$F/l^2$
Ablesung	Verbesserte Ablesung $F$ kg*		

f) Wie ändert sich die Länge derselben Saite bei gleichbleibender Schwingungszahl mit der spannenden Kraft?

**Bemerkungen.** Die ungenaue Bestimmung der spannenden Kräfte bewirkt die Unterschiede in den Ergebnissen.

Vgl. die Bemerkungen zur 2. Aufgabe.

**5. Aufgabe.** *Kann man mit Maßstab und Wage den Ton einer Saite und einer Stimmgabel bestimmen?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Monochord nebst Zubehör.	draht von 0,3 mm Durchmesser.
	$c_1$ -Stimmgabel	Drahtzange.
	( $n = 256$ ).	Dreikantige Feile.
	Anschlaghammer.	Beißzange.
	Papier.	Wage.
	Schere.	Gewichtssatz.
	Klaviersaiten - Stahl-	

**Anleitung.** a) Stimme wie in der 3. Aufgabe mit der Federwage die Saite so ab, daß sie mit der  $c_1$ -Gabel im Einklange steht. Klopfe gegen die Federwage, lies die spannende Kraft ab und verbessere die Ablesung.

b) Miß sorgfältig die Länge der Saite zwischen den beiden festen Stegen.

c) Feile zuerst bei dem Stege neben der Federwage und dann bei dem andern Stege Marken in die Saite, schütze dabei die Augen durch Vorhalten der gespreizten Finger, nimm den Draht ab und schneide ihn an den gezeichneten Stellen mit der Beißzange durch.

d) Wäge das abgeschnittene Stück und berechne die Masse ( $k$  gr/cm) eines Drahtstücks, das 1 cm lang ist.

e) Ist  $n$  die Schwingungszahl der Saite,  $l$  cm die Länge,  $F$  Dyne die spannende Kraft und  $k$  gr/cm die Masse eines Drahtstücks von 1 cm Länge, so wird nach der TAYLORSchen Formel

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{k}}.$$

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Monochord Nr. . . .  $c_1$ -Gabel Nr. . . .

Spannende Kraft, an der Federwage abgelesen, . . . kg\*.

Verbesserte spannende Kraft . . . kg\*.

Verbesserte spannende Kraft, in Dyne gemessen,  $F = \dots$  [Dyne].

Länge der schwingenden Saite  $l = \dots$  [cm].

Masse der schwingenden Saite  $m = \dots$  [gr].

Masse von 1 cm Saite  $k = \dots$  [gr/cm].

Schwingungszahl der Saite  $n = \dots$  [1/sek].

g) Berechne mit der TAYLORSchen Formel die Schwingungszahl der Saite. Wie groß ist die Schwingungszahl der Stimmgabel?

**Bemerkungen.** Diese Aufgabe macht stets einen tiefen Eindruck auf die Schüler. Vgl. die Bemerkungen zur 2. Aufgabe.

### III. Schwingende Luftsäulen.

**6. Aufgabe.** *Kann man die Wellenlänge eines gegebenen Tons und die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft mit einer mittönennden Röhre bestimmen?*

**1. Verfahren.**

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 240.

<b>Geräte.</b>	$c_1$ -Stimmgabel ( $n = 256$ ). $d_1$ -Stimmgabel ( $n = 288$ ). Anschlaghammer. Mittönröhre (vgl. S. 221). Kautschukschlauch von 1,50 m Länge. Großer Glastrichter, der Hals zu einem Schlauch- ansatz ausgebildet. Thermometer.	Lot. Meterstab. Bunsengestell mit Ring und Klemme. Porzellantopf zum Ein- füllen des Wassers. Großes Gefäß zum Unter- setzen. Papier oder Gummiringe.
----------------	---	---

**Anleitung.** a) Klemme die Glasröhre in lotrechter Stellung so fest, daß das weite offene Ende nach oben gekehrt ist (Fig. 156). Setze den Trichter in den Ring des Gestells, verbinde durch einen Kautschukschlauch seinen Hals mit dem untern Ende der Glasröhre und gieße Wasser in den Trichter, bis der Spiegel  $\sim 25$  cm unter dem obern Ende der großen Röhre liegt. Stelle ein großes Gefäß unter, das bei einem Mißgeschick das austretende Wasser auffängt.

b) Miß die Warmheit der Luft in der Röhre.

c) Schlage die Stimmgabel an und halte sie so über das offene Ende der Röhre, daß die Schwingungen in der Richtung der Röhrenachse stattfinden. Wie wirkt die Luftbewegung, die durch die Stimmgabel erregt wird, auf die Luftsäule ein, die an dem einen Ende durch den Wasserspiegel geschlossen ist?

d) Halte die schwingende Stimmgabel dicht über das Rohrende und senke allmählich den Trichter. Ändert sich die Schallstärke mit der Länge der Luftsäule? Bezeichne mit einem Stück nassen Papier oder mit einem Kautschukring die Stellung des Wasserspiegels, wo die Tonstärke am größten ist. Nimm bei der Einstellung die Gabel von Zeit zu Zeit weg, um den Unterschied der Tonstärke sicherer beurteilen zu können. Miß die Länge ( $l_1$  cm) der Luftsäule.

e) Suche und bezeichne auf gleiche Weise eine tiefere zweite Stellung des Wasserspiegels, wo die Tonstärke am größten ist, und miß die Länge ( $l_2$  cm) der Luftsäule.

f) Entferne die Marken, laß das Wasser in der mittönenenden

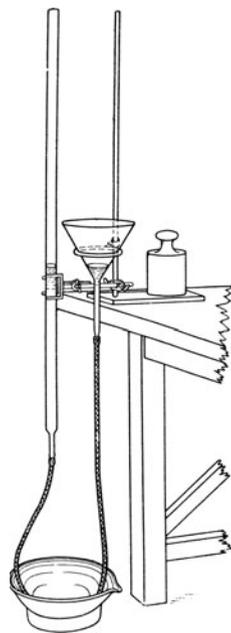


Fig. 156.

Röhre steigen und bestimme nochmals die Längen der Luftsäulen, bei denen die Tonstärke am größten ist.

g) Miß nochmals die Warmheit der Luft in der Röhre.

h) Schreibe die Ergebnisse der Messungen in folgender Weise auf:

$c_1$ -Stimmgabel Nr. . . . Schwingungszahl  $n = \dots$  Mittlöröhre Nr. . . .  
 Warmheit der Luft in der Röhre = . . . Mittlere Warmheit . . . Schallgeschwindigkeit bei dieser Warmheit  $v = \dots$  [cm/sek].

$l_1$ cm	$l_2$ cm
Mittel	. . . . .

Halbe Wellenlänge des Tons in der Luft  $\frac{1}{2}\lambda = l_2 - l_1 = \dots$  [cm].  
 Wellenlänge des Tons in der Luft  $\lambda = \dots$  [cm].

i) Die Länge ( $l_1$  cm) der kurzen Luftsäule (vermehrt um  $\frac{3}{10}$  des innern Rohrdurchmessers) ist ein Viertel der Wellenlänge des Tons in der Luft. Der Abstand ( $l_2 - l_1$ ) der beiden Wasserspiegel ist gleich der halben Wellenlänge.

k) Berechne aus dem Längenunterschiede der beiden Luftsäulen die Wellenlänge ( $\lambda$  cm) des Tons in der Luft.

l) Bringe an der Länge der kurzen Luftsäule die Verbesserung wegen der Störungen am offenen Ende an und berechne auch daraus die Wellenlänge.

m) Berechne aus der Wellenlänge ( $\lambda$  cm) des Tons und der Schwingungszahl  $n$  der Stimmgabel die Schallgeschwindigkeit ( $v$  cm/sek) in der Luft.

n) Ist  $t^\circ$  C die Luftwärme, so ist die Schallgeschwindigkeit

$$v = 33100 \sqrt{1 + 0,004 t} \text{ [cm/sek].}$$

Berechne mit dieser Formel die Schallgeschwindigkeit und vergleiche das Ergebnis mit dem Werte, der bei (m) erhalten wurde.

o) Wische die Stimmgabel sorgfältig ganz trocken. Gieße das Wasser aus der Röhre und lege diese sicher auf das Ablaufbrett.

## 2. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** HALL, *Descr. List 66 Nr. 48, 91 Nr. 94 u. 95.*

<b>Geräte.</b> KUNDTsche Röhre nebst Zubehör (vgl. S. 224). $c_1$ -Stimmgabel ( $n = 256$ ). $d_1$ -Stimmgabel ( $n = 288$ ).	Anschlaghammer. Meterstab. Talkum.
---	--

**Anleitung.** p) Schiebe die mit Talkum eingeriebene Korkscheibe  $A$  (Fig. 157) mit ihrem langen Stiel so weit in die Röhre hinein, daß sie  $\sim 25$  cm vom Ende  $B$  entfernt ist.

q) Verfahre wie bei (b).

r) Schläge die Stimmgabel an und halte sie so vor die Öffnung *B*, daß die Schwingungen in der Richtung der Röhrenachse stattfinden. Entferne die Korkscheibe allmählich von der Stimmgabel und beobachte die Änderung der Tonstärke. Suche die Stellung der Scheibe,

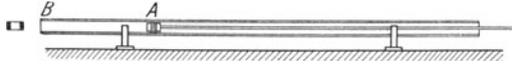


Fig. 157.

wo der Ton am lautesten ist. Miß die Entfernung ( $l_1$  cm) der Scheibenfläche von dem Ende *B* der Röhre.

s) Ziehe die Scheibe weiter zurück, suche eine zweite Stellung der Scheibe, wo der Ton der Stimmgabel am meisten verstärkt wird, und miß die Entfernung ( $l_2$  cm) der Scheibenfläche von *B*.

t) Drücke die Scheibe wieder weiter in die Röhre hinein und bestimme nochmals die Längen der Luftsäulen, bei denen die Tonstärke am größten ist.

u) Verfahre wie bei (g) bis (n).

**Bemerkungen.** Die mittönende Röhre (beim ersten Verfahren) hat die lichte Weite 2,8 cm und die Länge 120 cm. Das eine Ende ist zu einem Schlauchansatz umgestaltet, dessen Länge nicht mitgerechnet ist. Man ermahne die Schüler mit Nachdruck, daß sie sorgfältig vermeiden, die Stimmgabeln naß zu machen. Das zweite Verfahren ist zwar bequemer, liefert aber weniger gute Ergebnisse. Man lasse einen Teil der Schüler mit  $c_1$ -Gabeln und den andern Teil mit  $d_1$ -Gabeln den Versuch ausführen. Verschließe während des Nichtgebrauchs die Röhrenenden mit Wappfropfen.

**7. Aufgabe.** *Vergleiche die Geschwindigkeiten des Schalls in der Luft und im Messing miteinander.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	KUNDTsche Röhre.	Gepulvertes Geigenharz.
	Messingstab.	Maßstab.
	Rohrstock.	Schublehre.
	2 Holzböcke.	Thermometer.
	Zwinge mit Feilkloben	Wage.
	Kork oder Bärlappsamen.	Gewichtsatz.
	Rauhes Sandpapier.	Watte.
	Bunsenbrenner.	Bindfaden.
	Gasschlauch.	Talkum.
	Wollener Lappen.	

**Anleitung.** a) Zieh mehrmals durch die Glasröhre einen Bausch trockener Watte, der in der Mitte eines langen Bindfaden befestigt worden ist. Bewege die Röhre drehend über einer kleinen Bunsenflamme hin und her und trockne sie so sorgfältig unter gelindem Erwärmen. Reibe auf rauhem Sandpapier einen trocknen Kork und stelle so Korkstaub her. Setze in das eine Ende der Röhre einen Kork ein, neige sie unter einem Winkel von  $\sim 60^\circ$  und schütte mit einer Messerklinge oder einer Papierrinne ganz wenig

trocknen Korkstaub oder Bärllappsamen an einer Seite der Röhre hinunter. Die besten Ergebnisse erhält man, wenn der Korkstaub in einem dünnen zusammenhängenden Streifen das ganze Rohr entlang liegt.

b) Lege die Röhre behutsam, ohne den Staubstreifen zu zerstören, in zwei V-förmig ausgeschnittene Holzböcke *A* und *B* (Fig. 158). Schraube die Zwinde des Feilklobens *C* am Tischrande fest. Lege den Maßstab mit der geteilten Kante so an die Backen des Klobens, daß die Mitten beider zusammenfallen. Klemme den Messingstab so mit den Backen fest, daß seine Mitte genau zwischen deren Mitten liegt. Richte die Glasröhre so aus, daß das Ende des Messingstabes, das die

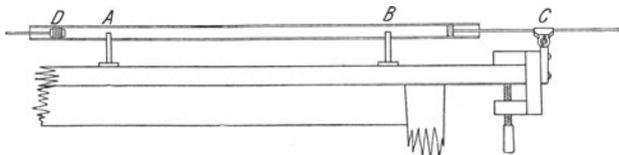


Fig. 158.

mit Talkum eingeriebene Korkscheibe trägt, etwas hineinragt und die Achsen von Röhre und Stab in derselben Geraden liegen. Drehe die Röhre in ihren Lagern behutsam so weit, daß der Korkstaub eben noch nicht beginnt, aus dem ursprünglichen schmalen Streifen herauszugleiten.

c) Reibe mit einem wollenen Lappen (oder einem Leder), der mit gepulvertem Geigenharz eingerieben ist, den Messingstab und setze ihn so in Längsschwingungen. Beginne mit dem Reiben in der Mitte des Stabes und zieh den Lappen ohne allzustarken Druck langsam und stetig vollständig vom Stab ab. Verschiebe die Scheibe *D* ein wenig, jedesmal um 2 bis 3 mm, bis die Stellung gefunden ist, wo der Staub am heftigsten aufwirbelt und sich in regelmäßigen Abständen in Rippen anordnet. Gelingt es nicht, diese Kundtschen Staubgebilde zu erhalten, so ist die Röhre feucht oder zuviel Korkstaub darin. Man muß also die Röhre nochmals trocknen oder weniger Korkstaub nehmen.

d) Bei den Bäuchen der sich bildenden stehenden Luftwellen ordnet sich der Staub in Querrippen an. Warum wird der Korkstaub nur bei bestimmten Stellungen der Endscheibe *D* in Bewegung gesetzt? Liegt bei der Korkscheibe an dem Ende des Messingstabes ein Knoten oder ein Bauch der schwingenden Luftsäule? Ist diese Korkscheibe ein Knoten oder ein Bauch des schwingenden Messingstabes? Liegt bei der Scheibe *D* ein Knoten oder ein Bauch der schwingenden Luftsäule? Der Abstand ( $l_k$  cm) zweier benachbarter Knoten ist gleich der halben Länge der Luftwellen.

e) Miß den Abstand der beiden äußersten Knoten und teile ihn durch die Anzahl der dazwischen liegenden Bäuche. Man erhält so den Abstand zweier benachbarter Knoten.

f) Lege den Maßstab längs der Röhre und bestimme die Lage  $k$ ,

für  $2n$  aufeinanderfolgende Knoten. Berechne die Abstände  $k_{n+1} - k_1$ ,  $k_{n+2} - k_2$ , . . .  $k_{2n} - k_n$  von je  $n$  Knoten, bilde das Mittel und teile dies durch  $n$ , um die halbe Wellenlänge der schwingenden Luftsäule zu erhalten.

g) Die Länge  $l_m$  des schwingenden Messingstabes ist die halbe Länge seiner Welle.

h) Miß die Warmheit in der KUNDTschen Röhre.

i) Ändere die Stellung der Endscheibe und wiederhole die Messung dreimal.

k) Bezeichnen  $\lambda_l$  die Wellenlänge in der Luft,  $\lambda_m$  die Wellenlänge im Messing und  $n$  die Schwingungszahl des Tons von Stab und Luftsäule, so ist die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft  $v_l = n\lambda_l$  und die Geschwindigkeit des Schalls im Messing  $v_m = n\lambda_m$ , mithin  $v_m/v_l = \lambda_m/\lambda_l$ . Nun ist

$$v_l = 33100 \sqrt{1 + 0,004 t} \text{ [cm/sek]},$$

also

$$v_m = 33100 \sqrt{1 + 0,004 t} \cdot \frac{\lambda_m}{\lambda_l} \left[ \frac{\text{cm}}{\text{sek}} \right].$$

Berechne mit dieser Formel die Schallgeschwindigkeit im Messing.

l) Bezeichnet  $\rho$  gr/cm<sup>3</sup> die Dichte und [E] das in absoluten Einheiten gemessene Federmaß des Messings, so ist nach NEWTON

$$v_m = \sqrt{\frac{[E]}{\rho}} \left[ \frac{\text{cm}}{\text{sek}} \right],$$

also

$$[E] = v_m^2 \rho \text{ [CGS]}.$$

Bestimme den Raum, die Masse und die Dichte des Messingstabes und berechne mit dieser Formel das Federmaß des Messings.

m) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Länge des Stabes  $l_m = \dots$  [cm]. Durchmesser des Stabes  $d_m = \dots$  [cm].  
Raum des Stabes  $V = \dots$  [cm<sup>3</sup>]. Masse des Stabes  $m = \dots$  [gr]. Dichte des Messings  $\rho = m/V = \dots$  [gr/cm<sup>3</sup>]. Wellenlänge im Messing  $\lambda_m = 2l_m = \dots$  [cm]. Warmheit  $t = \dots$  °C. Geschwindigkeit des Schalls in der Luft  $v_l = \dots$  [cm/sek].

$k_v$	$k_{n+v}$	$k_{n+v} - k_n$
	Mittel	. . . . .

$$\lambda_l = \dots \text{ [cm]}.$$

$$v_m/v_l = \lambda_m/\lambda_l = \dots$$

$$v_m = \dots \text{ [cm/sek]}.$$

$$[E] = v_m^2 \rho = \dots \text{ [CGS]}.$$

**n)** Reinige die KUNDTsche Röhre und verschließe ihre Enden mit Wattedropfen.

**Bemerkungen.** Die Glasröhre hat 120 cm Länge und 2,8 cm lichte Weite. Der Messingstab ist 0,6 cm dick, 60 cm lang und am einen Ende mit einer leichten Korkscheibe versehen. Der Rohrstock ist 0,5 cm dick und 120 cm lang und trägt am einen Ende einen Korkkolben mit Baumwollendichtung. Die KUNDTsche Röhre wird auf zwei Holzbocke (5,3 cm  $\times$  4 cm  $\times$  1 cm) mit V förmigem und 2,3 cm tiefem Ausschnitt gelagert, die auf Grundbrettern (8 cm  $\times$  4 cm  $\times$  1 cm) sitzen. Der Messingstab wird zwischen die Backen eines Feilklobens geklemmt, der an eine Holzwinde geschraubt ist.

---

## Siebenter Teil.

### Wärme.

#### I. Ausbreitung der Wärme.

##### 1. Aufgabe. *Wie wird ein Körper warm?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WORTHINGTON 157 Nr. 1—5.

<b>Geräte.</b>	Streichhölzer.	Eisendraht von 0,8 mm
	Kupferdraht von 1,6 mm	Durchmesser.
	Durchmesser.	Beißzange.
	Kupferdraht von 0,8 mm	Bunsenbrenner.
	Durchmesser.	Gasschlauch.
		Maßstab.

**Anleitung.** a) Schneide von dem Kupferdraht, der 1,6 mm stark ist, ein Stück ab, das so lang wie das Streichholz ist. Entzünde das Streichholz und stecke damit das Gas an. Halte das brennende Streichholz so lange wie möglich in der Hand. Halte das eine Ende des Kupferdrahts in die Flamme. *Wärmezufuhr durch Leitung.* Leitet das Streichholz oder das gleich große Stück Kupferdraht die Wärme besser?

b) Schneide von dem Kupferdraht, dessen Durchmesser 1,6 mm ist, ein  $\sim 20$  cm langes Stück ab. Erhitze das eine Ende in der Flamme, doch nicht so stark, daß es schmilzt, und fahre langsam mit einem Finger auf dem Draht, so weit es geht, nach der Flamme zu. Ändert sich die Warmheit (Temperatur) längs dem Draht? Ändert sich die Warmheit derselben Drahtstelle mit der Zeit? *Bleibender (stationärer) Zustand.* Warum ändert sich die Warmheit nicht? Gibt die Drahtstelle Wärme ab? *Leitung. Strahlung. Wärmeabgabe durch Mitteilung an die kältere Luft.*

c) Erhitze das eine Ende des 20 cm langen Kupferdrahts wiederum in der Flamme, doch nicht so stark, daß es schmilzt. Nimm das Drahtende aus der Flamme, halte die Handfläche darunter und schließe die Hand. *Wärmeabgabe durch Strahlung.*

d) Halte die Handfläche über den Draht und schließe die Hand. Ist die Wärmeempfindung jetzt stärker? Zu der ausgestrahlten

Wärme tritt die Wärme der aufsteigenden Luft hinzu, die sich am Draht erhitzt hat. *Mitführung der Wärme.*

e) Fasse die Ergebnisse der Versuche (b) bis (d) zusammen. Gibt jeder Teil des Drahts Wärme ab? Bleibt an jeder Stelle seine Warmheit unverändert? Woher empfängt fortwährend jede Stelle Wärme?

f) Schneide von dem Kupferdraht, dessen Durchmesser 0,8 mm ist, und von dem 0,8 mm starken Eisendraht je ein Stück von 15 cm Länge ab. Fasse mit je einer Hand das eine Ende eines Drahts und halte die andern Enden zusammen in die Flamme. Welcher Draht wird schneller warm? Bei welchem Draht sind, nachdem der bleibende Zustand eingetreten ist, die entsprechenden Teile wärmer?

g) Je heißer ein Drahtstück und je größer seine erhitzte Oberfläche ist, desto schneller kühlt es sich ab, wie wir später sehen werden. Also gibt nach (f) beim bleibenden Zustande das Kupfer mehr Wärme ab als das Eisen. Trotzdem wird das in der Hand gehaltene Ende des Kupfers wärmer als das des Eisens. Leitet also das Kupfer oder das Eisen die Wärme besser?

**Bemerkungen.** Man halte darauf, daß die Schüler nur den Teil der Flamme benutzen, wo der Kupferdraht nicht schmilzt, also diesen nicht in die Spitze des blauen Kegels halten. Der Schluß, daß Kupfer der bessere Leiter sei, weil er sich schneller erwärmt, ist nicht zwingend, da das Kupfer eine geringere spezifische Wärme als Eisen hat. Nur die Vergleichung bleibender Zustände liefert ein zulässiges Urteil.

Das Wort Warmheit rührt von HELMHOLTZ her, *Vorlesungen über Theorie der Wärme 1.*

**2. Aufgabe.** *Hängt die Geschwindigkeit des Erkaltens von dem Warmheitsüberschuß des Körpers über seine Umgebung ab?*

(2 Schüler, 1 $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Literatur.** WORTHINGTON 164 Nr. 13.

<b>Geräte.</b> Holzplatte (vgl. S. 228). Kork. Korkbohrer. Rundfeile. Thermometer. Weißblechbecher von 7,5 cm innerm Durchmesser und 10 cm Höhe.	Schrot. Pipette. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Batterieglas oder Becherglas von 12 cm lichter Weite und 16 cm Höhe. Millimeterpapier.
---	--

**Anleitung.** a) Setze mit einem durchbohrten Kork das Thermometer in den Holzdeckel ein (Fig. 159). Ist die Durchbohrung zu eng, so erweitere sie mit der Rundfeile; ist sie zu weit, so streife über die Thermometerröhre einen Kautschukring (kurzes Schlauchstück). Zieh das Thermometer wieder aus dem Kork heraus. Fülle das große Glas mit Wasser von Zimmerwärme und setze das Blechgefäß hinein. Beschwere den Becher so mit Schrot, daß er das Holzbrett nicht empodrückt, und verhindere durch Korkstücke,

daß er an der Wand des Glases anliegt. Der Wasserspiegel im Glas soll  $\sim 2$  cm unterhalb des Randes liegen.

b) Rühre  $\sim 3$  Minuten lang das Wasser sorgfältig um und lies dann seine Warmheit  $t'^0$  ab. Trockne das Thermometer tüchtig ab.

c) Bewege das Thermometer in der heißen Luft über einer Bunsenflamme behutsam auf und ab und erwärme es so auf  $60$  bis  $80^0\text{C}$ . Stecke sofort das Thermometer so weit durch den Kork, daß die Kugel in der Mitte des Bechers steht.

d) Sieh auf die Uhr und zähle  $5$  Sekunden vor jeder vollen und jeder halben Minute laut  $5, 4, 3, 2, 1, 0$ . Der Mitarbeiter liest auf den Ruf „Null“ das Thermometer sorgfältig ab und schätzt dabei die Zehntel-Grade.

e) Miß so in Zwischenzeiten von einer halben Minute die Warmheiten  $t_v^0\text{C}$  des Thermometers bis zu einer Wärmestufe, die  $6$  bis  $8^0$  über der des Wassers liegt.

f) Bestimme wie bei (b) nochmals die Warmheit  $t_0''^0$  des Wassers und berechne dann die mittlere Wärmestufe  $t_0^0\text{C}$  des Wassers während des Versuchs.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Thermometer Nr. . . .

Wärmestufe des Wassers bei Beginn  $t_0' = \dots^0\text{C}$ , am Ende  $t_0'' = \dots^0\text{C}$ .

Mittlere Wärmestufe des Wassers  $t_0 = \dots^0\text{C}$ .

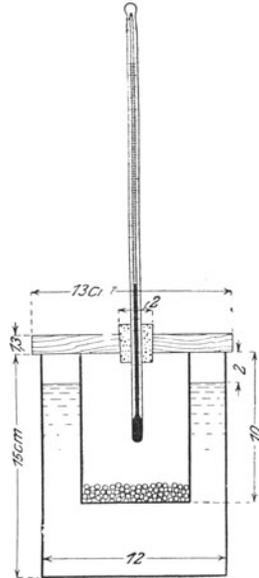


Fig. 159.

Zeit der Able- sung $\tau$ min	Ab- gelesene Wärme- stufe $t_v^0\text{C}$	Warm- heits- überschuß $\vartheta_v =$ $t_v - t_0$	Mittlerer Überschuß $\Theta = \frac{1}{2} (\vartheta_v +$ $\vartheta_v + 1)$	Warm- heits- abnahme in $\frac{1}{2}$ Min. $u = t_v -$ $t_v + 1$	Erkaltungs- geschwindig- keit in der Sekunde $v = u/30$	Verhältnis der Erkaltungs- geschwindig- keit zum Warmheits- überschuß $\mu = v/\Theta$

h) Berechne den Unterschied  $\vartheta_v$  der Wärmestufe  $t_v$  des Thermometers und der Wärmestufe  $t_0$  des Wassers an dem Anfang und dem Ende jeder halben Minute (*Warmheitsüberschuß*) und den mittlern Warmheitsüberschuß  $\Theta$  während dieser Zeit. Berechne ferner die Anzahl Grade ( $u$ ), um die das Thermometer in einer halben Minute fällt, und die Warmheitsabnahme ( $v$ ) in einer Sekunde (*Erkaltungsgeschwindigkeit*). Bilde das Verhältnis  $\mu$  der Erkaltungsgeschwindigkeit zum Warmheitsüberschuß.

i) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, nimm dabei einmal die Zeit  $\tau$  als Abszisse und die Thermometertemperatur  $t$ , als Ordinate und das andere Mal den mittlern Warmheitsüberschuß  $\Theta$  als Abszisse und die Erkaltungsgeschwindigkeit  $v$  als Ordinate.

k) Hat das Verhältnis  $\mu$  einen gleichbleibenden Wert? Ändern sich  $v$  und  $\Theta$  gleich schnell? Nach NEWTON ändern sich die Erkaltungsgeschwindigkeit eines Körpers und sein Warmheitsüberschuß über die Umgebung in dem gleichen Verhältnis. Für welche Warmheitsüberschüsse trifft das Gesetz angenähert zu?

**Bemerkungen.** Durch die Mitte der Holzplatte (13 cm  $\times$  13 cm  $\times$  1,3 cm) ist ein Loch von 2 cm Durchmesser gebohrt und darin ein durchbohrter Kork eingesetzt. Die untere Seite des Bretts ist mit Blattzinn beklebt.

Diese Aufgabe, die den Schülern nicht geringe Schwierigkeiten bietet, wird man erst nach der Behandlung der Aufgaben 6 bis 9 stellen.

Das Wasser muß vor der Übung bereits längere Zeit im Arbeitsraum gestanden haben. Man ermahne die Schüler, die Thermometer mit großer Vorsicht zu erwärmen. Bei sehr ungeschickten, unzuverlässigen oder krankhaft-bösartigen Schülern erwärme man selbst das Thermometer oder lasse das Erhitzen von einem gewissenhaften Schüler ausführen. Ich habe bis jetzt bei diesem Verfahren nur ein Thermometer eingebüßt, und zwar ohne Zweifel durch Böswilligkeit, ein ganz vereinzelt Vorkommnis; der Schüler, der wohl geistig nicht gesund war, mußte einige Zeit später wegen grober Verstöße gegen die Schulordnung die Anstalt verlassen.

**3. Aufgabe.** *Hängt der Wärmeverlust eines Körpers von der Größe seiner Außenfläche ab?*

(1 Schüler,  $\frac{1}{4}$  Stunde.)

**Literatur.** WORTHINGTON 168 Nr. 14.

<b>Geräte.</b> Prüfglas von 3 cm Durchmesser und 13 bis 15 cm Länge. Blattzinn.	Schere. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Maßstab.
--	---

**Anleitung.** a) Schneide zwei gleiche Stücke Blattzinn ( $\sim 10$  cm  $\times$  5 cm) aus, rolle den einen Streifen zu einer kleinen Kugel zusammen und wickle den andern über einem runden Bleistift lose zusammen.

b) Lege Kugel und Rolle in das Prüfglas und erwärme behutsam beide über einer Bunsenflamme, achte dabei sorgfältig darauf, daß das Blattzinn nicht schmilzt.

c) Schütte rasch den Inhalt des Glases auf den Tisch und berühre die Kugel und die Rolle mit dem Handrücken. Welcher Körper behält seine Wärme länger? Wer hat die größere Außenfläche?

**Bemerkungen.** Die Aufgaben 3 bis 5 kann man gleichzeitig nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

**4. Aufgabe.** *Hängt die Wärmeausstrahlung eines Körpers von der Beschaffenheit der Oberfläche ab?*

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Literatur.** WORTHINGTON 168 Nr. 15.

<b>Geräte.</b> 2 weithalsige Glasfläschchen (60 cm <sup>3</sup> ). Berußungslampe (vgl. S. 213). Blattzinn. Gummi arabicum. Heißes Wasser.	Trichter. Korke. Thermometer. Metallstab. Becherglas. Pipette. Schere.
--	--

**Anleitung.** a) Trockne, wenn nötig, die Fläschchen innen aus. Beruße das eine dick bis zum Hals und beklebe das andere bis zum Hals mit Blattzinn oder bronziere es.

b) Fülle beide Fläschchen bis zum Hals mit heißem Wasser, lies die Warmheit eines jeden ab und bestimme mit der Uhr die Zeit der Ablesung. Stelle die Fläschchen an einen Ort, wo kein Zug herrscht.

c) Miß nach  $\sim 20$  Minuten wiederum die Warmheit jedes Fläschchens.

d) Welches Fläschchen hat sich stärker abgekühlt?

**Bemerkungen.** Das Berußen und Bekleben oder Bronzieren muß in einer frühern Übung geschehen. Man hebt die Fläschchen auf und bessert nur jedesmal den Belag aus.

Viel Zeit wird bei allen Versuchen, wo man heißes Wasser gebraucht, gewonnen, wenn man dieses vorher bereitet. Man benutze dazu Teekessel und Gaskocher. Bequemer ist bei kleinem Bedarf ein FLETSCHER-Apparat; bei großem Bedarf aber verwende man Prof. JUNKERS „Heißquell“ oder dgl. LEHMANN-FRICK 1, 1, 137.

Vgl. Bemerkungen zu Aufgabe 3 S. 228.

**5. Aufgabe.** *Hängt die Fähigkeit eines Körpers, Wärmestrahlen zurückzuwerfen, von der Beschaffenheit seiner Oberfläche ab?*

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Literatur.** WORTHINGTON 169 Nr. 16.

<b>Geräte.</b> 2 gleiche Bechergläser. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Berußungslampe (vgl. S. 213).	Durchlohtes Holzbrettchen (vgl. S. 228). Thermometer. Blattzinn. Gummi arabicum. Schere.
---	--

**Anleitung.** a) Beruße die Innenseite des einen Becherglases dick und laß es vollständig erkalten. Das Abkühlen kann man beschleunigen, indem man über die Außenseite kaltes Wasser gießt.

b) Erwärme das Thermometer wie bei Aufg. 2(c) S. 227 sehr behutsam auf 80 bis 90°. Stecke das Thermometer durch den Kork im Brettchen, laß es im Becherglas erkalten und miß die

Zeit, in der es sich von  $\sim 70^\circ$  auf  $40^\circ$  abkühlt. Die mit Blattsinn beklebte Seite des Brettchens wird nach oben gekehrt.

c) Wiederhole den Versuch mit dem andern Becherglas, das innen mit Blattsinn beklebt oder bronziert ist, und kehre die überzogene Seite des Deckels nach unten.

d) In welchem Gefäß kühlt sich das Thermometer rascher ab? Welches Gefäß wirft mehr Wärmestrahlen zurück?

**Bemerkungen.** Man benutzt dasselbe Brettchen wie bei Aufgabe 2, die eine Seite bronziert man oder überzieht sie mit Blattsinn.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 3 und 4.

## II. Warmheit.

### 6. Aufgabe. Prüfe den Eispunkt des Thermometers.

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Großer Trichter. Reiner Schnee oder zer- kleinertes reines Eis. Stabthermometer. Bunsengestell mit Ring und Haken. Batterieglas.	Kurzer Kautschuk- schlauch. Quetschhahn. Sack aus Segeltuch. Holzhammer. Destilliertes Wasser. Garn. Spiegelstreifen.
----------------	--	--

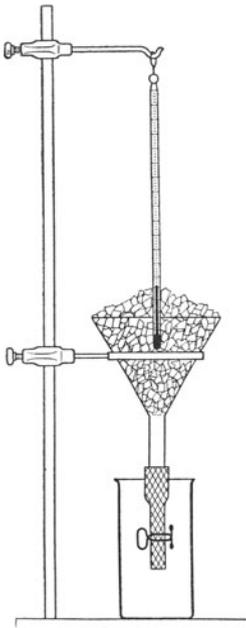


Fig. 160.

**Anleitung.** a) Schreibe die Nummer des Thermometers auf. Sieh nach, ob der Quecksilberfaden nicht zerrissen ist, und ob nicht ein Stück davon im obern Ende der Röhre sitzt. Ist das der Fall, so fasse das Thermometer, dessen Kugel nach unten gekehrt ist, in der Mitte und schwinde es mit dem nach unten ausgestreckten Arm rasch vor- und rückwärts, bis sich die Fadenstücke wieder vereinigt haben.

b) Befestige an dem Hals eines Trichters einen kurzen Kautschukschlauch und verschließe ihn mit einem Quetschhahn (Fig. 160).

c) Setze in den Ring des Gestells den Trichter und fülle ihn mit reinem Schnee oder mit zerkleinertem reinem Eis. Gieße so viel destilliertes Wasser über das Eis, daß die Zwischenräume ausgefüllt werden. Mache mit einem Bleistift ein Loch in die Mitte des Eises und stecke die Kugel des Thermometers so weit in diese Höhlung, daß der Nullpunkt mit den obersten Eisteilchen in gleicher Höhe liegt. Befestige das Thermometer in dieser

Stellung mit einem Faden, der an das obere Ende des Thermometers und an die Klemme oder den Haken des Gestells geknüpft wird. Laß das Thermometer in dem Eis stehen, bis sich seine Einstellung nicht mehr ändert, also mindestens 10 Minuten lang. Packe von Zeit zu Zeit das Eis gut um das Thermometer. Drehe das Thermometer so, daß man es gut ablesen kann, klopfe mit dem Bleistift schwach gegen die Thermometerröhre, lege an ihre Rückseite einen Streifen Spiegelglas, halte das Auge so, daß dessen Spiegelbild in der Höhe der Quecksilberkuppe liegt, lies nun deren Stellung sorgfältig ab und schätze dabei die Zehntelgrade. Beachte, ob die Quecksilberkuppe höher oder tiefer als der Nullpunkt steht. Die Wärmestufe Null entspricht dem Punkt, worauf sich die Quecksilbersäule einstellt.

**Bemerkungen.** Die Stabthermometer sind von  $-30^{\circ}$  bis  $+130^{\circ}$  in ganze Grade geteilt, 29,5 cm lang und 0,6 cm dick.

Das Eis muß man vor dem Zerkleinern tüchtig waschen. Kunsteis ist wegen des Salzgehalts bedenklich. Das gereinigte Eis legt man in einen Sack aus Segeltuch und zerschlägt es mit dem Holzhammer. Man kann das Eis auch mit dem Heftende einer Feile, mit einem Nagel oder mit einem spitzen Messer abspalten, mit einem Böttchermesser oder auf einem Reibeisen schaben.

Über die Bestimmung des Eis- und Siedepunkts eines Thermometers vgl. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 145 ff. und OSTWALD-LUTHER<sup>3</sup> 83 ff.

Ist das Batterieglass groß genug, so kann man den Ring entbehren und den Trichter auf das Glas setzen.

**7. Aufgabe.** *Wie wirkt zugefügtes Kochsalz auf den Gefrierpunkt des Wassers ein?*

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Thermometer. Enges Prüfglas. Schnee oder zerkleinertes Eis. Kochsalz.	Große Porzellanschale. Holzlöffel. Kunstkorkring. Bunsenbrenner. Gasschlauch.
----------------	--	---

**Anleitung.** a) Mische in einer großen Porzellanschale tüchtig Kochsalz mit  $\sim 4$  Teilen zerkleinertem Eis oder besser Schnee. Stecke die Thermometerkugel in das Gemisch und lies die tiefste erreichte Wärmestufe ab.

b) Gieß in ein enges Prüfglas etwas Wasser, tauche es in die Kältemischung und bewege es andauernd  $\sim 3$  cm weit auf und ab. Schiebe das Thermometer ins Wasser, beobachte das allmähliche Fallen des Quecksilbers, lies, sobald sich etwas Eis gebildet hat, die Warmheit ab und nimm das Thermometer heraus.

c) Schmelze das Eis im Prüfglas, füge 3 bis 4 Fingerspitzen Kochsalz zum Wasser und setze das Glas wieder in die Kältemischung. Miß die Warmheit, bei der sich jetzt Eis bildet.

**d)** Wiederhole den Versuch mehrmals und vergrößere dabei nach und nach die Menge des hinzugefügten Kochsalzes.

**Bemerkung.** Mit der Kältemischung in der großen Porzellanschale können je vier Schüler arbeiten.

**8. Aufgabe.** *Prüfe den Siedepunkt des Thermometers.*  
(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Kochflasche mit langem Hals oder Siedekolben nach MARTIUS (500 cm <sup>3</sup> ).	Barometer.
	Kork.	Heißes Wasser.
	Korkbohrer.	Bunsenbrenner.
	Rundfeile.	Gasschlauch.
	Glasrohr von 8 mm Durchmesser.	Drahtnetz mit Asbesteinlage.
	Dreikantfeile.	Dreifuß.
	Schnittbrenner.	Spiegelstreifen.
		Kochsalz.
		Becherglas.

**Anleitung.** **a)** Verschließe die Flasche mit einem doppelt durchbohrten Stopfen und führe durch die eine Öffnung eine knieförmig gebogene Glasröhre und durch die andere Öffnung das Thermometer.

Ist das Loch in dem Stopfen zu weit, so streife man über die Thermometerröhre einen schmalen Ring aus Kautschuk (kurzes Schlauchstück) oder einen Kork. Passe die Stellung des Thermometers so ab, daß die Kugel  $\sim 4$  cm über dem Wasserspiegel und, wenn es geht, der Teilstrich 100 nur  $\sim 2$  bis 3 mm aus dem Stopfen herausragt. Stelle den Kolben auf das Drahtnetz, das auf dem Dreifuß liegt (Fig. 161).

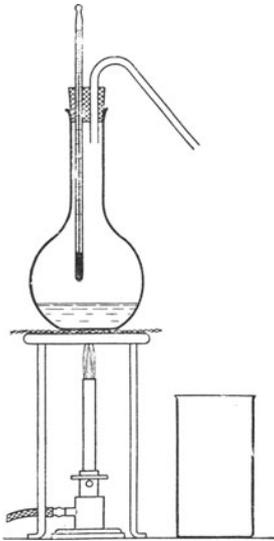


Fig. 161.

**b)** Fülle in den Kolben etwas heißes Wasser, setze den Stopfen auf, drehe das Thermometer so, daß man es bequem ablesen kann, und gib dem Abdampfrohr eine solche Richtung, daß der Dampf keinen Mitschüler belästigen oder verletzen kann.

**c)** Erhitze das Wasser bis zum Sieden, beobachte dabei sorgfältig alle Vorgänge im Wasser und an der Flasche und auch das Thermometer. Setze ein Becherglas unter das Ende des Abdampfrohrs, um das Wasser aufzufangen, das sich darin verdichtet. Drehe, sobald das Sieden eingetreten ist, die Flamme etwas kleiner.

**d)** Lies, nachdem das Wasser 10 bis 15 Minuten gesotten hat, wie in Aufgabe 6 (c) den Stand  $t'$  der Quecksilberkuppe im Thermometer und dann den Barometerstand ab.

e) Berechne aus dem reduzierten Barometerstand  $b$  mm den Siedepunkt  $t^{\circ}\text{C}$  nach der Formel

$$t = 100 + 0,0375 (b - 760)$$

und den Siedepunktfehler des Thermometers  $\Delta = t' - t$ .

f) Zieh das Thermometer so hoch empor, daß nur noch die Kugel in den Wasserdampf hineinragt. Laß die Thermometerröhre in dieser Stellung erkalten und prüfe, ob dies auf den Stand des Quecksilbers einen Einfluß hat. Warum darf also der Quecksilberfaden so wenig wie möglich aus dem Wasserdampf herausragen?

g) Schiebe nun vorsichtig die Thermometerkugel in das siedende Wasser und lies nach  $\sim 10$  Minuten den höchsten Stand des Thermometers ab. Steht jetzt die Quecksilberkuppe höher als bei Versuch (d)?

h) Hat das Wasser jetzt noch dasselbe Aussehen wie vor dem Sieden? Woher rührt die Trübung? Wie ist wohl die Erhöhung des Siedepunkts zu erklären?

i) Füge zum Wasser  $\sim 10$  gr Kochsalz hinzu und bring es wieder zum Sieden. Schiebe die Thermometerkugel in die Flüssigkeit und lies den Stand des Thermometers ab. Nimm das Thermometer heraus und wische die Kugel ab. Setze es wieder so in die Flasche ein, daß die Kugel nur im Dampf steht, und lies den Stand des Thermometers ab. Wie wirkt der Zusatz von Kochsalz auf den Siedepunkt des Wassers und auf die Warmheit des Dampfs ein? Darf man also bei der Bestimmung des Siedepunkts die Thermometerkugel ins Wasser tauchen?

**Bemerkungen.** Über besondere Siedegefäße für die Bestimmung des Siedepunkts vgl. CREW-TATNALL 112 Nr. 50. GILLEY, 191 Nr. 25. HALL, *Descript. List* 54 Nr. 39 u. 88 Nr. 80. SCHUSTER-LEES, *Intermed. Course* 79 Nr. 15. WATSON, *Elem. Pract. Phys.* 151 Nr. 122. Über die Bereitstellung von heißem Wasser vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 4 S. 229.

### 9. Aufgabe. Einige Übungen im Ablesen des Thermometers.

(2 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Literatur.** WORTHINGTON 161 Nr. 10—12.

<b>Geräte.</b>	Heißes Wasser. 2 Bechergläser (600 cm <sup>3</sup> ). Thermometer.	Großer Kork. Glasstab.
----------------	--	---------------------------

**Anleitung.** a) Fülle das Becherglas zur Hälfte mit kaltem Wasser, laß ein Blatt Papier oder einen Kork darauf schwimmen und gieße dann recht behutsam an einem Glasstab entlang, der den Kork lose berührt, heißes Wasser darauf.

b) Tauche das Thermometer, ohne die Flüssigkeit stark zu bewegen, so tief wie möglich ein und lies die Gradzahl ab.

c) Tauche nur die Kugel in die obere Schicht und lies deren Wärmegrad ab.

d) Rühre das Wasser tüchtig um und lies wiederum das Thermometer ab.

e) Weshalb rührt man bei Wärmeversuchen die Flüssigkeiten tüchtig um? Nenne die Nachteile.

f) Stelle Wasser von 20° bis höchstens 60° C her und laß durch Eintauchen der Hand einen Mitschüler die Warmheit nach dem Gefühl abschätzen.

g) Reinige das Thermometer gut und halte es 10 Minuten in den geschlossenen Mund und laß dann die Warmheit ablesen.

**Bemerkungen.** Der Hauptzweck dieser lehrreichen und unterhalten- den Übungen ist, den Schüler an ein sicheres und rasches Ablesen des Thermometers zu gewöhnen. Über das Aufeinander-schichten von Flüssig- keiten vgl. HAHN, *Freihandversuche* 2, 107ff. Über die Bereitstellung von heißem Wasser vgl. Bemerkungen zu Aufg. 4 S. 229.

### III. Ausdehnung der Körper.

**10. Aufgabe.** *Wie ändert sich der Raum einer gegebenen Flüssig- keitsmasse mit ihrer Warmheit? Wie groß ist das Ausdehnungsmaß des Glycerins?*

(1 Schüler, 2 Stunden.)

<b>Geräte.</b>	Wage. Gewichtsatz. Dichtefläschchen (50 cm <sup>3</sup> ). 2 Bechergläser (600 cm <sup>3</sup> ). Thermometer. Glycerin (oder Terpentinöl). Pinsel oder reiner Eisen- draht. Quecksilber. Quecksilberbrett (vgl. S. 176). Großer eiserner Dreifuß.	Kleiner Dreifuß aus Glas oder Eisendraht oder eine Brücke aus Eisendrahtgaze. Kristallisations- oder Ab- dampfschale. Fließpapier. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Drahtnetz mit Asbestein- lage. Wasser von Zimmer- wärme.
----------------	---	--

**Anleitung.** a) Spüle das Dichtefläschchen der Reihe nach mit Ammoniak, verdünnter Schwefelsäure, Wasser, Alkohol und Äther aus, wische die Außenseite ab und trockne es durch einen hindurch- gesaugten Luftstrom.

b) Bedecke beide Wagschalen mit Fließpapier, setze auf die linke Schale das Dichtefläschchen und gleiche es sorgfältig ab. Fasse bei allen Versuchen das Fläschchen so wenig wie möglich und dann nur am Hals an.

c) Fülle das Dichtefläschchen mit reinem trockenem Quecksilber und entferne alle Luftblasen durch Schütteln oder mit einem reinen trocknen Pinsel oder einem reinen Eisendraht. Setze den Stopfen nicht auf.

d) Lege auf den großen eisernen Dreifuß das Drahtnetz mit Asbesteinlage und stelle das Becherglas darauf. Setze in das Glas einen kleinen Dreifuß aus Glas oder Eisendraht oder eine kleine

Brücke aus Eisendrahtgaze, darauf eine kleine Kristallisations- oder Abdampfschale und da hinein das gefüllte Dichtefläschchen (Fig. 162). Fülle das Becherglas bis zum Hals des Dichtefläschchens mit Wasser von Zimmerwärme. Setze den Stopfen auf das Dichtefläschchen und entferne durch Austupfen mit einem Stück Fließpapier das Quecksilber, das über der Marke steht. Rühre mit dem Thermometer das Wasser um und lies nach  $\sim 5$  Minuten die Warmheit  $t_1^\circ \text{C}$  sorgfältig ab.

e) Nimm das Dichtefläschchen aus dem Bade, wische die Außenseite tüchtig ab und bestimme mit der Wage die Masse  $m_1$  gr des Quecksilbers.

f) Setze das Dichtefläschchen wieder auf die Schale und das Thermometer in das Becherglas und erhitze das Wasser bis zum Sieden. Dehnen sich das Quecksilber und das Glas aus? Welches dehnt sich stärker aus? Findet das Quecksilber noch hinreichenden Raum im Fläschchen? Wo bleibt das überschüssige Quecksilber? Laß das Wasser  $\sim 10$  Minuten lang sieden und lies dann die Warmheit  $t_2^\circ \text{C}$  sorgfältig ab. Bringe das Quecksilber durch Austupfen mit Fließpapier wieder bis zur Marke.

g) Drehe den Gashahn zu, laß das Wasser sich erst etwas abkühlen, nimm das Dichtefläschchen heraus, laß es weiter erkalten und bestimme mit der Wage die Masse ( $m_2$  gr) des Quecksilbers. Welche Quecksilbermasse ist infolge des Erwärmens aus dem Fläschchen ausgeflossen? ( $m_1 - m_2$ ) gr.

h) Wir wollen die Anzahl Kubikzentimeter, die von einem Gramm eines Stoffs ausgefüllt werden, d. h. den umgekehrten Wert der Dichte eines Stoffs, seine *Dünne* (*Dünnheit*, *Räumlichkeit*, *spezifischen Raum*) nennen und mit  $v$  bezeichnen. Bedeuten  $m_1, m_2$  gr die Massen,  $\rho_1, \rho_2$  die Dichten,  $V_1, V_2$  die Räume und  $v_1, v_2$  die Dünnen des Quecksilbers bei den Wärmestufen  $t_1^\circ$  und  $t_2^\circ$ , so ist  $m_1 = \rho_1 V_1 = V_1/v_1$ ,  $m_2 = \rho_2 V_2 = V_2/v_2$  und mithin

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{V_2}{V_1}.$$

Bezeichnet  $3\beta$  das Raumausdehnungsmaß des Glases, aus dem das Dichtefläschchen hergestellt ist, und  $V_0$  den Raum des Fläschchens bei  $0^\circ \text{C}$ , so bestehen die beiden Gleichungen

$$V_1 = V_0(1 + 3\beta t_1) \quad \text{und} \quad V_2 = V_0(1 + 3\beta t_2).$$

Da  $\beta$  sehr klein ist, ergibt sich daraus

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1 + 3\beta t_2}{1 + 3\beta t_1} = 1 + 3\beta(t_2 - t_1),$$

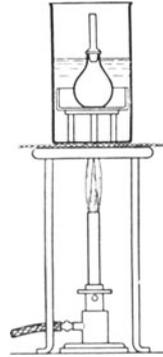


Fig. 162.

also

$$\frac{m_2}{m_1} = [1 + 3\beta(t_2 - t_1)] \frac{v_1}{v_2}$$

und

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{m_1}{m_2} + 3\beta(t_2 - t_1) \frac{m_1}{m_2}.$$

Das Ausdehnungsmaß  $\alpha$  des Quecksilbers ist die Raumzunahme eines Kubikzentimeters Quecksilber bei der Wärmeerhöhung  $1^\circ\text{C}$  und mithin

$$\alpha = \frac{v_2 - v_1}{v_1(t_2 - t_1)}$$

oder

$$\frac{v_2}{v_1} - 1 = \alpha(t_2 - t_1).$$

Setzt man für  $v_2/v_1$  den soeben berechneten Wert ein, so erhält man

$$\alpha(t_2 - t_1) = 3\beta(t_2 - t_1) \frac{m_1}{m_2} + \frac{m_1 - m_2}{m_2},$$

mithin für das Ausdehnungsmaß des Quecksilbers

$$\alpha = 3\beta \frac{m_1}{m_2} + \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{m_1 - m_2}{m_2}$$

und für das Längenausdehnungsmaß des Glases, woraus das Dichtefläschchen hergestellt ist,

$$\beta = \frac{1}{3} \alpha \frac{m_2}{m_1} - \frac{1}{3} \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{m_1 - m_2}{m_1}.$$

i) Unsere Messungen können wir auf zweierlei Weise verwerten, wir können entweder den Wert von  $\beta$  nachschlagen und  $\alpha$  ausrechnen, oder auch umgekehrt verfahren. Da aber die heutigen Glassorten sehr verschieden zusammengesetzt sind und deshalb keine einheitliche Beschaffenheit haben, so kann man andern Arbeiten keinen guten Wert für  $\beta$  entnehmen. Die Ausdehnung des Quecksilbers hingegen hat man auf das sorgfältigste untersucht (warum?), und man kann daher für  $\alpha$  einen recht zuverlässigen Wert angeben.

k) Schlage den Wert des Ausdehnungsmaßes  $\alpha$  des Quecksilbers nach und berechne daraus das Längenausdehnungsmaß des Glases, woraus das Dichtefläschchen hergestellt ist.

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Gewichtsatz Nr. . . . Dichtefläschchen Nr. . . .

Ausdehnungsmaß des Quecksilbers  $\alpha = 0,000181$ .

Masse des Quecksilbers:

1. Messung  $m_1 = \dots$  [gr].

2. Messung  $m_2 = \dots$  [gr].

Wärmestufe des Quecksilbers:

1. Messung  $t_1 = \dots$  °C.

2. Messung  $t_2 = \dots$  °C.

Längenausdehnungsmaß des Glases  $\beta = \dots$

m) Gieße das Quecksilber in das Gefäß, das der Lehrer dafür bestimmt hat.

n) Spüle das Dichtefläschchen mit etwas Glycerin aus, fülle es dann ganz mit dieser Flüssigkeit und entferne alle Luftblasen.

o) Verfahre mit dem Dichtefläschchen, das mit Glycerin gefüllt ist, genau wie bei den Versuchen (b) und (d) bis (g).

p) Bei den Wärmestufen  $t_3$ ° und  $t_4$ ° C füllen  $m_3$  und  $m_4$  gr Glycerin das Dichtefläschchen. Nach den Rechnungen, die wir bei (h) durchgeführt haben, ist daher das Ausdehnungsmaß des Glycerins

$$\alpha = 3\beta \frac{m_3}{m_4} + \frac{1}{t_4 - t_3} \frac{m_3 - m_4}{m_4}.$$

q) Berechne das Ausdehnungsmaß des Glycerins und nimm dabei für  $\beta$  den Wert, den du bei (k) gefunden hast.

r) Gieße das Glycerin in das Gefäß, das der Lehrer dafür bestimmt hat. Reinige erst das Dichtefläschchen, dann das Becherglas und stelle beides auf das Ablaufbrett.

**Bemerkungen.** Man kann die Aufgabe in zwei Übungen zerlegen; in der ersten bestimmt der Schüler das Längenausdehnungsmaß des Glases und in der zweiten, wo er dasselbe Dichtefläschchen benutzt, das Ausdehnungsmaß des Glycerins.

Nimmt man bei den Versuchen (d) und (o) Wasser, das kälter als die Zimmerluft ist, so fließt beim Wägen die Flüssigkeit über.

**11. Aufgabe.** *Wie ändert sich bei gleichbleibendem Druck der Raum einer gegebenen Luftmasse mit der Temperatur? Wie groß ist das Ausdehnungsmaß der Luft?*

(1 Schüler, 2 Stunden.)

<p>Geräte. Trichter. Eis. Hohes Becherglas. Gestell mit Ring.</p>	<p>Drahtnetz mit Asbest- einlage. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Haarröhrchen (vgl. S. 239).</p>
---	---

**Anleitung.** a) Miß sorgfältig die Länge der ganzen Röhre; berücksichtige dabei, daß das geschlossene Ende nicht die Gestalt einer Walze hat.

b) Verschließe den Hals des Trichters mit einem kurzen Kautschukschlauch und einem Quetschhahn, setze den Trichter in den Ring des Gestells und stelle ein Becherglas darunter. Fülle den Trichter mit zerkleinertem Eis, gieße Wasser darauf und stelle das Haarröhrchen behutsam so hinein, daß das offene Ende nach oben

gekehrt ist, und der Luftraum, den der Schwefelsäurefaden absperrt, vollständig von Eis und Wasser umgeben ist. Schiebe über die Röhre einen Kork und befestige sie mit einer Klemme in ihrer Stellung. Klopfe nach  $\sim 5$  Minuten mit dem Bleistift schwach gegen die Röhre und miß den Abstand des offenen Endes von den beiden Enden des Säurefadens.

c) Nimm die Röhre aus dem Eis, entferne den Trichter, lege auf den Ring das Drahtnetz und setze ein Becherglas darauf. Befestige das Haarröhrchen lotrecht so an dem Gestell, daß es mit dem geschlossenen Ende ins Becherglas hineinragt, gieße so viel kaltes Wasser hinein, daß der ganze abgeschlossene Luftraum vom Wasser umspült wird. Rühre das Wasser sorgfältig um, lies nach  $\sim 5$  Minuten das Thermometer ab und miß die Abstände des offenen Endes der Röhre von den Enden des Säurefadens.

d) Erwärme das Wasser unter fleißigem Umrühren langsam auf  $25^\circ$ , nimm die Flamme weg und miß wieder die Wärmestufe des Wassers und die Abstände des offenen Rohrendes von den Fadenenden.

e) Erwärme das Wasser weiter und wiederhole die Messungen bei den Wärmestufen  $50^\circ$ ,  $75^\circ$  C und dem Siedepunkt.

f) Wiederhole, wenn es die Zeit gestattet, die Messungen während des Abkühlens bei denselben Wärmestufen wie beim Erwärmen.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Haarröhrchen Nr. . . . Länge des ganzen Röhrchens  $l = \dots$  [cm].

Wärmestufe $t^\circ$ C	Inneres Fadenende $l_1$ cm	Außeres Fadenende $l_2$ cm	Fadenlänge $l_2 - l_1$	Länge der abgesperrten Luftsäule $l - l_1 = V$ [ $q$ cm <sup>3</sup> ]	Ausdehnungsmaß der Luft $\alpha$
					Mittel . . . . .

h) Wir wollen annehmen, daß der Querschnitt  $q$  cm<sup>2</sup> der Röhre überall gleich groß sei; dann ist die Länge der abgesperrten Luftsäule ein Maß für den Raum  $V$ , der hier nicht in cm<sup>3</sup>, sondern mit der Einheit ( $q$  cm<sup>3</sup>) gemessen wird.

i) Berechne aus der 1. und 3., der 2. und 4., der 3. und 5. Messung usw. die Verlängerung der Luftsäule für eine Wärmesteigerung um  $1^\circ$  C, nämlich

$$\frac{V_{n+r} - V_r}{t_{n+r} - t_r}$$

und daraus das Ausdehnungsmaß, d. h. die Verlängerung von 1 cm Länge bei einer Wärmesteigerung um  $1^{\circ}\text{C}$

$$\alpha = \frac{V_{n+v} - V_v}{V_v (t_{n+v} - t_v)}$$

Nimm aus den erhaltenen Werten das Mittel.

k) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei  $x = V$  und  $y = t$ . Welche Kurve geht durch alle gezeichneten Punkte? Bei welcher Wärmestufe würde die eingeschlossene Luftmasse keinen Raum einnehmen? *Absoluter Nullpunkt. Absolute Wärmestufe.*

**Bemerkungen.** Das dickwandige Haarröhrchen hat die Länge 15 bis 20 cm und höchstens 1 mm innern Durchmesser. Es ist mit einer Millimeterteilung versehen und an einem Ende geschlossen. Ungefähr in der Mitte der Röhre steht ein Schwefelsäurefaden von  $\sim 1$  cm Länge. Es ist zweckmäßig, in die Endkuppe der Röhre einen kleinen Tropfen Schwefelsäure zu bringen, von dem aus man die Länge der Luftsäule rechnet. Die Lage des Tropfens kann man mit einer Tropfröhre ändern, deren Spitze ganz dünn ausgezogen ist.

Benutzt man statt des Schwefelsäurefadens einen Quecksilberfaden, so muß man vor dem Zerschmelzen die Röhre mit einer warmen Lösung von Kaliumdichromat in starker Schwefelsäure und dann mit destilliertem Wasser sorgfältig ausspülen. Man erwärmt darauf die Röhre vorsichtig und läßt gleichzeitig einen Luftstrom hindurchsaugen, der vorher durch eine Chlorkalziumröhre gegangen ist. Durch Saugen an der Trockenröhre zieht man einen 1 bis 2 cm langen Quecksilberfaden in die Mitte der Röhre, entfernt die Trockenröhre von dem einen Ende der Röhre und schmelzt das andere Ende zu. Man verwende nur ganz reines und trocknes Quecksilber.

#### IV. Wärmemenge.

**12. Aufgabe.** Welche Mischungswarmheit entsteht, wenn man gleiche Wassermassen von verschiedenen Wärmestufen miteinander mischt?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<p><b>Geräte.</b> 2 gleiche dünnwandige Bechergläser (<math>\sim 600 \text{ cm}^3</math>). Becherglas. Wage. Kaltes Wasser (Eis). Heißes Wasser. Pipette.</p>	<p>Thermometer. 2 Suberitscheiben oder große Korke- oder Unterlagen aus Filz oder Watte. Abgleichbecher. Schrot. Wischtücher.</p>
---	---

**Anleitung.** a) Setze auf die Schalen der Wage die beiden leeren Bechergläser und gleiche sie ab.

b) Fülle das linke Becherglas nicht ganz bis zur Hälfte mit Wasser, dessen Wärmestufe  $\sim 6^{\circ}$  unter der Zimmerwärme liegt.

c) Gieße in das andere Glas ebensoviel Wasser, dessen Wärmestufe  $\sim 6^{\circ}$  über der Zimmerwärme liegt, und gleiche diese Wassermasse mit der Pipette genau ab.

d) Nimm beide Bechergläser von der Wage und setze sie auf Suberitscheiben. Miß sorgfältig unter behutsamem Umrühren die Wärmestufe  $t_1^{\circ}\text{C}$  des kältern Wassers und dann die Wärmestufe

$t_2^{\circ}\text{C}$  des wärmern Wassers, schätze dabei die Zehntelgrade ab. Gieße sofort nach diesen Messungen je nach der Anweisung des Lehrers entweder das warme Wasser in das kalte oder das kalte in das warme. Rühre mit dem Thermometer langsam und behutsam um und lies sorgfältig die Mischungswarmheit  $\tau_m^{\circ}\text{C}$  unter Schätzung der Zehntelgrade ab.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Thermometer Nr. . . . Becherglas Nr. . . . und Nr. . . .  
Zimmerwärme . . .  $^{\circ}\text{C}$ .

Wärme- stufe des kalten Wassers $t_1^{\circ}\text{C}$	Wärme- stufe des warmen Wassers $t_2^{\circ}\text{C}$	Mischungs- warmheit $\tau_m^{\circ}\text{C}$	Wärme- zunahme $\tau_m - t_1$	Wärme- abnahme $t_2 - \tau_m$	Mittlere Wärme- stufe $\tau =$ $\frac{1}{2}(t_1 + t_2)$	Unter- schied $\tau - \tau_m$
					Mittel	.....

f) Um wieviel Grad hat sich das warme Wasser abgekühlt und um wieviel Grad das kalte Wasser erwärmt? Welche Warmheitsänderung ist die größere? Wie ist der Unterschied zu erklären? Erwärmung des Gefäßes.

g) Spüle die Bechergläser aus und stülpe sie auf das Ablaufbrett.

**Bemerkungen.** Man muß dünnwandige Bechergläser und große Wassermassen verwenden. Über die Beschaffung von heißem Wasser vgl. die Bemerkung zu Aufgabe 4 auf S. 229. Kann man im Sommer das kältere Wasser nicht ohne weiters der Wasserleitung entnehmen und will man es nicht durch Einwerfen von reinen Eisstückchen herstellen, so fülle man das abzukühlende Wasser in größere Blechkannen, die man in einem Blechkasten zwischen Eis packt. Das Wasser, dessen Wärmestufe über der Zimmerwärme, und das Wasser, dessen Wärmestufe unter der Zimmerwärme liegt, mischt man in größeren Kannen, die mit den Aufschriften „warm“ und „kalt“ versehen sind. Ihnen entnehmen die Schüler das Wasser. Will oder kann man nicht mit abgekühltem Wasser arbeiten, so lasse man die Versuche mit Wasser von Zimmerwärme und Wasser von 30 bis 40 $^{\circ}$  ausführen. Man lasse die Hälfte der Schüler das kältere Wasser in das wärmere und die andere Hälfte das wärmere Wasser in das kältere gießen und nehme dann aus sämtlichen Unterschieden  $\tau - \tau_m$  das Mittel. Hat man hinreichend große Kalorimeter von der in Teil 10, Aufg. 15, angegebenen Einrichtung, so kann man sie auch hier verwenden.

**13. Aufgabe.** Welche Mischungswarmheit entsteht, wenn man ungleiche Wassermassen von verschiedenen Wärmestufen miteinander mischt?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufg. 12, dazu Gewichtsatz.

**Anleitung.** a) Setze auf die Schalen der Wage die beiden leeren Bechergläser und gleiche sie ab.

b) Fülle in das linke Becherglas  $m_1 = 300$  [gr] Wasser, dessen Wärmestufe  $8^\circ$  unter der Zimmerwärme liegt.

c) Fülle in das andere Becherglas  $m_2 = 200$  [gr] Wasser, dessen Wärmestufe  $12^\circ$  über der Zimmerwärme liegt.

d) Nimm beide Gläser von der Wage und setze sie auf Suberitscheiben. Bestimme sorgfältig nach behutsamem Umrühren unter Schätzung der Zehntelgrade die Wärmestufe  $t_1^\circ\text{C}$  des kältern und die Wärmestufe  $t_2^\circ\text{C}$  des wärmern Wassers.

e) Gieße sofort nach den Messungen das kältere Wasser in das wärmere, rühre mit dem Thermometer langsam und behutsam um und lies, sobald das Quecksilber nicht mehr sinkt, unter Schätzung der Zehntelgrade die Mischungswarmheit  $\tau_m^\circ\text{C}$  sorgfältig ab.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Wage Nr. . . . Gewichtssatz Nr. . . . Thermometer Nr. . . . Becherglas Nr. . . . und Nr. . . . Zimmerwärme . . .  $^\circ\text{C}$ .

Masse des kalten Wassers $m_1$ gr	Wärmestufe des kalten Wassers $t_1^\circ\text{C}$	Masse des warmen Wassers $m_2$ gr	Wärmestufe des warmen Wassers $t_2^\circ\text{C}$	Gesamte Wassermasse $m_1 + m_2$

Mischungswarmheit		Unterschied $\tau - \tau_m$	Aufgenommene Wärmemenge $Q_1 = m_1(\tau_m - t_1)$ [gr kal]	Abgegebene Wärmemenge $Q_2 = m_2(t_2 - \tau_m)$ [gr kal]	Unterschied $Q_2 - Q_1$
ber. $\tau^\circ\text{C}$	beob. $\tau_m^\circ\text{C}$				
Mittel					

g) Die Warmheit  $t_1^\circ$  der Wassermasse  $m_1$  gr verteilt sich bei der Mischung auf die Wassermasse  $(m_1 + m_2)$  gr, und es entfällt auf jedes Gramm des Gemisches die Warmheit  $t_1 \cdot m_1 / (m_1 + m_2)$ . Die Warmheit  $t_2^\circ$  der Wassermasse  $m_2$  gr verteilt sich bei der Mischung auf  $(m_1 + m_2)$  gr Wasser, und es entfällt auf jedes Gramm des Gemisches die Warmheit  $t_2 \cdot m_2 / (m_1 + m_2)$ . Die Warmheit des Gemisches ist mithin

$$\tau = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}$$

*RICHMANNSche Regel.* Berechne danach die Mischungswarmheit. Um wieviel Grad weicht die beobachtete Mischungswarmheit  $\tau_m$  von der berechneten  $\tau$  ab? Wie ist diese Abweichung zu erklären?

h) Aus der *RICHMANNSchen Regel* folgt

$$m_1(\tau - t_1) = m_2(t_2 - \tau)$$

*Geschichtliche Entwicklung der Begriffe.* Annahme des Wärmestoffs. Wärmemenge. Wärmeeinheit. Grammkalorie (gr kal<sub>15</sub>).

i) Berechne die Wärmemenge, die das kältere Wasser aufgenommen hat,  $Q_1 = m_1 (\tau_m - t_1)$  [gr kal], und die Wärmemenge, die das wärmere Wasser abgegeben hat,  $Q_2 = m_2 (t_2 - \tau_m)$  [gr kal].

k) Wieviel Grammkalorien sind beim Mischen verloren gegangen? Erkläre den Verlust  $Q_2 - Q_1$ .

l) Spüle die Bechergläser aus und stülpe sie auf das Ablaufbrett.

**Bemerkungen.** Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 12 S. 240. Man kann auch Wasser von Zimmerwärme und Wasser von 30 bis 40° C miteinander mischen und die Mischung in einem Kalorimeter (vgl. Teil 10, Aufg. 15) ausführen lassen. Man bilde aus allen berechneten Unterschieden  $\tau - \tau_m$  und  $Q_2 - Q_1$  die Mittelwerte. Da bei der Berechnung von  $Q_1$  und  $Q_2$  die Warmheitsunterschiede mit großen Zahlen vervielfacht werden, so verwirren die auftretenden großen Unterschiede  $Q_2 - Q_1$  leicht die Schüler. Man kann diesen ungünstigen Eindruck mildern, wenn man die Wärmemengen in kg kal messen oder statt des Unterschiedes  $Q_2 - Q_1$  das Verhältnis  $Q_2/Q_1$  berechnen läßt, doch sind beide Auswege bedenklich. Bei den Schwierigkeiten, die der Begriff der Wärmemenge den Schülern bereitet, wäre es verfehlt, die Aufgaben 12 und 13 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs zu behandeln. Man lasse den Schülern reichlich Zeit, sich in die neuen Vorstellungen hineinzuleben.

Über Wärmeinheiten vgl. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 188 und E. WARBURG, *Referat über die Wärmeinheit, Leipzig, J. A. Barth, 1900.*

**14. Aufgabe.** *Wieviel Grammkalorien muß man einem Gramm Kupfer entziehen, um seine Wärmestufe um einen Zentigrad zu erniedrigen?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

<b>Geräte.</b> Becher aus dünnstem (Schablonen-) Messingblech, außen poliert und vernickelt, 7 cm hoch und 4 cm weit. Suberitscheibe oder großer Kork (Spund). Wage. Gewichtsatz. Kupferdraht oder Kupferdrahtnetz oder Schrot. Thermometer, womöglich in $\frac{1}{10}$ Grade geteilt. Prüfgläschen von 3 cm innerer Weite und 15 cm Länge. Becherglas (600 cm <sup>3</sup> ). Kleines Becherglas.	Durchbohrter Kork. Durchbohrte Asbestplatte (10 cm × 10 cm). Dreifuß. Drahtnetz mit Asbesteinlage. Kaltes Wasser. Heißes Wasser. Beißzange. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Pipette. Bürette. Watte. Wischtuch. Tapeziererblei. Barometer.
---	--

**Anleitung.** a) Gleiche ein weites trocknes Prüfgläschen auf der Wage ab. Schneide ~ 30 gr Kupferdraht (Drahtnetz) in kleine, höchstens 1 cm lange Stücke, fülle sie in das Gläschen und bestimme sorgfältig mit der Wage ihre Masse [ $m_c$  gr].

b) Stecke das Thermometer in die Kupferstückchen und schüttele das Gläschen, damit sich die Teilchen um die Thermometerkugel lagern. Verschließe die Mündung des Gläschens mit einem Wattedaubsch. Schiebe einen durchbohrten Kork über das Gläschen und stecke es dann durch die Öffnung einer Asbestplatte. Lege diese so über den Rand eines tiefen Becherglases, daß das Gläschen in das siedende Wasser darin eintaucht. In Fig. 163 ist das Gläschen einfach in das Becherglas gestellt; diese Anordnung ist nicht so gut, wie die angegebene. Warte, bis die Wärmestufe des Kupfers  $100^\circ$  oder dauernd ein wenig unter  $100^\circ$  ist, schüttele dabei von Zeit zu Zeit die Kupferstückchen etwas durcheinander.

c) Laß den Mitarbeiter das Kalorimeter auf der Wage abgleichen. Am besten stellt man sich aus Tapeziererblei ein dauerndes Gegengewicht her. (Soll der Wasserwert des Kalorimeters berücksichtigt werden, so ist seine Masse  $m_k$  [gr] zu bestimmen.)

d) Fülle in das Kalorimeter  $m_w = 40$  [gr] Wasser, dessen Wärmestufe  $\sim 10^\circ$  unter der Zimmerwärme liegt. (Die Wassermenge soll die Kugel des Thermometers bedecken). Stelle das Kalorimeter möglichst weit von der Flamme entfernt auf eine Suberitscheibe.

e) Lies sorgfältig die Wärmestufe ( $t^\circ\text{C}$ ) des Kupfers ab, sobald sie sich nicht mehr ändert. Tauche dann das Thermometer nur mit der Kugel in das heiße Wasser und lies sorgfältig die Warmheit  $t^\circ\text{C}$  ab.

f) Kühle nun das Thermometer mit Leitungswasser ab und wische es tüchtig trocken. Stelle das Thermometer in das Kalorimeter, laß es so lange darin stehen, bis es sicher die Warmheit des Wassers angenommen hat, wische den Beschlag auf der äußern Seite des Kalorimeters ab und lies dann unter Schätzung der Zehntelgrade die Wärmestufe ( $t_w^\circ\text{C}$ ) des Wassers sehr genau ab. (Sie soll  $\sim 6^\circ$  unter der Zimmerwärme liegen.) Laß das Thermometer im Wasser stehen und stelle das Kalorimeter neben das Heizgefäß.

g) Schüttele so rasch wie möglich nach dieser Ablesung die Drahtstücke in das Kalorimeter, rühre mit dem Thermometer langsam, aber stetig um und lies, sobald (nach  $\sim \frac{1}{2}$  Minute) das Quecksilber nicht mehr steigt, die Mischungswarmheit  $\tau^\circ\text{C}$  unter Schätzung der Zehntelgrade sehr sorgfältig ab.

h) Schreibe die Beobachtungsergebnisse in folgender Weise auf:

Kalorimeter Nr. . . .	Thermometer Nr. . . .
Wage Nr. . . .	Gewichtssatz Nr. . . .
Zimmerwärme . . . $^\circ\text{C}$ .	
Masse des Kupfers	$m_c = \dots$ [gr].
Wärmestufe des Kupfers	$t = \dots$ $^\circ\text{C}$ .
Masse des Wassers	$m_w = \dots$ [gr].
Wärmestufe des Wassers	$t_w = \dots$ $^\circ\text{C}$ .
Mischungswarmheit	$\tau = \dots$ $^\circ\text{C}$ .

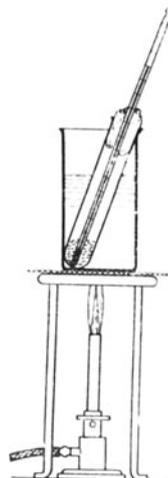


Fig. 163.

i) Die Ablesung des Thermometers, das in den Drahtstückchen steht, liefert nicht immer die wirkliche Wärmestufe ( $t_c^{\circ}\text{C}$ ) des Kupfers. Lies den Barometerstand  $b$  mm ab und berechne daraus nach Aufgabe 8, S. 233 den wirklichen Siedepunkt ( $t_b^{\circ}\text{C}$ ) des Wassers. Die wahre Wärmestufe des Kupfers ist dann  $t_c = t_b - (t' - t)$ .

k) Um wieviel Grad hat sich beim Mischen das Wasser erwärmt? Welche Wärmemenge hat das Wasser aufgenommen? Wer hat diese Wärmemenge geliefert? Um wieviel Grad hat sich das Kupfer abgekühlt? Welche Wärmemenge hat es dabei abgegeben? Welche Wärmemenge würde die ganze Kupfermasse liefern, wenn sie nur um  $1^{\circ}\text{C}$  erkaltete? Welche Wärmemenge gibt also 1 gr Kupfer ab, wenn es sich um  $1^{\circ}\text{C}$  abkühlt? *Spezifische Wärme*.

Wie groß ist die spezifische Wärme des Kupfers?

l) Schreibe die Berechnung in folgender Form auf:

Wärmeerhöhung des Wassers	$\tau - t_n = \dots^{\circ}\text{C}$ .
Aufgenommene Wärmemenge des Wassers	$Q_n = m_n (\tau - t_n) = \dots$ [grkal].
Barometerstand	$b = \dots$ [mm].
Wahrer Siedepunkt des Wassers	$t_b = \dots^{\circ}\text{C}$ .
Abgelesener Siedepunkt des Wassers	$t' = \dots^{\circ}\text{C}$ .
Abgelesene Wärmestufe des Kupfers	$t = \dots^{\circ}\text{C}$ .
Wahre Wärmestufe des Kupfers	$t_c = t_b - (t' - t) = \dots^{\circ}\text{C}$ .
Wärmeerniedrigung des Kupfers	$t_c - \tau = \dots^{\circ}\text{C}$ .
Die vom Kupfer bei einer Wärmeerniedrigung von $1^{\circ}$ abgegebene Wärmemenge	$Q_w/(t_c - \tau) = \dots$ [grkal].
Die von 1 gr Kupfer bei $1^{\circ}$ Wärmeerniedrigung abgegebene Wärmemenge	$c = Q_w/m_c (t_c - \tau) = \dots$ [grkal].

m) Hat das Wasser die ganze Wärmemenge aufgenommen, die das Kupfer abgegeben hat? Welche Wärmemengen sind auf das Gefäß und das Thermometer übergegangen?

n) Wäge das trockne leere Kalorimeter. Ist seine Masse  $m_k$  gr und die spezifische Wärme des Messings  $c_k = 0,093$ , so nimmt das Kalorimeter bei einer Wärmeerhöhung um  $1^{\circ}\text{C}$  die Wärmemenge  $c_k m_k$  auf. *Wasserwert des Kalorimeters*  $\mu_k$ .

o) Die Masse von  $1\text{ cm}^3$  Quecksilber ist 13,6 gr und, da die spezifische Wärme des Quecksilbers 0,033 ist, der Wasserwert von  $1\text{ cm}^3$  Quecksilber 0,45 grkal. Die Masse von  $1\text{ cm}^3$  Glas ist 2,5 gr und, da die spezifische Wärme des Glases 0,19 ist, der Wasserwert von  $1\text{ cm}^3$  Glas 0,47 grkal. Jedes Kubikzentimeter eines Thermometers hat also den Wasserwert 0,46. Tauchen bei der Bestimmung der Wasserwärme  $V\text{ cm}^3$  des Thermometers in die Flüssigkeit, so ist der *Wasserwert des Thermometers* nahezu  $\mu_t = 0,46 V$ .

p) Stelle das Thermometer in das Wasser im Kalorimeter und lies ab, bis zu welchem Teilstrich es eintaucht. Gleiche auf der Wage ein Becherglas mit Wasser ab, senke mit einem Gestell das Thermometer bis zu dem soeben festgestellten Teilstrich ein und bestimme die Gewichtszunahme, die das Becherglas infolge des Abtriebes erleidet (vgl. Aufg. 3, S. 179).

Bequemer ist es, das Thermometer bis zu dem bestimmten

Teilstrich in eine Bürette zu tauchen, die mit Wasser gefüllt ist, und daran die verdrängte Wassermasse abzulesen.

q) Den Einfluß des Kalorimeters und des Thermometers auf die Messung berücksichtigen wir, wenn wir annehmen, daß die Wassermenge im Kalorimeter nicht  $m_w$  gr, sondern  $(m_w + \mu_k + \mu_i)$  gr sei. Berechne mit dieser Verbesserung aus den Messungsergebnissen, die in (h) zusammengestellt sind, von neuem die spezifische Wärme des Kupfers.

r) Trockne sorgfältig mit Fließpapier die Kupferstückchen und lege sie an den Ort, den der Lehrer dafür angewiesen hat. Gieße das Wasser aus den Gefäßen aus und stelle sie aufs Ablaufbrett.

**Bemerkungen.** Vergleiche über Messung von Wärmemengen KOHL-RAUSCH<sup>11</sup> 190 und OSTWALD-LUTHER<sup>3</sup> 295 und über Kalorimeter und Erhitzer für Schülerübungen auch SCHUSTER-LEES, *Intermed. Course 88 Nr. 17 u. 98 Nr. 19*. Ich lasse stets das kleine Kalorimeter von WORTHINGTON 177 Nr. 22 benutzen; die Ergebnisse waren immer gut. Die Verwendung kleiner eiserner Nägel ist nicht zu empfehlen, da sie nach dem Gebrauch rosten. Man kann auch über das Becherglas voll siedendem Wasser einen Glasmantel stülpen, unter dessen untern Rand Asbestfasern schieben und auf dessen obern Rand die durchlochte Asbestplatte legen.

Ohne Berücksichtigung der Wasserwerte von Kalorimeter und Thermometer läßt sich die Aufgabe eben noch in einer Stunde erledigen. Über die Beschaffung von warmem und kaltem Wasser vgl. Aufg. 4 u. 12 S. 229 u. 240.

## V. Zustandsänderungen.

### 15. Aufgabe. Bei welcher Wärmestufe schmilzt Naphthalin?

#### 1. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b> Glasröhre mit Naphthalin. Thermometer. Durchbohrter Kautschukstopfen. Becherglas. Drahtnetz mit Asbesteinlage.	Dreifuß. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Bunsengestell mit Klemme. Kautschukring oder Garn. Glasstab.
---	--

**Anleitung.** a) Stecke das Thermometer durch den Stopfen und befestige mit einem Kautschukring die Naphthalinröhre so am Thermometer, daß das Ende des ausgezogenen Teils neben der Kugel liegt (Fig. 164). Setze das mit Wasser gefüllte Becherglas auf das Drahtnetz, das auf dem Dreifuß liegt, und klemme den Stopfen so am Gestell fest, daß die untern Teile des Thermometers und der Röhre ins Wasser tauchen.

b) Erwärme langsam mit kleiner Flamme das Wasser, rühre es fortwährend mit dem Glasstab um und lies die Wärmestufe ab, wenn das Naphthalin an

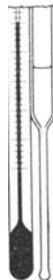


Fig. 164.

der tiefsten Stelle der Röhre eben beginnt, durchsichtig zu werden. Entferne sofort den Brenner und lies, sobald sich am untern Ende der Röhre das Naphthalin wieder trübt, nochmals die Wärmestufe ab. Das Mittel aus beiden Ablesungen ist der Schmelzpunkt des Naphthalins.

e) Wiederhole den Versuch fünfmal und bilde aus den Ergebnissen den Mittelwert.

d) Ist das Glas ein guter Wärmeleiter? Ist bei steigender Warmheit das Naphthalin oder das Wasser wärmer? Was von beiden ist bei sinkender Warmheit wärmer? Welche Messung liefert einen zu kleinen und welche einen zu hohen Wert des Schmelzpunkts?

e) Wische das Thermometer und die Röhre trocken. Reinige das Becherglas und stelle es auf das Ablaufbrett.

## 2. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b> Naphthalin. Prüfläschen von 3 cm lichter Weite und 13 bis 15 cm Länge. Thermometer. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Becherglas (600 cm <sup>3</sup> ). Rührer aus Nickeldraht.	Doppeltdurchbohrter Stopfen. Fließpapier. Alkohol. Dreifuß. Drahtnetz mit Asbest- einlage. Millimeterpapier. Abdampfschale.
--	---

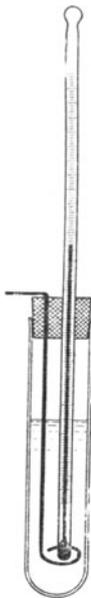


Fig. 165.

**Anleitung.** f) Fülle das Prüfläschen zu drei Viertel mit Naphthalin, stelle es in das Wasser im Becherglas und erhitze, bis alles Naphthalin geschmolzen ist. Dehnt sich das Naphthalin beim Schmelzen aus?

g) Verschließe die Röhre mit dem doppelt durchbohrten Stopfen, durch dessen eine Durchbohrung der Rührer und durch dessen andere Durchbohrung das Thermometer so weit hindurchgesteckt sind, daß der Ring des Rührers und die Kugel des Thermometers 1 bis 2 cm vom Boden abstehen (Fig. 165). Laß das Prüfläschen an der Luft erkalten, beobachte das Aussehen des Naphthalins, bewege die Flüssigkeit fleißig mit dem Rührer und lies alle halbe Minute die Wärmestufe ab, bis sie auf  $\sim 78^\circ$  gesunken ist. Schreibe jedesmal die Zeit und die Wärmestufe auf.

h) Kühlt sich das Thermometer gleichmäßig rasch ab? Welche Teile des Naphthalins erstarren zuerst? In welchem Zustand befindet sich das Naphthalin, wenn sich die Warmheit längere Zeit hindurch nicht ändert? Liegt diese feste Wärmestufe über der Zimmerwärme? Wie ist es zu erklären, daß trotzdem die Wärmestufe des Naph-

thalins während beträchtlicher Zeit annähernd fest bleibt? Gibt das Naphthalin Wärme an die Luft ab? Woher erhält das Naphthalin die Wärme während der Zeit, wo sich seine Warmheit nicht ändert? Wie nennt man diese feste Wärmestufe?

i) Mache eine bildliche Darstellung des Vorgangs, wähle dabei die Zeit als Abszisse (1 min  $\sim$  1 cm) und die Wärmestufe als Ordinate ( $1^\circ \sim$  1 cm). Welcher Teil der Kurve liefert den Schmelzpunkt des Naphthalins?

k) Wische das Thermometer mit Fließpapier ab, das mit Alkohol befeuchtet worden ist. Reinige das Becherglas und stelle es auf das Ablaufbrett.

**Bemerkungen.** 1. Verfahren. Man zieht eine dünnwandige Glasröhre von  $\sim$  5 mm innerm Durchmesser und 15 cm Länge zu einem dünnen Röhrchen von 1 bis 2 mm innerer Weite aus und schneidet dieses so durch, daß das dünnere Ende  $\sim$  4 cm lang wird. Man schmelzt nun in einem Prüfgläschen etwas Naphthalin, saugt es in der Glasröhre empor und schmelzt dann das dünne Ende in der Flamme zu.

Setzen sich beim Erwärmen des Wassers an die Röhre Luftbläschen, so wischt man sie von Zeit zu Zeit mit den Fingern ab.

Oberlehrer GENTZEN schmelzte bei seinen Versuchen im Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut eine dünnwandige Glasröhre unten zu, die nur wenig weiter als das Thermometer war, brachte Naphthalin hinein und verfuhr im übrigen wie beim 1. Verfahren, wobei er das Thermometer stets drehend auf und ab bewegte. Er erhielt sehr gute Ergebnisse.

2. Verfahren. Man kann je zwei bis drei Prüfröhrchen mit festem Naphthalin in einem Wasserbad erwärmen.

Läßt man die Schüler während des Erkaltens das Naphthalin statt mit dem Rührer mit dem Thermometer umrühren, was sehr bequem ist, so ermahne man sie, eine Abdampfschale oder einen Teller unter das Prüfgläschen zu setzen und beim Versuch nicht zu sitzen; denn gar zu leicht wird beim Rühren das Glas durchstoßen, und das flüssige Naphthalin fließt über die Hosen.

Statt Naphthalin ( $80^\circ$ ) kann man auch Acetamid ( $79^\circ$ ) verwenden. Gegen Paraffin lassen sich mancherlei Einwände erheben. Bei manchen Thermometern greift das Naphthalin die schwarze Farbe der Teilung an.

**16. Aufgabe.** *Andert sich die Wärmestufe von Eis, das  $0^\circ \text{C}$  warm ist, wenn man ihm Wärme zuführt?*

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Reines Eis.	Thermometer.
	Prüfgläschen von 3 cm innerer Weite und 13 bis 15 cm Länge.	Heißes Wasser. Becherglas (600 cm <sup>3</sup> ). Millimeterpapier.

**Anleitung.** a) Fülle in das Prüfgläschen kleine,  $\sim$  1 cm<sup>3</sup> große Eisstücke, stelle das Thermometer hinein und lies die Wärmestufe ab.

b) Setze in ein Becherglas, das Wasser von  $\sim$   $30^\circ \text{C}$  enthält, das Prüfgläschen und rühre darin das Eis mit dem Thermometer tüchtig um. Lies jede halbe Minute das Thermometer ab, bis etwa die Hälfte des Eises geschmolzen ist. Schreibe die Zeiten und die zugehörigen Wärmestufen auf.

c) Nimm das Prüfgläschen aus dem Becherglas, rühre  $\sim 1$  Minute lang kräftig um und lies die Wärmestufe des Gemisches von Eis und Wasser ab.

d) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, wähle dabei die Zeit als Abszisse und die Wärmestufe als Ordinate.

e) Wurde dem Inhalte des Prüfgläschens Wärme zugeführt? Woher? Ist die Warmheit im Prüfgläschen gestiegen? Was ist aus der Wärmemenge geworden, die das Eis empfangen hat?

**17. Aufgabe.** *Wieviel Grammkalorien sind erforderlich, um 1 gr Eis von  $0^\circ\text{C}$  in Wasser von  $0^\circ\text{C}$  zu verwandeln?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b> Dünnwandiges Becherglas (600 cm <sup>3</sup> ). Wage. Gewichtssatz. 0,5 kg*-Stück. Heißes Wasser. Dreifuß. Drahtnetz mit Asbest- einlage.	Bunsenbrenner. Gasschlauch. Thermometer, womöglich in Zehntelgrade geteilt. Spiegelstreifen. Reines Eis. Große Suberitscheibe oder dergleichen. Fließpapier.
--	--

**Anleitung.** a) Bestimme die Masse ( $m_k$ , gr) des Becherglases.

b) Gieße  $m_w$  ( $\sim 400$ ) gr Wasser hinein, dessen Wärmestufe  $\sim 25^\circ\text{C}$  über der Zimmerwärme liegt.

c) Stelle das Glas auf eine Suberitscheibe, rühre das Wasser tüchtig um, klopfe schwach gegen das Thermometer und lies, ohne es herauszunehmen, unter Abschätzung der Zehntelgrade mit dem Spiegelstreifen die Wärmestufe  $t_1^\circ\text{C}$  ab. (Erwärme, falls die Wärmestufe weniger als  $15^\circ$  über der Zimmerwärme liegt, das Wasser so weit, daß seine Warmheit die des Zimmers um 15 bis  $25^\circ\text{C}$  übersteigt.)

d) Lege in das Wasser sofort nach der endgültigen genauen Bestimmung seiner Warmheit Eis, wovon man jedes Stück rasch mit kaltem Fließpapier gut abgetrocknet hat. Setze das Eis recht behutsam zu, damit kein Wasser verspritzt wird, und fasse das Eis nicht mit den Fingern an. Rühre andauernd, doch nicht heftig, das Wasser mit dem Thermometer um. Fällt die Wärmestufe tiefer als  $10^\circ$  unter die Zimmerwärme, so entferne vorsichtig das noch vorhandene Eis, doch nimm dabei möglichst wenig Wasser mit heraus. Liegt die Wärmestufe, wenn fast alles Eis geschmolzen ist, noch nicht  $2^\circ\text{C}$  unter der Zimmerwärme, so füge noch etwas Eis hinzu. Lies, sobald alles Eis geschmolzen ist, wiederum unter Abschätzung der Zehntelgrade die Wärmestufe  $t_2^\circ\text{C}$  des Wassers ab.

e) Stelle das Becherglas wieder auf die Wage und bestimme, wieviel Gramm ( $m_e$ ) Eis man hinzugefügt hat.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Becherglas Nr. . . .	Thermometer Nr. . . .	Wage Nr. . . .	
Gewichtsatz Nr. . . .	Zimmerwärme . . . ° C.		
Masse des Glasgefäßes			$m_k = \dots$ [gr].
Masse des Glasgefäßes nebst Wasser		$m_k + m_w = \dots$	[gr].
Masse des Wassers		$m_w = \dots$	[gr].
Masse des Glasgefäßes nebst Inhalt am Ende des Versuchs		$m_k + m_w + m_e = \dots$	[gr].
Masse des hinzugefügten Eises		$m_e = \dots$	[gr].
Wasserwert des Glasgefäßes		$\mu_k = 0,19 \cdot m_k = \dots$	[gr].
Anfangswärme		$t_1 = \dots$	° C.
Endwärme		$t_2 = \dots$	° C.

g) Um wieviel Grad ist die Wärmestufe des Wassers und des Glasgefäßes gefallen? Welche Wärmemenge haben dabei die Wassermasse und das Glasgefäß abgegeben? Wieviel Gramm Wasser sind aus dem hinzugefügten Eis entstanden? Welche Wärmemenge wurde aufgewendet, um das Schmelzwasser von  $0^\circ$  auf  $t_2^\circ$  C zu erwärmen? Welche Wärmemenge war erforderlich, um das hinzugefügte Eis von  $0^\circ$  in Wasser von  $0^\circ$  zu verwandeln? Welche Wärmemenge ist verbraucht worden, um 1 gr Eis von  $0^\circ$  in Wasser von  $0^\circ$  zu verwandeln? *Schmelzwärme des Eises.*

**Bemerkungen.** Man muß in das Wasser trocknes Eis hineinlegen. Über das Zerkleinern von Eis vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 6, S. 231. Zerkleinert man das Eis längere Zeit vor dem Verbrauch, so füllen sich die Spalten mit Wasser. Man bewahrt das zerschlagene Eis in einem Sieb oder besser in einem bedeckten Blechgefäß auf, das in einem größeren Gefäß steht, das mit Eis und Wasser gefüllt ist. Hat man ein großes Kalorimeter (vgl. Teil 10, Aufg. 15), so wird man dieses statt des Becherglases verwenden. Reicht der Gewichtsatz nur bis 200 gr, so muß man noch ein 0,5 kg-Stück hinzufügen.

**18. Aufgabe.** *Wieviel Grammkalorien gibt ein Gramm Wasserdampf von  $100^\circ$  C ab, der sich zu Wasser von  $100^\circ$  C verdichtet?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Dünnwandiges Becherglas ( $\sim 500 \text{ cm}^3$ ).	50 cm Kautschuk- schlauch.
	Deckel aus Pappe mit zwei Löchern.	Wassersack (vgl. S. 251).
	Wage.	Kaltes Wasser (Eis).
	Gewichtsatz.	Heißes Wasser.
	Pipette.	Bunsengestell mit Ring und Klemme.
	Suberitscheibe.	Drahtnetz mit Asbesteinlage.
	Thermometer, womöglich in Zehntelgrade geteilt.	Teclu-Brenner.
	Kochflasche ( $\sim 500 \text{ cm}^3$ ).	Gasschlauch.
	Weites Knierohr.	2 Bechergläser.
		Schutzschirm.

**Anleitung.** a) Fülle eine Kochflasche *A* (Fig. 166) halb voll Wasser und verschließe sie mit einem Kork *B*, wodurch eine weite knieförmig gebogene Glasröhre *C* geht. Verbinde diese Röhre durch einen Kautschukschlauch *D*, der  $\sim 50$  cm lang ist, mit dem Wassersack *E*.

b) Stelle auf den Ring des Gestells, worauf das Drahtnetz liegt, die Flasche, klemme ihren Hals fest und erhize das Wasser durch einen kräftigen Brenner.

c) Bestimme inzwischen sorgfältig die Masse ( $m_k$  gr) des dünnwandigen Becherglases, gieße dann  $\sim 400$  gr Wasser hinein, dessen Wärmestufe  $\sim 10^\circ$  unter der Zimmerwärme liegt, und ermittle genau die Masse ( $m_w$  gr) des Wassers. Stelle den Schutzschirm  $H$  auf, setze dahinter auf eine Suberitscheibe das Becherglas, bedecke dieses mit der Pappscheibe  $J$  und stecke durch das eine ihrer beiden Löcher das Thermometer.

d) Bestimme, sobald der Dampf kräftig aus der Röhre  $G$  des Wassersacks strömt, sorgfältig unter Abschätzung der Zehntelgrade die Wärmestufe ( $t_1^\circ$  C) des fleißig umgerührten Wassers; sie soll  $\sim 5^\circ$  unter der Zimmerwärme liegen. Lege schnell den

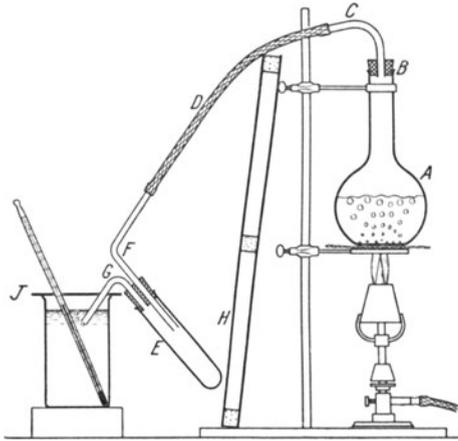


Fig. 166.

Kautschukschlauch über den Schutzschirm und führe die Röhre  $G$ , von deren Mündung man die etwa vorhandenen Wassertropfen wegwischt, rasch so durch das noch freie Loch des Deckels  $J$ , daß die Öffnung von  $G \sim 2$  cm unter dem Wasserspiegel liegt. Rühre andauernd und langsam mit dem Thermometer das Wasser im Becherglas um und nimm, sobald die Wärmestufe ungefähr ebenso weit über der Zimmerwärme liegt, wie  $t_1$ , darunter, die Röhre  $G$  schnell aus dem Wasser und bestimme unter fleißigem langsamem Um-

rühren und unter Abschätzen der Zehntelgrade die höchste Wärmestufe  $t_3^\circ$  C, die das Wasser während der nächsten Minuten erreicht.

e) Bestimme die Gesamtmasse von Becherglas, Wasser und verdichtetem Dampf und berechne daraus die Masse ( $m_d$  gr) des verdichteten Dampfes.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Becherglas Nr. . . . Thermometer Nr. . . . Wage Nr. . . .  
Gewichtsatz Nr. . . . Zimmerwärme . . . ° C.

Masse des Becherglases

Masse des Becherglases nebst Wasser

Masse des kalten Wassers

Anfangswarmheit des Wassers

Endwarmheit des Wassers

Masse von Becherglas, Wasser und verdichtetem Dampf

Masse des verdichteten Dampfes

Wasserwert des Becherglases

$$m_k = \dots [\text{gr}].$$

$$m_k + m_w = \dots [\text{gr}].$$

$$m_w = \dots [\text{gr}].$$

$$t_1 = \dots ^\circ\text{C}.$$

$$t_3 = \dots ^\circ\text{C}.$$

$$m_k + m_w + m_d = \dots [\text{gr}].$$

$$m_d = \dots [\text{gr}].$$

$$\mu_k = 0,19 \cdot m_k = \dots [\text{gr}].$$

g) Um wieviel Grad ist die Wärmestufe des Glasgefäßes und des kalten Wassers gestiegen? Welche Wärmemengen haben dabei beide empfangen? Wieviel Gramm Wasserdampf haben sich verdichtet? Welche Wärmemenge hat dieses Verdichtungswasser bei seiner Abkühlung von 100 auf  $t_g$  °C abgegeben? Welche Wärmemenge haben die  $m_a$  gr Wasserdampf abgegeben, als sie sich zu Wasser von 100 °C verdichteten? Welche Wärmemenge gibt also 1 gr Wasserdampf ab, das sich zu Wasser von 100 °C verdichtet? *Dampfwärme des Wassers.*

**Bemerkungen.** Der Versuch ist recht schwierig, und der Fehler des Ergebnisses beträgt  $\sim 3$  v. H. Leitet man den Dampf unter Weglassung des Wassersacks ohne weiters durch den Kautschukschlauch in das Kalorimeter, so erhält man wenig befriedigende Ergebnisse. Das Becherglas, das als Kalorimeter dient, bedecke man mit einer Pappscheibe *J*, die mit zwei Löchern versehen ist, mit einem für das Thermometer und einem für das Dampfrohr *G*. Benutzt man statt des Becherglases eine dünnwandige Kochflasche (500 bis 600 cm<sup>3</sup>) mit weitem Hals, so wird der Aufbau etwas unbequem. Bessere Ergebnisse erzielt man mit einem geschützten Kalorimeter (vgl. Teil 10, Aufg. 15). Eine beachtenswerte besondere Form der Vorlage haben SCHUSTER und LEES (*Intermed. Course 104 Nr. 22*) angegeben. Der Wassersack (vgl. MÜLLER, *Techn. d. phys. Unterr. 156*; TWISS *117 Nr. 32*) besteht aus einem Prüfglas von 3 cm lichter Weite und 15 cm Länge. Es ist durch einen doppelt durchbohrten Stopfen verschlossen; die weite Glasröhre *F* reicht  $\sim 5$  cm in das Glas hinein, während die weite Glasröhre *G* mit dem Stopfen abschneidet. Den Wassersack umwickelt man reichlich mit loser Watte. Die beiden Pappscheiben, woraus der Schutzschirm *H* besteht, sind auf Korke genagelt, die sie trennen und die längs dem Rande verteilt sind. Über die Beschaffung von abgekühltem und heißem Wasser vgl. Aufg. 4 u. 12 S. 229 u. 240.

Es hat keinen rechten Sinn, den Barometerstand abzulesen und die wahre Temperatur des Wasserdampfs zu ermitteln, da die Fehler, die aus andern Quellen fließen, die Abweichung überwiegen, die aus der Annahme entsteht, der Siedepunkt sei 100 °C.

Will man nicht mit abgekühltem Wasser arbeiten, so schreibt man den Zeitpunkt  $\tau_1$  auf, wo man den Dampf in das Wasser einleitet und liest von dem Augenblick an, wo man den Dampfstrom unterbricht, jede halbe Minute die Warmheit ab, und zwar noch zwei Minuten lang, nachdem die höchste Wärmestufe erreicht worden ist. Wird zur Zeit  $\tau_2$  die höchste Wärmestufe  $t_2$  °C abgelesen und ist zwei Minuten später die Warmheit des Wassers  $t_3$  °C, so hat während zwei Minuten das Kalorimeter ( $t_2 - t_3$ ) Grad verloren, also in den  $(\tau_2 - \tau_1)$  Minuten, die zwischen dem Einleiten des Dampfs und dem Erreichen der höchsten Wärmestufe verflossen sind,  $\frac{1}{2} (t_2 - t_3) (\tau_3 - \tau_1)$ . Diese Berechnung würde richtig sein, wenn der Wärmeaustausch zwischen Kalorimeter und Umgebung während der ganzen Zeit gleich geblieben wäre. Beim Beginn der Dampfzufuhr war er jedoch Null, und wenn er mit dem Warmheitsunterschied gewachsen ist, beträgt der mittlere Warmheitsabfall

$$\Delta t_2 = \frac{1}{4} (t_2 - t_3) (\tau_3 - \tau_1).$$

Hätte also kein Wärmeaustausch stattgefunden, so wäre die höchste Wärmestufe

$$t_h = t_2 + \frac{1}{4} (t_2 - t_3) (\tau_3 - \tau_1)$$

erreicht worden. Wenn man den Versuch nicht mit abgekühltem Wasser angestellt hat, bringt man an  $t_2$  die Verbesserung  $\Delta t_2$  an und berechnet mit  $t_h$  statt mit  $t_2$  die Dampfwärme. Über feinere Verbesserungen, die aber jenseits der Aufgaben der Schülerübungen liegen, vgl. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 193.

## VI. Wärme und Arbeit.

19. Aufgabe. *Wie groß ist der Arbeitswert der Grammkalorie?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WHITING 387 u. 1009 Nr. 70 = *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 17, 228; 1904, R. A. MILLIKAN, *School Science* 6, 310; 1906 = MILLIKAN-GALE 59 Nr. 20.

<b>Geräte.</b>	WHITINGSche Röhre von	Blechgefäß.
	1 m Länge und 6 cm Durch-	Eiswasser.
	messer.	Thermometer.
	2 kg feines Bleischrot.	Tafelwage.

**Anleitung.** a) Schütte  $\sim 2$  kg trocknes Schrot in ein Blechgefäß und kühle es in Eis oder Eiswasser so weit ab, daß seine Wärmestufe 5 bis  $6^{\circ}$  C unter der Zimmerwärme liegt.

b) Schütte das Schrot in die Preßspanröhre (Fig. 167) und verschließe diese mit den gut passenden Korken A und B. Schüttle die Röhre und neige sie fünf- bis zehnmal so, daß die Schrotkugeln vom einen zum andern Ende hinabrollen und sich gut durcheinander mischen. Fasse dabei die Röhre stets nur in der Mitte an.

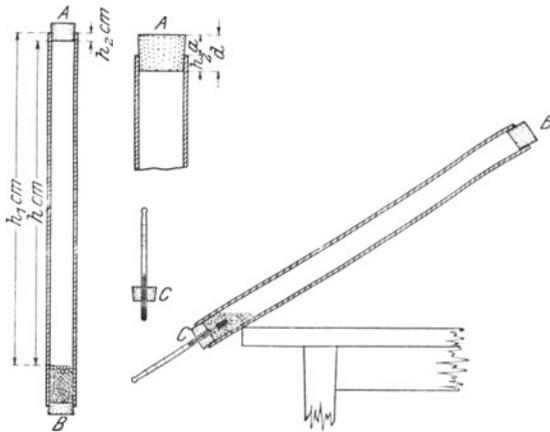


Fig. 167.

e) Ersetze den obern Kork A durch einen andern C, wodurch ein Thermometer so gesteckt ist, daß die Kugel  $\sim 5$  cm in die Röhre hineinragt. Neige allmählich die Röhre, bis alles Schrot hinabgerollt ist und die Thermometerkugel vollständig umgibt.

d) Lege die Röhre in dieser schrägen Stellung auf die Tischkante, drehe sie  $\sim 2$  Minuten lang und lies dann die Wärmestufe ab. Liegt diese mehr als  $3^{\circ}$  unter der Zimmerwärme, so fahre mit dem Schütteln und Hin- und Herrollen des Schrots fort, bis die Warmheit 2 bis  $3^{\circ}$  C unter der Zimmerwärme liegt. Lies diese Wärmestufe ( $t_1^{\circ}$  C) unter Abschätzung der Zehntelgrade sorgfältig ab.

e) Ersetze nun schnell den Kork C durch den Kork A, fasse mit beiden Händen die Röhre in der Mitte, stelle sie lotrecht mit dem Ende B auf den Tisch, drehe sie rasch um die wagerechte Achse

um  $180^\circ$ , setze sie ohne allzu plötzliches Anhalten, ohne Senken und ohne Stoß auf den Tisch und halte sie in dieser lotrechten Stellung, bis alles Schrot auf den Kork  $A$  frei gefallen ist. Kehre so die Röhre hundertmal rasch hintereinander um.

f) Ersetze nach der hundertsten Umdrehung den Kork  $A$  durch den Kork  $C$ . Neige allmählich die Röhre, bis alles Schrot hinabgerollt ist und die Thermometerkugel vollständig umgibt. Lege die Röhre in dieser schrägen Stellung auf die Tischkante, drehe sie langsam und lies wiederum unter Abschätzung der Zehntelgrade den höchsten Stand ( $t_2^\circ \text{C}$ ) ab, den das Thermometer während der nächsten Minuten erreicht.

g) Nimm den Kork  $C$  ab, miß den Abstand ( $h_1 \text{ cm}$ ) der obren Schrotfläche von dem obren Rande der Röhre und den Abstand ( $h_2 \text{ cm}$ ) der untern Fläche des Korks  $A$  von jenem Rand und berechne daraus die mittlere Höhe, die das Schrot bei jeder Umkehrung durchfallen hat,  $h = h_1 - h_2$ .

h) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Röhre Nr. . . .	Thermometer Nr. . . .	Zimmerwärme . . . $^\circ \text{C}$ .
Anfangswarmheit des Schrots		$t_1 = \dots^\circ \text{C}$ .
Endwarmheit des Schrots		$t_2 = \dots^\circ \text{C}$ .
Abstand der Schrotoberfläche von dem obren Rande der Röhre		$h_1 = \dots [\text{cm}]$ .
Dicke des Korks $A$		$d = \dots [\text{cm}]$ .
Abstand der obren Fläche des Korks $A$ von dem Rande der Röhre		$a = \dots [\text{cm}]$ .
Abstand der untern Fläche des Korks $A$ von dem Rande der Röhre		$h_2 = d - a = \dots [\text{cm}]$ .
Fallhöhe des Schrots		$h = h_1 - h_2 = \dots [\text{cm}]$ .
Anzahl der Umkehrungen		$z = \dots$ .

i) Warum gleiten die Schrotkörner während der Drehung nicht an der Wand der Röhre abwärts? Warum kommen sie zur Ruhe, sobald sie den untern Kork erreichen? Welche positive Arbeit leistet das Schrot, dessen Masse  $m \text{ gr}$  ist, wenn es die Höhe  $h \text{ cm}$  herabfällt? Welche Wucht müßte das Schrot nach  $z$  Umkehrungen besitzen? In was verwandelt sich die Wucht des Schrots?

k) Um wieviel Grad haben sich die  $m \text{ gr}$  Schrot erwärmt? Welche Wärmemenge ist dazu erforderlich, wenn das Schrot die spezifische Wärme  $c = 0,0315$  hat? Der Preßspan und die Korke sind schlechte Wärmeleiter, man darf mithin annehmen, daß sie nur sehr wenig Wärme aufnehmen.

l) Es hat sich also bei dem Versuch die Wucht  $z m g h \text{ Erg}$  in  $cm (t_2 - t_1)$  grkal verwandelt, die  $\mathfrak{J} cm (t_2 - t_1)$  Erg entsprechen, wo  $\mathfrak{J}$  den in Erg/grkal gemessenen Arbeitswert der  $15^\circ$ -Grammkalorie bezeichnet. Es ist also

$$\mathfrak{J} cm (t_2 - t_1) = z m g h,$$

mithin

$$\mathfrak{J} = \frac{z g h}{c (t_2 - t_1)}.$$

m) Berechne aus den Messungen den Arbeitswert (das mechanische Äquivalent) der Grammkalorie.

**Bemerkungen.** Die WHITINGSche Röhre stellt man her, indem man schlecht leitendes dickes braunes Packpapier auf einer Seite mit Leim bestreicht und um eine runde Holzwalze von 1 m Länge und etwa 5 bis 7 cm Durchmesser so oft wickelt, daß eine Röhre von  $\sim 0,4$  cm Wandstärke entsteht. Besser ist es, die Röhre aus Preßspan herstellen zu lassen.

Nach dem Verfahren von WHITING erhält man Ergebnisse mit einem Fehler bis zu 5 v. H. Mißt man wie in der Anleitung nach den Vorschlägen von MILLIKAN die Wärmestufen des Schrots, so wird der Fehler nur etwa halb so groß. Doch weichen die Einzelergebnisse oft weit voneinander ab. Wendet man, wie es ROBSON 154 Nr. 94 tut, den RUMFORDschen Kunstgriff der Abkühlung nicht an, so erhält man erheblich schlechtere Ergebnisse. VIOLLE (ABRAHAM 1, 212 Nr. 60) läßt  $\sim 1$  kg Quecksilber in einer Glasröhre von 1 m Länge, 3 cm lichter Weite und 0,2 cm Wandstärke fallen. In dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut erhielten wir nach diesem Verfahren noch schlechtere Ergebnisse als nach dem ROBSONschen, außerdem sprangen einige Zeit nach den Versuchen die Enden der Röhre in Ringen ab. EBERT (*Lehrb. d. Physik 1, 479*) umkleidet die Pappöhre außen mit Blattsinn und versieht sie zum Anfassen mit zwei Watteumwicklungen. Er verwendet Holzdeckel, wovon der eine fest eingeleimt ist, und hält beide durch eine darüber gelegte und in Riefen eingreifende Schnur fest. Er benutzt 3 kg Schrot.

Der Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen (AEF) schlägt für das mechanische Wärmeäquivalent die treffende Verdeutschung Arbeitswert vor. Die wahrscheinlichste Größe des Arbeitswerts der 15<sup>0</sup>-Grammkalorie ist  $4,188 \cdot 10^7$  Erg und die Konstante des JOULESchen Gesetzes 0,2387. *Ber. d. Deutsch. Phys. Gesellsch. 6, 584; 1908.*

---



b) Errichte mit den Dreiecken in  $E$  das Lot  $EL$  auf  $g$ . *Einfalls-  
lot (Spiegellot)*. *Einfallswinkel*  $AE L = \alpha$ , *Ausfallswinkel*  $DE L = \beta$ .  
Miß die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$ , trage die gefundenen Werte in die Zeichnung  
und in die folgende Tafel ein und berechne  $\alpha - \beta$  unter Beach-  
tung des Vorzeichens.

Spiegel Nr. . . .

$\alpha$	$\beta$	$\alpha - \beta$	$FG$ cm	$HG$ cm	$FG - HG$ cm
	Mittel	. . . . .		Mittel	. . . . .

c) Wiederhole den Versuch dreimal und wähle jedesmal einen  
andern Einfallswinkel. Bilde das Mittel der Unterschiede  $\alpha - \beta$ .  
Welche Beziehung besteht zwischen  $\alpha$  und  $\beta$ ?

d) Schläge um  $E$  mit einem Halbmesser von 10 cm Länge einen  
Bogen, der  $AE$ ,  $EL$  und  $ED$  in den Punkten  $F$ ,  $G$  und  $H$  schneidet.  
Miß mit dem Millimetermaßstab die Strecken  $FG$  und  $HG$ , trage  
die Werte in die Zeichnung und in die Tafel ein, berechne  $FG - HG$   
unter Beachtung des Vorzeichens und bilde aus diesen Unterschieden  
das Mittel. Welche Beziehung besteht zwischen  $FG$  und  $HG$  und  
demnach zwischen  $\alpha$  und  $\beta$ ?

**Bemerkungen.** Der ebene Spiegel, ein Planglasstreifen (14 cm  $\times$   
2,5 cm  $\times$  0,25 cm), ist auf der Vorderseite versilbert, poliert, mit  
Zaponlack überzogen (oder weniger gut auf der Rückseite mit matt-  
schwarzem Firnis überstrichen) und auf einen rechteckigen Ankerbaustein  
mit der Rückseite so gekittet, daß der Spiegel genau senkrecht steht  
(Fig. 169). Holzstäbe mit Befestigungsspitzen haben sich nicht bewährt.

Es hat sich herausgestellt, daß weniger die Ungenauigkeit des Ver-  
fahrens als die Fehler der benutzten Winkelmesser aus Karton und der  
Dreiecke Abweichungen in den Werten von  $\alpha$   
und  $\beta$  hervorrufen. Man kann die unmittel-  
bare Winkelmessung bei (b) umgehen und  
nach der Errichtung des Einfallslots wie bei  
(d) verfahren.



Fig. 169.

Die Nadeln  $B$  und  $C$  kann man entbehren,  
wenn man dicht vor dem Spiegel bei  $E$  eine  
Insektennadel in die Gerade  $g$  einsteckt.

Man kann aber auch noch die Nadeln  $A$  und  $D$  weglassen und den  
einfallenden und den ausfallenden Strahl auf folgende Weise zeichnen:  
Man legt den Maßstab so auf das Papier, daß die eine Kante genau nach  
der Nadel  $E$  weist, zieht längs dieser Kante mit dem Blei einen Strich  
( $AE$ ), gibt dann dem Maßstab eine solche Stellung ( $CD$ ), daß die Nadel  $E$ ,  
wenn man längs seiner beleuchteten Kante nach ihr hinblickt, das Spiegel-  
bild des Strichs  $AE$  verdeckt, und zeichnet mit dem Blei längs der Kante  
den Strich  $CD$ . Selbst die Nadel  $E$  ist entbehrlich.

Man achte darauf, daß die Schüler stets mit spitzen harten Blei-  
stiften arbeiten.

**2. Aufgabe.** *Wie weit stehen Gegenstand und Bild vom Spiegel  
ab? Wie groß ist der Winkel, den die Verbindungsgeraden von ent-*

sprechenden Punkten des Gegenstandes und des Bildes mit dem Spiegel bilden?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**1. Verfahren.**

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 1, dazu große Stecknadeln.

**Anleitung. a)** Erläuterung des „Abweichungsverfahrens“ mit einem Bunsen-  
gestell, dem Fenster und einem Gegenstand davor oder mit zwei Lichtern  
und Herleitung des Satzes: Faßt ein Beobachter von zwei hintereinander  
stehenden Gegenständen den vordern ins Auge, so wandert der entferntere  
Gegenstand scheinbar in gleicher  
Richtung wie das bewegte Auge.

**b)** Befestige auf dem Reiß-  
brett einen Bogen, zieh darauf  
die Gerade  $g$  und setze den  
Spiegel so auf, daß die untere  
Kante der spiegelnden Vorder-  
fläche genau mit  $g$  zusammen-  
fällt (Fig. 170). Stecke die Nadel  
 $A$  vor dem Spiegel in 5 bis 10 cm  
Abstand in das Papier.

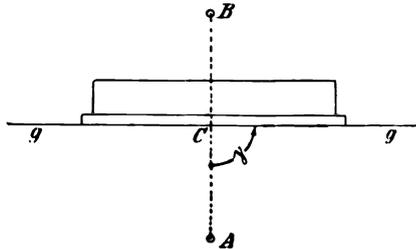


Fig. 170.

**c)** Sieh mit einem Auge nahezu senkrecht auf den Spiegel,  
halte dabei das Auge so hoch, daß du nur den untern Teil des  
Spiegelbildes von  $A$  erblickst, und stecke hinter dem Spiegel eine  
Nadel  $B$  so in das Papier, daß ihr oberer Teil die Verlängerung des  
Bildes von  $A$  bildet. Bewege das Auge so weit nach rechts oder  
links, als es der Spiegel gestattet. Scheint bei allen Stellungen des  
Auges die Nadel  $B$  die Fortsetzung des Bildes von  $A$  zu sein, so  
fällt die Nadel  $B$  mit dem Bilde von  $A$  genau zusammen. Be-  
wegt sich aber die Nadel  $B$  mit dem Auge, so liegt sie zu weit  
vom Spiegel ab, und man muß sie ein wenig näher stecken; bewegt  
sie sich jedoch entgegengesetzt wie das Auge, so muß man sie  
etwas weiter vom Spiegel entfernen. Nach wenigen Versuchen findet  
man den Ort der Nadel  $B$ , wo sie sich für jede Stellung des Auges  
mit dem Bilde von  $A$  deckt. Umringle die Stiche von  $A$  und  $B$   
und nimm den Spiegel weg. Ist  $B$  ein *wirkliches Bild* oder ein  
*Scheinbild* der Nadel?

**d)** Verbinde  $A$  mit  $B$  und miß die Entfernungen  $AC$  und  $BC$ ,  
trage sie in die Zeichnung und in die folgende Tafel ein und be-  
rechne unter Berücksichtigung des Vorzeichens  $AC - BC$ .

Spiegel Nr. . . .

$AC$ cm	$BC$ cm	$AC - BC$ cm	$\gamma$
	Mittel	. . . . .	. . . . .

e) Wiederhole den Versuch dreimal und ändere jedesmal den Ort von  $A$ . Bilde aus den Unterschieden  $AC - BC$  das Mittel. Welche Beziehung besteht zwischen  $AC$  und  $BC$ ?

f) Miß mit dem Winkelmesser in den soeben hergestellten Zeichnungen den Winkel ( $\gamma$ ) zwischen der Linie  $AB$  und der spiegelnden Ebene  $g$  und trage die Werte in die Zeichnungen und in die voranstehende Tafel ein. Bilde aus den Werten  $\gamma$  das Mittel und prüfe durch Anlegen des Dreiecks das Ergebnis.

## 2. Verfahren.

**Literatur.** SCHUSTER-LEES, *Intermed. Course 115 Nr. 22.*

**Geräte.** Wie beim 1. Verfahren.

**Anleitung.** g) Verfahre wie bei (b).

h) Schließe das eine Auge und stecke nahe beim Spiegel die Nadel  $D_1$  (Fig. 171) und  $\sim 12$  cm weit davon entfernt die Nadel  $E_1$ , so in das Reißbrett, daß für das offene Auge, das  $\sim 20$  cm hinter  $E_1$  steht, die Spitzen von  $D_1$ ,  $E_1$  und von dem Bilde der Nadel  $A_1$  zu-

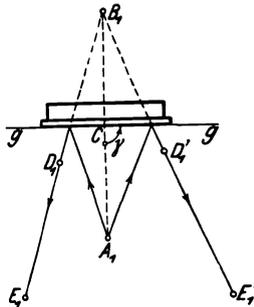


Fig. 171.

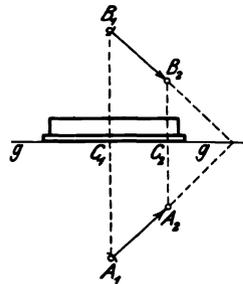


Fig. 172.

sammenfallen. Umringle die Nadelstiche und schreibe die Buchstaben daran.

i) Gib dem Auge zwei andere Stellungen und wiederhole jedesmal den Versuch.

k) Nimm den Spiegel weg und ziehe die Geraden  $D_1E_1$ ,  $D_1'E_1'$  und  $D_1''E_1''$ . Wo schneiden sie sich? Lag im Schnittpunkt ein *wirkliches Bild* oder ein *Scheinbild*?

l) Verbinde den Schnittpunkt  $B_1$  mit  $A_1$  und verfahre wie bei (d) und (f).

m) Setze den Spiegel wieder genau an seine frühere Stelle und stecke bei  $A_1$  und  $B_1$  Nadeln ein und prüfe, ob sich  $B_1$  mit dem Scheinbild von  $A_1$  deckt.

n) Zieh durch  $A_1$  (Fig. 172) einen Pfeil  $A_1A_2$  von  $\sim 5$  cm Länge, der mit  $g$  einen Winkel von  $\sim 60^\circ$  bildet, und wiederhole

mit der Nadel, die bei  $A_2$  in das Reißbrett gesteckt wird, die Versuche (h) bis (m).

o) Miß die Längen  $A_1A_2$  und  $B_1B_2$  und trage die Werte in die Zeichnung ein. Wie verhält sich die Größe des Gegenstandes  $A_1A_2$  zur Größe des Scheinbildes  $B_1B_2$ ? Wo schneiden sich die Verlängerungen der Strecken  $A_1A_2$  und  $B_1B_2$ ? Betrachte vom Schnittpunkt aus die beiden Pfeile. Sind die Pfeilrichtungen gleich? Miß die Winkel, die die Pfeile mit der Geraden  $g$  bilden.

**Bemerkungen.** Die Richtung der Sehlinien nach dem Scheinbild von  $A$  kann man statt durch die beiden Nadeln  $D$  und  $E$  durch die Kante des Maßstabes festlegen. Man sieht die Kante entlang und legt den Maßstab so, daß das Bild  $B$  genau in der Verlängerung der Kante liegt. Das eine Ende des Maßstabes soll dabei nahe beim Spiegel liegen. Man halte beim Ausrichten das Auge  $\sim 20$  bis  $25$  cm von dem hintern Ende des Maßstabes entfernt. Ist der Maßstab ausgerichtet, so zieht man mit einem spitzen harten Bleistift einen Strich die Sehlinie entlang.

## II. Brechung in einer Ebene.

**3. Aufgabe.** *Wie ändert ein Lichtstrahl seine Richtung beim Übergang aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes?*

### 1. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** GLAZEBROOK 58 Nr. 10. WILBERFORCE-FITZPATRICK 2, 28 Nr. 2.

<b>Geräte.</b>	Planparallele Glasplatte. Vollständige Zeichenausrüstung (vgl. S. 60). Sehr dünne Insektennadeln.	Stecknadeln. Millimeterpapier. Putzleder.
----------------	---	---

**Anleitung.** a) Hefte den Bogen auf das Reißbrett, zeichne auf dem Papier die Gerade  $g$  und setze die Glasplatte so auf, daß die untere Kante der dem Auge zugewandten polierten Fläche genau mit  $g$  zusammenfällt (Fig. 173). *Diese Seite ist die brechende Ebene.* Stecke eine dünne Insektennadel  $B$  lotrecht so in das Papier, daß sie die Hinterseite des Glases berührt, und eine andere dünne Insektennadel  $E$  so, daß sie die brechende Ebene berührt, und die Strecke  $BE$  schief zu  $g$  steht. Sieh aus  $\sim 30$  cm Entfernung mit einem Auge in solcher Richtung durch das Glas, daß  $E$  das Bild von  $B$  bedeckt, und stecke eine gewöhnliche Nadel  $A$  10 bis 12 cm von  $E$  entfernt so ein, daß sie mit  $B$  und  $E$  scheinbar in einer Ebene liegt. Blicke in der Richtung  $BE$  durch die Glasplatte und prüfe, ob die Nadeln  $A$ ,  $E$  und  $B$  scheinbar in einer Ebene liegen. *Gesetz der Umkehrbarkeit.* Umringle die Stiche, entferne Glas und Nadeln und zieh mit einem spitzen Blei  $AE$  und  $BE$ . Errichte in  $E$  das Lot  $GF$  auf  $g$ . *Einfallsstrahl  $AE$ , Einfallspunkt  $E$ , gebrochener*

Strahl  $EB$ , Einfallslot  $GF$ , Einfallswinkel  $AEF = \alpha$ , Brechungswinkel  $BEG = \beta$ .

b) Schlage um  $E$  mit dem Halbmesser von 10 cm einen Kreis, der  $AE$  und  $EB$  in  $C$  und  $D$  schneidet. Fälle von  $C$  und  $D$  die Lote  $CF$  und  $DG$  auf  $GF$ . Miß die Strecken  $CF$ ,  $DG$  und  $ED$ , trage die

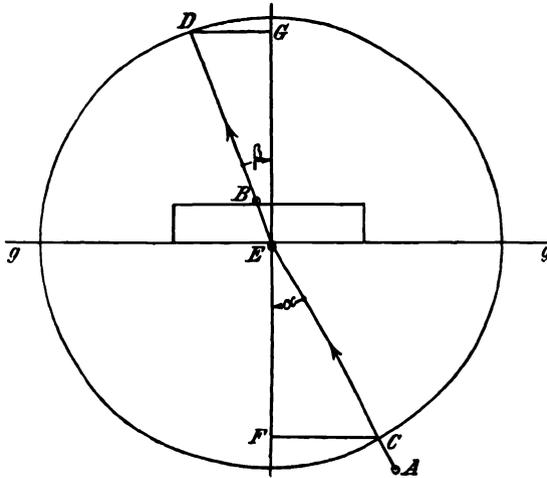


Fig. 173.

Ergebnisse in die Zeichnung und in die folgende Tafel ein und berechne die Neigungen der Strahlen gegen das Einfallslot,  $\sin \alpha = CF/EC$ ,  $\sin \beta = DG/ED$ , und deren Verhaltnis  $CF/DG$ .

Glasplatte Nr. . . .

$CF$ cm	$DG$ cm	$ED$ cm	$\sin \alpha = CF/EC$	$\sin \beta = DG/ED$	$CF/DG$
Mittel					. . . . .

c) Wiederhole den Versuch fünfmal und ändere jedesmal den Einfallswinkel, wähle dabei jedoch die Punkte  $B$  und  $E$  so, daß der Winkel  $\alpha$  niemals größer als  $45^\circ$  wird.

d) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei  $x = \sin \alpha$  und  $y = \sin \beta$ . Welche Kurve entsteht? Welche geometrische Bedeutung hat  $CF/DG$ ? Welchen größten Wert kann  $\sin \alpha$  annehmen? Entnimm der bildlichen Darstellung den größten Wert, den  $\sin \beta$  erreichen kann, und schlage den zugehörigen Winkel  $\beta$  auf. Grenzwinkel.

e) Stimmen die Werte von  $CF/DG$  überein? Berechne den Mittelwert. *Brechungsverhältnis* ( $\nu$ ) *des benutzten Glases.*

f) Leite aus der Zeichnung eine Beziehung zwischen  $\nu = CF/DG$ ,  $\alpha$  und  $\beta$  ab.

**2. Verfahren.**

**Literatur.** CLAY 5 Nr. 2.

**Geräte.** Wie beim 1. Verfahren, doch als planparallele Glasplatte eine Glasscheibe mit polierten Seiten, wie sie die Photographen zum Beschneiden der Bilder benutzen.

**Anleitung.** g) Hefte den Zeichenbogen auf das Reißbrett und zeichne auf das Papier das Achsenkreuz  $g, h$  (Fig. 174), lege die Glasplatte so auf die breite Seite, daß die untern Kanten  $AB$  und  $AC$  genau mit den Achsen  $g$  und  $h$  zusammenfallen. Bezeichne sorgfältig mit einem Nadelstich die Lage der Ecke  $C$ . Stecke bei  $D$  eine Nadel lotrecht in die Gerade  $g$  und sieh mit einem Auge durch die vordere Glasfläche so nach der Kante  $C$ , daß die Nadel  $D$  diese bedeckt. Stecke ohne die Sehrichtung zu ändern, dicht neben der Fläche  $AC$  eine längere Nadel  $E$  lotrecht so in das Reißbrett, daß ihr oberer Teil scheinbar die Verlängerung der Kante  $C$  bildet.

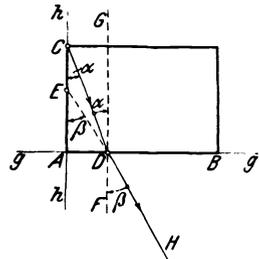


Fig. 174.

h) Umringle die Stiche  $C, D$  und  $E$ , nimm Glasplatte und Nadeln weg, zieh  $DC$  und  $DE$  und errichte in  $D$  das Lot  $FG$  auf  $g$ . *Einfallsstrahl*  $CD$ , *Einfallspunkt*  $D$ , *gebrochener Strahl*  $DH$ , *Einfallslot*  $FG$ , *Einfallswinkel*  $CDG = \alpha$ , *Brechungswinkel*  $HDF = \beta$ .

i) Miß die Längen  $AD, CD$  und  $ED$ , trage die Ergebnisse in die Zeichnung und in die folgende Tafel ein und berechne  $AD/CD, AD/ED$  und  $ED/CD$ .

Glasplatte Nr. . . .

$CD$ cm	$ED$ cm	$AD$ cm	$\sin \alpha = AD/CD$	$\sin \beta = AD/ED$	$ED/CD$
Mittel					. . . . .

k) Gib der Nadel  $D$  verschiedene Stellungen und wiederhole den Versuch fünfmal.

l) Verfahre wie bei (d) bis (f), doch ist hier der größte Wert zu bestimmen, den  $\alpha$  annimmt, wenn  $\sin \beta = 1$  wird, ferner zu untersuchen, ob sich die Werte des Verhältnisses  $ED/CD$  nicht ändern und wie dieses mit  $\alpha$  und  $\beta$  verbunden ist. Welche Beziehung besteht zwischen dem hier und dem in (e) bestimmten Brechungsverhältnis?

3. Verfahren.

Literatur. MILLIKAN-GALE 114 Nr. 43.

Geräte. Wie beim 1. Verfahren, doch statt der Glasplatte ein Prisma a.

Anleitung. m) Hefte den Zeichenbogen auf das Reißbrett und ziehe die Gerade  $g$ . Stelle das Prisma  $ABC$  (Fig. 175) mit der Fläche  $BC$  genau über  $g$  und bezeichne sorgfältig durch einen Nadelstich den Ort von  $A$ . Lege den Maßstab auf das Papier, sieh mit einem Auge von  $D$  aus längs seiner Kante  $m$  durch die Prismenfläche  $BC$  hindurch nach der Kante  $A$ . Drehe den Maßstab so, daß  $A$  scheinbar auf der Verlängerung der Maßstabkante liegt und ziehe mit einem spitzen harten Blei längs  $m$  einen Strich. Bewege das Auge nach der Stelle  $D'$ , die ungefähr ebensoweit rechts von der Halbierungsebene des brechenden Winkels liegt, wie  $D$  links davon, bringe den Maßstab in eine solche Lage, daß  $A$  scheinbar auf der Verlängerung der Maßstabkante  $m'$  liegt und zieh längs  $m'$  einen Bleistrich.

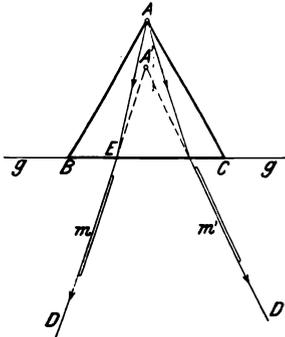


Fig. 175.

n) Entferne das Prisma und verlängere mit einem Zeichen-dreieck die Strecken  $m$  und  $m'$  bis zu ihrem Schnittpunkt  $A'$ .

o) Einfache Betrachtungen zeigen, daß sich die Fortpflan-zungsgeschwindigkeit des Lichts in Luft zu der in Glas wie  $AE:A'E$  verhält.

p) Miß sorgfältig die Strecken  $AE$  und  $A'E$  und berechne das Brechungsverhältnis des Glases,  $\nu = AE/A'E$ .

q) Wiederhole den Versuch mehrmals unter Benutzung ver-schiedener Stellungen des Auges.

r) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Prisma Nr. . . .

$AE$ cm	$A'E$ cm	$\nu = AE/A'E$
Mittel		. . . . .

Bemerkungen. In der *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 17, 77 Nr. 2; 1904 habe ich aus Versehen das erste Verfahren GILLEY zugeschrieben. Dessen *Principles of Physics* sind aber erst 1901 erschienen, während GLAZEBOOK in der 1895 erschienenen zweiten Auflage (die erste steht mir nicht zur Verfügung) seines Buchs über Licht den Versuch bereits veröffentlicht hat. Am Dorotheenstädtischen Realgymnasium wurde der Versuch zuerst am 16. Juni 1900 nach den Angaben von GLAZEBOOK ausgeführt.

Für die beiden ersten Verfahren eignen sich am besten die Ideal-Insektennadeln Nr. 3 (Ernst A. Böttcher, Berlin C 2, Brüderstr. 15). Da es schwierig ist, die Insektennadeln in dem Punkt  $B$  (Fig. 173) gut einzustecken, so empfiehlt es sich, auf der Fläche bei  $B$  mit schwarzer oder roter Tinte einen lotrechten Strich zu ziehen oder einen Streifen Papier mit etwas Klebwachs so darauf zu befestigen, daß der gerade Rand auf dem Zeichenbogen senkrecht steht. Man darf dann nicht vergessen, den Fußpunkt  $B$  dieses lotrechten Strichs oder Randes auf dem Zeichenbogen durch einen Nadelstich festzulegen.

Man verwendet planparallele Gläser von  $10\text{ cm} \times 7,5\text{ cm} \times 2,5\text{ cm}$  oder von  $7\text{ cm} \times 7\text{ cm} \times 0,6\text{ cm}$  oder  $4\text{ cm} \times 3,5\text{ cm} \times 2,7\text{ cm}$  Größe, deren schmale Seiten gut geschliffen und poliert sind.

Benutzt man so niedrige und breite Platten, daß der Kopf der Nadel  $B$  darüber hinausragt, so verdeckt man den obern Teil von  $B$  durch einen Holzklötz oder dergleichen.

Beim dritten Verfahren muß man große Prismen verwenden.

#### 4. Aufgabe. Wie groß ist der Grenzwinkel für Glas?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** MILLIKAN-GALE 116 Nr. 44.

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 3, Verfahren 1, S. 259, doch statt der Glasplatte ein großes Flintglasprisma mit drei polierten Flächen.

**Anleitung.** a) Setze vor ein Fenster  $f$  (Fig. 176), durch das man den Himmel sehen kann, oder vor eine Mattglasscheibe, hinter der eine weiße Lichtquelle aufgestellt ist, das Prisma  $ABC$ , auf dessen Fläche  $AB$  in der Mitte  $E$  mit Tinte ein lotrechter feiner Strich gezogen ist, umfahre mit einem spitzen Bleistift den Umriss des Prismas und bezeichne mit einem Nadelstich den Fußpunkt des Strichs  $E$ .

b) Bringe an die Stelle  $D$  das Auge und betrachte das Bild des Himmels oder der Mattscheibe, das von der Prismafäche  $AB$  zurückgeworfen wird. Eine bläulich-grüne Linie teilt  $AB$  in zwei Gebiete von deutlich verschiedener Helligkeit. Der rechte Teil ist heller als der linke.

Sieht man die Trennungslinie nicht, so erscheint sie, wenn man das Auge nach rechts oder links bewegt. Ändere die Stellung des Auges, bis der grüne Rand der Grenzlinie genau mit dem Strich  $E$  zusammenfällt.

c) Die Lichtstrahlen, die die verschiedenen Teile von  $AB$  in das Auge zurückwerfen, haben einen um so größern Einfallswinkel, je weiter rechts von  $A$  sie liegen. Ist dieser Winkel, wie auf dem Gebiet  $EB$ , dem Grenzwinkel gleich oder größer, so wird alles Licht zurückgeworfen. Ist der Winkel, wie auf dem Gebiet  $AE$ , kleiner als der Grenzwinkel, so wird das Licht teils zurückgeworfen, teils

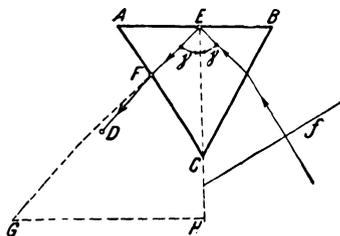


Fig. 176.

durchgelassen. Die blaugrüne Linie, die das Feld in zwei Gebiete von ungleicher Helligkeit zerlegt, ist die Grenze, wo die völlige Spiegelung beginnt, also der Einfallswinkel gleich dem Grenzwinkel für Glas ist.

d) Lege den Maßstab so auf das Papier, daß seine Kante die Sehrichtung ( $DF$ ) für den Fall festlegt, wo der grüne Rand mit dem Strich bei  $E$  zusammenfällt, und bezeichne durch einen Bleistiftstrich die Sehrichtung. Entferne das Prisma und verlängere den Bleistrich, bis er in dem Punkt  $F$  die Prismenseite  $AC$  schneidet. Verbinde  $F$  mit  $E$  und errichte in  $E$  das Lot auf  $AB$  und miß mit dem Winkelmesser den Grenzwinkel  $\gamma$ .

e) Verlängere den Strahl  $EF$  und das Lot in  $E$  und mache dieses 15 bis 30 cm lang. Ziehe  $GH$  parallel zu  $AB$  und berechne das Verhältnis  $HG/EG$ . Wem ist der erhaltene Wert gleich?

f) Wiederhole die Einstellungen und Messungen mehrmals.

**Bemerkung.** Ein anderes Verfahren findet man bei GILLEY 288 Nr. 42. Mit Flintglas geht der Versuch besser wie mit Kronglas.

**5. Aufgabe.** *Andert ein Lichtstrahl, der durch eine planparallele Glasplatte geht, seine Lage und Richtung?*

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Literatur.** GLAZEBROOK 70 Nr. 44. WILBERFORCE-FITZPATRICK 2, 30 Nr. 4.

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 3 mit Ausnahme des Zirkels.

**Anleitung.** a) Hefte den Bogen auf das Reißbrett, stelle die Glasplatte mit einer mattgeschliffenen Seite auf das Papier und ziehe mit einem spitzen Blei je einen Strich längs der vordern und der hinteren Grundkante (Fig. 177). Stecke zwei Nadeln  $A$  und  $B$  in möglichst großem Abstand voneinander hinter der Platte lotrecht so ein, daß die Gerade, die ihre Spitzen verbindet, die hintere Fläche schräg (unter  $45^\circ$ ) trifft. Sieh durch das Glas und stecke zwei weitere Nadeln  $C$  und  $D$ , die eine nahe an der Vorderfläche, die andere weit davon entfernt, so ein, daß sie scheinbar mit  $A$  und  $B$  in einer Ebene liegen. Umringle die Nadelstiche und entferne Platte und Nadeln.

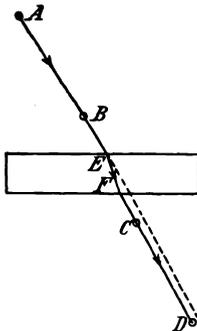


Fig. 177.

b) Zieh durch  $A$  und  $B$  und durch  $C$  und  $D$  je eine Gerade. Hat sich die Richtung des Strahls beim Durchgang durch die planparallele Platte geändert? Miß die lotrechten Entfernungen zwischen den Geraden  $AB$  und  $CD$  an zwei entfernten Stellen oder prüfe mit zwei Dreiecken, ob der eintretende und der austretende Strahl gleich laufen. Zeichne den Weg  $EF$ , den der Strahl in dem Glas durchlaufen hat.

c) Mache mindestens fünf Versuche und benutze dabei stets

andere Einfallswinkel. Miß jedesmal den lotrechten Abstand zwischen dem eintretenden und dem austretenden Strahl.

d) Wächst die Verschiebung des austretenden Strahls mit dem Einfallswinkel? Trage die Einfallswinkel als Abszissen und die zugehörigen Verschiebungen als Ordinaten auf Millimeterpapier ab und verbinde die so festgelegten Punkte.

**Bemerkungen.** Sind die breiten Seiten der planparallelen Platten nicht matt geschliffen, so kann man auch die Abhängigkeit der Verschiebung von der Dicke der Glasplatte untersuchen.

Man kann nach MILLIKAN-GALE (126 Nr. 50) die Versuche auch ohne planparallele Platte ausführen und diese aus zwei Prismen zusammensetzen (Fig. 178), ferner die Richtungen des eintretenden und des aus-

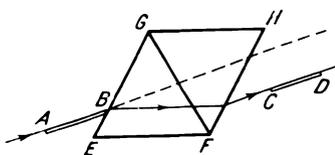


Fig. 178.

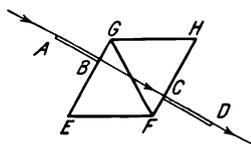
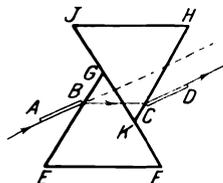


Fig. 179.

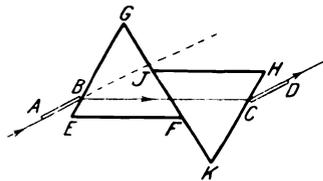


Fig. 180.

tretenden Strahls statt mit Nadeln durch Zielen längs einer Maßstabkante festlegen. Verschiebt man das eine Prisma längs der Berührungsebene, so kann man die Dicke der planparallelen Platte ändern (Fig. 180).

Wenn man die Maßstabkante senkrecht auf die Fläche EG (Fig. 179) stellt, daran entlang den Strich AB zieht und nun in der Richtung DC blickt, so sieht man jenen Strich nicht. Bringt man nun in die Fuge zwischen den aneinanderliegenden Flächen einen Tropfen Wasser, so sieht man AB.

**6. Aufgabe.** Wo liegt das Bild eines Gegenstandes, den man durch eine Glasplatte betrachtet?

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 3, Verfahren 1.

### 1. Verfahren.

**Literatur.** GLAZEBROOK 78 Nr. 15.

**Anleitung.** a) Lege die Glasplatte flach auf ein bedrucktes Blatt. Sieh von einem Punkt über der Platte auf das Gedruckte. Hat der Teil der Schrift, der unter dem Glas liegt, seine Lage scheinbar geändert? Ist das noch der Fall, wenn man die Platte vom Papier emporhebt und zwischen das Papier und das Auge hält? Erkläre diese

Erscheinung durch eine Skizze des Strahlenbündels, das, von einem Punkt des Papiers ausgesandt, durch die Platte geht und ins Auge eintritt.

b) Bringe auf der einen lotrechten Fläche der Glasplatte eine Marke (Dreieck aus gummiertem Papier oder Siegellacktropfen) an. Diese Marke  $E$  (Fig. 181) soll ungefähr in Stecknadelhöhe über der Kante  $D$  liegen.  $ABCD$  ist ein lotrechter Schnitt durch die Glasplatte.

c) Stecke eine Nadel  $FG$  so in das Reißbrett, daß der Kopf  $G$  ebenso hoch über dem Brett liegt wie die Marke  $E$  und beleuchte sie, wenn nötig, mit einem seitlich aufgestellten Licht. Bringe das Auge  $H$  hinter die Nadel  $FG$ , halt es ein wenig über den Nadelkopf  $G$  und blicke senkrecht durch das Glas nach der Marke  $E$ . Man sieht außer dem Bild  $J$  der Marke auch noch das Bild des Nadelkopfs  $G$ , der sich an der Vorderfläche der Platte spiegelt.

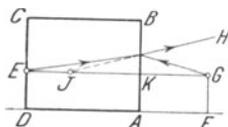


Fig. 181.

d) Schiebe die Glasplatte nach vorn oder hinten, bis das Bild der Marke und das Spiegelbild der Nadel in  $J$  zusammenfallen. Bewege den Kopf ein wenig nach rechts und links und prüfe nach dem Ablenkungsverfahren, ob sich beide Bilder decken.

e) Da in  $J$  das Spiegelbild von  $G$  und zugleich das Bild von  $E$  liegt, so bestehen bei kleinem Einfallswinkel die beiden Beziehungen

$$KJ = KG \text{ und } KE = \nu \cdot KJ,$$

mithin ist

$$\nu = \frac{KE}{KJ} = \frac{KE}{KG} = \frac{AD}{AF}.$$

f) Miß die Entfernungen  $AD$  und  $AF$  und berechne das Brechungsverhältnis  $\nu$ . Kennt man  $\nu$ , so bestätigt der Versuch die Beziehung  $KE = \nu \cdot KJ$ . Ist die Richtigkeit der Formel bereits bewiesen, so gestattet der Versuch, das Brechungsverhältnis zu bestimmen.

## 2. Verfahren.

**Literatur.** CLAY 13 Nr. 4.

**Anleitung.** g) Stecke wie in Aufgabe 5 den Weg des Lichtstrahls  $ABCD$  ab (Fig. 182).

h) Verschiebe die Nadel  $B$  nach einer ganz nahe gelegenen Stelle  $B'$  und stecke dann auf die gleiche Weise die Richtung des Lichtstrahls  $C'D'$  ab, der aus der planparallelen Platte austritt.

i) Verlängere  $C'D'$  rückwärts bis zum Schnittpunkt  $A'$  mit  $CD$ .  $A'$  ist das Scheinbild von  $A$ .

k) Lege die Platte an den alten Ort, stecke in die Löcher  $A$  und  $A'$  wieder die Nadeln ein und prüfe nach dem Abweichungsverfahren, ob sich die Nadel  $A'$ , die über die Prismenfläche hinausragen muß, mit dem Scheinbild von  $A$  deckt.

l) Zieh  $AA'$  und miß den Winkel, den diese Gerade mit den parallelen Glasflächen bildet, die beim Versuch benutzt worden sind.

m) Mache mit Tinte auf einer Fläche der Glasplatte einen Strich  $A$  parallel zu einer Kante (Fig. 183). Zieh auf dem Zeichenbogen die Gerade  $g$  und lege die Platte so an den Strich, daß die Marke  $A$  lotrecht auf dem Papier und die zur Marke parallele Glasfläche genau über  $g$  steht.

n) Sieh durch die Glasplatte nach der Marke und stecke zwei Nadeln  $B_1$  und  $C_1$ , die eine dicht an der Vorderfläche und die andere  $\sim 10$  cm davon entfernt, lotrecht so ins Reißbrett, daß sie scheinbar mit der Marke in einer Ebene liegen. Bezeichne die Nadelstiche.

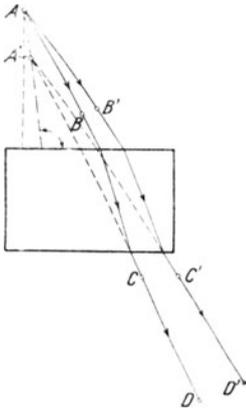


Fig. 182.

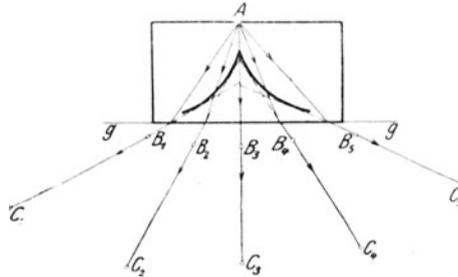


Fig. 183.

o) Ändere die Stellung des Auges, stecke nacheinander eine ganze Reihe von Nadelpaaren  $B, C$ , ein und bezeichne ihre Stiche.

p) Entferne die Platte und die Nadeln und zieh durch jedes zusammengehörige Paar Nadelstiche eine Gerade. Was hüllen diese Geraden ein? *Diakaustik*. Liefert die Marke, wenn man sie durch die Glasplatte betrachtet, nur ein geometrisches Bild, oder erhält man für jede Stellung des Auges andere geometrische Bilder? Welche Gestalt hat die Diakaustik? Bei welcher Augenstellung liegt das Bild der Marke in der Spitze der Kurve? Gibt es auch bei dieser Stellung getrennte geometrische Bilder der Marke?

**Bemerkungen.** Zum I. Verfahren. Benutzt man eine flache Glasplatte mit einer mattgeschliffenen Schmalseite, so kann man mit GILLEY (294 Nr. 44) den Ort des Bildes in folgender Weise aufsuchen: Man macht auf der matten Fläche einen dünnen lotrechten Tintenstrich, legt die Platte auf den Tisch, sieht senkrecht durch die Fläche, die der markierten gleich läuft, nach der Marke und verschiebt auf der obern Fläche der Platte eine Stecknadel, die in einer Brücke aus Karton steckt, so lange, bis beim Abweichungsverfahren die Marke als Fortsetzung der Nadel erscheint (Fig. 184). Der Abstand der gezeichneten Fläche von der



Fig. 184.



c) Läuft der austretende Strahl  $KG$  dem eintretenden Strahl  $DH$  gleich? Ist der austretende Strahl nach der *brechenden Kante*  $A$  zu oder davon weg abgelenkt? *Ablenkungswinkel*  $LJF = \delta$ .

d) Wiederhole wenigstens dreimal den Versuch und benutze jedesmal einen andern Einfallswinkel  $\alpha$ .

e) Miß mit dem Winkelmesser den *brechenden Winkel*  $\varphi$ , die Einfallswinkel  $\alpha$  und die Ablenkungswinkel  $\delta$ . ändert sich der Ablenkungswinkel mit dem Einfallswinkel?

f) Stecke wie bei (a) den Weg des Lichtstrahls  $DEFG$  (Fig. 186) ab. Verschiebe die Nadel  $E$  nach einer benachbarten Stelle  $E'$  und stecke dann auf die gleiche Weise die Richtung des Lichtstrahls  $F'G'$  ab, der aus dem Prisma austritt. Verlängere  $F'G'$  rückwärts bis zum Schnittpunkt  $D'$  mit  $FG$ . Zieh  $DD'$  und mi den Winkel, den diese Gerade mit der Kante  $AC$  bildet.

g) Lege wie in Fig. 187 das Prisma auf den Bogen und umfahre mit dem Blei den Umriß der Grundfläche  $ABC$ . Stecke nahe

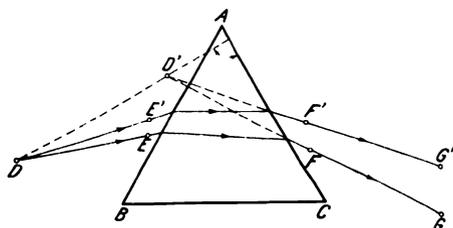


Fig. 186.

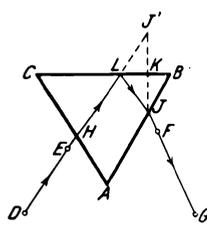


Fig. 187.

beim Prisma die Nadeln  $E$  und  $F$  lotrecht ein. Blicke mit einem Auge in der Richtung  $DE$  durch das Prisma. Man sieht ein Bild der Nadel  $F$ , das durch Spiegelung an der Fläche  $BC$  entsteht. Bewege den Kopf der Nadel  $F$  ein wenig und beachte, daß sich dann auch das Bild bewegt. Stecke die Nadel  $D$  möglichst weit von  $E$  entfernt lotrecht so in das Brett, daß sie mit  $E$  und dem Spiegelbild von  $F$  scheinbar in einer Ebene liegt.

h) Blicke in der Richtung  $GF$  in das Prisma und stecke auf die gleiche Weise die Nadel  $G$  ein (man kann diese Nadel auch einstecken, während man von  $D$  nach  $E$  sieht). Umringle die Nadelstiche und entferne Prisma und Nadeln.

i) Ziehe die Strecke  $DE$  und verlängere sie bis zu dem Schnittpunkt  $H$  mit  $AC$ . Zeichne die Strecke  $GF$  und verlängere sie bis zu dem Schnittpunkt  $J$  mit  $AB$ . Der Lichtstrahl ist im Prisma bei  $L$  zurückgeworfen worden, und es liegt daher das Bild  $J'$  von  $J$  ebenso weit hinter  $BC$  als  $J$  davor. Fälle von  $J$  aus das Lot  $JK$  auf  $BC$ , mache  $KJ' = KJ$  und ziehe die Gerade  $J'H$ . Sie schneidet  $BC$  in  $L$ . Es ist also  $HLLJ$  der Weg des völlig gespiegelten Lichtstrahls im Prisma.

**Bemerkungen.** Das Glasprisma, das ich seither verwandte, ist 3,5 cm hoch. Der Querschnitt ist ein gleichseitiges Dreieck, dessen Seiten 3 cm lang sind. Die beiden Endflächen und eine Seitenfläche sind matt geschliffen. Will man wie in (g) bis (i) den Weg des Lichtstrahls aufnehmen, der an einer Fläche des Prismas völlig gespiegelt wird, so darf, wie auch bei Aufgabe 4, keine Seite des Prismas matt geschliffen sein. Es ist daher ratsam, Prismen mit drei polierten Flächen zu benutzen und in den Fällen, wo dies erforderlich ist, die dritte polierte Fläche mit einem Stück Papier zu bedecken. Bei den Aufgaben 3 (Verfahren 3) und 4 sind größere Prismen erforderlich, und bei den Aufgaben 18 bis 19 Prismen von größerer Farbenzerstreuung wünschenswert, die sich jedoch für Stecknadelversuche im allgemeinen weniger eignen.

**8. Aufgabe.** Welchen Weg macht ein Lichtstrahl, der beim Durchgang durch das Prisma am wenigsten abgelenkt wird?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 7, S. 268.

### 1. Verfahren.

**Literatur.** GLAZEBROOK 72 Nr. 13. GRIMSEHL, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 17, 203 Nr. 2; 1904.

**Anleitung.** a) Stecke wie in Aufgabe 7 (a) den Weg des Lichtstrahls  $DEFG$  ab (Fig. 185) und lege  $L$  ebenfalls durch eine Nadel fest.

b) Drehe das Prisma um die brechende Kante  $A$  und ändere dadurch den Einfallswinkel bei  $H$ . Im allgemeinen dreht sich dabei auch der austretende Strahl, man muß also das Auge bewegen, um alle Nadeln wieder in einer Ebene zu sehen. Wird der Strahl derart abgelenkt, daß man das Auge nach rechts bewegen muß, dann liegt  $G$  näher bei  $L$  als vorher. Die Ablenkung ist also jetzt kleiner geworden. Drehe das Prisma in demselben Sinn noch weiter. Anfangs bewegt sich  $G$  noch weiter gegen  $L$ , bleibt dann stehen und bewegt sich nun wieder rückwärts.

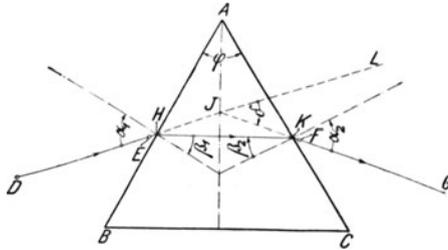


Fig. 188.

c) Suche so die Stellung des Prismas, wo  $G$  so nahe wie möglich bei  $L$  liegt, und zeichne den Umriß des Prismas und den Weg des Strahls bei der Stellung, wo die Ablenkung am kleinsten ist (Fig. 188).

d) Miß mit dem Winkelmesser den Eintrittswinkel  $\alpha_1$ , den Austrittswinkel  $\alpha_2$ , die Brechungswinkel  $\beta_1$  und  $\beta_2$ , und mit dem Maßstab die Längen  $AH$  und  $AK$  und vergleiche diese Werte miteinander. Wie liegen der eintretende und der austretende Strahl zur Halbierungsebene des brechenden Winkels?

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Prisma Nr. . . .

Eintrittswinkel $\alpha_1$	Austrittswinkel $\alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2$	Brechungswinkel		$\beta_1 - \beta_2$	AH cm
			$\beta_1$	$\beta_2$		
	Mittel	.....	Mittel		.....	

AK cm	AH - AK	Ablenkung $\delta$	Brechender Winkel $\varphi$	$\frac{1}{2} \varphi$	$\frac{1}{2} (\delta + \varphi)$	Brechungsverhältnis $\nu$
Mittel	.....				Mittel	.....

f) Vergleiche  $\beta_1$  und  $\beta_2$  mit  $\frac{1}{2} \varphi$  und ferner  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  mit  $\frac{1}{2} (\delta + \varphi)$ .

g) Wiederhole die Einstellungen und Messungen mindestens noch zweimal und bilde aus den Werten von  $\alpha_1 - \alpha_2$ ,  $\beta_1 - \beta_2$ , AH - AK,  $\delta$  und  $\varphi$  das Mittel.

h) Berechne mit den Mittelwerten von  $\delta$  und  $\varphi$  das Brechungsverhältnis  $\nu$  nach der Formel

$$\nu = \frac{\sin \frac{1}{2} (\delta + \varphi)}{\sin \frac{1}{2} \varphi}$$

## 2. Verfahren.

Literatur. CLAY 9 Nr. 3.

**Anleitung.** i) Stelle das Prisma auf das Papier und ziehe mit einem scharfen Blei Geraden längs AB und AC (Fig. 188). Nimm das Prisma weg, schlage mit AE einen Kreis um A und stecke die Nadeln E und F dicht bei AB und AC auf den Kreisbogen. Setze das Prisma wieder an seine frühere Stelle, achte dabei sorgfältig darauf, daß die Kanten wieder genau mit den Geraden AB und AC zusammenfallen. Sieh mit einem Auge in der Richtung DE durch das Prisma, halte den Kopf so, daß E mit dem Bilde von F zusammenfällt und stecke dann die Nadel D ein, und zwar so weit von E entfernt, wie es Papier und Auge gestatten. Sieh nun in der Richtung GF durch das Prisma und stecke die Nadel G so ein, daß sie mit F und dem Bilde von E in einer Ebene liegt. Umringle die Nadelstiche und nimm das Prisma und die Nadeln weg.

k) Verbinde D mit E und verlängere die Gerade bis L. Sie schneidet AB in H. Verbinde ebenso G mit F und verlängere die Gerade bis zum Schnittpunkt J mit DL. Sie schneidet AC in K. Errichte in den Punkten H und K die Einfallslote.

l) Verfahre wie bei (d) bis (h).

**Bemerkungen.** GILLEY (297 Nr. 47) bestimmt die kleinste Ablenkung auf folgende Weise: Er läßt den Schatten einer Nadel  $D$  (Fig. 185) nahe bei der brechenden Kante  $A$  auf das Prisma fallen. Er dreht nun das Prisma um  $A$  als Achse vor- und rückwärts, beobachtet die Richtung des Schattens rechts von  $AO$  und bezeichnet die Lage  $KG$ , wo dieser am wenigsten nach  $O$  abgelenkt erscheint. Er dreht dann nochmals das Prisma, um sicher zu sein, daß die Marke  $G$  auf der Schattenlinie liegt, wenn sie am wenigsten gebrochen wird. Nun nimmt er das Prisma weg und legt die Schattenrichtung  $DL$  fest. Der Winkel zwischen  $KG$  und  $DL$  ist der Winkel der kleinsten Ablenkung. Das Verfahren ist nicht bequem und sicher.

### III. Kugelspiegel und Kugellinsen.

#### 9. Aufgabe. Welche Bilder erzeugt ein Hohlspiegel?

(1 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** GLAZEBROOK 102 Nr. 17. WILBERFORCE-FITZPATRICK 2, 36 Nr. 3. CREW-TATNALL 200 Nr. 90. H. HAHN a. a. O. 79 Nr. 5.

<b>Geräte.</b> Kugelspiegel. 2 Stricknadeln in Holzklötzen. Millimetermaßstab aus	Holz, 30 cm lang, an dem Nullende abgeschrägt (Fig. 190). Putzleder.
---	---

**Anleitung.** a) Benutze als Gegenstand, dessen Bilder zu untersuchen sind, die Spitze einer Nadel. Stelle sie in mindestens 30 cm Abstand von dem Spiegel auf, sieh daran vorbei in den Spiegel und suche ihr Bild (Fig. 189). Findest du es nicht, so drehe ein wenig den Spiegel, da das bewegte Bild leichter zu erkennen ist. Ist das Bild umgekehrt und kleiner als der Gegenstand? Wenn nicht, entferne die Nadel weiter vom Spiegel.

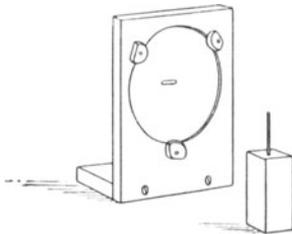


Fig. 189.

b) Schiebe, sobald du ein umgekehrtes und verkleinertes Bild erhalten hast, die Nadel langsam gegen den Spiegel. Bewegt sich das Bild darauf zu oder davon weg? Wird es größer oder kleiner?

c) Suche die Stelle, wo das Bild lotrecht über der Nadel steht und ebenso groß wie diese ist. Laß beide Spitzen zusammenfallen. *Krümmungsmittelpunkt.*

d) Nähere dem Spiegel die Nadel noch mehr. Wohin wandert das Bild? Wird es größer oder kleiner? Beachte die Stelle, wo das Bild in grenzenlos weite Entfernung geeilt ist und bei ganz geringem Verrücken der Nadel plötzlich aufrecht hinter dem Spiegel erscheint. *Spiegelscheitel, Spiegelachse, Brennpunkt.* Kehre den Spiegel gegen die Sonne und halte in den Brennpunkt erst ein kleines weißes, dann ein berußtes Stück Papier, angekohlten Zunder, den Kopf eines Phosphorstreichholzes, schwarz angekohlte gelbe Lunte usw.

e) Nähere dem Spiegel die Nadel noch mehr. Wie bewegt sich das Bild? Ist es aufrecht oder umgekehrt?

f) Schreibe die Ergebnisse der Versuche (b) bis (e) in folgender Weise auf:

Art des Bildes	Umgekehrt							unbestimmt	Aufrecht		
	verkleinert			so groß wie der Gegenstand	vergrößert				vergrößert		
	stark	weniger	noch weniger		etwas	mehr	noch mehr		stark	weniger	noch weniger
Abstand des Gegenstandes in cm vom Spiegel	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

g) Vergleiche die Bewegungen der Nadelspitze *A* und ihres Bildes *B* mit den Wanderungen zweier Punkte *P* und *Q*, die zu dem Punktepaar *M* und *N* harmonisch konjugiert sind. Zu welchen Punkten der Spiegelachse sind bei dieser Annahme wohl *A* und *B* konjugiert? Gegenstandsweite *a*, Bildweite *b*. Welche Formel läßt sich nach dieser Forschungsannahme für den Krümmungshalbmesser *r* des Spiegels als harmonischem Mittel zwischen *a* und *b* aufstellen?  $1/a + 1/b = 2/r$ . Brennweite  $f = \frac{1}{2} r$ . Notwendigkeit, die vermutete Formel

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

durch Messungen zu prüfen.

h) Stelle die eine Nadel in die Achse des Spiegels und mache durch die andere Nadel die Lage des Bildes kenntlich. Bringe nach dem „Abweichungsverfahren“ (vgl. Aufg. 2, S. 257) diese Nadel und das Bild jener genau zur Deckung. Miß nun mit dem abgeschrägten Millimeterstab (Fig. 190) die Gegenstandsweite *a* und die Bildweite *b*. Stelle die Nadel dreimal ein und nimm aus den Messungen das Mittel.

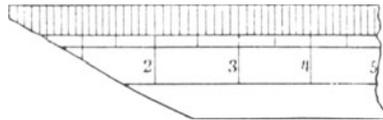


Fig. 190.

i) Führe den Versuch sechsmal aus und wähle dabei je zweimal

$$a > r, \quad r > a > f, \quad f > a.$$

Stelle in dem letzten Fall die zweite Nadel hinter den Spiegel, halt ein Blatt weißes Papier dahinter und mache sie so gut sichtbar. Schauge durch den schmalen wagerechten Spalt der Silberbelegung hindurch und bringe die hintere Nadel mit dem Bilde der vordern zur Deckung.

k) Trage die Ergebnisse in die folgende Tafel ein, beachte jedoch, daß *b* negativ zu nehmen ist, wenn das Bild hinter dem Spiegel liegt.

$a$ cm	$b$ cm	$\frac{1}{a} + \frac{1}{b}$	$f$ cm	$r$ cm
		Mittel	.....	.....

$\frac{1}{2} r = f = \dots$

l) Berechne  $1/a + 1/b$  und  $f$ . Welche Beziehung besteht zwischen den verschiedenen Werten von  $f$ ? Bilde den Mittelwert.

m) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei  $x = a$  und  $y = b$ . Verbinde die zusammengehörigen Punkte  $a|0$  und  $0|b$  miteinander. In welchem Punkt schneiden sich die Geraden? Welche optische Bedeutung haben die Koordinaten des Schnittpunkts? Welchen Wert für die Brennweite liefert die bildliche Darstellung?

n) Stelle die Nadel in den Krümmungsmittelpunkt des Spiegels und bringe nach dem „Abweichungsverfahren“ die Spitze mit ihrem Bilde genau zur Deckung. Miß den Krümmungshalbmesser und trage seine Länge in die Spalte mit der Überschrift  $r$  ein. Wiederhole sechsmal die Einstellung und Messung. Bilde den Mittelwert und berechne daraus  $\frac{1}{2} r = f$ . Vergleiche diese unmittelbar gemessene Länge mit dem Wert, der aus den Messungen von  $a$  und  $b$  berechnet worden ist, und mit dem Ergebnis der bildlichen Bestimmung.

o) Klemme den Spiegel an einem Bunsengestell derart fest, daß das Sonnenlicht darauf fällt, und halte vor dem Spiegel einen schmalen Papierstreifen an die Stelle, wo das Sonnenbild am kleinsten und hellsten erscheint. Miß den Abstand des Bildes vom Scheitel des Spiegels. Wem ist diese Entfernung gleich?

p) Bringe den Spiegel in den Schatten, fange in der gleichen Weise mit dem schmalen Papierstreifen das Bild eines entfernten Gebäudes auf und wiederhole die Messung.

**Bemerkungen.** Als Spiegel dient ein Uhrglas von 8 cm Durchmesser und 9,8 cm Krümmungshalbmesser, das auf der Rückseite versilbert, poliert und mit Zaponlack überzogen ist. In der Mitte der Silberschicht ist nach WILBERFORCE ein wagerechter Spalt (1 cm  $\times$  0,2 cm) herausgeschabt. An ein Grundbrett (10 cm  $\times$  4,7 cm  $\times$  1,1 cm) ist genau rechtwinklig ein Holzbrett (12,3 cm  $\times$  10 cm  $\times$  0,9 cm) aufgeschraubt, aus dessen Mitte eine Öffnung, etwas größer als das Uhrglas, mit einem Ansatz, etwas kleiner als das Uhrglas, herausgedreht ist. Der Spiegel ist mit drei kreisförmigen Korkscheiben, wovon ein Randstück weggeschnitten, und mit Nägeln, die durch die Mittelpunkte getrieben sind, so befestigt, daß der Spiegelscheitel genau 7,5 cm über der Tischplatte liegt (Fig. 189). Die Uhrgläser müssen sehr sorgfältig ausgewählt werden. Liefern sie keine guten Bilder, so erschweren sie die Übung, die die Augen der Schüler recht anstrengt. Verfügt man über ausreichende Mittel, so ist es ratsam, anstatt der Uhrgläser bessere Spiegel mit einer Brennweite von 5 bis höchstens 15 cm zu erwerben. Vgl. H. HAHN, *Freihandversuche* 3, 111. Zwei vernickelte Stricknadeln, die als Gegenstand und Marke dienen, sind in Holzklötze (5 cm  $\times$  2,5 cm  $\times$  2,5 cm) so eingesetzt, daß 2,5 cm herausragen und die Spitzen genau 7,5 cm über der Tischplatte liegen.

Ist das Bild der Nadel nicht gut sichtbar, so beleuchte man sie mit der Flamme eines Schnittbrenners oder mit einer Glühlampe, die man seitlich davon aufstellt.

Anstatt die Formel  $1/a + 1/b = 1/f$  aus den harmonischen Beziehungen von Gegenstand, Bild, Scheitel und Krümmungsmittelpunkt zu entwickeln, kann man sie auch aus der bildlichen Darstellung ( $m$ ) ableiten, wie später bei den Linsen gezeigt wird (Aufgabe 11f.).

### 10. Aufgabe. Welche Bilder erzeugt ein erhabener Spiegel?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 9.

**Anleitung.** a) Stelle vor die erhabene Seite des Spiegels als Gegenstand eine Nadel und suche ihr Bild. Liegt es vor oder hinter dem Spiegel? Ist es größer oder kleiner als der Gegenstand? Ist es aufrecht oder umgekehrt?

b) Stelle die Nadel in verschiedenen Abständen vom Spiegel auf und prüfe, ob in allen Fällen die auf jene Fragen erhaltenen Antworten richtig bleiben.

c) Gilt die Formel für den Hohlspiegel auch für den erhabenen Spiegel? Stelle die eine Nadel vor den Spiegel in seine Achse, schaue durch den schmalen wagerechten Spalt der Silberschicht und bringe nach dem Abweichungsverfahren hinter dem Spiegel die andere Nadel mit dem Bilde der erstern genau zur Deckung. Halte dabei ein Blatt weißes Papier hinter die Nadel, die auf der Rückseite des Spiegels steht, und mache sie so gut sichtbar.

d) Miß  $a$  und  $b$  und nimm  $b$  negativ, wenn das Bild hinter dem Spiegel liegt. Mache fünf Messungen. Trage die Werte in eine Tafel ein, die ebenso wie die von Aufgabe 9 eingerichtet ist. Berechne den Mittelwert der Brennweite und daraus  $r$  und vergleiche diesen Wert mit dem, der in Aufgabe 9 erhalten worden ist.

**Bemerkung.** Diese Aufgabe wird man nur behandeln, wenn man viel Zeit zur Verfügung hat.

### 11. Aufgabe. Welche wirklichen Bilder erzeugt eine Sammellinse?

(1 Schüler, 2 und 1 Stunde.)

**Literatur.** GLAZEBROOK 126 Nr. 19. WILBERFORCE-FITZPATRICK 2, 40 Nr. 6. CREW-TATNALL 204 Nr. 92. H. HAHN, a. a. O. 81 Nr. 7. GRIMSEHL, Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 17, 205; 1904.

<b>Geräte.</b>	Optische Bank (vgl. S. 279).	Planspiegel.
	Gegenstand (vgl. S. 279).	Schnittbrenner.
	Linse (vgl. S. 279).	Gasschlauch.
	Schirm (vgl. S. 279).	Putzleder.
	Nadel mit Holzfuß (vgl. S. 274).	Dreiecke.
		Millimeterpapier.

**Anleitung.** a) Stelle an dem Ende der optischen Bank, das vom Fenster wegewardt ist, als Gegenstand den Schirm mit der Drahtgaze auf, beleuchte ihn von hinten mit einer Glühlampe oder mit dem Schnittbrenner und richte dabei dessen Flamme mit dem Rande

gegen das Gitter. Setze auf das andere Ende der Bank den Kartonschirm. Verschiebe zwischen diesem und dem Gegenstande die Linse vor- und rückwärts und regle die Flammenhöhe, bis ein möglichst scharfes Bild des Drahtfensters auf dem Schirm erscheint (Fig. 191). Ist es größer oder kleiner als der Gegenstand? Bedecke mit einer Karte einen Teil des Drahtfensters. Ist das Bild aufrecht oder umgekehrt?

b) Suche, ohne den Gegenstand und den Schirm zu verschieben, eine zweite Stellung der Linse, wo sie ein scharfes Bild auf dem Schirm entwirft. Ist es größer oder kleiner als der Gegenstand, aufrecht oder umgekehrt? Steht der Linse das Bild oder der

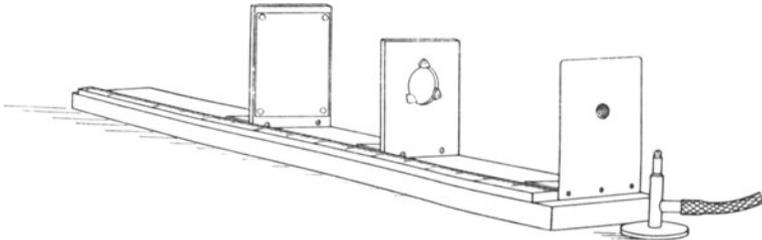


Fig. 191.

Gegenstand näher, wenn das Bild kleiner als der Gegenstand ist? Steht der Linse das Bild oder der Gegenstand näher, wenn das Bild größer als der Gegenstand ist?

c) Schiebe den Schirm etwas näher an das Drahtfenster und suche wieder zwei Stellungen der Linse, wo ein Bild auf dem Schirm entsteht. Ist es möglich, bei jedem Abstand von Gegenstand und Schirm die Linse so zu stellen, daß sie ein deutliches Bild erzeugt? Wie groß ist die kleinste Entfernung zwischen Schirm und Drahtfenster, wobei die Linse ein deutliches Bild entwirft?

d) Stelle ein Bild ganz scharf ein und lies am Meterstab so genau wie möglich die Lagen von Gegenstand, Linse und Bild zu dem Nullpunkt ab. Mache die Einstellungen dreimal und nimm aus den Ablesungen das Mittel. Berechne daraus den Abstand des Gegenstandes von der Linse, die *Gegenstandsweite*  $a$ , und den Abstand des Bildes von der Linse, die *Bildweite*  $b$ , und trage sie in die folgende Tafel ein.

Linse Nr. . . . Optische Bank Nr. . . .

Einstellungen			$a$ cm	$b$ cm	$\frac{1}{a} + \frac{1}{b}$	$f$ cm berechn.	$f$ cm beob.
Gegenstand	Linse	Schirm					
Mittel						.....	.....

e) Mache wenigstens 5 Messungen von  $a$  und  $b$  und ändere dabei jedesmal die Entfernungen zwischen Gegenstand und Schirm.

f) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, setze dabei  $x = a$  und  $y = b$ . Verbinde die Punkte  $a|0$  und  $0|b$  miteinander (Fig. 192). Schneiden sich diese Geraden in einem Punkt? Miß die Koordinaten des Punkts  $F$  und vergleiche sie miteinander. Brennweite  $f$ . Wie lautet die Gleichung einer Geraden, deren Achsenabschnitte  $a$  und  $b$  sind? Welche Bedingung wird erfüllt, wenn diese Gerade durch den Punkt  $f|f$  geht? Welche Beziehung muß also nach der bildlichen Darstellung zwischen  $a$ ,  $b$  und  $f$  bestehen? *Linienformel*.

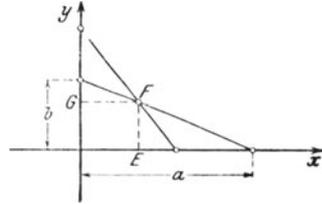


Fig. 192.

g) Berechne  $1/a + 1/b$ ,  $f$  und den Mittelwert der  $f$  und vergleiche diesen mit dem Wert, der bei der bildlichen Darstellung erhalten worden ist.

h) Nimm das Drahtnetz weg, richte die optische Bank auf einen entfernten Gegenstand (Schornstein oder dergleichen) vor dem Fenster und entwirf dessen Bild auf dem Schirm. Welchen Wert hat  $b$  nahezu, da  $a$  sehr groß ist? Miß so  $f$  fünfmal, trage die Werte in die letzte Spalte der Tafel ein und berechne den Mittelwert. Vergleiche die Mittelwerte der aus  $a$  und  $b$  berechneten und der unmittelbar beobachteten Brennweite.

i) Kann man mit der Linse auch Strahlen herstellen, die wie die Sonnenstrahlen parallel sind? Befestige mit Klebwachs auf der Rückseite des Schirms einen ebenen Spiegel und stelle ihn so hinter die Linse, daß er senkrecht zur Linsenachse steht. Setze vor die Linse eine Nadel derart, daß ihre Spitze in der Linsenachse liegt. Wie wirkt der Spiegel auf die Strahlen, die von der Nadelspitze ausgehen und durch die Linse hindurchtreten? Welche Richtung müssen die Strahlen zwischen Linse und Spiegel haben, und wo muß die Nadel stehen, damit sich die Strahlen nach der Zurückwerfung durch den Spiegel und nach dem Rückweg durch die Linse wieder in ihrem Ausgangsort schneiden? Verschiebe die Nadel nach dem Abweichungsverfahren, bis das Bild der Nadelspitze mit der Nadelspitze selbst zusammenfällt. An welchem ausgezeichneten Ort steht die Nadel nach der Einstellung? Miß sorgfältig den Abstand der Nadelspitze von der Mitte der Linse. Wiederhole fünfmal die Einstellung und die Messung, bilde den Mittelwert und vergleiche ihn mit den Ergebnissen von (g) und (h).

k) Ändern wir den Abstand von Gegenstand und Schirm nicht, so können wir nach Versuch (b) und (c) zwei Stellungen der Linse finden, wo scharfe Bilder auf dem Schirm entstehen, wenn jener Abstand eine gewisse Größe übersteigt, die wir bei (c) gemessen haben. Wievielfach so groß als die Brennweite ist der bei (c) ge-

gemessene kleinste Abstand von Gegenstand und Schirm, wobei noch ein scharfes Bild entsteht?

Bedeutet  $l$  den gleichbleibenden Abstand von Gegenstand und Schirm, so bestehen die Gleichungen

$$a + b = l \quad \text{und} \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f},$$

die sich auf die Form

$$a + b = l \quad \text{und} \quad ab = lf$$

bringen lassen. Es sind also  $a$  und  $b$  die Wurzeln der Gleichung zweiten Grades

$$x^2 - lx + lf = 0.$$

Die Diskriminante der linken Seite ist

$$D = l(l - 4f).$$

Es ist also  $4f$  der kleinste Abstand des Schirms vom Gegenstand, wobei noch ein Bild entsteht. Die Wurzel  $d$  aus der Diskriminante  $D$  ist gleich der Verschiebung der Linse zwischen den beiden Stellungen, wo diese bei gleichbleibendem  $l$  scharfe Bilder entwirft. Da sich nun  $l$  und  $d$  genauer als  $a$  und  $b$  messen lassen, so empfiehlt es sich, nach dem Vorgang von BESSEL,  $f$  statt aus  $a$  und  $b$  nach der Formel

$$f = \frac{1}{4} \left( l - \frac{d^2}{l} \right)$$

zu berechnen und diesen Wert mit der unmittelbar gemessenen Brennweite zu vergleichen.

Man kann auch mit F. KOHLRAUSCH (*Lehrb. d. prakt. Phys.*<sup>11</sup> 313, 4) diese Formel auf folgende Weise ableiten. Aus

$$l = a + b \quad \text{und} \quad d = a - b$$

folgt

$$a = \frac{1}{2}(l + d) \quad \text{und} \quad b = \frac{1}{2}(l - d).$$

Es ist aber

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{l + d} + \frac{2}{l - d} = \frac{4l}{l^2 - d^2},$$

woraus sich

$$f = \frac{1}{4} \left( l - \frac{d^2}{l} \right) \quad \text{und} \quad d^2 = l(l - 4f)$$

ergibt.

1) Wiederhole (a) bis (c), miß jedesmal sorgfältig den Abstand ( $l$  cm) des Gegenstandes vom Schirm und die Verschiebung ( $d$  cm) der Linse. Mache drei Einstellungen und nimm die Mittel aus den Ablesungen. Führe so fünf Messungen aus.

m) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Linse Nr. . . .      Optische Bank Nr. . . .

Einstellungen			Abstand des Gegenstandes vom Schirm $l$ cm	Linsenverschiebung $d$ cm	$f = \frac{1}{4} \left( l - \frac{d^2}{l} \right)$
Gegenstand	Schirm	Linse			
Mittel					

n) Berechne  $f$ , nimm aus den erhaltenen Werten das Mittel und vergleiche es mit den Ergebnissen von (g), (h) und (i).

**Bemerkungen.** Die optische Bank besteht aus einem Grundbrett (105 cm  $\times$  13 cm  $\times$  2 cm), worauf längs einer Seitenkante ein hölzerner Metermaßstab mit Millimeterteilung (100 cm  $\times$  2,5 cm  $\times$  0,8 cm) aufgeschraubt ist (Fig. 191). Der Gegenstand wird auf folgende Weise hergestellt: An ein Grundbrett (10 cm  $\times$  4,7 cm  $\times$  1 cm) wird genau rechtwinklig eine 0,05 cm starke, geschwärzte Zinkblechscheibe (12,5 cm  $\times$  10 cm) geschraubt, woraus ein 1,2 cm weites Loch so herausgeschnitten ist, daß dessen Mitte genau 7,5 cm über der optischen Bank liegt. Auf das Loch ist ein Drahtnetz (1 mm Maschenweite) gelötet. Die Beleuchtung liefert eine Glühlampe oder ein Schnittbrenner, der 6,8 cm hoch ist. Die Linse hat folgende Fassung: An ein Grundbrett (10 cm  $\times$  4,7 cm  $\times$  1,2 cm) ist genau rechtwinklig ein Brett (12,5 cm  $\times$  10 cm  $\times$  1,2 cm) geschraubt, worin ein bikonvexes Brillenglas (Durchmesser 4 cm, Brennweite 12,5 cm)

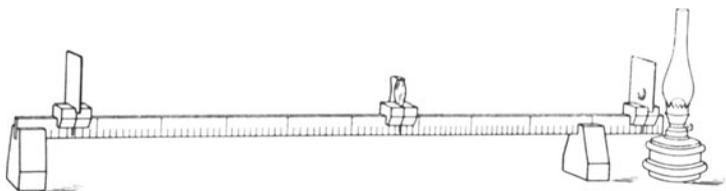


Fig. 193.

ähnlich wie der Spiegel (Aufg. 5) so gefaßt ist, daß die Linsenachse genau 7,5 cm über der optischen Bank liegt. Der Schirm hat folgenden Bau: An ein Grundbrett (10 cm  $\times$  4,7 cm  $\times$  1,2 cm) ist genau rechtwinklig ein Brett (14,7 cm  $\times$  10 cm  $\times$  0,9 cm) aus Pappelholz geschraubt und darauf ein Rechteck aus weißem Karton (14,7 cm  $\times$  10 cm) mit Reißnägeln befestigt. Statt des aufrechten Bretts kann man auch eine Mattglasscheibe verwenden.

Eine andere Ausführung der optischen Bank hat HALL (*Descr. List 29 Nr. 22; 83 Nr. 21; 84 Nr. 31 u. 32*) angegeben. Sie ist in Fig. 193 abgebildet. Die Einfügung des hölzernen Maßstabes in die Nuten der Holzfüße ist unbequem. Dieser Mangel ist bei der optischen Bank vermieden, die GRIMSEHL a. a. O. beschrieben hat. Andere einfache Versuchsanordnungen findet man bei SCHUSTER-LEES, *Intermed. Course 133 Nr. 25* und bei QUINCKE, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 5, 116, Nr. 4; 1892*.

Durch Einschaltung von Blenden mit geeigneten Öffnungen kann man die Bilder schärfer machen.

Bei Versuch (i) kann man entweder den Spiegelmaßstab oder eine Spiegelscheibe benutzen, die man mit Klebwachs oder Kautschukringen am Schirmbrett befestigt.

Zur Berechnung der Gegenstandsweite  $a$  und der Bildweite  $b$  liest man die Stellungen  $A_g$ ,  $A_l$  und  $A_s$  der Vorderflächen der Bretter ab, worauf das Drahtnetz, die Linse und der Karton befestigt sind. Die Unterschiede dieser Ablesungen liefern nicht genau die Abstände von Drahtnetz, Linse und Schirm; es ist also nicht genau

$$a = A_l - A_g \quad \text{und} \quad b = A_s - A_l,$$

sondern

$$a + \Delta a = A_l - A_g \quad \text{und} \quad b + \Delta b = A_s - A_l.$$

Diese Ablesungsfehler kann man auf folgende Weise ermitteln: Man schiebt das Drahtnetz und die Linse auseinander, hält eine Stricknadel so in die Achse der Linse, daß das eine Ende die Mitte des Drahtnetzes berührt, und nähert dann die Linse so weit, daß ihre Mitte gegen das andere Drahtende stößt. Nun zieht man die Stricknadel behutsam heraus, legt sie mit einem Ende dort auf den Maßstab, wo die Vorderfläche des Drahtnetz Bretts steht, und mißt dann den Abstand des andern Drahtendes von der Stelle, wo die Vorderfläche des Linsenbretts am Maßstab liegt. Dieser Abstand ist  $\Delta a$ . Auf die gleiche Weise ermittelt man  $\Delta b$ . Es ist jedoch kaum zu empfehlen, diese Verbesserungen anzubringen und die Linsendicke zu berücksichtigen.

## 12. Aufgabe. Welche Scheinbilder erzeugt eine Sammellinse?

(1 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** WILBERFORCE-FITZPATRICK 2, 38 Nr. 4 u. 40 Nr. 6.

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 11, doch 

Stecknadeln.	
ohne Drahtnetz, dazu	2 Nadelhalter (vgl. S. 281).
Halbe Sammellinse.	

**Anleitung.** a) Stelle ähnlich wie in Aufgabe 11 (a) den Brenner und die ganze Linse so auf die Bank, daß die Gegenstandsweite  $\sim 4$  cm ist. Sieh durch die Linse nach der kleinstellten Flamme. Ist das Bild größer oder kleiner als der Gegenstand? Ist das Bild aufrecht oder umgekehrt? Entferne allmählich die Linse vom Gegenstand. Wie ändert sich das Bild? Beachte, daß es bei einer bestimmten Gegenstandsweite unmöglich wird, ein scharfes Bild zu sehen, und daß hier bei einer kleinen Vergrößerung der Gegenstandsweite ein umgekehrtes Bild sichtbar wird, wenn man das Auge weit genug hinter die Linse hält. Wie ändert sich die Größe des Bildes, wenn man den Abstand noch weiter vergrößert? Fange die umgekehrten Bilder mit dem Schirm auf und stelle sie scharf ein.

b) Entferne den Schirm, betrachte das umgekehrte Bild mit dem Auge, bewege den Kopf seitwärts hin und her und untersuche so nach dem Abweichungsverfahren, ob das Bild oder die Linse dem Auge näher liegt. Erzeuge ein aufrechtes Bild und untersuche in ähnlicher Weise, ob es weiter als die Linse vom Auge entfernt ist. Läßt sich das aufrechte Bild mit dem Schirm auffangen? *Scheinbild.*

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Linse Nr. . . . Optische Bank Nr. . . .

Art des Bildes	Aufrecht			unbestimmt	Umgekehrt						
	vergrößert				vergrößert			so groß wie der Gegenstand	verkleinert		
	etwas	stärker	noch stärker		stark	schwächer	noch schwächer		etwas	mehr	noch mehr
Gegenstandsweite in cm	...	...	...	.....	...	...	...	.....	...	...	...

d) Setze die halbe Linse (Fig. 194) auf die optische Bank und dahinter den einen Nadelhalter, befestige daran eine Nadel derart, daß sie wagerecht und parallel zur Linse steht, die Spitze auf der Linsenachse liegt und der Abstand der Linsenmitte von der Nadelspitze  $\sim 4$  cm ist. Sieh durch die Linse und prüfe, ob ein gleichgerichtetes Bild entsteht, dessen Spitze in der Linsenachse liegt. Stelle den andern Nadelhalter noch weiter von der Linse entfernt auf als der erste und befestige daran eine Nadel parallel zur ersten, doch so,

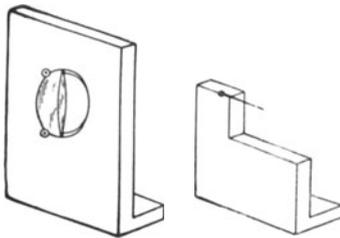


Fig. 194.

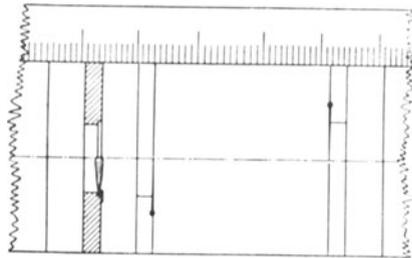


Fig. 195.

daß sie entgegengesetzt gerichtet ist (Fig. 195). Verschiebe diese zweite Nadel, bis ihre Spitze, mit dem bloßen Auge betrachtet, mit der Spitze der ersten Nadel, durch die Linse betrachtet, beim Auf- und Abwärtsbewegen des Kopfs stets zusammenbleibt, also scheinbar die eine Nadel immer die Verlängerung der andern Nadel bildet.

e) Miß sorgfältig die Abstände der beiden Nadelspitzen von der Linsenmitte. Mache die Einstellungen dreimal und nimm aus den Ablesungen das Mittel.

f) Wiederhole den Versuch noch mit zwei Gegenstandsweiten, die kleiner als die Brennweite sind.

g) Verfahre wie bei Aufgabe 11 (d) bis (h). Mit welchem Vorzeichen ist  $b$  zu versehen?

**Bemerkungen.** Die Nadelhalter (Fig. 194) bestehen aus einem Brett von genau  $7,5 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ , das streng rechtwinklig an ein Grundbrett ( $10 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \times 1,2 \text{ cm}$ ) geschraubt ist. Die Nadeln be-

festigt man mit Klebwachs an der obern vordern Kante des lotrechten Brettchens.

Die halbe Sammellinse hat 4 cm Durchmesser und 12,5 cm Brennweite. Sie ist ähnlich wie die ganze Linse bei Aufgabe 11 gefaßt, doch so, daß die gerade Kante lotrecht steht und die Achse 7,5 cm über der optischen Bank liegt (Fig. 194).

Man kann auch die halbe Linse so fassen, daß ihre gerade Kante wagerecht liegt. Dann befestigt man die Nadel, die als Gegenstand dient, lotrecht in einem Brettchen von geringerer Höhe (7,5 cm weniger Nadel-länge) und die Bildnadel auf einem 7,5 cm hohen Brett. Statt der Bildnadel kann man auch einen weißen Karton mit Strichmarke verwenden.

Man halte das Auge so, daß es vom Bilde  $\sim 25$  cm absteht.  
Ein anderes Verfahren findet man bei SCHUSTER-LEES, *Intermed. Course* 133 Nr. 25.

Die Versuche (a) bis (c) läßt man vor der 11. Aufgabe (S. 275) anstellen.

**13. Aufgabe.** Welche Scheinbilder erzeugt eine Zerstreuungslinse?  
(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WILBERFORCE-FITZPATRICK 2, 38 Nr. 5 u. 40 Nr. 6.

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 12, doch ohne Drahtnetz und anstatt einer Sammellinse eine Zerstreuungslinse von 12 bis 16 cm Brennweite, außerdem eine halbe Zerstreuungslinse und Schublehre.

**Anleitung.** a) Betrachte die kleine Flamme durch eine Linse, die in  $\sim 4$  cm Abstand davon aufgestellt ist. Ist das Bild aufrecht und verkleinert? Entferne allmählich die Linse von der Flamme und untersuche die Änderung der Bildgröße. Verschwindet jemals das Bild?

b) Untersuche wie bei Aufgabe 12, wo das Bild liegt, und ob man es mit einem Schirm auffangen kann.

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Linse Nr. . . . Optische Bank Nr. . . .

Art des Bildes	Aufrecht, verkleinert			
	etwas	mehr	noch mehr	noch viel mehr
Gegenstandsweite in cm	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .

d) Verfahre wie bei Aufgabe 12(d) bis (g). Mache mindestens zwei Messungen mit verschiedenen Gegenstandsweiten.

**Bemerkung.** Ein anderes einfaches Verfahren findet man bei SCHUSTER-LEES, *Intermed. Course* 133, Nr. 25.

**14. Aufgabe.** Wie verhalten sich bei einer Sammellinse die Größen von Bild und Gegenstand?

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** SCHUSTER-LEES, *Intermed. Course* 137, Nr. 26. R. A. MILLIKAN, *School Science* 6, 450; 1906. MILLIKAN-GALE 121 Nr. 47.

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 11, dazu  
 Schublehre. Fadenzähler.  
 Garn. 2 Meterstäbe.  
 Klebwachs.

**Anleitung.** a) Entwirf mit der Linse ein Bild des Drahtnetzes auf dem Schirm und miß die Gegenstandsweite  $a$  und die Bildweite  $b$ . Nimm dabei  $a$  etwas größer als  $2f$ .

b) Bezeichne mit einem Faden, der mit Klebwachs auf dem Drahtnetz befestigt wird, den wagerechten mittlern Draht und miß mit der Schublehre (vgl. S. 10) die Länge des beleuchteten Drahtstücks  $A$  und seines Bildes  $B$ .

c) Stelle dreimal ein, miß jedesmal  $a, b, A$  und  $B$  und nimm aus den Ablesungen das Mittel.

d) Mache den Abstand von Schirm und Gegenstand  $\sim 60$  cm groß, suche die beiden Stellungen der Linse auf, wo sie ein scharfes Bild des Netzes erzeugt. Miß in jedem der beiden Fälle die Gegenstandsweite, die Bildweite, die Länge des Drahts und die Größen seiner Bilder, also  $a_1, a_2, b_1, b_2, A, B_1$  und  $B_2$ . Mache jede Einstellung dreimal und nimm aus den Ablesungen die Mittel.

e) Es ist  $B_1/A = b_1/a_1, B_2/A = b_2/a_2$  und, da  $b_1/a_1 = a_2/b_2, A^2 = B_1 \cdot B_2$ .

f) Wiederhole die Messungen (d) drei- bis viermal.

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Linse Nr. . . . Optische Bank Nr. . . .

Einstellungen		Abstand des Gegenstandes vom Schirm $l$ cm	Bildweite $b$ cm	Gegenstandsweite $a$ cm	$b/a$	Länge des Bildes $B$	Länge des Gegenstandes $A$	$B/A$	$b/a - B/A$
Gegenstand	Schirm Linse								
Mittel									

h) Für eine bestimmte Lage des Gegenstandes ist die Vergrößerung der Linse  $v_1 = B_1/A = b_1/a_1$ . Aus  $1/a_1 + 1/b_1 = 1/f$  folgt

$$a_1 = f(1 + 1/v_1).$$

Verschiebt man den Gegenstand um die Strecke  $d$  cm, so wird die Vergrößerung  $v_2$ , und es ist

$$a_1 + d = f(1 + 1/v_2),$$

also

$$f = \frac{d}{\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}}.$$

Man kann demnach durch Messung der Verschiebung  $d$  und der beiden Vergrößerungen  $v_1$  und  $v_2$  die Brennweite  $f$  bestimmen. *Verfahren von ABBE.*

i) Stelle den Schirm an dem einen Ende der Bank und die Linse  $\sim 30$  cm von dem andern Ende auf. Entwirf auf dem Schirm ein scharfes Bild des Drahtnetzes, miß mit der Schublehre sehr sorgfältig die Länge  $A$  des bezeichneten mittelsten Drahts und die Länge  $B_1$  seines Bildes und lies die Stellung des Drahtnetzes ab. Mache die Einstellung dreimal und nimm aus den Ablesungen das Mittel.

k) Verschiebe das Drahtnetz um eine bestimmte Größe  $d$ , stelle, ohne die Linse zu verschieben, auf dem Schirm wiederum das scharfe Bild ein und verfare wie bei (i). Die Länge des Bildes ist diesmal  $B_2$ .

l) Wiederhole die Messungen (i) und (k) nochmals.

m) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Linse Nr. . . .      Optische Bank Nr. . . .

Ein- stellungen		Verschie- bung des Gegen- standes $d$ cm	Ort des Schirms	Länge des Gegenstandes		Länge des Bildes		Vergrößerungen		Brennweite $f = \frac{d}{\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}}$
1	2			$A$ cm	$B_1$ cm	$B_2$ cm	$v_1 = \frac{B_1}{A}$	$v_2 = \frac{B_2}{A}$		
Mittel . . . . .										

n) Berechne die Vergrößerungen  $v_1$  und  $v_2$  und daraus die Brennweite der Linse.

o) Lege einen Meterstab auf den Tisch, stelle einen andern Meter-



Fig. 196.

so daneben, daß es aus der Höhe 25 cm auf den wagerechten Maßstab hinabsieht. Bringe nun dicht vor das rechte Auge die Linse des Fadenzählers (Fig. 196). Halte beide Augen offen und zähle mit dem unbewaffneten linken Auge, wieviel ( $L$ ) Millimeter das Scheinbild der Öffnung in der Grundplatte des Fadenzählers, das man mit dem andern bewaffneten

sieht, auf dem Maßstab abgrenzt. Teile diese Zahl  $L$  durch die Breite ( $l$  mm) der Öffnung in der Grundplatte. Der Quotient gibt an, wievielmals der Gegenstand, wenn man ihn durch die Linse betrachtet,

größer erscheint, als wenn man ihn mit bloßem Auge aus 25 cm Abstand beobachtet, aus der „bequemen Leseweite“ oder „vereinbarten Sehweite“ oder der „mittlern Nahepunktentfernung“ fehlerloser Augen.

p) Ist  $f$  cm die Brennweite der Linse, so ist die Vergrößerungszahl des Fadenzählers

$$m = \frac{25}{f}.$$

q) Miß so genau wie möglich die Brennweite  $f$  cm der Lupe, berechne die Vergrößerungszahl  $m$  des Fadenzählers und vergleiche das Ergebnis mit dem Wert, der bei (o) ermittelt worden ist.

**Bemerkungen.** Als Gegenstand verwendet man bei den Versuchen (a) bis (n) besser eine Blende mit wagerechtem Spalt von 1,5 cm Länge und 2 mm Breite oder ein größeres Drahtnetz als hier benutzt wird. CURT FISCHER stellte einen sehr geeigneten Gegenstand (Fig. 196a) aus einem geschwärtzten Weißblechstreifen (12,7 cm  $\times$  10 cm) her. Er schnitt aus dem obern Rand ein 1,5 cm langes und 0,7 cm breites Rechteck aus und machte in den untern Rand zwei 4,5 cm lange Einschnitte, die 3,3 cm voneinander abstanden. Er bog dann den Mittellappen nach hinten und die Seitenlappen nach vorn und stellte so eine Standfläche her. Man kann auch den Blechstreifen nur 8,2 cm hoch und 10 cm breit machen und ihn an ein Grundbrett (10 cm  $\times$  4,7 cm  $\times$  1 cm) schrauben. Man mißt den 1,5 cm langen untern Rand des Ausschnitts und dessen Bild.

Auf das Schirmbrett kann man anstatt des weißen Kartons ein Stück Millimeterpapier heften, am besten jedoch fängt man das Bild mit einer Mattglasscheibe auf. Die Mattscheibe kann man beleuchten und daher das Bild sicherer und bequemer messen. Das auf Papier aufgefangene Bild ist zwar heller, doch unbequemer zu messen.

Die Vergrößerung ist für verschiedene Augen ungleich. Kurzsichtige Schüler müssen beim Versuch (o) ihre Brillen aufbehalten.

Vgl. über die Vergrößerung der Lupe auch: WINKELMANN, *Handb. d. Phys.*<sup>2</sup> 6, 328. MÜLLER-POUILLET<sup>10</sup>, 2, 1, 502. v. ROHR, *Bilderzeugung in opt. Instr.* 494. v. ROHR, *Opt. Instr.* 67. GLEICHEN, *Leitf. d. prakt. Optik* 99.

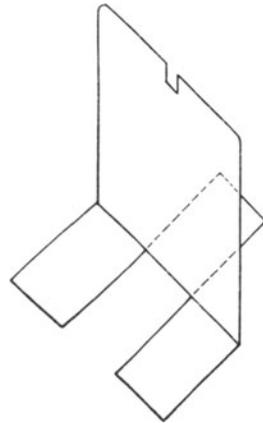


Fig. 196a.

**15. Aufgabe.** Welche Gestalt hat das Bild eines Pfeils, das eine Sammellinse entwirft?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** HALL, *Descript. List* 32 Nr. 24.

<p><b>Geräte.</b> Linse (vgl. S. 279). Gegenstand (vgl. S. 279). Schirm (vgl. S. 279). Maßstab, 30 cm lang. Zeichenausrüstung (vgl. Rollenpapier. [S. 60]). Reißnägeln.</p>	<p>Messingdraht von 1 mm Durchmesser, rechtwinklig gebogen, der eine Schenkel 10 cm und der andere 6 cm lang. Schere. Klebwachs.</p>
---	--

**Anleitung.** a) Hefte auf den Tisch einen Streifen Papier, der 70 cm lang und 30 cm breit ist, derart, daß die Längsseiten gegen das Fenster gerichtet sind. Zeichne parallel der Schmalseite, die am weitesten vom

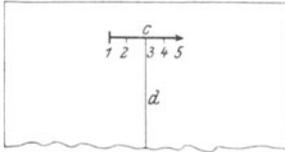


Fig. 197.

Fenster abliegt, in  $\sim 10$  cm Abstand einen Pfeil  $c$  (Fig. 197), der 8 cm lang ist, teile ihn in vier gleiche Strecken, bezeichne ihre Endpunkte der Reihe nach mit 1, 2, 3, 4 und 5 und errichte auf dem Pfeil im Punkt 3 ein Lot  $d$  von  $\sim 30$  cm Länge. Befestige auf dem Schirmbrett ein weißes Blatt Papier, zieh darauf einen lotrechten Strich  $e$  (Fig. 198) und stelle das Papier so über den Pfeil, daß  $e$  genau über dem Teilstrich 3 steht. Lege das Linsenbrett so auf die schmale Kante, daß die Achse  $g$  der Linse mit  $d$  in einer Ebene liegt, die auf dem Papier senkrecht steht. Mache den Abstand der Linsenmitte von  $e \sim 19$  cm groß. Stelle die Linse sorgfältig ein und bezeichne dann ihre Lage. Setze das Drahtnetzblech mit der langen Kante so auf das Papier, daß das Grundbrett senkrecht auf dem Papier steht, und befestige daran mit etwas Klebwachs einen rechtwinklig gebogenen Draht derart, daß dessen 10 cm langer Schenkel  $h$  lotrecht in der Ebene  $dg$  liegt und die Spitze dicht über  $d$  steht.

b) Stelle das Auge 20 bis 30 cm von  $h$  entfernt so in die Richtung der Linsenachse, daß du  $h$  deutlich siehst. Verschiebe nun den Draht  $h$  und bringe ihn nach dem „Abweichungsverfahren“ mit dem Bilde des Strichs  $e$  zur Deckung. Mache, sobald  $h$  scharf eingestellt ist, genau unter seinem untern Ende einen Punkt und schreibe, da er mit dem Bilde von 3 zusammenfällt, III daran.

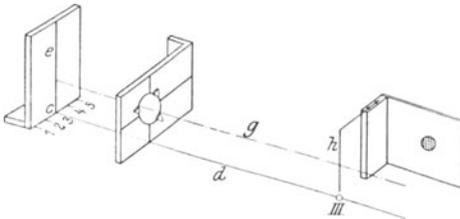


Fig. 198.

c) Verschiebe den Schirm längs  $c$ , stelle die Marke  $e$  der Reihe nach genau über die Punkte 1, 2, 4 und 5 und bestimme wie bei (b) die Lage ihrer Bilder I, II, IV und V.

d) Verbinde die Punkte I, II, III, IV und V durch eine Kurve. Was stellt die Linie angenähert dar? Ist das Bild, das eine Sammellinse von einer Geraden entwirft, wieder eine Gerade? *Bildfeldwölbung.* Vergleiche die Richtungen des Pfeils und seines Bildes miteinander. Verbinde die Punkte (1, 2, ...) des Pfeils mit ihren Bildern (I, II, ...). Wo schneiden sich diese Geraden?

e) Hefte auf den Tisch einen Streifen Papier, der 50 cm lang und 30 cm breit ist. Zeichne darauf in  $\sim 20$  cm Abstand von der Schmalseite, die dem Fenster zugekehrt ist, einen Pfeil, der 4 cm

lang ist, und teile ihn wie bei (a) in vier gleiche Strecken, deren Endpunkte 1, 2, 3, 4 und 5 sind. Stelle die Linse, die aus dem Brett herausgenommen worden ist, zwischen dem Pfeil  $c$  und der Schmalseite des Papiers, die dem Fenster zugekehrt ist, in  $\sim 8$  cm Abstand von  $c$  mit Klebwachs so auf, daß ihre Achse  $g$  über dem Lote  $d$  liegt, das im Punkt 3 auf dem Pfeil errichtet worden ist. Stelle ähnlich wie bei (a) ein niedriges Blatt mit einem lotrechten Strich über den Pfeil  $c$  und hinter dem Schirm einen niedrigen Klotz (Nadelklotz S. 274) auf und befestige darauf den Draht so, daß der Schenkel  $h$  lotrecht nach oben gerichtet ist.

f) Sieh aus 20 bis 30 cm Entfernung durch die Linse nach dem Strich  $e$  und gleichzeitig über die Linse weg nach dem Draht  $h$ . Bewege das Brett, worauf der Draht befestigt ist, und bringe nach dem „Abweichungsverfahren“  $h$  mit dem Bilde von  $e$  zur Deckung. Lege mit einem Dreieck den Punkt des Papiers fest, der lotrecht unter  $h$  liegt, und bezeichne ihn mit III.

g) Verfahre wie bei (c) und (d).

**Bemerkungen.** Es ist ratsam, auf dem Brett, worin die Linse sitzt, die Lage ihres Mittelpunkts durch zwei rechtwinklig zueinander stehende Geraden festzulegen, so, wie es in Fig. 198 angedeutet ist.

#### IV. Optische Instrumente.

**16. Aufgabe.** *Stelle ein Himmelsfernrohr her und bestimme seine Vergrößerungszahl.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

##### 1. Verfahren.

**Literatur.** WILBERFORCE-FITZPATRICK 2, 42 Nr. 1.

<b>Geräte.</b>	2 Sammellinsen von 25 cm und 7,5 cm Brennweite. 2 Linsenhalter (vgl. Spiegelgalvanometer). Rahmen aus Drahtgaze, lotrecht in einem Halter befestigt, oder Nadel auf Holzklotz (vgl. S. 274). Millimeterstab.	Schirm der optischen Bank (vgl. S. 279). Weißer Karton. Dreieck. Tusche. Reißnägeln. Klebwachs oder gummiertes Papier. Putzleder.
----------------	---	---

**Anleitung.** a) Halte den Millimeterstab mit dem einen Ende gegen ein Stück weißen Karton (Schirm der optischen Bank) und richte das andere Ende gegen einen entfernten Gegenstand vor dem geöffneten Fenster. Halte die Linse in der Hand und bewege sie vom Schirm aus längs dem Maßstab, bis sie auf dem Schirm ein deutliches Bild des Gegenstandes entwirft. Die Entfernung zwischen Linse und Schirm ist nahezu gleich der Brennweite der Linse. Wiederhole diese Messungen mehrmals und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

- b) Bestimme ebenso auch die Brennweite der andern Linse.
- c) Trage die Ergebnisse in die folgende Tafel ein, wo  $f_1$  die längere und  $f_2$  die kürzere Brennweite bezeichnet.

Linse Nr. . . . und Nr. . . .

	$f_1$ cm	$f_2$ cm	Linienabstand in cm	Vergrößerungs- zahl
Mittel	.....	.....	.....	.....

d) Berechne die Mittel der  $f_1$  und  $f_2$  und daraus  $f_1 + f_2$  und  $f_1/f_2 = \dots$

e) Setze die Linse mit der längern Brennweite in einen Halter ein und richte sie nach einem entfernten Gegenstand vor dem geöffneten Fenster, der auf der Linsenachse liegt. Halte das Auge so, daß es durch die Linse ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes sieht. Bewege den Kopf und prüfe, ob sich das Bild in demselben oder in dem entgegengesetzten Sinn bewegt. Liegt das Bild auf derselben Seite wie das Auge? Fang es mit einem Stück Karton auf.

f) Stelle zwischen Auge und Linse die Drahtgaze (oder die Nadel) und bringe sie nach dem „Abweichungsverfahren“ mit dem Bilde zur Deckung. Setze, sobald dies geschehen, zwischen Auge und Gaze die andere Linse, halte das Auge dicht daran und bewege Auge und Linse, bis du ein scharfes Bild der Gaze siehst.

g) Miß die Abstände der Gaze von der vordern und der hintern Linse und vergleiche diese Größen und ihre Summe mit den Brennweiten  $f_1$  und  $f_2$  und deren Summe.

h) Nimm die Drahtgaze weg. *Fernrohr, Objektiv oder Vorderlinse, Okular oder Augenlinse.* Wie müssen die beiden Linsen zueinander stehen, damit die Strahlen aus der Augenlinse parallel austreten? Erscheint der Gegenstand, wenn man ihn durch dieses Fernrohr betrachtet, größer, als wenn man ihn mit unbewaffnetem Auge ansieht. Ist das Bild aufrecht oder umgekehrt?

i) Wiederhole die Einstellungen und Messungen (e) bis (h) nochmals und miß den Abstand der Vorderlinse von der Augenlinse. Trage die

Ergebnisse in die Tafel ein, berechne den Mittelwert und vergleiche ihn mit der Summe von den Mittelwerten der Brennweiten.

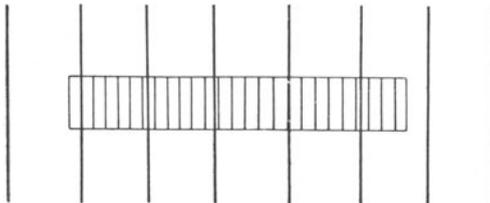


Fig. 199.

k) Schneide aus Karton einen Streifen (30cm x 5cm) und zieh parallel den kurzen Sei-

ten in 2,5 cm Abstand dicke schwarze Striche. Befestige an einer entfernten Wand den Streifen und stelle das Fernrohr darauf ein. Betrachte den Karton mit dem einen Auge durch das Fernrohr und gleichzeitig mit dem andern unbewaffneten Auge. Stelle die Augenlinse so, daß sich die beiden Bilder bei der Drehung der Augenachsen möglichst wenig gegen einander verschieben. Drehe, wenn erforderlich, das Fernrohr ein wenig derart, daß sich die mit beiden Augen gesehenen Bilder decken. Gegenstand und Bild erscheinen wie in der Fig. 199. Laß einen Strich des Bildes mit einem Strich des Gegenstandes zusammenfallen. Zähle die Zwischenräume zwischen zwei Strichen des Bildes. Vermeide dabei, das Auge anzustrengen. *Vergrößerungszahl.*

l) Wiederhole die Bestimmung mehrmals.

m) Trage die Ergebnisse in die Tafel ein, bilde den Mittelwert und vergleiche ihn mit dem Wert  $f_1/f_2$ .

## 2. Verfahren.

**Literatur.** CREW-TATNALL 206 Nr. 93.

**Geräte.** Wie beim 1. Verfahren, doch | Pappröhre von 3,6 cm  
ohne Linsenhalter, dazu | innerer Weite.  
25 cm lange, innen ge- | 2 Bunsengestelle.  
schwärzte, 1,5 mm starke

**Anleitung.** n) Verfahre wie bei (a) bis (d).

o) Befestige mit Klebwachs oder mit Streifen aus gummiertem Papier die Linse mit der längern Brennweite  $f_1$  an einem Ende der Pappröhre. Klemme die Röhre an einem Gestell fest und richte das Ende, das die Linse trägt, auf einen entfernten Gegenstand vor dem geöffneten Fenster. Setze die andere Linse in die Klemme eines zweiten Gestells und stelle sie vor dem hintern Ende der Röhre so auf, daß die Linsenachsen zusammenfallen. Halte das Auge in 4 bis 5 cm Abstand hinter diese Linse und verschiebe das Gestell, bis du den entfernten Gegenstand deutlich siehst. *Fernrohr, Objektiv, Okular.*

p) Beantworte die in (h) gestellten Fragen.

q) Berichtige die Lage der Augenlinse, bis das Bild so scharf wie möglich erscheint. *Einstellen des Fernrohrs.* Stelle die Augenlinse mehrmals ein und miß jedesmal den Abstand zwischen Vorderlinse und Augenlinse. Trage die Ergebnisse wie bei (c) in die Tafel ein und berechne den Mittelwert. Vergleich ihn mit der Summe der Brennweiten.

r) Verfahre wie bei (k) bis (m).

**Bemerkungen.** Als Augenlinse kann man einen Fadenzähler verwenden, den man beim ersten Verfahren auf einen Holzklotz oder dergleichen stellt und beim zweiten Verfahren an einem Gestell befestigt.

Beim zweiten Verfahren empfiehlt es sich nicht, die Augenlinse in einer Röhre zu befestigen, die sich in der Röhre der Vorderlinse verschieben läßt.

Die Bestimmung der Vergrößerungszahl bereitet den Schülern erhebliche Schwierigkeiten, weil sie oft nicht imstande sind, beide Augen der

Sehweite richtig anzupassen. Vielen Schülern gelingt die Einstellung leichter, wenn sie dabei blinzeln. Kurzsichtige Schüler müssen ihre Brillen aufbehalten. Anstatt den Karton mit Strichen zu verwenden, kann man auf folgende Weise verfahren. Man läßt auf der Tafel zwei dicke wagerechte Striche im Abstand 7,5 bis 15 cm ziehen und aus möglichst großer Entfernung das Fernrohr darauf einstellen. Dann läßt man einen andern Schüler auf der Tafel die Stellen bezeichnen, die bei der Betrachtung mit dem unbewaffneten Auge mit den Bildern der beiden Striche zusammenfallen, die man mit dem andern Auge durch das Fernrohr sieht.

**17. Aufgabe.** *Stelle ein Mikroskop her und bestimme seine Vergrößerungszahl.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

### 1. Verfahren.

**Literatur.** WILBERFORCE-FITZPATRICK 2, 42 Nr. 2.

**Geräte.** 2 Sammellinsen von 2,5 bis 7,5 cm Brennweite.  
2 Linsenhalter (vgl. Spiegelgalvanometer).  
Millimeterteilung auf weißem Papier.

Bunsengestell.  
Rahmen aus Drahtgaze oder Nadel auf Holzfuß (vgl. S. 274).

**Anleitung.** a) Stelle die Millimeterteilung wagerecht vor der einen Linse in deren Achse so auf, daß ein umgekehrtes und stark vergrößertes Bild entsteht, und bringe es nach dem „Abweichungsverfahren“ mit der Drahtgaze (oder der Nadel) zur Deckung.

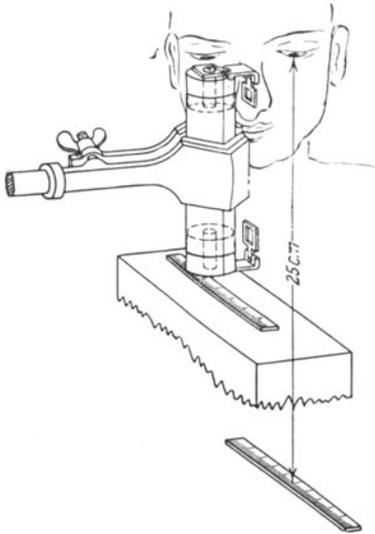


Fig. 200.

b) Benutze die andere Linse als Vergrößerungsglas und stelle sie wie bei Aufgabe 16 (f) so ein, daß du ein scharfes Bild der Gaze erblickst.

c) Miß den Abstand der Gaze von der vordern und der hintern Linse und den Abstand der Millimeterteilung von der vordern Linse.

d) Nimm die Gaze weg. Sieht man ein aufrechtes oder ein umgekehrtes Bild? Ist es verkleinert oder vergrößert? *Mikroskop, Objektiv, Okular.*

e) Wiederhole die Einstellungen und Messungen mehrmals:

f) Nähere ein wenig dem Objektiv den Gegenstand. Wie muß

man die Augenlinse verschieben, um wieder ein scharfes Bild zu erhalten? Ist es stärker vergrößert als vorher?

**2. Verfahren.****Literatur.** MILLIKAN-GALE 123 Nr. 49.

<b>Geräte.</b>	2 Fadenzähler. Röhre von 10 bis 12,5 cm Länge aus Pappe oder Weißblech. 2 Korke mit 1 cm weiten Durchbohrungen.	Bunsengestell. 2 Millimeterteilungen auf weißem Papier. Kautschukband. Holzklotz.
----------------	---	--

**Anleitung.** g) Setze in die Enden der Röhre die beiden Korke ein und befestige mit einem Kautschukband die Linsen der Fadenzähler über den Öffnungen (Fig. 200). Klemme die Röhre lotrecht über dem Tisch fest und stelle durch Heben oder Senken ein vergrößertes Bild der Millimeterteilung scharf ein, die auf einem Holzklotz darunter liegt. Der Abstand des Tisches vom obern Ende der Röhre sei etwas größer als 25 cm.

h) Lege wie in der Figur eine zweite Millimeterteilung auf den Tisch und hebe sie so weit, daß sie genau 25 cm von dem Auge absteht, das nicht durch das Mikroskop sieht. Betrachte gleichzeitig beide Teilungen, die eine durch das Mikroskop und die andere mit dem unbewaffneten Auge, und bestimme, wieviel Millimeter des Maßstabes von einem Millimeter der Teilung unter dem Mikroskop bedeckt werden. *Vergrößerungszahl des Mikroskops.*

**Bemerkung.** Vgl. auch die bei Aufg. 14 S. 283 angegebenen Schriften.

**V. Farbenzerstreuung.****18. Aufgabe.** *Wie zerstreut ein Prisma das Licht?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** NEWTONS *Optik*. Ostwalds *Klassiker d. exakt. Wissensch.* Nr. 96, S. 15, 19, 24, 31. GLAZEBROOK 178 Nr. 29 u. 30. WILBERFORCE-FITZPATRICK 2, 44 Nr. 5. WATSON, *Elem. Pract. Phys.* 143 Nr. 112. CREW-TATNALL 197 Nr. 89. MILLIKAN-GALE 124 Nr. 50. H. HAHN, *Freihandversuch* 3, 212, 214, 215, 221.

<b>Geräte.</b>	Schwalbenschwanzbrenner. Gasschlauch. 2 gleiche Prismen. Blende aus schwarzem Blech mit einem lotrechten Spalt von 1 bis 2 cm Länge und 1 bis 2 mm Breite. Weißer Schirm (vgl. S. 279). Holzklotz. Rechtecke (16 cm $\times$ 3 cm)	aus 3 mm starkem rotem und blauem Glas. Schwarzer Karton. Weißer Karton. Rot- und Blaustift. Mattes weißes, rotes, gelbes, grünes, violettes und schwarzes Papier. Schere. Gummi arabicum.
----------------	--	--

**Anleitung.** a) Halte das Prisma unmittelbar ins Sonnenlicht und wirf die Strahlen nach einem beschatteten Teil des Fußbodens. Halte zwischen die Sonne und das Prisma ein Stück schwarzen Karton, in den ein Spalt von 2 bis 3 mm Breite geschnitten ist. Wieviel Farben kann man unterscheiden? Welche Farbe wird am wenigsten und welche am meisten abgelenkt, d. h. welche Farbe liegt der brechenden Kante am nächsten und welche Farbe ist am weitesten davon entfernt? Vergleiche die Breite des Spalts mit der Breite des Farbenbandes. *Spektrum.*

b) Schneide in ein anderes Stück schwarzen Karton zwei Spalte von 2 mm Breite, die 2 mm voneinander abstehen. Verdecke den einen Spalt und beschreibe das Farbenband. Decke den Spalt auf und beschreibe die Farbenänderung in der Mitte des Lichtflecks, wo sich beide Bänder übereinander lagern. Vereinigen sich etwa hier die Bandfarben zu Weiß?

c) Halte das Prisma ohne Blende in die Sonnenstrahlen. Warum sind nur die Ränder des Lichtflecks und nicht die Mitte gefärbt?

d) Stelle einen Schwalbenschwanzbrenner so auf, daß der schmale Rand der Flamme dem Auge zugekehrt ist. Betrachte aus 2 bis 3 m Entfernung die Flamme. Halte das Prisma vor das rechte Auge und wende die brechende Kante gegen die Nase. Nach welcher Seite muß man durch das Prisma sehen, damit man das Bild der Flamme erblickt? Wie ist das Bild gefärbt? Welche Farbe liegt am weitesten nach rechts und welche am weitesten nach links? Welche Farben liegen dazwischen?

e) Betrachte einen breiten Streifen weißes Papier durch das Prisma. Wie ist der eine und wie der gegenüberliegende Rand gefärbt? Warum ist das Papier in der Mitte weiß? Warum sind die gegenüberliegenden Ränder verschieden gefärbt?

f) Schneide aus weißem Karton einen Streifen von  $\sim 5$  cm Länge und  $\sim 2,5$  cm Breite aus und zieh darauf parallel zu den Längsseiten zwei Striche, einen roten und einen blauen. Die Striche sollen nicht breiter als 1 mm sein und so dicht aneinander liegen, daß dazwischen der weiße Karton nicht zu sehen ist. Biege die Karte in der Mitte rechtwinklig um, damit man sie derart aufrecht stellen kann, daß die farbigen Striche lotrecht stehen.

g) Stelle das Prisma so auf den Tisch, daß die brechende Kante nach rechts gekehrt ist und setze in  $\sim 15$  cm Abstand die Karte so auf den Tisch, daß die Fläche mit den Strichen gegen das Prisma gekehrt ist und der rote Strich links liegt. Betrachte durch das Prisma die farbigen Striche. Welcher liegt links? Sind die beiden Bilder so breit wie die Striche?

h) Kehre die Karte so um, daß nun der rote Strich rechts liegt, und betrachte sie durch das Prisma. Welches Bild liegt rechts? Lenkt das Prisma die roten und die blauen Strahlen gleich stark ab?

i) Ziehe mit einem Bleistift einen 12 bis 15 cm langen Strich auf einem Blatt aus mattschwarzem Papier. Schneide aus rotem, gelbem,

grünem, blauem, violetterm und weißem Papier  $\sim 2$  cm lange und 0,2 cm breite Streifen. Klebe sie längs dem Bleistrich hintereinander so auf das schwarze Papier, daß sie einen zusammenhängenden 2 mm breiten Streifen bilden. Halte das Prisma dicht vors Auge, mit der brechenden Kante parallel dem Streifen, und drehe das Glas, bis du diesen siehst. Liegen die Bilder der Streifen auch in einer Geraden? Ordne die Streifen nach ihrem scheinbaren Abstand von der brechenden Kante. Werden Strahlen verschiedener Farbe beim Durchgang durch ein Prisma gleich stark abgelenkt? Welche werden am meisten und welche am wenigsten abgelenkt? Wirft jedes Papier nur eine einzige Farbe zurück? Ist z. B. im roten Papier etwas Blau und im gelben etwas Grün enthalten? Wieviel Farben kannst du im weißen Papier entdecken? Ist das Weiß vielleicht eine Mischung aller andern Farben?

k) Stelle im verdunkelten Zimmer eine Flamme dicht hinter eine Blende mit lotrechtcm Spalt. Drehe, wenn die Flamme flach ist, den schmalen Rand gegen den Spalt. Stelle nicht weit davon einen weißen Schirm auf und laß das Licht darauf fallen. Setze in der Höhe des Spalts das Prisma so auf einen Holzklotz, daß die brechende Kante dem Spalt parallel steht und das Lichtbündel auf die Mitte der einen Prismenfläche fällt. Prüfe dies mit einem weißen Papierstück. In welcher Richtung werden die Strahlen abgelenkt? Fange sie mit dem Schirm auf. Ist der Lichtfleck breiter als der Spalt? Welche Farben zeigt er? Drehe das Prisma langsam so, daß sich das rote Ende des Farbenbandes auf die Stelle hinbewegt, wo vorher der nicht abgelenkte weiße Lichtfleck lag. Hört bei einer bestimmten Stellung des Prismas die Bewegung des Bandes in diesem Sinn auf? Bewege das Prisma in demselben Sinn wie vorher weiter. Wie bewegt sich nun das rote Ende des Bandes? *Kleinste Ablenkung.* Stelle jetzt und bei allen künftigen Versuchen das Prisma so, daß die kleinste Ablenkung stattfindet. Rücke den Schirm so, daß das Farbenband möglichst scharf wird.

l) Welche Farbe hat das Licht, bevor es in das Prisma eintritt? Welche Farben zeigt es nach dem Durchgang durch das Prisma? Fahre mit einem Streifen aus schwarzem Karton längs der Prismenfläche hin und her, wodurch das Licht eintritt. Wie verschiebt sich das Farbenband? Erzeugen die verschiedenen Stellen der Prismenfläche an verschiedenen Stellen des Schirms farbige Bänder? Lagern sich, wenn die ganze Prismenfläche benutzt wird, die Streifen auf dem Schirm übereinander? Verkleinere mit dem Kartonstreifen die Breite des Spalts. Fahre mit dem Kartonstreifen längs der Prismenfläche hin und her, woraus das Licht austritt. Wie läßt sich die bandartige Verbreiterung des Lichtflecks auf dem Schirm erklären? Welche Strahlen werden am wenigsten und welche am stärksten abgelenkt?

m) Halte vor den Spalt eine rote Glasscheibe. Welche Strahlen gehen hindurch? Wie ist der Lichtfleck gefärbt? Wiederhole den

Versuch mit einer blauen Glasscheibe. Welches Licht wird am stärksten abgelenkt?

n) Nimm die blaue Glasscheibe weg und setze dicht hinter das Prisma ein anderes Prisma in die Stellung der geringsten Ablenkung und zwar so, daß die brechenden Kanten beider Prismen gleich laufen und nach derselben Seite gekehrt sind. Wo liegt jetzt das Farbenband auf dem Schirm? Wird die Zerstreuung des Lichts vergrößert?

o) Entferne das zweite Prisma etwas von dem ersten und drehe es dann so, daß seine Kanten die des ersten rechtwinklig kreuzen, also wagerecht liegen. Wie lenkt das zweite Prisma die Strahlen ab, die aus dem ersten austreten? Wie liegt jetzt das Farbenband auf dem Schirm? Welche Strahlen werden am stärksten abgelenkt?

p) Nimm das zweite Prisma in die Hand, halte die brechende Kante wagerecht und betrachte das wagerecht liegende Farbenband, das das erste Prisma auf dem Schirm entwirft. Vergleiche das Ergebnis mit dem des vorigen Versuchs.

q) Bringe beide Prismen wieder in die Stellungen, die sie bei dem Versuch (n) hatten, doch vergrößere ihren Abstand. Halte vor die Fläche des zweiten Prismas einen schwarzen Kartonstreifen, worin ein Spalt von 1 mm Breite geschnitten ist. Drehe das erste Prisma und laß der Reihe nach die roten, gelben usw. Strahlen auf den Spalt fallen und fange mit dem Schirm die Strahlen auf, die aus dem zweiten Prisma austreten. Zerlegt das zweite Prisma die farbigen Strahlen noch weiter? Welche Strahlen werden am stärksten abgelenkt?

**Bemerkungen.** Statt des Schwalbenschwanzbrenners und der Blende mit dem Spalt kann man im Notfall auch den Auerbrenner von Aufgabe 24 benutzen.

Das Prisma, das bei Aufgabe 7 verwandt wurde, ist für die Versuche (k) bis (q) zu klein und seine Zerstreuung zu gering; doch lassen sich damit diese schwierigen Versuche gut ausführen, wenn man das Verfahren anwendet, das in Aufgabe 22 (a) beschrieben wird.

**19. Aufgabe.** *Lassen sich die Farben, in die weißes Licht durch ein Prisma zerlegt wird, wieder zu Weiß vereinigen?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** NEWTONS, *Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissensch. Nr. 96 S. 91, 92.* GLAZEBROOK 181 Nr. 31. H. HAHN, *Freihandversuche* 3, 226.

<b>Geräte.</b>	Schwalbenschwanzbrenner. Gasschlauch. 2 gleiche Prismen. Blende (vgl. S. 291).	Weißer Schirm (vgl. S. 279). Holzklotz. Schwarzer Karton. Schere.
----------------	---	--

**Anleitung.** a) Entwirf wie bei Aufgabe 18 (k) auf dem Schirm ein Farbenband. Stelle dicht hinter das Prisma ein anderes Prisma der-

art, daß die Kanten und die einander zugekehrten Flächen gleich laufen und die brechenden Kanten nach verschiedenen Seiten gewandt sind. Ist auf dem Schirm ein Farbenband zu sehen? Wie wirkt das zweite Prisma auf die zerlegten Strahlen ein, die aus dem ersten Prisma austreten? Welchen Körper bilden beide Prismen zusammen?

b) Fahre mit einem schmalen Kartonstreifen zwischen den beiden Prismen hin und her. Sind die Bilder farbig, die von den Reststrahlen erzeugt werden?

c) Nimm das zweite Prisma weg und betrachte dadurch aus einem Abstand, der gleich dem Abstand des ersten Prismas vom Schirm ist, das Farbenband, das das erste Prisma entwirft. Halte dabei die brechende Kante des zweiten Prismas parallel zu der des ersten. Drehe die brechende Kante des zweiten Prismas nach derselben Seite wie die des ersten. Wie ändert sich die Länge des Farbenbandes? Addieren sich die Ablenkungen? Drehe die brechende Kante des zweiten Prismas nach der entgegengesetzten Seite. Addieren sich auch hier für jede Strahlenart die beiden Ablenkungen, oder heben sie sich gegenseitig auf?

**Bemerkung.** Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 18.

**20. Aufgabe.** *Hat eine Sammellinse die gleiche Brennweite für rotes und für blaues Licht?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** NEWTONS *Optik*. Ostwalds *Klassiker d. exakt. Wissensch.* Nr. 96 S. 17, 36, 58. GLAZEBROOK 191 Nr. 32. H. HAHN, *Freihandversuche* 3, 215, 225.

<b>Geräte.</b>	Pappe. Mattes rotes Papier. Mattes blaues Papier. Schere. Gummi arabicum. Schwarzes Garn.	Lampe. Blaues Glas. Rotes Glas. Bunsengestell. Die Ausrüstung wie bei Aufgabe 11, S. 275.
----------------	--	---

**Anleitung.** a) Beklebe ein Stück Pappe halb mit blauem und halb mit rotem Papier und binde quer einen schwarzen Faden darum. Beleuchte die Scheibe mit einer Lampe und versuche mit einer Sammellinse ein scharfes Bild des Fadens auf einem Schirm zu entwerfen. Blende dabei das Licht der Lampe von dem Schirm ab. Stelle zunächst den Faden auf dem blauen Felde scharf ein. Sieh nach, ob jetzt das Bild des Fadens auf dem roten Felde verschwommen ist. Entferne den Schirm ein klein wenig von der Linse und stelle den Faden auf dem roten Hintergrund scharf ein. Prüfe, ob nun das Bild des Fadens auf dem blauen Hintergrund verschwommen wird. Vereinigt die Linse rote und blaue Strahlen an derselben Stelle?

b) Entwirf mit der Linse auf dem Schirm ein scharfes Bild eines mit großen schwarzen Buchstaben bedruckten Papiers. Stelle vor eine sehr starke Lichtquelle ein rotes Glas und beleuchte so das Papier mit rotem Licht. Ist das Bild auf dem Schirm noch scharf? Stelle es ganz scharf ein. Ersetze das rote Glas durch ein blaues. Bleibt das Bild auf dem Schirm scharf? Nähere der Linse den Schirm und stelle das Bild wieder scharf ein.

c) Stelle zwischen die Lichtquelle und das Drahtnetz eine rote Glasscheibe und bestimme wie in Aufgabe 11 (l) bis (n) nach dem Verfahren von BESSEL die Brennweite der Linse.

d) Bestimme ebenso die Brennweite der Linse für blaues Licht. Ist die Brennweite für rotes oder für blaues Licht länger?

Bemerkung. Bei den Versuchen (b) bis (d) kann man auch die farbigen Gläser vor die Augen halten.

**21. Aufgabe.** *Untersuche mit dem Prisma verschiedene Körper, die Licht aussenden oder verschlucken.*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** CREW-TATNALL 210 Nr. 94.

<b>Geräte.</b>	Glasprisma (vgl. Aufg. 7). Bunsenbrenner. Gasschlauch. Schirm mit Spalt. Dickes weißes Fließpapier oder Asbestpapier. Schere. Glühlampe. Natriumchlorid. Natriumnitrat.	Lithiumchlorid. Thallosulfat. 4 Prüfgläser, die in Be- chergläsern stehen. Fettstift oder gummiertes Papier. Rotes und blaues Glas. Stricknadel. Putzleder.
----------------	--	---

**Anleitung.** a) Laß den Mitarbeiter aus dem Fließpapier Streifen (10 cm  $\times$  1 cm) schneiden, das eine Ende eines Streifens entzünden, sofort die Flamme ausblasen und durch schwaches Blasen das glimmende Ende dauernd in Glut erhalten. *Rotglühender fester Körper (Kohle)*. Halte das Prisma mit der brechenden Kante lotrecht dicht vors Auge und betrachte das rotglühende Papierende aus 1 bis 3 m Entfernung. Ist das Bild so breit wie der Gegenstand? Welche Farben beobachtet man durch das Prisma? Welche Farbe ist von der brechenden Kante am wenigsten und welche am meisten entfernt? Betrachte durch das Prisma den Faden einer brennenden Glühlampe. Welche Farben sendet glühende feste Kohle aus?

b) Stelle hinter den Spalt des Eisenschirms eine leuchtende Bunsenflamme oder eine brennende Kerze. Halte die brechende Kante des Prismas parallel zum Spalt. Vergleiche das Farbenband mit jenem der festen Kohle (a). Enthält es Farben, die in dem Farbenbande der leuchtenden Gasflamme fehlen? Welcher Stoff ist vermutlich in der Flamme enthalten?

c) Öffne das Luftloch des Bunsenbrenners und untersuche mit dem Prisma die nicht leuchtende Flamme. Welche Farben sind am hellsten? Welche Farben fehlen?

d) Laß den Mitarbeiter in einem Prüfglas eine Kochsalzlösung herstellen, einen Streifen Fließpapier oder Asbestpapier, worauf er, ebenso wie auf das Prüfglas, NaCl geschrieben hat, damit befeuchten und das Ende des Papiers in den untern Teil der nichtleuchtenden Flamme halten. Untersuche diese mit dem Prisma. Welche Farbe überwiegt alle andern? Man muß den Streifen so stark befeuchten, daß er sich nicht entzündet.

e) Laß den Mitarbeiter einen andern Streifen, auf den er  $\text{NaNO}_3$  geschrieben hat, mit einer Natriumnitratlösung befeuchten. Welche Farbe wiegt im Farbenband stark vor, sobald der Streifen die Flamme berührt? Welcher Bestandteil ist in beiden Stoffen enthalten? Welche Farbe liefern beide?

f) Laß, während du die Bunsenflamme mit dem Prisma betrachtest, den Mitarbeiter den Brenner  $\sim 1$  cm hoch heben und dann niederstoßen, so daß etwas Staub in die Flamme fliegt. Welche Farbe blitzt auf? Welcher Stoff ist also in dem Staub enthalten?

g) Laß den Mitarbeiter einen dritten Streifen Fließpapier, auf den er LiCl geschrieben hat, mit einer schwachen Lösung von Lithiumchlorid (erbsengroßes Stück) befeuchten und das Ende des Streifens in den untern Teil der Bunsenflamme halten. Welche Farbe überwiegt?

h) Wiederhole den Versuch (g) mit Thallosulfat. Ein Stück, so groß wie ein Nadelkopf, in einem Fingerhut voll Wasser gelöst, reicht völlig für den Versuch aus. Auf den vierten Streifen ist  $\text{Ti}_2\text{SO}_4$  zu schreiben. Welche Farbe wiegt neben dem allgegenwärtigen Gelb vor?

i) Laß den Mitarbeiter einen einzigen, je zwei, je drei oder alle vier Streifen in die Flamme halten, ohne daß du weißt, welchen oder wieviele er nimmt. Kannst du sagen, welche Stoffe er benutzt? *Spektralanalyse.*

k) Laß den Mitarbeiter die Bunsenflamme leuchtend machen und den roten Glasstreifen dicht vor den Spalt halten. Welche Farben des gewöhnlichen Farbenbandes verschwinden? Wiederhole den Versuch mit dem blauen Glas. Welche Farben sind ausgelöscht? Laß beide Gläser aufeinander legen und vor den Spalt halten. *Kontinuierliches Spektrum. Absorptionsspektrum.*

l) Lege auf das Fensterbrett zwei Holzstäbchen  $h$  (Fig. 201) und quer darüber hinten einen Bleistift  $b$  und vorn in den hellen Sonnenschein eine glänzende Stricknadel  $s$ . Stelle dich mindestens 120 cm davon entfernt auf, halte die Kante des Prismas parallel zur Nadel und

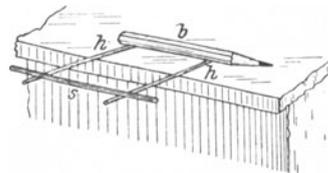


Fig. 201.

betrachte sie durch das Prisma. Wie viele schwarze Linien siehst du und in welchen Farben liegen sie? *Fraunhofersche Linien.*

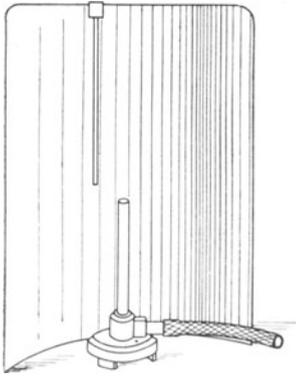


Fig. 202.

**Bemerkungen.** Der Schirm mit Spalt ist ein Quadrat (30 cm  $\times$  30 cm) aus schwarzem Eisenblech, worin ein 15 cm langer und 0,3 cm breiter Schlitz längs der einen Mittellinie vom Rand aus eingeschnitten ist; über das obere Ende des Spalts ist ein kleiner Blechstreifen gelötet und der Schirm schwach walzenförmig um eine dem Spalt gleichlaufende Achse gebogen (Fig. 202).

30 gr Lithiumchlorid und 5 gr Thallsulfat reichen für viele Jahre aus. Die Streifen und die Prüfgläser mit den Lösungen sind sorgfältig zu bezeichnen.

Bei Versuch (1) benutzte ich früher einen Streifen von 3 mm Breite aus weißem Fließpapier oder Karton, der auf ein Stück mattschwarzes Tuch (60 cm  $\times$  60 cm) in den Sonnenschein gelegt wurde. Der Versuch gelang mit den hier benutzten Prismen nicht.

Den neuen Ersatz für den beleuchteten Spalt verdanke ich einer lebenswürdigen Mitteilung meines Kollegen Dr. R. MAUER zu Freiburg im Breisgau.

## 22. Aufgabe. *Wie ist ein Spektroskop eingerichtet?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** WILBERFORCE-FITZPATRICK 2, 46 Nr. 6.

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 19, S. 294, dazu:

2 Sammellinsen von 15 cm Brennweite.  
Sammellinse von 5 cm

Brennweite oder Fadenzähler.

3 Linsenhalter.

Schirm aus Drahtgaze oder dergleichen (vgl. S. 287).

**Anleitung.** a) Stelle in 30 cm (= 2f) Abstand vom Spalte eine Sammellinse von 15 cm Brennweite auf und entwirf damit ein scharfes Bild des Spalts auf dem Schirm. Stelle zwischen Linse und Schirm das Prisma auf, und zwar möglichst nahe der Linse. Fange vor dem Prisma das Lichtbündel mit einem weißen Papierstück auf und prüfe, ob es richtig auf das Prisma fällt. Verschiebe, wenn nötig, den Schirm und fange damit das Farbenband auf. Drehe das Prisma wie in Aufgabe 18 (k) so, daß das Farbenband von dem ursprünglichen Spaltbilde den kleinsten Abstand hat. Bewege dann den Schirm ein wenig nach vorn oder hinten, damit das Farbenband so hell wie möglich wird und der obere und untere Rand ganz scharf eingestellt sind.

b) Wiederhole mit dieser Anordnung die Aufgaben 18 (k) bis (q) und 19.

c) Nähere dem Spalte die Linse auf 15 cm (= f). Bei dieser Stellung entwirft die Linse auf dem sehr weit entfernten Schirm ein scharfes Bild des Spalts. Das Zimmer muß man dabei verdunkeln oder wenigstens den Schirm beschatten. Stelle dicht hinter die Linse

das Prisma und prüfe wieder mit einem Stück Papier, ob das Licht richtig eintritt. Stelle die andere Linse von 15 cm Brennweite so auf, daß das Farbenband darauf fällt, und prüfe dies mit einem Stück Papier. Drehe wie vorher das Prisma in die Stellung der kleinsten Ablenkung und verschiebe den Schirm, bis die größte Schärfe des Farbenbandes auch an dem obern und dem untern Rand erreicht ist.

d) Ersetze den Schirm durch den Drahtgazerahmen. Stelle auf der entgegengesetzten Seite die Linse mit kurzer Brennweite, die als Lupe dient, oder einen Fadenzähler auf die Gaze ein. Entferne die Gaze. Wie ist das Farbenband beschaffen, das man durch diese Vorrichtung sieht? *Spektroskop*.

e) Wiederhole mit dieser Anordnung die Aufgabe 21.

**Bemerkungen.** Einfache Vorrichtungen zur Erläuterung des Spektroskops findet man bei SCHUSTER-LEES, *Intermed. Course 146 Nr. 28*. JOHN LE MAY, *School Science 2, 32; 1902*. E. GRIMSEHL, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 17, 202; 1904*.

## VI. Beugung und Interferenz.

**23. Aufgabe.** *Wie verhält sich Licht beim Durchgang durch enge Öffnungen?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** CREW-TATNALL 186 Nr. 84.

<p><b>Geräte.</b> Argandbrenner mit Schornstein. Rote Glasplatte (vgl. Aufgabe 18). Bunsengestell.</p>	<p>Postkarten. Schere. Blattzinn oder Schablonenmessing. Stecknadeln.</p>
--	---

**Anleitung.** a) Befestige vor der runden Öffnung die rote Glasplatte. *Leuchtender Punkt*. Mache mit einem scharfen Taschenmesser oder einer Schere einen Schnitt in den Rand einer Postkarte. Halte die Postkarte dicht vors Auge und sieh durch den Schlitz nach dem 1,50 bis 3 m entfernten kleinen Loch des Schornsteins. Erscheint die Öffnung kreisförmig? Zeichne das Bild des Lochs, wie du es beim Betrachten durch den Kartenschlitz siehst.

b) Drehe dicht vorm Auge den Schlitz um den Lichtstrahl als Achse und betrachte den leuchtenden Punkt. Dreht sich das Bild mit dem Schlitz?

c) Schaue durch den Schlitz und ändere während des Durchsehens seine Breite durch schwaches Auseinanderziehen oder Zusammenschieben der Ränder. Wird das Bild breiter oder schmaler, wenn man die Ränder auseinanderzieht?

d) Drehe die Lampe um, so daß jetzt der Spalt dir zugekehrt ist. Halte die Karte dicht vors Auge und den Schlitz parallel zum Spalt. Wie sieht das Bild aus? Halte den Schlitz rechtwinklig zum Schornsteinspalt. Wie sieht jetzt das Bild aus?

e) Mach eine Zeichnung, die die Richtungsänderung der Strahlen bei dem Durchgang durch einen engen Spalt darstellt. *Beugung. Wellenlehre.*

f) Mach in eine Postkarte oder noch besser in ein Stück Blattzinn oder Schablonenmessing drei Nadelstiche, den einen so fein wie möglich, den andern von der größten Dicke der Nadel und den dritten von einer mittlern Weite. Betrachte der Reihe nach durch diese Löcher den leuchtenden Punkt. Durch welche Öffnung sieht die Lichtquelle am kleinsten und durch welche am größten aus?

Bemerkungen. Bei dem Argandbrenner ist die Höhe der durchlochten Deckplatte über dem Tisch 19 cm. Er ist mit Gasregelung und einem 15 cm hohen Schornstein aus Schwarzblech versehen, darin ist in 6,5 cm Höhe ein 2 mm weites Loch und diesem gegenüber ein Längsspalt (1,7 cm  $\times$  1 mm) angebracht.

**24. Aufgabe.** *Kann man Dunkelheit erzeugen durch die Vereinigung zweier Strahlenbündel, die von derselben Lichtquelle ausgehen?*

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Literatur.** CREW-TATNALL 186 Nr. 84.

**Geräte.** Argandlampe, wie in Aufgabe 23.  $\times$  3,2 cm) einer entwickelten Lichtbildplatte.

Rechteckige Stücke (4,5 cm Kleines Lineal.

**Anleitung.** a) Schneide. mit einem scharfen Messer längs einem Lineal (dies fest aufdrücken) zwei feine gleichlaufende Striche, die nicht weiter als 0,03 cm voneinander abstehen, in die Schicht der Lichtbildplatte. Betrachte durch das Spaltpaar den Spalt der Lampe. Wieviel Strahlenbündel gelangen ins Auge? Gehen sie von derselben Lichtquelle aus? Wie ändern sie beim Durchgang durch die beiden engen Spalte ihre Gestalt? Was erzeugen die beiden sich durchdringenden Strahlenbündel auf der Netzhaut des Auges? *Interferenz.*

b) Zieh auf der Schicht ein anderes Paar feiner gleichlaufender Striche, die etwas enger als die vorigen zusammenstehen. Ändert dies den Abstand der hellen Streifen im Bilde?

c) Zieh ein drittes Paar Striche, die etwas weiter voneinander entfernt als die des ersten Paares sind. Welchen Einfluß hat dies auf den Abstand der hellen Streifen im Bilde?

**25. Aufgabe.** *Wie groß ist die Wellenlänge des Natriumlichts?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** H. O. G. ELLINGER, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 16, 280; 1903. C. F. ADAMS, *School Science* 3, 509; 1904.

**Geräte.** Auerbrenner.  
Gasschlauch.  
3 Meterstäbe.  
Bunsengestell.  
Schwarzer Karton.  
Asbestpapier.

Schere.  
Beugungsgitter.  
Halter für das Gitter.  
Gesättigte Lösung von Natriumnitrat.

**Anleitung.** a) Stelle am Seitenrande des Tisches das Gitter so auf, daß seine Öffnungen lotrecht stehen. Tränke das Asbestpapier mit der Lösung von Natriumnitrat, wickle es um den Einsatzstift des Brenners und setze dann den Blechmantel auf. Stelle in  $\sim 1,30$  m Abstand vom Gitter die Lampe so auf den Tisch, daß der Spalt dem Gitter zugekehrt ist und in einer lotrechten Ebene liegt, die durch die Mitte des Gitters geht. Dabei achte man darauf, daß die Gitter-

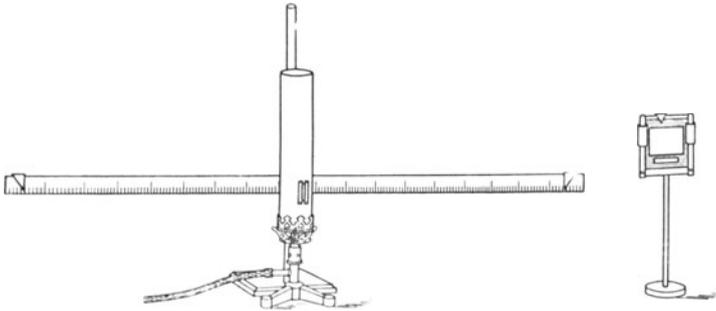


Fig. 203.

öffnungen parallel zum Spalt liegen. Den Abstand des Gitters von der Lampe wähle man so groß, daß die Beugungsbilder ungefähr auf die Enden des Maßstabes fallen. Klemme dicht hinter der Lampe einen Meterstab wagerecht derart fest, daß seine geteilte Fläche parallel zur Gitterfläche steht (Fig. 203). Setze auf die Mitte des obren Gitterrandes einen kleinen Reiter aus schwarzem Karton (Fig. 204I) und auf den Maßstab rechts und links von der Lampe je einen Reiter aus schwarzem Karton von der in Fig. 204 II abgebildeten Gestalt.

b) Verdunkle das Zimmer so weit, daß man die Reiter auf dem Maßstab noch deutlich erkennen kann. Laß den Mitarbeiter die Lampe anzünden. Sieh an der Stelle, die durch den Reiter bezeichnet ist, schräg durch das Gitter nach dem ersten Beugungsbild rechts von der Lampe. Laß den Mitarbeiter den rechten Reiter auf dem Maßstab so weit verschieben, daß die Kante  $AB$  mit der Mitte des Beugungsbildes zusammenfällt. Stelle dann ebenso den linken Reiter auf dem Maßstab auf das erste Beugungsbild links von der Lampe ein. Laß die Lampe ausdrehen.

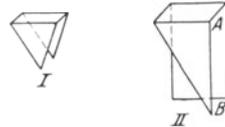


Fig. 204.

c) Lies, sobald das Zimmer wieder hell gemacht worden ist, sorgfältig die Stellungen der Reiter auf dem wagerechten Maßstab ab und miß mit zwei aufeinander gelegten Maßstäben die Entfernungen  $E_1$  und  $E_2$  cm der Gittermarkenspitze von den Rändern  $AB$  der Maßstabreiter.

d) Berechne aus den Stellungen der Maßstabreiter den Abstand  $l$  cm der beiden Beugungsbilder und daraus die Verschiebung des

Spaltbildes  $e = \frac{1}{2}l$ , ferner den Sinus des Winkels  $\delta$ , den die Richtungen nach den Beugungsbildern mit der Verbindungsgeraden von Gittermitte und Spalt bilden,  $\sin \delta = e/E$ . Frage den Lehrer, wie groß die Gitterbreite (Gitterkonstante)  $b$  ist, d. h. die Weite einer Gitteröffnung, vermehrt um die Breite des angrenzenden dunkeln Strichs, und bestimme dann mit der Formel  $\lambda = b \sin \delta$  die Wellenlänge des Natriumlichtes.

e) Wiederhole die Einstellungen und Messungen viermal und berechne den Mittelwert der Länge  $\lambda$ .

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Gitter Nr. . . . Gitterbreite  $b = \dots$  mm.

Reiterstellung		Abstand der Beugungsbilder $l$ cm	Abstand des Beugungsbildes vom Spalt $e = \frac{1}{2}l$	Abstand ( $E$ cm) der Gittermitte von den Beugungsbildern			$\sin \delta = e/E$	$\lambda = b \sin \delta$
rechts cm	links cm			rechts	links	Mittel		
Mittel							. . . . .	

**Bemerkungen.** ADAMS stellt die Lampe auf folgende Weise her: Er schraubt auf die Grundplatte eines gewöhnlichen Bunsenbrenners einen Auerbrenner (ohne Strumpf) und wickelt um den Strumpfräger Asbestpapier, das er zuvor mit einer gesättigten Lösung von Natriumnitrat in Wasser getränkt hat. Auf die Brennerfassung stellt er einen Mantel aus Eisenblech, worin ein lotrechter Spalt von 2,5 cm Länge und 1 mm Breite sauber eingeschnitten ist.

Über andere Verfahren zur Herstellung von Licht, das eine bestimmte Wellenlänge hat, vgl. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 265 und LUTHER-OSTWALD<sup>3</sup> 345.

Benutzt man Gitter mit größerer Breite, so kann man noch den Abstand  $l'$  der zweiten Beugungsbilder messen und auch daraus  $e = \frac{1}{4}l'$  berechnen.

ELLINGER benutzte ein Gitter von der Breite 0,006 mm, ADAMS eines von der Breite 0,00849. In dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut wurden ausgezeichnete und billige WALLACESCHE Kopien von ROWLAND-Gittern benutzt, deren Breiten 0,00169 und 0,00168 mm waren. Diese Gitter sind von der CENTRAL SCIENTIFIC Co. zu Chicago, 14—28 Michigan Street, bezogen worden.

Über weitere einfache Versuche aus der physikalischen Optik vgl. G. QUINCKE, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 7, 57; 1893 und E. GRIMSEHL, *Ausgewählte physikalische Schülerübungen*, Leipzig Teubner, 1906.

## Neunter Teil.

# Magnetismus.

### I. Coulombs Gesetz.

**1. Aufgabe.** *Hängt die Wechselwirkung zwischen zwei Magnetpolen von ihrer Entfernung und von ihren Stärken ab?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

#### 1. Verfahren.

<b>Geräte.</b>	Magnetometer.	Wasserwaage.
	Magnetstab von 50 cm Länge	Millimeterpapier.
	und 0,25 cm Durchmesser	Korkunterlagen.
	mit bezeichneten Polen.	Spiegelglasstreifen.

**Anleitung.** a) COULOMB hat aus seinen Versuchen geschlossen, „daß die anziehende und abstoßende Kraft des magnetischen Fluidums in geradem Verhältnis zu den Dichtigkeiten und in umgekehrtem Verhältnis zu dem Quadrate der Abstände der magnetischen Moleküle stehe“. Wir nehmen an, um die Fernwirkungen eines Magnetstabes zu beschreiben, daß die beiden Magnetismen in zwei Punkten, in den Fernpolen, oder kurz Polen, verdichtet seien, und bezeichnen die Menge des Magnetismus oder die Stärke des Magnetpols mit  $m$ . Zwischen zwei gleichnamigen Polen von den Stärken  $m$  und  $m'$ , die  $r$  cm voneinander abstehen, würde nach COULOMB die abstoßende Kraft  $F = mm'/r^2$  wirken. Wir benutzen, um dieses Gesetz zu prüfen, einen so langen Magnetstab, daß bei geeigneter Stellung nur die Wirkung des einen Pols zu berücksichtigen ist, die des andern aber vernachlässigt werden darf, und verwenden ferner eine kurze Magnetnadel, die sich auf einer Spitze in wagerechter Ebene frei bewegen kann. Sind  $m$  die Stärke des wirkenden Stabpols,  $\pm m'$  die Stärken der beiden Nadelpole und  $l'$  der Abstand der beiden Nadelpole und halten wir den Nordpol  $m$  des Stabes so weit von der Nadel entfernt,

---

<sup>1)</sup> Vier Abhandlungen über die Elektrizität und den Magnetismus von COULOMB. OSTWALDS *Klassiker d. exakten Wissenschaft* 13, 42. Vgl. dazu DU BOIS, *Magn. Kreise* 30, 340 u. 342. COHN, *Elektromagn. Feld* 176.

daß wir seine Abstände  $r$  von den Polen und der Mitte der Nadel als gleich ansehen dürfen, so stößt er den Nordpol der Nadel mit der Kraft  $F = mm'/r^2$  ab und zieht ihren Südpol mit der Kraft  $-F$  an. Ferner wirkt auf die beiden Nadelpole der Erdmagnetismus mit den beiden Kräften  $\pm m'H$  ein, wo  $H$  die Horizontalkomponente der Intensität bezeichnet. Durch die Wirkung dieser beiden einander entgegengesetzten Kräftepaare wird die Nadel um den Winkel  $\varphi$  aus dem magnetischen Meridian abgelenkt (Fig. 205). Das erste Kräftepaar erzeugt einen Drehantrieb von der Größe

$$\frac{mm'}{r^2} \cdot l' \cos \varphi$$

und das andere Kräftepaar den Drehantrieb

$$m'H \cdot l' \sin \varphi.$$

Da beide Antriebe einander gleich sind, so ist

$$r^2 \operatorname{tg} \varphi = \frac{m}{H}.$$

Unsere Aufgabe ist es, diese Folgerung aus dem Coulombschen Gesetz und damit das Gesetz selbst durch Versuche zu prüfen.

b) Lagere den Magnetstab mit einem Kork so auf den östlichen Teil des Maßstabes, daß sein Nordpol  $N_1$  (Fig. 206) genau in 15 cm Abstand der Nadel zugekehrt ist, seine Achse auf der waagrechten Längsachse der Magnetnadel senkrecht steht und durch deren Mitte geht. *Erste Hauptlage.* Klopfle schwach

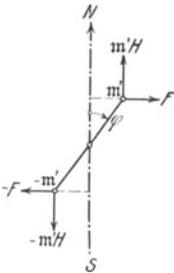


Fig. 205.

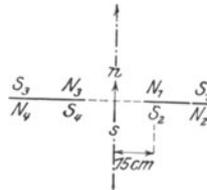


Fig. 206.

gegen das Magnetometer und lies die Ablenkungen beider Zeigerspitzen bis auf einen Zehntelgrad genau ab.

c) Drehe den Stab um  $180^\circ$ , so daß jetzt sein Südpol  $S_2$  genau 15 cm von der Mitte der Nadel entfernt ist, und lies wiederum die Stellungen beider Zeigerspitzen ab.

d) Lege den Magnetstab so auf den westlichen Teil des Maßstabes, daß sein Nordpol  $N_2$  der Nadel zugewandt und 15 cm von ihrer Mitte entfernt ist, und bestimme die Ablenkungen beider Zeigerspitzen.

e) Drehe den Stab um  $180^\circ$ , so daß jetzt sein Südpol  $S_4$  genau 15 cm von der Mitte der Nadel entfernt ist, und lies die Stellungen beider Zeigerspitzen ab.

f) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Magnetometer Nr. . . . Magnetstab Nr. . . .  $H = \dots$  [Gauß]

Stellungen des Magnetstabes			Zeigerablesungen			$\varphi$	$\text{tg } \varphi$	$r^2$	$\frac{1}{r^2}$	$r^2 \text{tg } \varphi$	m
cm	Stablage	Zugewandter Pol	Ostspitze	Westspitze	Mittel						
	östlich	N									
		S									
	westlich	N									
		S									

g) Führe die Versuche (b) bis (e) mit den Abständen 18 und 21 cm aus.

h) Trage die Ergebnisse in die Tafel ein und berechne aus den zusammengehörigen acht Zeigerablesungen die wahre Ablenkung  $\varphi$ .

i) Frage den Lehrer, wie groß  $H$  ist, und berechne  $r^2 \text{tg } \varphi$ ,  $1/r^2$  und m. Nimm das Mittel aus allen Werten von m. Wie groß ist die Polstärke des Magnetstabes? Stelle die Ergebnisse bildlich dar, wähle dabei  $\text{tg } \varphi$  als Abszisse und  $1/r^2$  als Ordinate. Welche Gestalt hat die Kurve? Was ergibt sich aus Rechnung und Zeichnung?

2. Verfahren.

Geräte wie beim 1. Verfahren, doch 2 ROBISONSCHE Magnete statt der beiden langen Magnetstäbe.

Anleitung. k) Der Nordpol  $P_1$  (Fig. 207) des ROBISONSCHE Magnets hat die Stärke  $+m$  und der Südpol die Stärke  $-m$ . Auf der verlängerten Achse des Magnets liege im Punkt  $C$  ein Nordpol von der Stärke  $+m'$ , der von  $P_1$  um  $r_1$  und von  $P_2$  um  $r_2$  cm entfernt ist. Wie groß ist nach dem COULOMBSCHEN Gesetz die Kraft  $F_1$ , womit  $P_1$  den Pol  $C$  abstößt, und die Kraft  $F_2$ , womit  $P_2$  den Pol  $C$  anzieht? Wie groß ist die Gesamtwirkung des Magnets  $P_1P_2$  auf den Nordpol  $C$ ?

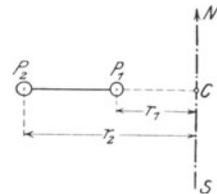


Fig. 207.

$$F = m m' \left( \frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right).$$

Wir wollen annehmen, daß in  $C$  senkrecht zur Achse des Magnets  $P_1P_2$  eine Magnetnadel  $P_1'P_2'$  stehe, deren Länge so gering sei, daß

die Wirkung von  $P_1P_2$  auf  $P_1'$  und auf  $P_2'$  ebenso groß wie auf dem Punkt  $C$  sei, es greife also in  $P_1'$  die Kraft  $+F$  und in  $P_2'$  die Kraft  $-F$  an. Stab und Nadel befinden sich in der ersten Hauptlage, und die Nadel sei in einer wagerechten Ebene frei beweglich und werde um den Winkel  $\varphi$  aus dem magnetischen Meridian abgelenkt. Wie groß ist der Drehantrieb, den der Magnet  $P_1P_2$  hervorruft, und wie groß der Drehantrieb, den der Erdmagnetismus erzeugt? Welche Beziehung besteht also zwischen  $r_1, r_2, \varphi, m$  und  $H$ ? Vgl. (a).

$$\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2}} = \frac{m}{H}$$

1) Verfahre bei den Versuchen (b) bis (e) mit dem ROBISONschen Magnet ebenso wie mit dem langen Magnetstabe, doch lies hier noch den Abstand  $r_2$  des zweiten Stabpols von der Mitte der Nadel auf ein Zehntelmillimeter genau ab. Die Fernpole liegen nahezu genau in den Mitten der Endkugeln, also in den Mitten der Kreise, die in die Kugeln eingeschnitten sind. Die Abstände dieser Kreise von der Mitte der Magnetnadel sind also  $r_1$  und  $r_2$ . Solange die Kugel gut poliert ist, kann man den Kreis entbehren; denn der Pol liegt genau über dem Teilstrich des Maßstabes, dessen Spiegelbild man auf der Kugel als einen lotrechten Strich erblickt. Man gebe dem Pol, der der Mitte des Magnetometers zugekehrt ist, der Reihe nach die Abstände 9, 11, 13 und 15 cm und trage die Ablesungen der beiden Zeigerspitzen in folgende Tafel ein.

Magnetometer Nr. . . . Magnet Nr. . . .  $H = \dots$  [Gauß].

Magnetstellungen				Nadel- ablesungen			$\varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2}}$	$m$
$r_1$ cm	$r_2$ cm	Magnet- lage	Zuge- wandter Pol	Ost- spitze	West- spitze	Mittel				
9		östlich	N							
			S							
		westlich	N							
			S							
Mittel $r_2 =$	...									

Bemerkungen. Bei den 50 cm langen Stahlstäben liegen die Pole nahezu in den Endpunkten und bei den ROBISONschen Magneten in den Mittelpunkten der Kugeln; daher ist eine Polbestimmung überflüssig. JOHN ROBISON hat diese Magnete im Jahre 1769 oder vorher ersonnen; sie wur-

den später unabhängig von ihm von G. F. C. SEARLE<sup>1)</sup> gefunden. Der hier benutzte ROBISONsche Magnet wurde folgendermaßen hergestellt: In zwei enthärtete Fahrradkugeln von 0,79 cm Durchmesser wurde je ein Loch gebohrt, die Kugeln wurden wieder gehärtet und dann auf die Enden eines Stücks einer Stricknadel von 0,15 cm Durchmesser aufgeschraubt. Die Mittelpunkte der Kugeln stehen 10,41 cm von einander ab. In die Kugelflächen sind die größten Kreise eingeschnitten, deren Ebenen auf der Stabachse senkrecht stehen und durch die Pole gehen. Der so zusammengesetzte Stab wurde auf folgende Weise magnetisiert: An den Enden zweier Rundstäbe aus schweißbarem Eisen wurden halbkugelförmige Höhlungen ausgedreht, deren Halbmesser gleich dem Radius der Kugeln ist. Der Stab mit den Kugelenden wurde in eine lange Glasröhre gesteckt, um die eine Draht-

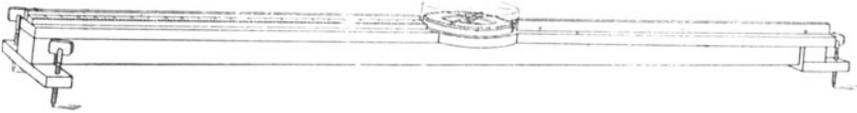


Fig. 208.

spule gewickelt worden war. Von beiden Seiten her wurden die Eisenstücke so an die Kugeln herangeschoben, daß diese sich fest in die Höhlungen lagerten. Dann wurde durch die Spule ein kräftiger Strom geschickt. Der von mir benutzte Magnet hat eine Polstärke von 11 CGS-Einheiten, die von SEARLE hergestellten haben Polstärken von 10 bis 15 Einheiten.

FR. C. G. MÜLLER benutzte beim ersten Verfahren 2 m lange Stäbe von Bleistiftstärke, die er bei den Messungen senkrecht hält. Beim Arbeiten in gleicher Front ist die starke Fernwirkung so langer Magnete störend.

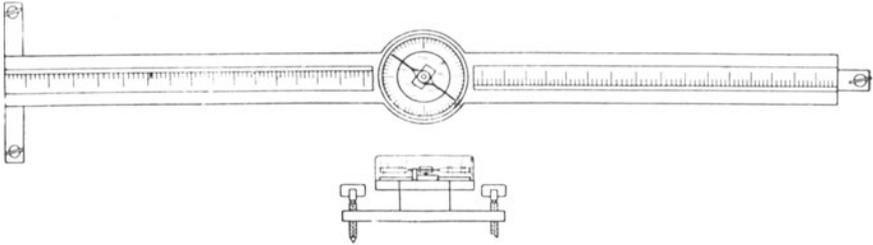


Fig. 209.

Das Zeigermagnetometer (Fig. 208) ist im wesentlichen nach den Vorschlägen von HADLEY (15 Nr. 16 u. 216 Nr. 4) gebaut. Das Grundbrett hat die in Fig. 209 angegebene Form. Die untern Teile waren ursprünglich so angeordnet, daß man das Magnetometer in eine Tangentenspule verwandeln konnte, indem man es auf ein Gestell setzte, das Drahtspulen trug. Diese Verbindung hat sich jedoch nicht bewährt, und es wird daher jetzt der Unterbau etwas standfester ausgeführt. Von zwei Maßstäben, die 50 cm lang und in Millimeter geteilt sind, werden die ersten 6 cm abgeschnitten und die Reste so befestigt, daß sie genau den Abstand von der Mitte des Teilkreises angeben. An dem geteilten Rande der Maßstäbe ist eine dünne Holzleiste befestigt, die etwas über die Teilung emporragt und als Führung dient. Beim Bau der Vorrichtung wurden keine Eisenteile

<sup>1)</sup> Notes on a Vibration Magnetometer and on the Ball-ended Magnets of ROBISON, *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 12, 27; 1903.

verwandt, sondern nur Messingschrauben benutzt. Der Teilkreis (10 cm Durchmesser) ist auf eine dünne Holzscheibe geklebt, die so dick wie die Maßstäbe und auf die Mitte des Grundbretts geleimt ist. In die Mitte des Teilkreises ist auswechselbar die Spitze einer Nähnadel eingesetzt. Bei den Vorrichtungen, die jetzt Herr HINTZE anfertigt, ist die Kreisteilung auf einer Spiegelscheibe befestigt. Die Magnetnadel hat HADLEY auf folgende Weise angefertigt: Er schmelzte eine Glasröhre halbkugelförmig zu und schnitt ein 1 cm langes Stück ab, magnetisierte dann zwei 2 cm lange Stücke einer Uhrfeder und band die gleichnamigen Pole mit Kupferdraht zusammen, nun schob er das Glashütchen zwischen die Mitten der beiden Magnete und befestigte es mit Siegellack; schließlich schnitt er aus Aluminiumblech einen Zeiger und bog dessen freies Ende so um, daß die Fläche lotrecht stand. Das Glashütchen hat sich jedoch nicht bewährt, und es ist unbedingt die Verwendung eines Achathütchens oder eine Fadenaufhängung zu empfehlen. Als Gehäuse dient eine Kristallisationschale von 11,5 cm Durchmesser und 3 cm Höhe.

Man stelle die Magnetometer an bestimmten Stellen auf, für die man die Horizontalkomponente bestimmt, und die man durch Marken dauernd kenntlich gemacht hat. Sind solche Bestimmungen noch nicht ausgeführt, so entnehme man den Wert für  $H$  aus KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 722 Taf. 38.

Man halte darauf, daß die Schüler den Magnetstab richtig lagern, so daß dessen Achse auf der wagerechten Längsachse der Magnetnadel senkrecht steht und durch deren Mitte geht. Man lege geeignet zugeschnittene Korkscheiben unter, die man für den ROBINSONSchen Magnet am besten mit einer Rinne versieht. Bei der Einstellung des Magnetstabes benutzt man schmale Spiegelstreifen, die man auf den Maßstab legt. Man achte ferner darauf, daß die Schüler vor dem Ablesen der Zeigerstellung stets schwach gegen das Magnetometer klopfen.

Das von ABRAHAM (2, 290 Nr. 122) angegebene Verfahren hat sich nicht bewährt.

Über die Ableitung des Tangentengesetzes durch Versuche vgl. S. 65 und 107.

## II. Magnetische Felder.

**2. Aufgabe.** Welche Richtungen haben auf dem Arbeitstisch die Kraftlinien des erdmagnetischen Feldes?

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<p>Geräte. Ein Viertel eines Zeichenbogens (<math>\sim 30\text{ cm} \times 40\text{ cm}</math>). Zeichenbussole. Maßstab.</p>	<p>Klebpapier oder Klebwachs. Spitzer harter Bleistift oder 2 Stecknadeln. Dreieck.</p>
---	---

**Anleitung.** a) Befestige mit Klebpapier oder Klebwachs das Blatt Papier so auf dem Tisch, daß das eine Ränderpaar nahezu von Norden nach Süden läuft. Teile durch kurze Bleistiftstriche den Südrand des Papiers in  $\sim 5$  cm lange Abschnitte. Setze die Zeichenbussole so auf das Papier, daß der Südpolausschnitt der Grundplatte möglichst genau über einem der Teilpunkte liegt, drehe die Bussole so um diesen Punkt, daß die Nadel genau über dem Strich auf der Grundplatte steht, und bezeichne mit dem Bleistift möglichst genau die Lage des Nordpolausschnitts (Fig. 210). Verschiebe die Bussole in der Richtung, wohin ihr Nordpol weist, bis der Südpolausschnitt genau

über der soeben gemachten Marke liegt. Drehe die Bussole um diesen Punkt, bis die Nadel genau über dem Südnordstrich der Grundplatte steht, und bezeichne wiederum die Lage des Nordpolausschnitts. Fahre so fort, bis der Rand des Papiers erreicht ist. Verbinde alle Punkte durch eine Linie. *Kraftlinie*.

b) Zeichne weitere Kraftlinien und beginne jedesmal bei einem Teilstrich am Südrande des Papiers.

c) Mache an jeder Kraftlinie eine Pfeilspitze, die die Richtung anzeigt, wohin der Nordpol der Magnetnadel weist. *Positive Richtung der Kraftlinie*.

d) Zeichne ein flüchtiges Bild des Feldes in das Heft.



Fig. 210.

**Bemerkungen.** Es wird hier nicht die Richtung der erdmagnetischen Kraft, sondern die ihrer Horizontalkomponente aufgenommen, und es handelt sich demnach auch nicht um das selbst, sondern um dessen Ablotung auf die Tischfläche. Am Ende der Übung gehe man mit allen Schülern von Blatt zu Blatt, damit sie eine klare Vorstellung vom Verlauf der Kraftlinien im ganzen Arbeitsraum gewinnen. Jede Schraube und jeder Nagel in der Tischplatte ruft eine deutliche Verzerrung des Feldes hervor. Auch der Einfluß von entfernten eisernen Trägern und Heizkörpern ist klar zu erkennen. Wenn solche Störungen auch recht lehrreich sind, so sollen doch die Tische ganz und die Arbeitsräume möglichst eisenfrei sein. In meinen Überäumen in dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut und in dem Dortheenstädtischen Realgymnasium habe ich deshalb die Gasleitungen aus Messing herstellen lassen.

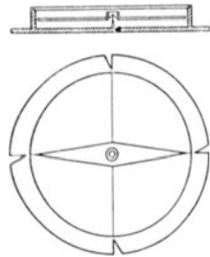


Fig. 211.  
(nat. Größe)

Die Zeichenbussole (Fig. 211) besteht aus einer versilberten Grundplatte aus Messing, in die ein rechtwinkliges Achsenkreuz eingeritzt ist, das in Merkausschnitten endigt. Im Schnittpunkt der Achse sitzt die Spitze, worauf die Magnetnadel spielt. Auf der Grundplatte ist ein Messingring befestigt, der eine dünne Glasplatte trägt.

Man kann die einzelnen Punkte der Kraftlinien statt durch Bleistiftspitzen durch Nadelstiche anmerken.

**3. Aufgabe.** Welche Richtungen haben die Kraftlinien des magnetischen Feldes, das die Erde und ein Stabmagnet erzeugen?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.	Stabmagnet (15 cm × 1 cm	Zeichenbussole.
	× 1 cm).	
	Zeichenbogen (80 cm ×	Klebpapier oder Kleb-
	60 cm).	

**Anleitung.** a) Befestige mit Klebpapier oder Klebwachs den Zeichenbogen auf dem Tisch. Lege den Magnet so auf die Mitte des Papiers, daß seine Achse von Norden nach Süden gerichtet und sein Nord-

pol nach Süden gekehrt ist. Umfahre mit dem Bleistifte den Umfang des Magnets und bezeichne an dem Umriß die Lage der Pole mit den Buchstaben *N* und *S*. Zeichne längs dem Umriß in  $\frac{1}{2}$  bis 1 cm Abstand etwa 20 Punkte, lege jedoch diese Ausgangspunkte der Kraftlinien bei den Polen dichter zusammen als bei der Mitte.

b) Nimm genau so wie in Aufgabe 2, S. 308, die Kraftlinien auf. Bezeichne von Zeit zu Zeit die Richtung, wohin der Nordpol der Bussolennadel weist. Verbinde die zusammengehörigen Punkte durch Linien.

c) Gibt es in dem Felde Stellen, wo die Kräfte der Erde und des Magnets genau gleich groß, aber entgegengesetzt gerichtet sind und die Stellung der Bussolennadel unbestimmt ist? Untersuche die Umgebung dieser Stellen besonders.

d) Zeichne Kraftlinien, die an dem Südrande des Papiers anfangen und den Magnet nicht treffen.

e) Zeichne ein flüchtiges Bild des Feldes in das Heft.

f) Lege den Magnet so, daß sein Südpol nach Süden gerichtet ist, und verfähre wie bei (a) bis (e).

g) Lege die Achse des Magnets von Osten nach Westen, den Nordpol nach Osten, und verfähre wie bei (a) bis (e).

h) Lege die Achse des Magnets von Osten nach Westen, den Nordpol nach Westen, und verfähre wie bei (a) bis (e).

**Bemerkungen.** Man läßt die einzelnen Gruppen mit verschiedenen Lagen des Magnets (a, f, g und h) arbeiten und geht am Schluß der Übung mit allen Schülern von Bild zu Bild und läßt sie die wechselseitigen Störungen von Erdfeld und Magnetfeld erörtern. Besonders tüchtige Schüler lasse man die Aufnahme auf einem Reißbrett ausführen und dabei durch dessen Drehung das Erdfeld in bekannter Weise ausschalten.

Die Stabmagnete hebt man in Gestellen auf und stellt alle Nordpole nach unten (Fig. 212). Bei dieser Aufbewahrungsart bleibt die gleichmäßige Magnetisierung der Stäbe nicht erhalten.

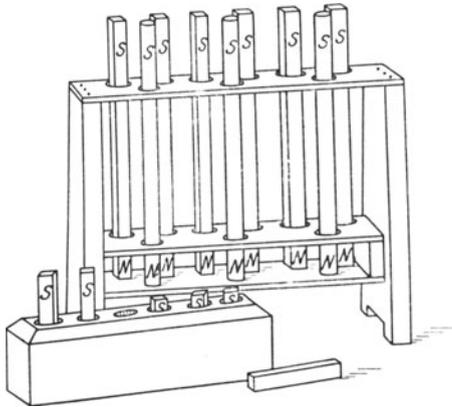


Fig. 212.

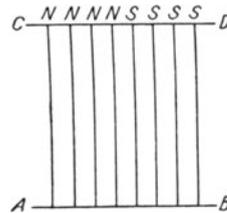


Fig. 212a.

Ich habe daher jetzt am Dorotheenstädtischen Realgymnasium folgendes Verfahren angewandt: Auf ein Holzbrett (19 cm  $\times$  18 cm  $\times$  1,5 cm) sind in der Richtung der langen Achse neun Holzleisten (14 cm  $\times$  1 cm  $\times$  0,5 cm) mit Messingstiften so aufgenagelt, daß ihre Mitten auf der kurzen Brettachse liegen. In die acht so entstandenen Rinnen werden acht Magnete so eingelegt, daß die vier ersten ihre Nordpole und die vier letzten ihre Südpole

nach derselben Richtung wenden. Die Fig. 212a zeigt das Gerippe der Anordnung. Vor der einen Polreihe ist ein Stab mit quadratischem Querschnitt ( $18\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ ) aus weichem Eisen mit zwei eisernen Schrauben befestigt. Die Magnete werden mit einer Stirnfläche an diesen Eisenstab geschoben und dann wird ein gleich großer loser Eisenstab  $OD$  vor die andern Stirnflächen gelegt. Man achte darauf, daß die Schüler die Magnete nach dem Gebrauch sorgfältig abwischen.

**4. Aufgabe.** *Mache den Verlauf der Kraftlinien in der Nähe eines Magnets durch Eisenfeilspäne sichtbar.*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	2 Stabmagnete (vgl. S. 309). Hufeisenmagnet, 9 cm Schenkellänge, Querschnitt $2\text{ cm} \times 0,8\text{ cm}$ . Stabmagnet mit kreisförmigem Querschnitt von 15 cm Länge und 1 cm Durchmesser. Ring aus weichem Eisen, 1 cm hoch, Durchmesser 3 und 2 cm. Ring, ebenso groß, in Viertel zerschnitten. 4 Holzleisten ( $15\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ ). 4 Holzleisten ( $30\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ ).	Hammer (Kork, auf einen Fischbeinstab gespießt, der an beiden Enden zugespitzt ist). Streubüchse. Feilspäne aus weichem Eisen. Paraffin. Flache Weißblechschale ( $34\text{ cm} \times 22\text{ cm} \times 1,7\text{ cm}$ ) mit schrägem Rande. Zeichenbogen. Schreibpapier. Dreifuß. Bunsenbrenner. Gasschlauch. Schippe und Besen.
----------------	---	--

**Anleitung.** a) Lege um den Stabmagnet Holzleisten und darüber einen halben Bogen Zeichenpapier. Halte die Streubüchse so hoch wie möglich und streue die Eisenfeilspäne gleichmäßig dünn über das Papier. Klopfe mit dem Korkhammer schwach auf den Rand des Papiers und tupfe vorsichtig mit der Spitze des Fischbeinstabes die Teile des Feldes heraus, die sich nicht ganz tadellos gestaltet haben. Zeichne ein flüchtiges Bild des Feldes in das Heft. Schütte die Eisenfeilspäne sorgfältig in die Streubüchse zurück.

b) Stelle ebenso Kraftlinienbilder mit folgenden Anordnungen der Magnete her und zeichne von jedem Feld ein flüchtiges Bild in das Heft.

- a) 2 Stabmagnete in 2 bis 5 cm Abstand nebeneinander, ungleichnamige Pole gleich gerichtet.



Fig. 213.

- β) 2 Stabmagnete in 2 bis 5 cm Abstand nebeneinander, gleichnamige Pole gleich gerichtet.
- γ) 2 Stabmagnete mit den Achsen in einer Geraden, ungleichnamige Pole in 2 bis 5 cm Abstand einander zugekehrt.

- δ) 2 Stabmagnete mit den Achsen in einer Geraden, gleichnamige Pole in 2 bis 5 cm Abstand einander zugekehrt.  
 ε) 2 Stabmagnete mit den Achsen in einer Geraden, ungleichnamige Pole in 5 cm Abstand einander zugekehrt, dazwischen ein eiserner Ring (Fig. 213).  
 ζ) Wie bei (ε), doch Polabstand 6 cm, dazwischen ein in Viertel zerschnittener Ring.  
 η) Hufeisenmagnet.  
 θ) Runder Stabmagnet, nebst Holzleisten aufrecht gestellt; Papier wagerecht über die Stirnflächen gelegt.  
 c) Benutze bei den Versuchen (a) und (b) paraffiniertes Papier anstatt des Zeichenpapiers, schmelze nach der Herstellung des Kraftlinienbildes durch Bestreichen mit einer Bunsenflamme vorsichtig das Paraffin und laß dann das Papier erkalten.

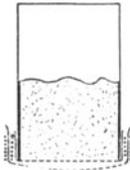


Fig. 214.

**Bemerkungen.** Das paraffinierte Papier stellt man her, indem man Paraffin in einer Weißblechschale schmelzt und dieses nahezu zum Sieden erhitzt, hierauf ein Blatt dünnes Schreibpapier einmal durch das Paraffin hindurchzieht und dann lotrecht hält, bis es erkaltet ist.

Als Streubüchse verwendet man nach dem Vorgang von W. VOLKMANN eine Glühstrumpfhülse, über die man zuerst ein Stück Musselin straff und darüber noch ein zweites Stück Musselin lose gebunden hat (Fig. 214), oder eine Blechbüchse mit Drahtgazedeckel.

**5. Aufgabe.** *Wie verlaufen die Waglinien (Niveaulinien) in einem Felde, das zwei Stabmagnete erzeugen?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** HADLEY 27 Nr. 32.

**Geräte.** 2 Stabmagnete.  
 Zeichenbussole.  
 Zeichenbogen.

Spitzer harter Bleistift.  
 Klebpapier oder Klebwachs.

**Anleitung.** a) Befestige einen halben Zeichenbogen mit Klebpapier oder Klebwachs auf dem Tisch. Lege zwei Stabmagnete so darauf, daß ihre Achsen in eine Gerade fallen und die ungleichnamigen Pole  $\sim 10$  cm voneinander abstehen. Umfahre die Umrisse mit einem spitzen harten Bleistift und bezeichne die Pole.

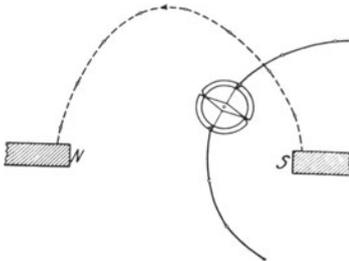


Fig. 215.

b) Zeichne mit der Bussole 7 bis 8 Kraftlinien und ebensoviele Waglinien (Fig. 215). Bei der Aufnahme der Waglinien drehe man die Bussole so, daß die Nadel über dem einen Strich der Grundplatte steht,

und merke dann die Enden des Strichs an, der auf jenem senkrecht steht. Punktiere die Kraftlinien und ziehe die Waglinien aus. Welche Winkel bilden die Kraft- und Waglinien miteinander?

**Bemerkung.** Man weise die Schüler darauf hin, daß die Waglinien nur die Schnitte der Wagflächen des Feldes mit der Zeichenebene sind. Der Name „Wagfläche“ rührt von EBERT (*Lehrb. d. Phys. 1,7*) her; besser wäre vielleicht „Machtgleiche“.

**6. Aufgabe.** *Ist an verschiedenen Stellen des Arbeitsraums die Horizontal-Intensität des Erdmagnetismus gleich groß?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Schwingungs-Magnetometer (vgl. S. 314). | Zielvorrichtung.  
Stechuhr. | Nachtlicht.

**Anleitung.** a) Stelle an einem Orte des Arbeitsraums das Magnetometer auf den Tisch und sieh nach, ob der Magnet frei schwingt. Senke den Magnet, wenn er die Mitte seines Schwingungsbogens erreicht, und hebe ihn wieder. Wiederhole dieses Heben und Senken, bis die Schwingungen ganz aufhören. Wähle den Spiegel, der für die Beobachtung am bequemsten liegt, und stelle in geringem Abstände davon, unter einem großen Winkel zum Spiegelot, ein Nachtlicht auf. Gib der Zielvorrichtung eine solche Stellung, daß das Bild der Flamme auf der Verbindungsgeraden von Kimme und Korn liegt.

b) Setze den Magnet durch eine vorübergehende Annäherung eines andern Magnets oder eines Messers in Schwingungen, deren Bogen nach jeder Seite der Gleichgewichtslage nicht größer als  $10^\circ$  ist. Setze in dem Augenblick, wo das Flammenbild durch die Sehlinie hindurchgeht, die Stechuhr in Gang und zähle, mit Null beginnend, sorgfältig 100 aufeinanderfolgende Durchgänge von derselben Seite her. Bringe die Uhr zum Stehen, sobald die Zahl  $N = 100$  erreicht ist, und lies die Schwingungszeit  $t$  sek ab. Berechne die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde,  $n = N/t$ . Wiederhole die Messung dreimal und nimm aus den Ergebnissen das Mittel.

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnetometer Nr. . . . Horizontalintensität am Hauptort . . . Gauß.

Ort	Zahl der Schwingungen $N$	Schwingungszeit $t$ sek	Schwingungszahl		$n^2$	Horizontalintensität $H$ , Gauß	Bemerkungen
			$n = N/t$	Mittel			

d) Hängt man einen Magnet vom Moment  $M$  an einem Faden auf und bezeichnet  $\S$  Gauß die Feldstärke, so ist die Richtkraft des Magnets  $D = M \S$ . Bezeichnen  $\tau$  sek die Schwingungsdauer und  $K$  die Drehmasse des Magnets, so ist

$$\tau^2 = 4\pi^2 \frac{K}{D} = 4\pi^2 \frac{K}{M \S}$$

und, wenn  $n$  die Schwingungszahl des Magnets in der Sekunde bedeutet,

$$M \S = 4\pi^2 K n^2.$$

Sind an zwei Orten, wo die Feldstärken die Werte  $\mathfrak{H}_1$  und  $\mathfrak{H}_2$  Gauß haben, die Schwingungszahlen des Magnets  $n_1$  und  $n_2$ , so ist  $\mathfrak{H}_1/\mathfrak{H}_2 = n_1^2/n_2^2$ .

e) Ist  $H$  Gauß die Horizontalintensität am Hauptort und  $H_0$  Gauß die an einer andern Stelle des Arbeitsraums, so ist  $H_0/H = n^2/n_0^2$ , wo  $n_0$  die Schwingungszahl am Hauptort bezeichnet.

**Bemerkungen.** Sind im Arbeitsraum die Orte bezeichnet, für die bereits früher die Horizontalintensität bestimmt worden ist, so läßt man wieder an diesen Stellen die Vergleichen ausführen. Es ist empfehlenswert, im Arbeitsraum einen Plan mit Angabe dieser Orte und der dort herrschenden Horizontalintensitäten dauernd auszuhängen.

Ist die Schwingungsdauer des Magnets groß oder hören die Schwingungen zu rasch auf, so begnüge man sich mit 30 bis 50 Schwingungen.

Das Schwingungsmagnetometer von HADLEY (45 Nr. 36 u. 218 Nr. 7) hat folgenden Bau: In der Durchbohrung einer Suberitscheibe sitzt eine Glasröhre von 20 cm Länge und 2 cm lichter Weite (Fig. 216). Durch den Kork, der die Röhre oben verschließt, ist ein rechtwinklig gebogener Messingdraht gesteckt, der unten flach gehämmert und durchbohrt ist. An diesen Messingdraht ist ein Kokonfaden geknüpft, der unten einen Kupferdraht trägt. An diesem sind zwei kleine Korkstücke und unten ein kurzer Magnet von 1,5 cm Länge und 0,25 cm Durchmesser befestigt. Auf die Korkstücke sind vier Spiegel (versilberte Deckgläschen) gekittet, deren Lote sich rechtwinklig kreuzen. Das Magnetometer kann man auch aus der Suberitscheibe herausnehmen und in einen eisenfreien Halter klemmen, der in Fig. 219 (S. 316) abgebildet ist.

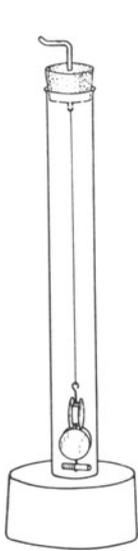


Fig. 216.

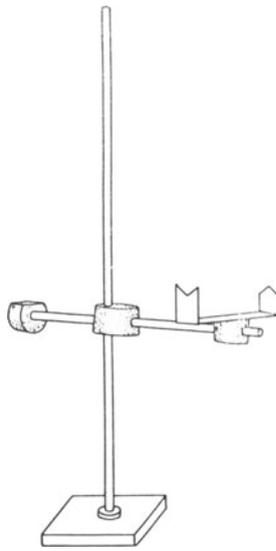


Fig. 217.

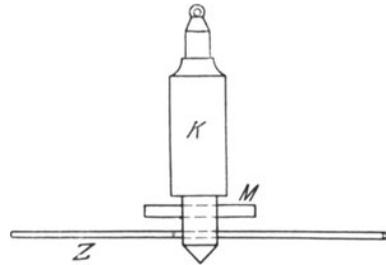


Fig. 218.

Solche leichten Gehänge haben mancherlei Schattenseiten, wie G. F. C. SEARLE (*Proceedings of the Cambridge Phil. Society* 12, 27; 1903) mit Recht hervorhebt. Er hat deshalb folgendes Magnetometer gebaut:

In Fig. 218 ist der schwingende Teil abgebildet. Der Magnet ist eine Walze aus Silberstahl von 1,50 cm Länge und 0,14 cm Durchmesser. Der Stahl wird hellrot erhitzt, abgelöscht und so glashart gemacht, dann zwischen den Polschuhen eines kleinen Elektromagnets magnetisiert. Sein magnetisches Moment ist  $\sim 3$  CGS-Einheiten. Der Magnet  $M$  ist, um seine Schwingungsdauer stark zu vergrößern, an einem Messingkörper be-

festigt. Der Hauptteil des Gehänges *K* hat die Länge 1,6 cm und den Durchmesser 0,8 cm. Die Gesamtmasse des schwingenden Teils ist  $\sim 8,5$  gr. In den untern Teil des Gehänges, der auf einen kleinern Durchmesser abgedreht ist, sind der Magnet und ein 5 cm langer Zeiger *Z* aus Aluminiumdraht eingesetzt. Das untere Ende des Gehänges läuft in eine scharfe Spitze aus. In das obere Ende ist in der Richtung der Achse ein kleines Loch gebohrt und in dieses eine Schleife aus dünnem Draht gelötet. An der so hergestellten Öse wird der Aufhängefaden befestigt.

Ist die Vorrichtung sorgfältig hergestellt und gut aufgehängt, so liegt die Mitte des Magnets genau in der Lotlinie, die durch die Spitze des Gehänges geht.

Das Gehänge ist etwa fünfzigmal so schwer als der Magnet selbst, und es wird daher in einem ungleichförmigen Felde nicht merklich zur Seite gezogen, wenn nicht dessen Gefälle sehr groß ist. Das Gehänge schwingt, wenn es sorgfältig ausgeführt ist, ganz stetig um seine lotrechte Achse, ohne dabei zu pendeln.

Das Gehänge ist mit einer Faser aus ungesponnener Seide von 10 bis 15 cm Länge an einem einfachen Drehkopf aufgehängt, der in einem oben abgesprengten Lampenglas sitzt (Fig. 220, S. 318). Den Fuß des Glases setzt man, wenn das Magnetometer nicht benutzt wird, auf eine Holzscheibe, die ihm eine größere Standfestigkeit verleiht.

Der Aluminiumzeiger gestattet, die Schwingungen selbst bei kleinen Ausschlägen gut zu beobachten. Man wählt als Anfangsausschlag einen Bogen von  $\sim 10^\circ$  nach beiden Seiten. Als Marke dient eine Stecknadel, die in einen Kork gesteckt ist. Man bestimmt die Schwingungszahl aus der Zeit von  $\sim 30$  vollen Schwingungen.

Man kann auch nach WHITING (411 Nr. 75) den kleinen Magnet mit Siegellack an einer Bleikugel befestigen, die an einem Kokonfaden aufgehängt wird. Die Masse der Kugel soll so groß sein, daß im Erdfelde die Dauer einer vollen Schwingung  $\sim 6$  sek ist.

Bei dem Zurichten von Kokonfäden benutzt man Spiegel (45 cm  $\times$  8 cm) als Unterlage und kleine Haken, wie sie die Haararbeiter gebrauchen, oder eine Stecknadel, deren Spitze kurz umgebogen und deren Kopf in ein Stückchen Siegellack eingekittet ist.

Die Zielvorrichtung stellt man sich aus Korken, Glasröhren, Karton und einer weithalsigen Flasche oder besser einem Holzbrett so zusammen, wie es die Fig. 217 zeigt. Statt dieser Zielvorrichtung kann man auch das Seilrohr (vgl. S. 158) benutzen, das man in ein hölzernes Gestell einklemmt.

**7. Aufgabe.** *Wie ändert sich die Feldstärke in einem Felde, das ein Magnet erzeugt?*

### 1. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** COULOMB, *Histoire et Mémoires de l'Académie royale des sciences* (1785) 578. OSTWALDS *Klass.* 13, 27.

<b>Geräte.</b>	Schwingungsmagnetometer nach HADLEY. Halter dazu. Zielvorrichtung. Nachtlicht. Stechuhr.	Langer Magnet (75 cm $\times$ 1 cm $\times$ 0,5 cm). Halter dazu. Große Magnetnadel. Schublehre. Maßstab.
----------------	--	---

**Anleitung.** a) Klemme den Stabmagnet lotrecht derart fest, daß der Nordpol nach unten gekehrt ist (Fig. 219). Stelle nördlich davon das Magnetometer so auf, daß sein Faden in der Ebene des magnetischen Meridians liegt, die durch die Längsachse des Stabes geht, und daß die schwingende Nadel genau in der Höhe des Fernpols des Stabmagnets liegt und davon 15 cm absteht.

b) Bestimme mit der Stechuhr die Zeit ( $t_1$  sek), wo die Nadel  $N_1$  (100) Schwingungen ausführt, und berechne daraus die Schwingungszahl in der Sekunde,  $n_1 = N_1/t_1$ .

c) Nach Aufgabe 6, S. 313, ist  $M\zeta = 4\pi^2 Kn^2$ , wo  $M$  das magnetische Moment,  $K$  die Drehmasse,  $n$  die Schwingungszahl der Magnetometernadel und  $\zeta$  die wagerechte Feldstärke des Aufstellungsorts bedeutet. Setzt man  $M/4\pi^2 K = c$ , so wird  $n^2 = c\zeta$ . An dem Aufstellungsorte des Magnetometers liegen zwei magnetische Felder übereinander, das der Erde, dessen Horizontal-Intensität  $H$  Gauß, und das des Stabmagnets, dessen Horizontal-Intensität an dieser Stelle  $h$  Gauß ist. Wir haben mithin die Beziehungen  $\zeta = H + h$  und  $n^2 = c(H + h)$ . Entfernt man den Magnetstab, so wird die Schwingungszahl der Magnetometernadel  $n_0$ , wo  $n_0^2 = cH$  ist. Es besteht also die Beziehung

$$\frac{n^2}{n_0^2} = \frac{H + h}{H}$$

oder

$$h = \frac{n^2 - n_0^2}{n_0^2} H.$$

Haben die Pole des schwingenden Magnets die Stärke  $m'$ , so übt der Stabmagnet auf sie die Kraft  $F = m'h$  [Dyne] aus.

Sind  $n_1$  und  $n_2$  die Schwingungszahlen der Magnetometernadel, wenn sie von dem felderregenden Pol des Magnetstabs  $r_1$  und  $r_2$  cm absteht, und erregen am Aufstellungsorte die Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  Dyne die wagerechten Feldstärken  $h_1$  und  $h_2$  Gauß, so besteht die Beziehung

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{h_1}{h_2} = \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_2^2 - n_0^2}.$$

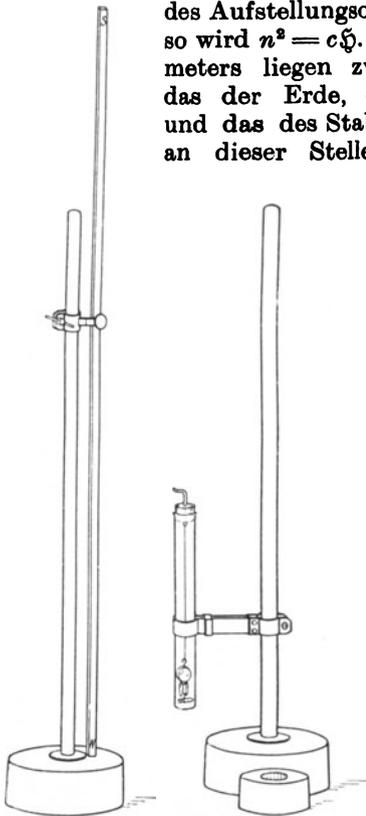


Fig. 219.

d) Verschiebe die Magnetstabachse parallel zu sich selbst so in der Ebene des magnetischen Meridians, daß der Abstand des Nordpols des Stabmagnets von der Mitte der Magnetometernadel nur  $r_2 = 10$  [cm] ist, und bestimme die Schwingungszahl  $n_2$  des Magnetometers.

e) Entferne den Magnetstab und bestimme die Schwingungszahl  $n_0$  der Magnetnadel.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnetstab Nr. . . . Abstand des Nordpols vom benachbarten Stabende . . . cm. Schwingungsmagnetometer Nr. . . . Schwingungszahl im Erdfeld  $n_0 = \dots$

Entfernung $r$ cm	Zahl der Schwingungen $N$	Schwingungszeit $t$ sek	Schwingungszahl $n = N/t$	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_2^2 - n_0^2}$	$\frac{r_2^2}{r_1^2}$

g) Berechne die Verhältnisse  $F_1/F_2$  und  $r_2^2/r_1^2$  und vergleiche sie miteinander.

## 2. Verfahren.

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** G. F. C. SEARLE, *a. a. O.*

<b>Geräte.</b> Schwingungsmagnetometer nach SEARLE (vgl. S. 315).	Zeichenbogen. 2 Zeichendreiecke. Spitzer harter Bleistift. Stecknadel.
ROBISONscher Magnet.	Stecknadel.
Halter dafür.	Kork.
Stechuhr.	Maßstab.
Bleistücke oder Klebpapier oder Klebwachs.	Große Magnetnadel.

**Anleitung.** h) Befestige mit Bleigewichten oder Klebpapier oder Klebwachs einen halben Bogen Zeichenpapier auf dem Tisch. Zeichne darauf die Richtung des magnetischen Meridians. Trage auf dieser Geraden von ihrer Mitte  $O$  aus die Strecken  $r = 10, 12, 14, 16, 20$  und  $24$  cm ab und schreibe diese Abstände an die Marken.

i) Stelle das Magnetometer so über den Punkt  $O$ , daß die Spitze seines Gehänges ganz dicht und genau über  $O$  liegt, halte das Auge  $\sim 1$  m von der Merknadel entfernt, bestimme dreimal aus der Zeit von  $\sim 30$  kleinen Schwingungen die Schwingungszahl im Erdfeld und bilde daraus den Mittelwert  $n_0$ .

k) Klemme mit einem durchgeschnittenen Kork den ROBISONschen Magnet lotrecht so im Halter fest, daß seine Spitze genau auf dem Punkte der Geraden steht, der 10 cm von  $O$  entfernt ist (Fig. 220, S. 318). Liegt der Punkt südlich vom Magnetometer, so setzt man den Nordpol des Magnets aufs Papier, damit die magnetische Kraft, die der Pol ausübt, die gleiche Richtung wie die Erdkraft hat. Bestimme

zwei- bis dreimal aus der Zeit von 30 kleinen Schwingungen die Schwingungszahl der Magnetnadel und bilde aus den Ergebnissen den Mittelwert  $n$ .

l) Setze der Reihe nach denselben Pol des ROBISONschen Magnets auf die übrigen angemarkten Punkte der Meridiangeraden und bestimme für jede Stellung die Schwingungszahl.

m) Bedeuten  $h$  Gauß die Horizontalkomponente der Feldstärke, die der Magnet erzeugt, und  $H$  Gauß die Horizontal-Intensität des Erdfeldes, so ist in  $O$  die gesamte wagerechte Feldstärke  $h + H$ .

Bezeichnet  $n$  die Schwingungszahl im zusammengesetzten Feld und  $n_0$  die im Erdfeld, so ist

$$\frac{h + H}{H} = \frac{n^2}{n_0^2}$$

und daher

$$h = \frac{n^2 - n_0^2}{n_0^2} H.$$

Bezeichnen  $m$  die Polstärke des ROBISONschen Magnets,  $m'$  die der schwingenden Magnetnadel und  $r$  cm den Abstand des Pols  $A$

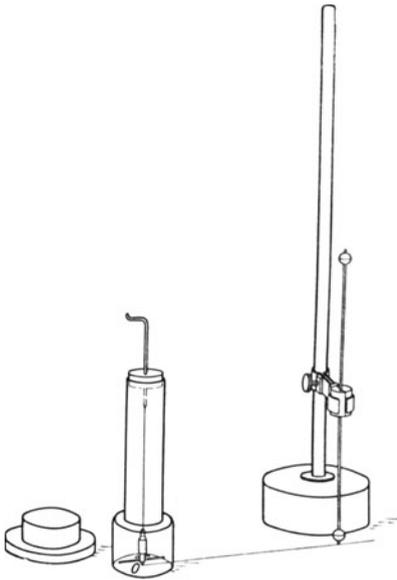


Fig. 220.

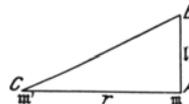


Fig. 221.

(Fig. 221) des ROBISONschen Magnets von der Mitte  $C$  der Magnetnadel, so ist die Kraft, womit der Nordpol  $A$  auf den Nordpol der Nadel wirkt,

$$F_1 = \frac{mm'}{r^2}$$

und, wenn  $l$  cm den Polabstand des ROBISONschen Magnets bezeichnet, die wagerechte Komponente der Kraft, die der Südpol  $B$  auf den Nordpol der Nadel ausübt,

$$F_2 = - \frac{mm'}{r^2 + l^2} \cdot \frac{r}{(r^2 + l^2)^{3/2}} = - \frac{mm'}{r^2} \cdot \frac{r^3}{(r^2 + l^2)^{3/2}},$$

mithin die gesamte wagerechte Kraft

$$F = F_1 + F_2 = \frac{mm'}{r^2} \left[ 1 - \frac{r^3}{(r^2 + l^2)^{3/2}} \right].$$

Bezeichnet  $h$  Gauß die hierdurch erzeugte wagerechte Feldstärke am Ort  $C$ , so ist  $F = m'h$  und daher

$$h = \frac{m}{r^2} \left[ 1 - \frac{r^3}{(r^2 + l^2)^{3/2}} \right],$$

also

$$m = \frac{r^2 h}{1 - \frac{r^3}{(r^2 + l^2)^{3/2}}}$$

n) Berechne nach (m) aus den Schwingungszahlen  $n_0$  und  $n$  die Horizontalkomponente  $h$  der Feldstärke und die Polstärke des ROBISONschen Magnets.

o) Können wir uns ein Urteil über die Richtigkeit von COULOMBS Gesetz bilden, wenn wir für  $m$  nahezu übereinstimmende Werte erhalten?

p) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Schwingungsmagnetometer Nr. . . . ROBISONscher Magnet Nr. . . . Polabstand  $l = \dots$  [cm]. Horizontalkomponente des Erdfeldes  $H = \dots$  [Gauß].

Anzahl der Schwingungen $N_0$	Schwingungszeit $t_0$ sek	Schwingungszahl $n_0 = N_0/t_0$
Mittel		

Abstand $r$ cm	Anzahl der Schwingungen $N$	Schwingungszeit $t$ sek	Schwingungszahl		Horizontalkomponente des Magnetfeldes $h$ Gauß	$r^2 h$	$m$
			$n = N/t$	Mittel			
Mittel							

**Bemerkungen.** Die Richtigkeit von COULOMBS Gesetz entzieht sich streng genommen einer allgemeinen Bestätigung durch Versuche. Es ist nur für kleine Bruchstücke zweier Magnete in der Form  $dF = k dm_1 dm_2 / r^2$  allgemein gültig. Der Nenner hat zunächst bloß geometrische Bedeutung und nur insofern einen physikalischen Inhalt, als er ausdrückt, daß sich die Gesamtwirkung von den Fernwirkungspunkten aus gleichförmig ausbreitet.

Beim ersten Verfahren darf der Abstand der Nadel des Magnetometers vom Magnetstab eine gewisse Grenze nicht überschreiten, sonst macht sich die Wirkung des südlichen Stabpols geltend. Die Ausführung

des Versuchs verlangt, daß der Lehrer zuvor die Lage des nördlichen Fernpols bestimmt hat. Es hält schwer, so lange Magnetstäbe derart zu magnetisieren, daß sie frei von Folgepolen sind.

Der Robisonsche Magnet, der beim zweiten Verfahren benutzt wird, ist eine besondere Magnetform, wofür sich die Fernpole, die in den Kugelmitten liegen, mit ausreichender Genauigkeit angeben lassen, und wofür die Fernwirkung durch die Gleichung  $F = m_1 m_2 / r^2$  dargestellt wird. Bei den Messungen ändert man  $r$  und erhält als Ergebnis die Größe der sich gleichbleibenden Polstärke des Magnets. Der beim zweiten Verfahren benutzte Robisonsche Magnet hat einen Stab aus Silberstahl von 0,23 cm Durchmesser. Die Stahlkugeln an beiden Enden haben einen Durchmesser von 1,27 cm und der Abstand der Kugelmitten, der Polabstand, ist 30,5 cm. Die Kugeln sind in der Achsenrichtung des Stabes mit kleinen Spitzen versehen, so daß man den Magnet scharf einstellen kann. Die Mitte der untern Kugel liegt, wenn das Gehänge des Magnetometers gut eingestellt ist, mit der Mitte der Magnetnadel auf einer waagrechten Geraden. Auf jeder Kugeloberfläche ist der größte Kreis eingeschritten, dessen Ebene auf der Stabachse senkrecht steht. Vgl. die Bemerkungen zu Aufg. 1, S. 306.

**8. Aufgabe.** *Ist die Arbeit, die erforderlich ist, um einen Nordpol von einer Wagfläche auf eine andere zu verschieben, vom Weg abhängig?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Literatur. HADLEY 50 Nr. 41.

Geräte. Zeichenbogen.  
Klebpapier oder Klebwachs.  
Spitzer harter Bleistift.  
Stabmagnet (vgl. S. 309).  
Schwingungsmagnetometer (vgl. S. 314).

Halter dazu.  
Zeichenbussole.  
Stechuhr.  
Zielvorrichtung.  
Nachlicht.  
Maßstab.  
Schere.

Anleitung. a) Hefte mit Klebpapier oder Klebwachs einen halben Zeichenbogen auf den Tisch. Lege den

oder Klebwachs einen halben Stabmagnet in der Nord-südrichtung darauf, umfahre den Umriß und bezeichne die Pole.

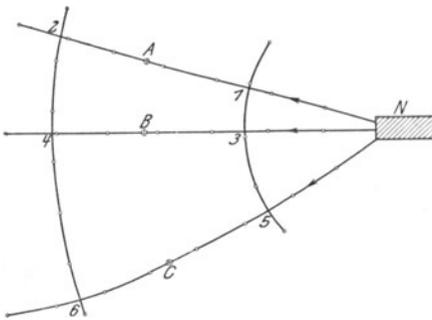


Fig. 222.

b) Zeichne wie in Aufgabe 3, S. 309, und Aufgabe 5, S. 312, mit der Zeichenbussole  $\sim 5$  cm lange Stücke von drei Kraftlinien 12, 34 und 56 (Fig. 222) und von zwei Waglinien 135 und 246. Miß mit einem schmalen Papierstreifen die Längen der Kraftlinienstücke 12, 34 und 56 und bestimme so genau wie möglich deren Mittelpunkte A, B und C.

c) Stelle das Magnetometer genau über dem Punkt A auf und bestimme mit der Stechuhr die Zeit  $t_a$  sek von  $N_a = 100$

Schwingungen und daraus die Schwingungszahl  $n_a = N/t_a$ . Ermittle ebenso die Schwingungszahlen  $n_b$  und  $n_c$ , wenn das Magnetometer über  $B$  und  $C$  steht.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnetometer Nr. . . . Magnet Nr. . . .

Kraftlinie	Länge des Kraftlinienstücks $d$ cm	Zahl der Schwingungen $N$	Schwingungszeit $t$ sek	Schwingungszahl $n = N/t$	$n^2$	$n^2 d$
$\overline{12}$						
$\overline{34}$						
$\overline{56}$						

e) Die Arbeit, die an dem Nordpol bei der Verschiebung längs  $d_a$  zu leisten ist, wird durch das Produkt aus der erforderlichen Kraft  $F_a$  Dyne und dem Wege  $d_a$  cm gemessen.  $F_a$  aber ändert sich auf der Kraftlinie  $d_a$  von Ort zu Ort. Wir setzen für diese veränderliche Kraft die Kraft  $f_a$  Dyne, die in der Mitte  $A$  des Weges  $d_a$  herrscht. Diese Kraft aber ist ein Vielfaches von  $n_a^2$ . Auf dem Wege  $d_a$  ist also die Arbeit zu leisten  $Q_a = f_a d_a = \lambda n_a^2 d_a$ , wo  $\lambda$  die gleichbleibende Verhältniszahl bezeichnet. Ebenso ist  $Q_b = \lambda n_b^2 d_b$  und  $Q_c = \lambda n_c^2 d_c$ .

f) Vergleiche die Produkte  $n^2 d$  miteinander. In welchem Verhältnis stehen also die Arbeiten  $Q$  zueinander?

### III. Das magnetische Feld der Erde.

#### 9. Aufgabe. Wie groß ist die Horizontal-Intensität des Erdfeldes?

##### 1. Verfahren.

(2 Schüler, 2 Stunden.)

<p><b>Geräte.</b> Wage. Gewichtssatz. Maßstab. Magnetstab <math>A</math> (5 cm <math>\times</math> 0,8 cm <math>\times</math> 0,8 cm). Magnetstab <math>B</math> (3 cm <math>\times</math> 0,8 cm <math>\times</math> 0,8 cm).</p>	<p>Batteriegelas (20 cm hoch, 12 cm Durchmesser). Stechuhr. Zeigermagnetometer. Schublehre.</p>
--	---

**Anleitung.** a) Bezeichnen  $\tau$  sek die Schwingungsdauer,  $K$  die Drehmasse und  $M$  das magnetische Moment eines Magnetstabes und  $H$  Gauß die Horizontal-Intensität des Erdfeldes, so ist (vgl. S. 313),

$$\tau^2 = 4\pi^2 \frac{K}{MH}$$

Kennt man  $\tau$ ,  $K$  und  $H$ , so kann man  $M$  bestimmen. Sind hingegen  $\tau$ ,  $K$  und  $M$  bekannt, so läßt sich  $H$  ermitteln.

b) Die gegebenen Magnetstäbe haben einen quadratischen Querschnitt. Ist  $a$  cm die Länge des Stabes und  $b$  cm die Seite seines Querschnitts, so ist die Drehmasse des Stabes, bezogen auf eine Achse, die durch den Schwerpunkt parallel zum quadratischen Querschnitt geht,

$$K = \frac{1}{12} m (a^2 + b^2).$$

e) Bestimme die Massen ( $m$  gr) der beiden Magnetstäbe, miß ihre Längen ( $a$  cm) und die Seiten ihrer quadratischen Stirnflächen und berechne ihre Drehmassen  $K_1$  und  $K_2$ .

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnetstab  $A$  Nr. . . . Magnetstab  $B$  Nr. . . . Wage Nr. . . . Gewichtssatz Nr. . . .

Magnet	Masse $m$ gr	Länge $a$ cm	Seite $b$ cm	Drehmasse $K$
$A$				
$B$				

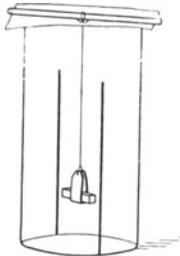


Fig. 223.

e) Lege den Magnetstab  $A$  sorgfältig waagrecht und mit dem Nordpol nach Norden in das Schiffchen des Schwingungsgehäuses (Fig. 223), bedecke das Glas mit der Papierscheibe, beobachte die Durchgänge aus 50 bis 100 cm Entfernung, bestimme dreimal aus der Zeit ( $t_1$  sek) von  $N_1$  (100) Schwingungen die Schwingungsdauer  $\tau_1$  des Stabes und nimm aus den Ergebnissen das Mittel. Bestimme ebenso die Schwingungsdauer  $\tau_2$  des Magnetstabes  $B$ . Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnet	Zahl der Schwingungen $N$	Schwingungszeit $t$ sek	Schwingungsdauer		$MH = 4\pi^2 K/\tau^2$
			$\tau = t/N$	Mittel	
$A$					
$B$					

f) Berechne aus den Ergebnissen von (c) und (e) für beide Magnetstäbe die Produkte

$$P_1 = M_1 H = 4\pi^2 K_1/\tau_1^2 \text{ und } P_2 = M_2 H = 4\pi^2 K_2/\tau_2^2.$$

g) Berechne das Verhältnis der magnetischen Momente der beiden Magnetstäbe  $M_1/M_2 = K_1 \tau_2^2 / K_2 \tau_1^2$ .

**h)** Frage den Lehrer, wie groß die Horizontal-Intensität an deinem Arbeitsplatz ist, und berechne aus den Ergebnissen von (f) die magnetischen Momente  $M_1$  und  $M_2$ .

**i)** Stelle das Zeigermagnetometer so wie in Aufg. 1, S. 304, auf und bestimme die Ablenkung  $\varphi_1$ , die der Magnetstab  $A$  in der *ersten Hauptlage* bewirkt, wenn seine Mitte 15 cm von der Mitte der Nadel absteht.

**k)** Wiederhole die Messung (i) mit dem Magnetstabe  $B$  und bezeichne die Ablenkung, die er hervorruft, mit  $\varphi_2$ .

**l)** Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnetometer Nr. . . . Abstand der Magnetmitte von der Nadelmitte  
 $r = \dots$  [cm].

Magnet	Stellung des Magnetstabes		Zeigerablesungen			Ablenkungswinkel $\varphi$	$\frac{M}{H}$
	Stablage	Zuge-wandter Pol	Ost-spitze	West-spitze	Mittel		
$A$	östlich	$N$					
		$S$					
	westlich	$N$					
		$S$					

**m)** Ein Magnetstab, dessen Pole den Abstand  $l$  cm haben und dessen Polstärke  $m$  ist (Fig. 224), übt auf einen Pol von der Stärke  $m'$ , der von seiner Mitte in der Achsenrichtung  $r$  cm entfernt liegt, die Kraft aus

$$F = 2lm m' \frac{r}{(r^2 - \frac{1}{4}l^2)^2}$$

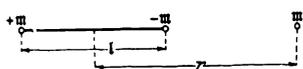


Fig. 224.

Führt man das magnetische Moment  $M = ml$  des Magnetstabes ein, so wird

$$F = \frac{2M m'}{r^3} \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{4} \frac{l^2}{r^2}\right)^2}$$

Ersetzt man den Pol  $m'$  durch eine auf der Kraftrichtung senkrechte kurze Magnetnadel von der Länge  $l'$  mit den Polen  $\pm m'$ , so wirken, wenn der Magnetstab senkrecht zum magnetischen Meridian steht, auf die Pole  $\pm m'$  die Kräfte  $\pm m'H$  und  $\pm F$  ein und lenken die Nadel um den Winkel  $\varphi$  aus dem magnetischen Meridian ab. Der Drehantrieb, den der Stabmagnet hervorruft, ist  $F'l' \cos \varphi$  und der

Drehantrieb, den die Horizontalkomponente erzeugt,  $m'H' \sin \varphi$ . Mithin ist  $F = m'H \operatorname{tg} \varphi$  und, wenn wir für  $F$  seinen Wert einsetzen,

$$\frac{M}{H} = \frac{1}{2} r^3 \left( 1 - \frac{1}{4} \frac{r^2}{r^2} \right)^2 \operatorname{tg} \varphi.$$

n) Nimm an, daß der Polabstand (1 cm) des kurzen Magnetstabes gleich  $\frac{5}{6}$  seiner Länge  $a$  cm ist, und berechne die Werte von  $M/H$  für beide Magnetstäbe.

o) Berechne aus den Ergebnissen von (n) das Verhältnis ( $M_1/M_2$ ) der magnetischen Momente der Stäbe  $A$  und  $B$  und vergleiche es mit dem Wert, der bei (g) erhalten worden ist.

p) Berechne mit dem Wert von  $H$ , der für deinen Arbeitsplatz gilt, die magnetischen Momente der Stäbe  $A$  und  $B$  und vergleiche sie mit den Werten, die bei (h) erhalten worden sind.

q) Aus dem Produkt  $P = MH$  und dem Quotienten  $Q = M/H$  ergibt sich  $H^2 = P/Q$ . Berechne aus den bei (f) und (n) erhaltenen zusammengehörigen Größen  $P_1, Q_1$  und  $P_2, Q_2$  die Werte von  $H$  und  $M$  und nimm aus beiden Ergebnissen das Mittel.

## 2. Verfahren.

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Geräte.** Wie beim 1. Verfahren, doch statt des Zeigermagnetometers ein Spiegelmagnetometer (vgl. S. 327) und statt der kurzen Magnetstäbe magnetisierte Stricknadeln von 7 bis 10 cm Länge, dazu

Linse ( $f = 12$  cm).  
Lampe.  
Skala.

Feinschraubenlehre.  
Dreieck.

**Anleitung.** r) Stelle das Spiegelmagnetometer (Fig. 225) so auf, daß die Vorderseite im magnetischen Meridian liegt. Richte mit den Stellschrauben dies Gerät so aus, daß der Spiegel frei schwingt.

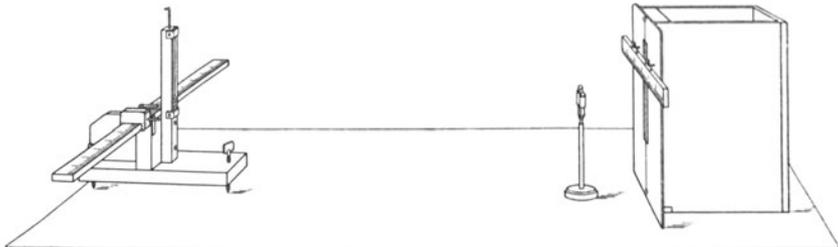


Fig. 225.

Stelle die Teilung dem Spiegel gegenüber und parallel dazu in  $\sim 75$  cm Abstand auf, ungefähr in der Ebene, die das sich drehende Spiegellot beschreibt, und entwirf mit der Linse ein scharfes Bild des Drahtes

auf der Mitte der Teilung. Lege den einen Schenkel eines rechten Winkels so an die Teilung an, daß die Sehlinie längs dem andern Schenkel den Spiegel trifft, und prüfe, ob das Spiegelot durch den mittelsten Strich der Teilung geht.

s) Setze den Kork mit dem Ablenkungsmagnet nördlich vom Spiegel auf den Maßstab. Die Achse des ruhenden Spiegelmagnets soll mit der Achse des Ablenkungsmagnets in einer Ebene liegen und in deren Mitte darauf senkrecht stehen. *Zweite Hauptlage.* Lies auf dem Maßstabe den Abstand ( $\sim 12$  cm) der Mitte des Ablenkungsmagnets von der Mitte des Spiegels und auf der Skala die Verschiebung  $e_1$  des Drahtbildes ab. Drehe den Ablenkungsmagnet um  $180^\circ$  und wiederhole die Messung ( $e_2$ ). Setze nun südlich vom Spiegel den Ablenkungsmagnet genau in demselben Abstand wie vorher auf den Maßstab und miß die Verschiebung  $e_3$  des Drahtbildes; lege den Magnet um und wiederhole die Messung ( $e_4$ ). Bilde aus den vier abgelesenen Bildverschiebungen den Mittelwert  $e$ .

t) Wiederhole diese Messungen noch mit zwei andern Abständen (11 und 10 cm) der Mitte des Ablenkungsmagnets von der Mitte des Spiegelmagnets.

u) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Spiegelmagnetometer Nr. . . . Skala Nr. . . . Länge des Magnets  
 $a = \dots$  [cm]. Mittlerer Skalenteil . . . Abstand des Spiegels von der Skala  
 $A = \dots$  [cm].

Abstand des Magnets vom Spiegel $r$ cm	Stellung des Ablenkungsmagnets		Bildlage auf der Teilung	Verschiebung des Bildes		$\operatorname{tg} \varphi = \frac{e}{2A}$	$\frac{M}{H}$
	Stablage	Nordpol-lage		$e_v$	Mittel $e$		
nördlich		östlich					
		westlich					
südlich		östlich					
		westlich					

v) Miß sorgfältig den Abstand ( $A$  cm) des Spiegels von dem mittlern Skalenteil und ermittle, wenn die Skala nicht in Millimeter geteilt ist, die Länge eines Skalenteils. Ist  $S_0 S = e$  die Verschiebung des Drahtbildes (Fig. 226, S. 326), so besteht die Beziehung  $\operatorname{tg} 2\varphi = e/A$ . Aus  $\operatorname{tg} 2\varphi = 2 \operatorname{tg} \varphi / (1 - \operatorname{tg}^2 \varphi)$  folgt, wenn  $\varphi$  sehr klein ist,

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{e}{2A}.$$

w) Der Magnetstab, dessen Pole den Abstand  $l$  cm haben und dessen Polstärke  $m$  ist, übt auf einen Pol von der Stärke  $m'$ , der von der Mitte des Stabes den lotrechten Abstand  $r$  cm hat (Fig. 227), die Kraft aus

$$F = mm' \frac{l}{(r^2 + \frac{1}{4} l^2)^{3/2}} = \frac{mm'}{r^3} \cdot \frac{l}{\left(1 + \frac{1}{4} \frac{l^2}{r^2}\right)^{3/2}}$$

Hieraus ergibt sich ähnlich wie bei (m)

$$\frac{M}{H} = r^3 \left(1 + \frac{1}{4} \frac{l^2}{r^2}\right)^{3/2} \operatorname{tg} \varphi.$$

x) Miß die Länge ( $a$  cm) des Ablenkungsmagnets und berechne daraus seinen Polabstand  $l = \frac{2}{3} a$ .

y) Berechne aus den in (u) erhaltenen Werten den Quotienten  $Q = M/H$ .

z) Bestimme wie in (a) bis (f) das Produkt  $P = MH$  für den Ablenkungsmagnet. Für den kreisrunden Magnet von der Länge  $a$

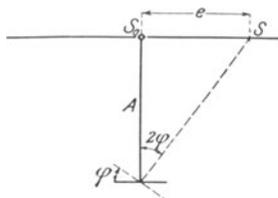


Fig. 226.

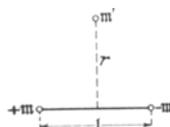


Fig. 227.

und dem Halbmesser  $\rho$  ist die Drehmasse, bezogen auf einen durch den Schwerpunkt gehenden Kreisdurchmesser als Drehachse,

$$K = m \left( \frac{1}{12} a^3 + \frac{1}{4} \rho^3 \right).$$

Berechne aus diesem Wert von  $P$  und dem bei (y) erhaltenen Wert von  $Q$  wie bei (q) die Horizontal-Intensität des Erdfeldes und das Moment des Magnets.

**Bemerkungen.** Über das Zeigermagnetometer vgl. S. 307.

Das Schwingungsgehäuse (Fig. 223, S. 322) ist ein Glas, wie es zur Herstellung von Leydener Flaschen dient. Es ist 20 cm hoch und hat 12 cm Durchmesser. Auf zwei gegenüberliegenden Stellen der Wand ist je ein lotrechter Strich mit dem Schreibdiamanten eingeritzt oder ein Papierstreifen von 1 mm Breite geklebt. Ebenso breite Streifen kann man lotrecht auf die Stirnflächen der kurzen Magnete kleben. Der Magnet wird in ein kleines Schiffchen aus Karton gelegt, das an einem Bündel Kokonfäden hängt. Den leichten Magnet, den man beim zweiten Verfahren benutzt, hängt man in einer Watsonschen Doppelschleife (vgl. S. 105) auf. Den Aufhängefaden befestigt man an einem Glasstab, den man über den Rand des Gefäßes legt. Das Schiffchen soll  $\sim 5$  m über dem Boden des Glases liegen. Luftströmungen hält man mit einem runden Papierdeckel

ab. Man schneidet ihn in der Richtung eines Halbmessers ein und aus der Mitte eine Öffnung von  $\sim 2$  cm Durchmesser, damit man ihn auf das Glas decken kann, ohne den Magnet in starkes Pendeln zu versetzen.

Das Spiegelmagnetometer ist nach den Angaben von J. T. BORTOMLEY (STEWART-GEE 2, 37 und HADLEY 219 Nr. 9) gefertigt. Sein Bau ist aus Fig. 228 zu erkennen. Das Grundbrett steht auf drei Stellschrauben. In die Vorderseite des langen Pfostens ist eine Nute eingeschnitten, die sich in der Mitte zu einer flachen, kreisförmigen, mit Kupferblech ausgefütterten Kammer erweitert, worin der Spiegel hängt. Auf die Rückseite des Spiegels ist ein kleiner Magnet gekittet, der aus Uhrfederstahl hergestellt ist. Der Spiegel hängt mit einem Faden aus ungesponnener Seide an einem Messingdraht, der sich in einem Korkstück verschieben läßt. Die Nute und die Kammer werden durch einen Glasstreifen geschlossen, dem

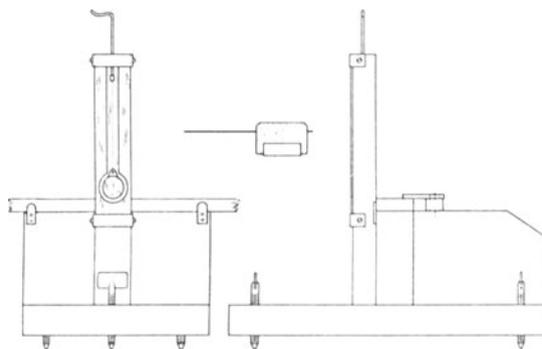


Fig. 228.

zwei Messingbügel als Führung dienen. Ein Holzriegel hält den Maßstab in seiner Stellung fest. Die Holzleiste, worauf der Riegel sitzt, soll so hoch sein, daß die Oberseite des Maßstabes etwas tiefer liegt als die Achse des Spiegelmagnets. Diese Achse soll in einer Ebene liegen mit der Achse des Ablenkungsmagnets, der mit einem Kork auf dem Maßstabe befestigt wird. Es ist ratsam, die Höhe des Spiegels über der Tischfläche so groß zu wählen, daß man Lampe, Linse und Skala bei dieser Vorrichtung und auch bei dem Spiegelgalvanometer bequem benutzen kann. Über die objektive Spiegelablesung vgl. die Ausführungen über Galvanometer.

Die Ablenkungsmagnete für das zweite Verfahren stellt man auf folgende Weise her: Man bindet  $\sim 12$  Stricknadeln mit Eisendraht zusammen, erhitzt sie in der Gebläseflamme zur Rotglut und läßt sie dann langsam abkühlen. Man zerschneidet sie nun in Stücke von 7 bis 10 cm Länge, feilt die Enden eben und richtet sie, wenn nötig, gerade. Jetzt bindet man die Stücke wieder zusammen, erhitzt sie zur hellen Rotglut und taucht sie sofort in kaltes Wasser. Man schmirgelt die Stäbchen ab und magnetisiert sie in einer Spule, durch die man einen elektrischen Strom sendet.

## Zehnter Teil.

# Galvanismus.

### I. Allgemeines über galvanisches Arbeiten.<sup>1)</sup>

#### 1. Stromquellen.

##### a) Einzelne Teile.

Amalgamieren des Zinks. Man macht das Zink mit einer alten Feile oder einem Schaber, weniger gut mit Schmirgelpapier, blank und taucht es einige Minuten in ein Gefäß mit verdünnter Salzsäure, bis lebhaft Gasentwicklung eintritt. Nun legt man das Zink in eine flache Schale, wie sie die Photographen benutzen, gießt etwas Quecksilber darüber und bewegt es darin hin und her, bis seine Oberfläche ganz glänzend aussieht. Dann stellt man das Zink wieder in die Säure und reibt seine Oberfläche mit einem Lappen, einem Kork oder einer steifen Bürste. Hierauf nimmt man das Zink aus der Säure, spült es tüchtig mit Wasser ab und läßt es trocknen. Bei dem Verquicken schütze man die Hände durch ein Paar alte Lederhandschuhe oder besser durch Gummifinger, wie sie die Photographen benutzen.

STEWART und GEE (2, 55) befreien das Zink vor dem Eintauchen in die Säure von etwa vorhandenen Fetten, indem sie das Zink in ein Gefäß mit verdünnter Natronlauge (1 Gwt. Natriumhydroxyd auf 20 Gwt. Wasser) eintauchen und dann mit Wasser abwaschen.

In den chemischen Kursen des Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstituts wird zum Verquicken eine Lösung benutzt, die LUPKE nach folgender Vorschrift hergestellt hat: Man löse 200 gr Quecksilber in 250 gr gewöhnlicher Salpetersäure und 750 gr rauchender Salzsäure und setze dann noch 1000 gr dieser Salzsäure hinzu. Das Lösen und Verquicken muß im Freien oder unter dem Abzug stattfinden. Die Lösung hebt man in einer weithalsigen Flasche mit Glasstöpsel auf oder in einem Sammlerglas, das oben glatt geschliffen und mit einer Glasplatte bedeckt ist.

---

<sup>1)</sup> Vgl. hierüber auch: KOHLRAUSCH, OSTWALD-LUTHER, STEWART-GEE, STROCKNER, WIEDEMANN-EBERT.

NICHOLS, SMITH und TURTON (278) benutzen eine Lösung von  $5 \text{ cm}^3$  Quecksilber in einer Mischung von  $60 \text{ cm}^3$  Salpetersäure und  $210 \text{ cm}^3$  Salzsäure.

Tonzellen. Man spüle sie nach dem Gebrauch tüchtig aus und lege sie dann längere Zeit in Wasser, dem man etwas Salzsäure zugesetzt hat. Für das Wässern schaffe man einen besondern Trog an. Hat jemand die Zelle trocknen lassen, ohne sie vorher zu wässern, so ist es ratsam, sie tüchtig in Wasser auszukochen.

Beim Ansetzen einer Kette soll man die Zelle zuerst mit der Schwefelsäure befeuchten. Man fülle so viel Schwefelsäure ein, daß deren Höhe um  $\frac{1}{10}$  oder  $\frac{1}{5}$  größer ist als die Höhe der schwerern andern Flüssigkeit.

Schwefelsäure. Man verwendet verdünnte Säure von höchstens  $1,06 \text{ gr/cm}^3$  Dichte, man nimmt also  $\sim 50 \text{ cm}^3$  reine Schwefelsäure

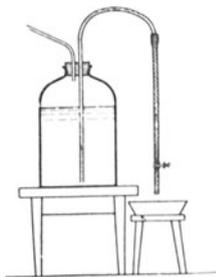


Fig. 229.

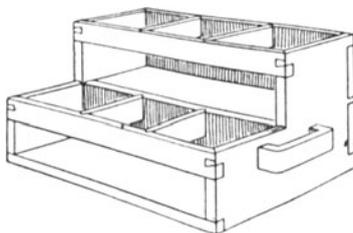


Fig. 230.

auf  $1000 \text{ cm}^3$  Wasser. Man gieße beim Mischen die Säure langsam und unter Umrühren ins Wasser.

Alle Chemikalien, die man in größern Mengen gebraucht, wie verdünnte Schwefelsäure, destilliertes Wasser usw. bewahre man außerhalb des Arbeitsraums in sehr großen Flaschen (Ballons) auf, die man mit Anblasehebern versieht und auf einem recht festen Tisch aufstellt (Fig. 229).

Zieht man es vor, für jeden Schüler eine besondere kleinere Flasche zu halten, so bedarf man eines Tragekastens (Fig. 230). Vgl. H. HAHN, *Phys. Schülerübungen, Abhandl. zur Didaktik und Philosophie 1*, 332.

Cuprisulfatlösung. Man verwende eine gesättigte Lösung (Dichte  $\sim 1,2 \text{ gr/cm}^3$ ) und nehme also  $\sim 1 \text{ gr}$  kristallisiertes Salz auf  $3 \text{ gr}$  Wasser.

Chromsäure. Vgl. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 400.

## b) Ketten.

Bei den Schülerübungen kommen, wenn man Gelegenheit zum Laden hat, Bleisammler, ferner Danielle und Beutelketten in Frage.

Hat man keine Gelegenheit, Bleisammler wieder aufzuladen, so muß man an ihrer Stelle Cupronketten (vgl. OSTWALD-LUTHER<sup>3</sup> 376 und etwa auch Chromsäureketten (vgl. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 401) verwenden. Bei einigen Übungen wird man auch heute noch die Daniellsche Kette ungern entbehren. Will man sie durch Bleisammler ersetzen, so verschafft man sich in den Fällen, wo die Spannung des Sammlers zu groß ist, die erforderliche geringere Spannung durch Abzweigung (vgl. S. 397).

1. Daniell. Die Kette hat 1,08 bis 1,12 V. Der Widerstand der gebräuchlichen Größen liegt zwischen 0,6 und 0,3 Ohm. Nach der Zusammensetzung nimmt zunächst die elektromotorische Kraft etwas ab. Man schließe daher die Kette nach dem Ansetzen einige Zeit mit einem Widerstand kurz, der etwa so groß ist wie der des künftigen Stromkreises. Die Zink- und Kupferplatten der käuflichen Ketten lassen zuweilen sehr viel zu wünschen übrig; man verwende daher gutes Kupferblech und statt der gegossenen Zinkkreuze Zinkbleche von 4 mm Stärke. Nach dem Gebrauch nehme man die Ketten sofort auseinander.

Über Daniellsche Standketten vgl. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 400.

2. Beutelketten. Es sind Braunsteinketten. Am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und in dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut hat sich das „Gnom-Element“ durchaus bewährt. Seine elektromotorische Kraft ist anfangs 1,65 V. Haben sich viele Kristalle von Chlorzinkammonium angesetzt, so fügt man ein wenig Salzsäure hinzu, worin sie sich bald auflösen. Ist die Kette erschöpft, so gießt man die Flüssigkeit weg und füllt (bei der gebrauchten Größe) das Glas mit einer Lösung von 30 gr reinem Ammoniumchlorid in Wasser. Alle Teile der Kette sind einzeln käuflich.

Man benutzt die Kette bei solchen Versuchen, wo nur schwächere Ströme (bis zu 0,1 A) erforderlich sind und es auf Unveränderlichkeit der Spannung nicht sehr ankommt.

3. Bleisammler. Die Sammler, die in dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut benutzt werden und sich ausgezeichnet bewährt haben, sind von der „VARTA“, AKKUMULATOREN-GESSELLSCHAFT m. b. H., Berlin SO. 16, Köpenicker Str. 126, bezogen worden. Von der Type PO 22/1, deren Ladefähigkeit 12 Amperestunden ist (4 A bei dreistündiger Entladung), sind je zwei „unvergossene“ und mit Deckel ausgestattete Sammler mit Rippenglasgefäßen in einen Holzkasten eingebaut, der mit einem Handgriff versehen ist. Die Sammler haben Ölpolschuhe und die Tragekasten drei Klemmen, so daß man jeden Sammler auch einzeln benutzen kann. Daneben werden noch Sammler der Type PO 22/3 verwendet, deren Ladefähigkeit 36 Amperestunden ist (12 Ampere bei dreistündiger Entladung). Diese Sammler sind wie die andern eingerichtet, nur sitzt je ein Sammler in einem Tragekasten.

Über die Pflege und Benutzung der Sammler vgl. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 403, OSTWALD-LUTHER<sup>3</sup> 375 und G. BRION. *Leitfaden zum elektrotech-*

nischen Praktikum 25 und das Schriftchen der Gesellschaft „Varta“ über die Reparatur und Behandlung kleiner transportabler Akkumulatoren.

## 2. Stromverbindungen.

a) Leitungen. Man benutzt doppelt mit Baumwolle besponnenen und gewachsenen Kupferdraht von 0,9 mm Durchmesser. Er verträgt eine dauernde Belastung von  $\sim 3$  A und das Meter hat  $\sim 0,03$  Ohm Widerstand. Für 10 A genügt ein Draht von 1,5 mm Durchmesser. Liebt man es, die Drähte aufzuspulen, so hebe man sie auf einem Gestell auf, wie es in Fig. 231 abgebildet ist. Man stecke auf einige Stäbe Glasröhren von 30 cm Länge und 2 cm Durchmesser; sie dienen zum gleichmäßigen Wickeln der Drähte. Sind die Drähte doppelt umspinnen, so lasse man nach dem Abschneiden eines Stückes die Enden jeder Lage gesondert abwickeln und die beiden so erhaltenen Bänder fest zusammenknuten. Man verhindert so das häßliche Herumhängen der Umhüllungsfasern.

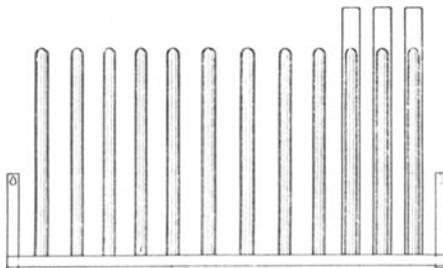


Fig. 231.

Dauerhafter und bequemer als Drähte sind Leitungsschnüre. In dem Dorotheenstädtischen Realgymnasium werden Schnüre verwendet, deren freigelegte Enden einfach mit Lot verzinkt sind. Um die Enden der Schutzhülle ist Isolierband gewickelt und festgebunden. Für die meisten Versuche genügen Schnüre von 1 mm Durchmesser, nur ganz selten ist ein Durchmesser von 2 mm erforderlich. Man gebraucht für jede Arbeitsgruppe je 6 Schnüre von 15, 30 und 60 cm Länge und je 3 Schnüre von 100, 150 und 200 cm Länge.

Sehr biegsame Kupferschnüre mit verschiedenartigen Verbindungsenden liefert FRITZ KÖHLER zu Leipzig.

Die Schnüre bewahrt man auf Gestellen auf, deren eins in Fig. 232 abgebildet ist, die 15 cm langen Schnüre jedoch in Kästen.

Man halte streng darauf, daß die Schüler vor jeder Verbindung die Enden der Drähte und der Schnüre blank schaben oder schmirgeln.

b) Klemmschrauben. Man gebraucht für jede Gruppe 6 Klemmen mit 2 Durchbohrungen, die bei dreien in der Achse und bei den drei andern quer verlaufen, ferner 4 Polklemmen mit einer queren Durchbohrung, mit Spannfläche und mit angedrehtem Gewindezapfen zum Einschrauben in Holz, außerdem 4 Platten-Polklemmen, die einen Schlitz und eine Klemmschraube für Bleche bis 2 mm Dicke und eine Durchbohrung und eine Schraube für Drähte

haben, und zum Einspannen dünnerer Drähte und Bleche noch 4 Polklemmen mit 2 Spannflächen (OSTWALD-LUTHER<sup>3</sup> 378). Die Durchbohrungen sollen bequem Drähte von 2 mm Stärke fassen. Man achte darauf, daß die Schrauben unten nicht spitz sind, da sie sonst die Drähte durchschneiden, und daß sie beim Niederschrauben die Löcher völlig schließen. Sauber gearbeitete, polierte und vernickelte Klemmen der mannigfachsten Formen liefert FRITZ KÖHLER zu Leipzig.

c) Taster. Man kann sie, wenn man keinen Druckknopf benutzen will, leicht selbst herstellen. Auf einem Holzklötz (10 cm  $\times$  5 cm  $\times$  1,5 cm), der in Öl oder Paraffin gekocht und unten mit Spitzen versehen ist, befestige man mit einer Holzschraube *A* einen Streifen aus federhartem Messing (8 cm  $\times$  1 cm  $\times$  0,05 cm), der wie in Fig. 233 gebogen ist. Zwischen den Messingstreifen und das Holzbrett klemmt man das umgebogene Ende eines  $\sim$  1 mm starken Kupferdrahts. Genau unter dem andern Ende *B* des Streifens, das oben mit Siegellack überzogen ist, schraubt man mit einer flachköpfigen Holzschraube *C* einen

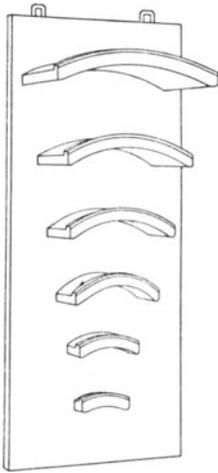


Fig. 232.

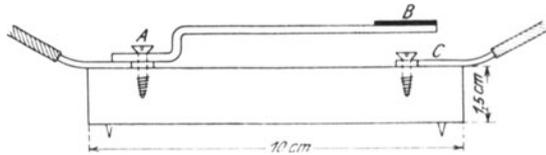


Fig. 233.

zweiten Kupferdraht fest. Der Abstand zwischen *B* und *C* betrage  $\sim$  0,5 cm. Am besten verwendet man Schrauben, die man auf der Unterseite des Grundbretts mit einer versenkten Mutter befestigen kann. Die Löcher gießt man mit Wachs aus. Zweckmäßig ist es, statt der Schraube *A* eine Polklemme mit Befestigungsschraube zu verwenden und *C* mit einer Klemme zu verbinden, die man neben *A* einschraubt. Ein fester und einfacher Taster ist bei OSTWALD-LUTHER<sup>3</sup> 380 beschrieben.

Bringt man auf demselben Grundbrett nebeneinander zwei Taster an, so kann man damit beim Arbeiten mit der WHEATSTONESchen Brücke Stromprüfer und Kette bequem in der richtigen Weise ein- und ausschalten (ABRAHAM 2, 361 Nr. 172).

Verbindet man die Schrauben *A* (Fig. 233) der beiden nebeneinanderliegenden Taster durch einen Kupferdraht miteinander, so erhält man einen Dämpfungsschlüssel (ABRAHAM 2, 294 Nr. 124). Einen andern einfachen Dämpfungsschlüssel geben AMES-BLISS (496)

an (Fig. 234). Er besteht aus zwei schrägen Drahtfedern *A*, die sich beim Niederdrücken zwischen zwei wagerechten Drähten *B* und *C* bewegen. Der Schließungskreis liegt an den Federn und die Batterie an den wagerechten Drähten. Drückt man die eine Feder hinab, so daß sie den untern wagerechten Draht *C* berührt, während die andere Feder an dem obern wagerechten Draht *B* liegt, so fließt der Strom in einem bestimmten Sinn durch die Außenleitung. Drückt man die andere Feder hinab, während die erste den obern Draht *B* berührt, so wird die Stromrichtung umgekehrt.

Bei den mitgeteilten Übungen und den benutzten Galvanometern ist je-

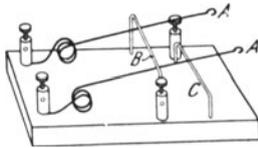


Fig. 234.

doch ein Dämpfungsschlüssel entbehrlich.

d) Ausschalter. Man kann sie in der mannigfachsten Weise selbst herstellen. Man bohre in einen Klotz (7,5 cm  $\times$  5 cm  $\times$  2,5 cm) aus hartem Holz, das in Öl oder Paraffin gekocht worden ist, zwei Löcher *A* (Fig. 235) von 0,6 bis 1 cm Weite und 2 cm Tiefe, schraube ferner zwei Klemmen *B* in den Klotz und verbinde sie durch zwei Kupferdrähte *C* von 1 mm Stärke mit den Näpfen *A*. Man entferne, wenn der Draht isoliert ist, die Schutzhülle von dem Ende, das in den Napf eingetaucht werden soll, mache es blank, gebe ihm die Gestalt einer flachen Uhrfeder, verquicke es gut und setze es dann in den Napf ein. Den Napf füllt man zur Hälfte mit Quecksilber.

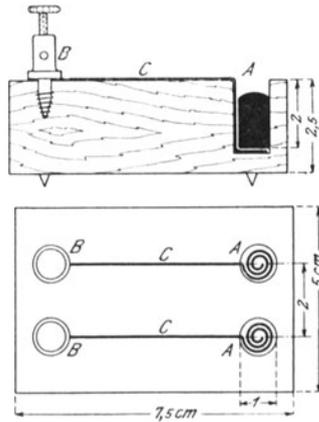


Fig. 235.

Man kann die festen Klemmen auch weglassen, den Draht außerhalb des Napfs rechtwinklig umbiegen und mit zwei Krammen auf der Oberseite des Klotzes befestigen (Fig. 236), oder wie in Fig. 237, die Drähte mit einer Holzleiste (1,3 cm  $\times$  1,3 cm  $\times$  5 cm) und einer Schraube gegen den Klotz klemmen (ALLEN 230). WORTHINGTON (286) gibt dem Ausschalter die in Fig. 238 abgebildete Gestalt. In den beiden Näpfen sitzt ein Bügel (Fig. 239) aus 2 mm starkem Kupferdraht, der in der Mitte mit Siegellack überzogen ist, dessen blanke Enden jedoch gut verquickt sind.

Wesentlich verbessert man den Ausschalter, wenn man den Holzklotz mit einem Rande versieht, der das verspritzte Quecksilber zusammenhält, und auf der Unterseite 4 kleine Spitzen in den Ecken

anbringt. Man kann den Klotz auch in eine kleine Lichtbildschale setzen und, anstatt die Enden der Drähte *C* (Fig. 235) uhrfederartig zu winden, auf den Boden der Näpfe gut verquickte Kupferscheiben legen, wogegen man die Drähte bei dem Eintauchen ins Quecksilber fest drückt. Die Näpfe lassen sich verbessern, indem man in die

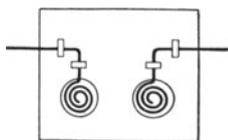


Fig. 236.

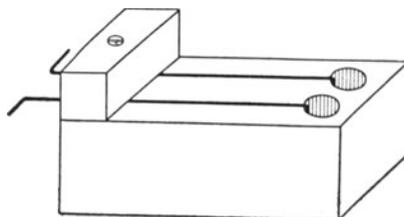


Fig. 237.

Löcher des Holzklotzes Glasröhrchen, die unten zugeschmolzen sind, Tuschnäpfchen, ausgeglühte eiserne Fingerhüte oder Stockzwingen einsetzt.

Einen ganz einfachen Ausschalter erhält man, wenn man in einen Holz- oder Paraffinklotz ein Loch von der oben angegebenen Größe bohrt und auf den Boden ein Korkscheibchen legt oder einen Kork mit einem Korkbohrer bis zur Mitte ausbohrt und ihn dann mit Siegellack auf ein Holzbrett oder dergleichen kittet. Die Enden der Leitungsdrähte muß man spitz zu-

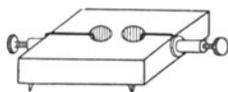


Fig. 238.



Fig. 239.

feilen und gut verquicken; sie werden in dem Kork festgespißt. OSTWALD-LUTHER<sup>3</sup> 381.

Hat man Stromwender mit drei oder vier Näpfen, so kann man die Quecksilberausschalter mit einem oder zwei Näpfen entbehren.

e) Amalgamieren von Kupferdrähten. Man gieße in eine weithalsige Flasche mit Glasstopfen Quecksilber und darüber eine Schicht Merkuronitrat, das mit Salpetersäure angesäuert ist. Will man einen Kupferdraht verquicken, so tauche man ihn durch diese Schicht hindurch ins Quecksilber ein, spüle ihn tüchtig ab und reibe ihn blank. Man kann auch die oben S. 328 angegebene Verquickungsflüssigkeit verwenden. Ist das Drahtende gut verquickt, so muß man damit einen kleinen Quecksilbertropfen aufheben können. Verquickungen muß man häufig erneuern.

f) Quecksilbertropfgefäße. Zum Füllen der Quecksilbernäpfe bedarf man bequemer Tropfgefäße. Das von GRIMSEHL (*Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 18, 34; 1905) angegebene Gefäß und seine von HINTZE abgeänderte Form, die in dem Naturwissenschaftlichen Fort-

bildungsinstitut verwendet wird, haben den Nachteil, daß sie sich nur schwer reinigen lassen. Es verdienen daher wohl die von OSTWALD-LUTHER (383) angegebenen Flaschen den Vorzug. Weniger zerbrechlich, wenn auch teurer, sind die alten bequemen Büchsen aus Buchsbaumholz mit Eisenhahn (LEHMANN-FRICK 1, 1, 578) oder die neuen Flaschen aus Eisen, die am Dorotheenstädtischen Realgymnasium im Gebrauch sind.

Sehr empfehlenswert sind Quecksilberzangen, die ermöglichen, die kleinsten verspritzten Quecksilberkügelchen mit Leichtigkeit aufzuheben. Über Quecksilberbretter vgl. S. 176.

g) Stromwender mit vier Näpfen (Fig. 240). In einem Holzbrett (10 cm  $\times$  10 cm  $\times$  1,2 cm), das mit einem Rand und vier Bodenstiften versehen ist, sind vier Löcher eingebohrt, die die Ecken eines Quadrats von 4,5 cm Seitenlänge bilden. In die Löcher sind Glasnäpfchen eingesetzt und durch Kupferdrähte und Bleche mit 4 Klemmen verbunden, von denen zwei gegenüberliegende mit zwei Durchbohrungen oder einer Durchbohrung und einer Spannfläche versehen sind. Zwei Kupferbügel, deren verquickte Enden in die Näpfe tauchen, sind an einer Holzleiste (6,5 cm  $\times$  2 cm  $\times$  1 cm) befestigt. Zweckmäßig ist es, nach OSTWALD-LUTHER (382) in der Mitte der Holzleiste eine Glasröhre einzukitten und diese über einen Stift zu schieben, der in der Mitte des Holzbretts angebracht ist. Einen Stromwender ähnlicher Bauart liefert FRITZ KÖHLER zu Leipzig. Die Näpfe füllt man zur Hälfte mit Quecksilber und verbindet die Klemmen *AA* (Fig. 241) mit den Enden des Schließungskreises und die Klemmen *BB* mit den Drähten der Stromquelle. Durch Drehen der Bügel um 90° kann man den Strom in dem Schließungskreis wenden. Füllt man nur zwei Näpfe mit Quecksilber, so kann man den Wender als Ausschalter benutzen.

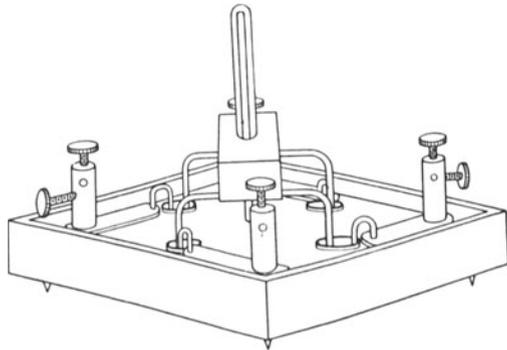


Fig. 240.

Zwei Kupferbügel, deren verquickte Enden in die Näpfe tauchen, sind an einer Holzleiste (6,5 cm  $\times$  2 cm  $\times$  1 cm) befestigt. Zweckmäßig ist es, nach OSTWALD-LUTHER (382) in der Mitte der Holzleiste eine Glasröhre einzukitten und diese über einen Stift zu schieben, der in der Mitte des Holzbretts angebracht ist. Einen Stromwender ähnlicher Bauart liefert FRITZ KÖHLER zu Leipzig. Die Näpfe füllt man zur Hälfte mit Quecksilber und verbindet die Klemmen *AA* (Fig. 241) mit den Enden des Schließungskreises und die Klemmen *BB* mit den Drähten der Stromquelle. Durch Drehen der Bügel um 90° kann man den Strom in dem Schließungskreis wenden. Füllt man nur zwei Näpfe mit Quecksilber, so kann man den Wender als Ausschalter benutzen.

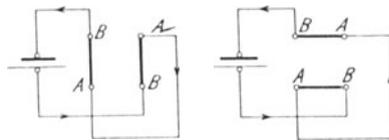


Fig. 241.

h) Stromwender mit drei Näpfen. Dieser einfache Wender von AYRES (113) ist in Fig. 242 abgebildet. *A*, *B* und *C* sind die 3 Näpfe und *D* ist der Bügel.

i) Wippe. In ein paraffiniertes Holzbrett (15 cm × 7 cm × 2,5 cm), das mit einem Rand und Fußspitzen versehen ist, sind 6 Löcher eingebohrt und in diese Näpfchen aus Glas, Steingut oder Eisen 1, 2, 3, 4, 5 und 6 (Fig. 243) eingesetzt. Die Näpfe sind durch Kupferdrähte mit den Klemmen  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$  und  $k_6$  verbunden, die zwei Durchbohrungen oder eine Durchbohrung und eine Spannfläche haben. Die Näpfe 1 und 6 und die Näpfe 3 und 4 sind

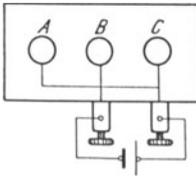
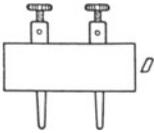


Fig. 242.

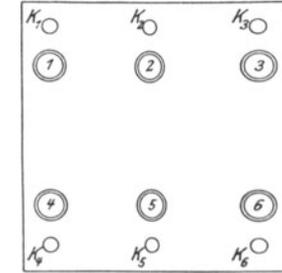


Fig. 243.

kreuzweise durch 2 mm starke Kupferdrähte verbunden, die, voneinander isoliert, durch einen



Fig. 244.

Kork oder ein Ebonitstück hindurchgehen. Das Kreuz läßt sich leicht entfernen. Der Wippenbügel (Fig. 244) besteht aus zwei Kupferdrähten von 3 mm Durchmesser, die durch eine paraffinierte Holzleiste (7 cm × 4 cm × 1 cm) hindurchgeführt und darin durch zwei hölzerne Bolzen festgehalten werden (ABRAHAM 2, 537 Nr. 168). Der Bügel kann durch eine Stellfeder festgehalten, und daher die Wippe zugleich als Unterbrecher benutzt werden.

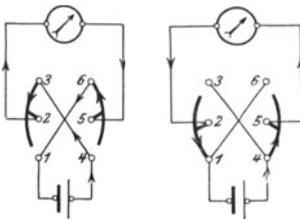


Fig. 245.

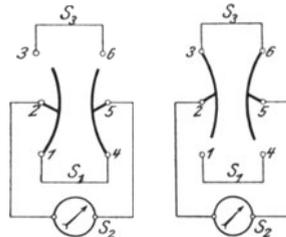


Fig. 246.

Die Wippe, die die Anschaffung von Ausschalter und Stromwender überflüssig macht, dient zum Wenden des Stroms und zum Verbinden zweier Stromkreise mit einem dritten Stromkreis. Fig. 245 zeigt, wie die Wippe als Stromwender benutzt wird, und Fig. 246, wie man damit die beiden Stromkreise  $S_1$  und  $S_2$  mit dem Stromkreis  $S_3$  verbinden kann.

### 3. Widerstände.

#### a) Stromschwächer.

1. Gleitwiderstände. In eine Holzleiste (106 cm  $\times$  4,5 cm  $\times$  1,5 cm) sind in 1 m Abstand zwei Klemmen mit je zwei Durchbohrungen und einer Spannfläche eingeschraubt. Zwischen den Spannflächen wird ein blanker Manganindraht ausgespannt (Fig. 247). Der

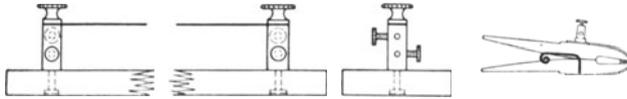


Fig. 247.

Strom wird der einen Endklemme zugeführt und mit einer verschiebbaren VOLKMANN'SCHEN Klammer abgenommen. Man schaffe sich Spulen mit Manganindraht von 0,2, 0,3 und 0,5 mm Durchmesser an.

#### Manganin.

Draht- durchmesser in mm	Widerstand eines Meters in Ohm	Größte Belastung in A (Draht- wärme 95°)
0,2	12,4	0,6
0,3	5,94	1,0
0,5	2,14	1,8

Man kann die Drähte einige Zeit erheblich überlasten. Diese billigen Widerstände haben sich in dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut ausgezeichnet bewährt.

Gehr. RUHSTRAT zu Göttingen fertigen jetzt einen „Ruhstrat-Schüler-Widerstand“ an. Mit diesem kleinen Widerstand kann man elektrische Schwachströme ohne merkbare Sprünge beliebig regeln. Der Widerstand wird je nach Wunsch für 0,05 bis 5 A geliefert. Die Vorrichtung besteht im wesentlichen aus einem in Feuer überschmelzten Widerstandsträger mit Konstantendrahtwicklung, zwei Anschlußklemmen, einer Schleifschlußeinrichtung und einer nichtleitenden Grundplatte, worauf die Bezeichnungen der höchsten Stromstärke und des Widerstandes, sowie „schwach“ und „stark“ vermerkt sind. Diese neuen Widerstände werden seit kurzem auch im Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut verwendet und haben sich bis jetzt gut bewährt, jedoch ist die Prüfung noch nicht beendet.

Schaltet man zwei Widerstände nebeneinander, so ist der Widerstand der Verzweigung geringer als der kleinere der beiden Widerstandszweige. Da eine verhältnismäßig beträchtliche Änderung des größeren der beiden Widerstandszweige einen geringen Einfluß auf die Stromstärke hat, so stellt man eine erforderliche Stromstärke zunächst

durch Änderung des kleinern Widerstandes grob und dann durch Änderung des größern Widerstandes fein ein.

2. Flüssigkeitswiderstände. Sie sind recht bequem und bei einigen Versuchen empfehlenswert.

Für geringere Stromstärke nimmt man ein Standglas von 40 cm Höhe und 3,5 cm Durchmesser (Fig. 248) und kittet es, um seine Standfestigkeit zu erhöhen, in einen größern Holzfuß ein. Man schneidet die Elektroden  $E_1$  und  $E_2$  aus Kupferblech, nietet an den Rand von  $E_1$  das Ende eines mit Guttapercha gut gedichteten Kupferdrahts, den man noch mit Paraffin überziehen kann, und an die Mitte der beweglichen andern Elektrode  $E_2$  einen blanken, 2 mm starken Kupferdraht. Die Elektrode  $E_1$  stellt man auf den Boden des Glases. Den Draht der Elektrode  $E_2$  führt

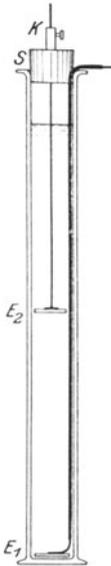


Fig. 248.

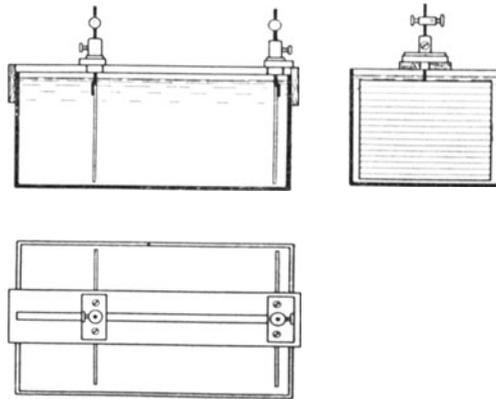


Fig. 249.

man durch eine Verbindungsklemme  $K$ , deren untere Schraube man entfernt hat, und setzt die Klemme in einen paraffinierten Kork  $S$  ein, mit dem man die Mündung des Glases verschließt. Als Flüssigkeit dient eine 10-prozentige Lösung von Cuprisulfat. Da nach ABRAHAM (2, 249 Nr. 80) bei dieser Lösung die Stromstärke 6 A für 100 cm<sup>2</sup> der Elektrodenfläche nicht übersteigen und die vom Widerstand vernichtete Leistung 10 Watt für 100 cm<sup>2</sup> der abkühlenden Oberfläche nicht überschreiten darf, so kann dieser Widerstand 0,5 A bei 80 V aushalten. Man ändert den Widerstand, indem man die Länge der Flüssigkeitssäule oder den Gehalt des Elektrolyten ändert.

Aus einem Sammlertrog (30 cm × 16 cm × 15 cm) kann man einen Widerstand herstellen, der 15 A bei 15 V verträgt (Fig. 249). Man legt über den Rand des Gefäßes eine paraffinierte Holzleiste mit 1 cm breitem Schlitz, die an den Enden mit kurzen Führungsbrettchen versehen ist. An die Kupferelektroden (12 cm × 12 cm) lötet man 2 mm starke Kupferdrähte, steckt diese durch achsenrecht durch-

bohrte Klemmen, die auf kleinen, längs der Leiste verschiebbaren Holzbrettchen sitzen.

Man kann auch Zinkelektroden benutzen, die in eine Zinksulfatlösung eintauchen, und statt der Glasgefäße ausgepichte Holztröge verwenden.

3. Kohlenwiderstände. Sie haben sich am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und in dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut nicht bewährt; sie verhielten sich ganz launenhaft.

4. Große Widerstände. Man erhält sie, indem man auf einer matten Glasplatte oder auf einer Hartgummiplatte mit einem Bleistift oder auf einer recht sauberen Glasplatte mit einem Aluminiumstift einen zickzackförmigen Strich zieht. Die Leitungsdrähte befestigt man an Plattenklemmen und sorgt durch Unterlegen von Blattsinn für eine gute Berührung zwischen dem Strich und dem Schraubende. Man kann auch die Enden der Striche galvanisch verkupfern, indem man sie unter einer Cuprisulfatlösung mit der Kathode berührt. Das Abgleichen geschieht durch Verbreitern oder Abwischen des Strichs, wobei man öfters heftig abklopft oder mit trockner Luft abbläst.

Über die Herstellung von Platinwiderständen vgl. OSTWALD-LUTHER<sup>3</sup> 414, KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 37, 407.

#### b) Widerstandsätze.

Für die Übungen genügt ein Widerstandsatz, der von 1 bis 200 Ohm reicht. Als Unterlage dient ein Grundbrett (25 cm × 10 cm × 2,5 cm),

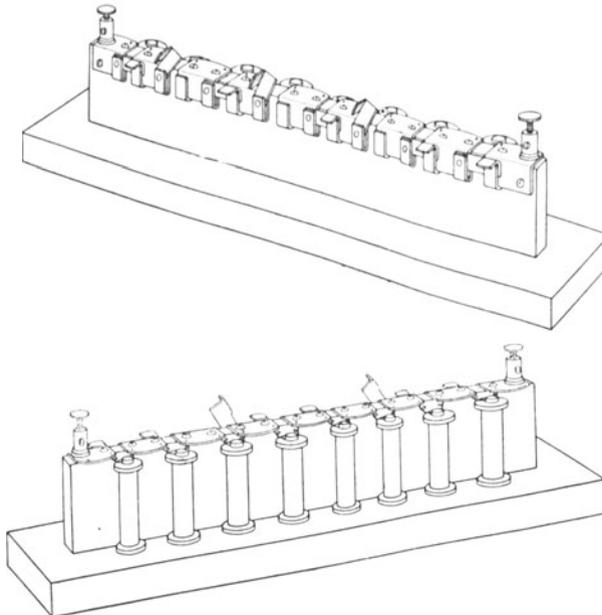


Fig. 250.

worauf in der Mitte ein Brett von 5 cm Höhe steht (Fig. 250). Auf der einen Seite des Bretts sind 10 zweifädig gewickelte Spulen von 1, 2, 2, 5, 10, 20, 50, 100 und 200 Ohm Widerstand angebracht. Die Enden der Drähte sind zu Messingriegeln geführt, die ein bequemes und sicheres Ein- und Ausschalten der einzelnen Widerstände gestatten. Bei den jetzt angefertigten Widerstandsätzen (Fig. 250 a)

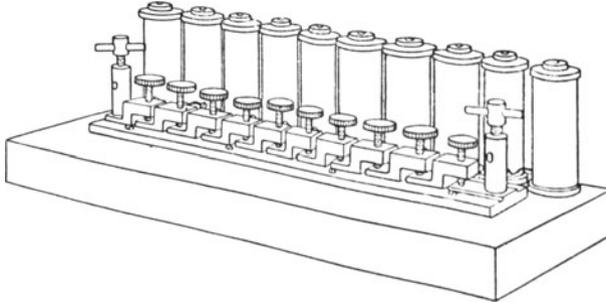


Fig. 250 a.

werden die Spulen durch Niederdrehen einer Schraube eingeschaltet, wovon die Ohmzahl der Spule steht. Die Berührungsstellen reinigt man durch Abreiben mit einem Lederlappen oder mit einem Leinenlappen, den man mit etwas Petroleum befeuchtet hat. Die Stromstärke, die durch eine Spule von  $W$  Ohm hindurchgeschickt wird, darf  $0,3/\sqrt{W}$  A nicht übersteigen; nur kurze Zeit kann man ohne Gefahr den Widerstand mit dem 5- bis 10fachen Strom belasten. Widerstandsätze gleichen Umfangs mit Stöpseln und induktionsfreier und kapazitätsfreier Wicklung liefern für 27.50 M die **GEBRÜDER RUMSTRA** zu Göttingen.

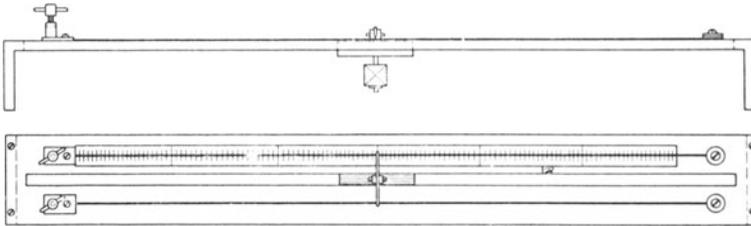


Fig. 251.

Über die Selbsterstellung von Widerstandsätzen vgl. **OSTWALD-LUTHER**<sup>3</sup> 412 und **ABRAHAM** 2, 237 Nr. 70.

Es ist nicht ratsam, in den Widerstandsatz noch Spulen von 0,1, 0,2 und 0,5 Ohm einzufügen. Man verschafft sich die Bruchohm auf einem der folgenden Wege:

1. Man spannt auf einem Meterstab zwischen zwei Klemmen einen Manganindraht von 0,7 mm Durchmesser aus, der eine größte

Belastung von  $\sim 2,6$  A zuläßt, und bestimmt genau die Länge des Drahts, dessen Widerstand 1 Ohm ist. Mit Hilfe der Gefälldrahtschneide (vgl. S. 413) kann man dann bequem Bruchteile eines Ohms einschalten.

Empfehlenswerter ist es, den Maßstab auf zwei Klötze zu legen und eine verschiebbare Schneide zu verwenden, die an ihren Enden zu beiden Seiten des Maßstabes mit angeschraubten Bleiklötzen be-

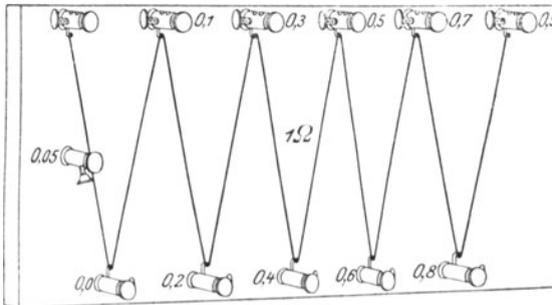


Fig. 252.

lastet ist. Einen der Klötze versieht man mit einer Verbindungsklemme. Man kann auch einen 50 cm langen Draht auf einem Holzsteg ausspannen, darauf einen mit einer Klemme versehenen Messingschlitten verschieben und diesen mit zwei Schrauben fest andrücken.

2. Auf einem Holzbrett ( $75\text{ cm} \times 9\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ ), das in der Mitte geschlitzt ist und auf zwei Fußbrettern ( $6\text{ cm} \times 9\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ ) steht, sind längs der Teilung aus Papier zwei Manganindrähte von 0,7 mm Durchmesser ausgespannt. Ein angeschraubter Bleiklotz drückt eine bewegliche Metallschneide fest gegen die Drähte. Die Schneide sitzt an einem Führungsbrettchen, das

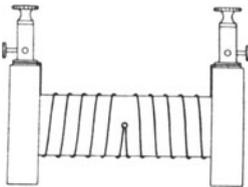


Fig. 253.

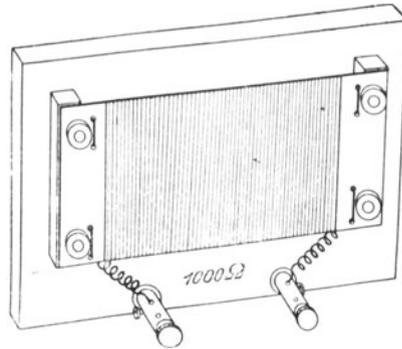


Fig. 254.

in dem Schlitz verschiebbar ist (Fig. 251). Man bestimmt die Stelle der Teilung, die dem Widerstand 1 Ohm entspricht, und kann nun mit dieser Vorrichtung Bruchteile des Ohms messen.

3. Man spannt auf einem gefirnißten Brett einen Manganindraht, der genau 1 Ohm Widerstand hat, im Zickzack so aus, daß 10 Teile

von gleicher Länge entstehen, und bringt an jeder Ecke und in der Mitte des ersten Drahtstücks eine Klemmschraube an (Fig. 252). Diese nicht empfehlenswerte Vorrichtung gestattet das Einschalten von Widerständen zwischen 0,05 und 1 Ohm in Stufen von 0,05 Ohm. BOWER-SATTERLY 344.

Einzelnen Widerstandspulen von bestimmter Ohmzahl, die eine höhere Belastung vertragen sollen, gibt man am besten die in Fig. 253 abgebildete Gestalt. Die Anschlußklemmen sollen zwei Durchbohrungen oder eine Durchbohrung und eine Spannfläche haben.

Sehr zu empfehlen sind für große Ohmzahlen die Plattenwiderstände, die die GEBR. RUHSTRAT zu Göttingen herstellen. Fig. 254 stellt eine gebrauchsfertige Platte dar.

#### 4. Galvanometer.

Vgl. ARMAGNAT. AYRTON. GRAETZ, *Handb. d. Elektr. u. d. Magn.* KOHLRAUSCH. E. MASCART, *Leçon sur l'électricité et le magnétisme*<sup>2</sup>. OSTWALD-LUTHER. STEWART-GEE. WEILER, *Prakt. Elektriker*. WIEDEMANN-EBERT.

##### a) Wahl der Galvanometer.

Eine der schwierigsten Aufgaben des Leiters von Schülerübungen ist die Wahl eines Galvanometers, das den verschiedenen Zwecken am besten entspricht und dessen Preis bei bescheidenen verfügbaren Mitteln noch erschwingbar ist.

Bei den Übungen gebraucht man Galvanometer im wesentlichen zu drei Zwecken:

1. zur Messung von Stromstärken,
2. zur Messung von Spannungen und
3. zum Nachweis der Stromlosigkeit.

Alle Galvanometer sind Strommesser; sie messen die Stärke des Stroms, der durch ihre Spulen fließt. Das Galvanometer muß so empfindlich sein, daß man die Ströme, die man bei den Versuchen durch seine Spulen sendet, mit Sicherheit messen kann.

Will man bei Nullverfahren die Stromlosigkeit eines Stromzweiges nachweisen, so muß das Meßwerkzeug, der Stromprüfer, noch für ganz schwache Ströme sehr empfindlich sein.

Bildet man aus einer Stromquelle von der elektromotorischen Kraft  $E$  und einem Galvanometer vom Widerstand  $\gamma$  einen einfachen Stromkreis, dessen Widerstand mit Ausschluß des Galvanometerwiderstandes gleich  $W$  ist, so besteht, wenn  $J$  die Stromstärke bezeichnet, die Gleichung

$$E = J(W + \gamma).$$

Es sind nun drei Fälle zu unterscheiden:

1. Es sei  $W$  sehr groß gegen den Galvanometerwiderstand  $\gamma$ , dann ist nahezu

$$J = \frac{E}{W},$$

d. h. die Einschaltung des Galvanometers beeinflusst die Stromstärke des Kreises nicht merklich. Ein Galvanometer von geringem Widerstand ist also zur Messung der Stromstärke geeignet; man kann es als Strommesser (Amperemeter) verwenden.

2. Es sei der Galvanometerwiderstand  $\gamma$  sehr groß gegen  $W$ ; dann ist nahezu

$$J = \frac{E}{\gamma},$$

d. h.  $W$ , der Widerstand der Stromquelle und des Schließungskreises mit Ausnahme des Galvanometers, hat keinen merklichen Einfluß auf die Stromstärke. Bei gleichbleibendem Galvanometerwiderstand ändert sich also  $J$  gleichmäßig mit  $E$ . Man kann mit einem Galvanometer von hohem Widerstande die elektromotorische Kraft der Stromquelle messen; man kann es als Spannungsmesser (Voltmeter) benutzen.

Ist die Spannung zwischen den Punkten  $P$  und  $Q$  (Fig. 255) eines geschlossenen Kreises zu messen, so darf die Stärke des abgezweigten Stroms die Stärke des Hauptstroms nicht merklich verkleinern. Eine solche Verkleinerung tritt nicht ein, wenn der Widerstand des Galvanometerzweiges groß gegen den Widerstand der Stromstrecke  $PQ$  ist. Hat das Galvanometer nicht den erforderlichen hohen Widerstand, so muß man in der Abzweigung noch einen großen Widerstand vor das Galvanometer schalten, wodurch freilich die Empfindlichkeit herabgesetzt wird. Vorschaltwiderstand.

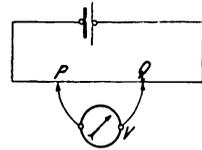


Fig. 255.

3. Darf man weder  $W$  noch  $\gamma$  vernachlässigen, so ist das Galvanometer am empfindlichsten, wenn sein Widerstand  $\gamma$  gleich dem übrigen Widerstand  $W$  des Stromkreises ist, mit andern Worten, bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft ist der Ausschlag des Galvanometers am größten, wenn  $W = \gamma$  ist. In einem Stromkreis von geringem Widerstand, z. B. bei Versuchen über Induktion, muß man also ein Galvanometer von geringem Widerstand benutzen.

Nach diesen Überlegungen wäre es am zweckmäßigsten, für die Übungen ein sehr empfindliches Galvanometer von geringem Widerstand ( $\sim 5$  Ohm) zu wählen. Soll man mit dem Gerät eine Spannung messen, so schaltet man einen hohen Widerstand von 1000 und mehr Ohm vor. Ist die Stromstärke des Kreises für das Galvanometer zu groß, so schwächt man sie ebenfalls durch einen Vorschaltwiderstand oder legt, wo dies nicht zulässig ist, das Galvanometer nebst Widerstandsatz zu einem Abzweigwiderstand in Nebenschluß; oft genügt es, ein kurzes Drahtstück, etwa einen Manganindraht von 15 cm Länge und 0,5 mm Dicke, zwischen die Klemmen des Galvanometers zu schalten.

## b) Stromprüfer.

Sehr geeignet für Nullverfahren ist das Galvanoskop von PASCHEN, das die GEBR. RUHSTRAT zu Göttingen herstellen (Fig. 256). Bei dem Widerstand 10 Ohm läßt sich leicht eine Stromempfindlichkeit von  $1^\circ$  Nadelablenkung für  $2 \cdot 10^{-6}$  A einstellen. Eine Beschreibung des innern Baues findet man bei LEHMANN-FRICK 2, 1, 438.

GEBR. RUHSTRAT bauen jetzt ein billiges Nullgerät (Nr. 5 Schüler-Galvanoskop). Bei einem innern Widerstand von  $\sim 10$  Ohm ist die Empfindlichkeit für  $1^\circ$  Nadelablenkung  $2 \cdot 10^{-5}$  A. In dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut ist dieses neue Meßwerkzeug (Fig. 256a) eingehend geprüft worden, und es hat sich dabei als ein billiger Ersatz (16,50 M) für das Paschen-Galvanoskop ausgezeichnet bewährt.

Weniger handlich, aber auch recht empfindlich ist der Stromprüfer von ARTHUR W. GRAY (*School Science* 5, 599; 1905. *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 19, 95; 1906).

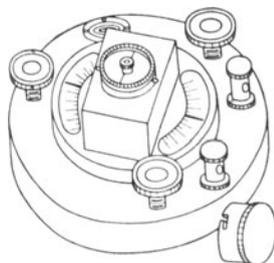


Fig. 256.

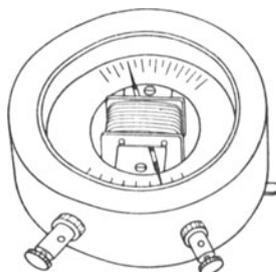


Fig. 256a.

Ein sehr einfaches empfindliches Galvanoskop ist von MATHER und WALMSLEY (AYRTON 125; HENDERSON, *Prelim. Pract. Magn. and Electr.* 49) ersonnen und an vielen englischen Schulen im Gebrauch. Von ähnlicher Bauart und Leistung ist der Stromprüfer, den GRIMSHEL benutzt.

Das von HADLEY (224 Nr. 25) angegebene Galvanoskop ist zu unempfindlich und hat einen zu großen Widerstand.

Man hat für Schülerübungen usw. zahlreiche Formen von Stromprüfern ersonnen; ich verweise auf ADAMS 91. ALLEN 229. BOTTONE, *Electrical Instrument-Making for Amateurs* 131 u. 184. GILLEY 459, 536. GREGORY-SIMMONS 2, 134. E. H. HALL, *Descript. List* 92 Nr. 100. MILLIKAN-GALE 80. STEWART-GEE 2, 73. TROWBRIDGE 101. VOGLEB, *Jedermann Elektrotechniker* 1, 21. WATSON, *Elem. Pract. Phys.* 238. WOODBUFF, *School Science* 2, 284; 1902.

## c) Tangentenbusssole.

Sie ist bei den Übungen ein unentbehrliches Meßwerkzeug. Es empfiehlt sich, Bussolen zu benutzen, bei denen die Nadel mit einem Achathütchen auf einer Spitze ruht. Am Dorotheenstädtischen Real-

gymnasium haben die Bussolen einen Ring aus Zink mit drei Wicklungen (Fig. 257).

Wicklung	Mittlerer Durchmesser der Windungen in cm	Anzahl der Windungen	Durchmesser des Drahts in mm	Ungefährer Widerstand in Ohm	Ungefährer Umrechnungszahl $C$ in A	Guter Meßbereich in A	Größte Belastung in A
I	25,6	500	0,2	220	0,0077	0,005—0,014	0,4
II	26,5	50	1,2	0,64	0,049	0,05—0,14	5
III	28,1	4	2,2	0,016	1,05	0,6—1,7	13

Die Tangentenbussole gestattet, und das ist einer ihrer Hauptvorteile, Ströme in Grundeinheiten zu messen. Deshalb sind auf dem Grundbrett jedes Geräts der Halbmesser und die Anzahl der Windungen, außerdem die Durchmesser der Drähte und die Widerstände der drei Wicklungen angegeben. Die Umrechnungszahlen schreibt man selbst darauf.

R. T. GLAZEBROOK, *Electricity and Magnetism* 230 u. 245, hat auf einem Ringe von 21 cm Durchmesser drei Wicklungen mit 3, 60 und 600 Windungen und mit den Umrechnungszahlen 1, 0,5 und 0,005 A.

Die Herstellung von Tangentenbussolen für Schülerübungen ist behandelt bei ADAMS 157. BOTTONE, *A. a. O.* 134. CRUTE 224, 225. HADLEY 225 Nr. 26. HENDERSON, *Pract. Electr. and Magn.* 135. NICHOLS-SMITH-TURTON 278. SCHUSTER-LEES, *Intermed. Course* 198. STEWART-GEE 2, 493. STROUD 229. *Syllab. of the Course of Pract. Instruct. in Phys.* 1, 133. TROWBRIDGE 205. TROWBRIDGE, *What is Electricity?* 98. VOLLER, *A. a. O.* 1, 76. WHITING 437.

#### d) Spiegelgalvanometer.

1. Nadelgalvanometer. Geräte, bei denen der Magnet oder die Magnetgruppe an einem Kokonfaden hängt, sind trotz vieler Vorzüge für Schülerübungen nicht empfehlenswert, wenn sie nicht dauernd fest aufgestellt sind.

In den Vereinigten Staaten verwendet man vielfach, besonders an Schulen, die unter dem Einfluß der Harvard-Universität stehen, astatische Galvanometer. Vgl. über deren Herstellung: ALLEN 231. E. H. HALL, *Descript. List.* 93 Nr. 107. TROWBRIDGE 206 u. 354. WHITING 418.

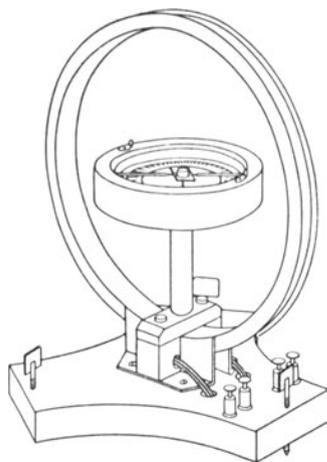


Fig. 257.

In England sind vielfach THOMSONSche Nadelgalvanometer in Gebrauch. Vgl. über deren Herstellung: GREGORY-SIMMONS 2, 134. HADLEY 225 Nr. 27. STEWART-GEE 2, 89. STROUD 236. *Syllab. of the Course of Pract. Instruct. in Phys.* 1, 137. WOOLLCOMBE 4, 89.

2. Drehspulengalvanometer. In den mittlern Staaten von Nordamerika benutzt man jetzt vielfach Drehspulengalyanometer. Bei den Versuchen über Induktion wird man sie in der Tat ungern entbehren. In dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut und am Dorotheenstädtischen Realgymnasium wurden bis jetzt zwei Formen geprüft:

a) Das von ABRAHAM (2, 346 Nr. 161) beschriebene einfache Gerät hat zwar den richtigen Widerstand, doch eine zu geringe Empfindlichkeit. Seine Aufstellung ließ sich ohne Mühe verbessern; schwieriger ist es jedoch, das Galvanometer gegen Luftbewegung und Staub zu schützen. Diese Form ist daher als Schülergerät nicht zu empfehlen, eher dürfte dies möglich sein bei dem sehr einfachen Drehspulengalvanometer, das MILLIKAN und GALE (87) beschrieben haben, doch besitzt das Naturwissenschaftliche Fortbildungsinstitut bis jetzt noch kein solches Meßwerkzeug.

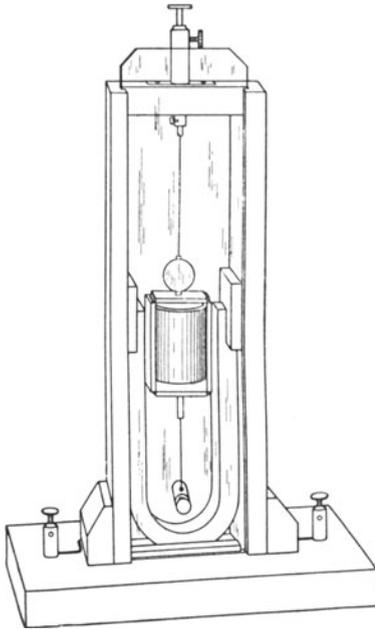


Fig. 258.

b) Das von ADAMS (161) angegebene Drehspulengalvanometer hat einen zu großen Widerstand, außerdem ist die Aufhängung an dem dünnen Kupferdraht nicht widerstandsfähig genug. Eine Aufhängung an Phosphorbronzeband hat sich hier nicht bewährt, wohl aber die Verwendung von Silberdraht. Eine weitere wesentliche Verbesserung war die Verwendung einer Drehspule aus 0,2 mm starkem isolierten Kupferdraht von 5 Ohm Widerstand, ferner das Anbringen einer Hülse, die ein zu straffes Spannen des Aufhängedrahts verhindert, und die Einrichtung einer bequemen Ablesevorrichtung. Mit diesem Gerät (Fig. 258), das noch sehr verbesserungsfähig ist, lassen sich alle Versuche über Induktion ausführen.

Das Ablesen der Spiegelgalvanometer bereitet bei den Schülerübungen erhebliche Schwierigkeiten. Nicht bewährt hat sich die von ADAMS angegebene Vorrichtung, eine innen geschwärzte Pappöhre von 30 cm Länge und 2,5 cm Durchmesser, die an dem einen Ende

mit einem dünnen Draht und an dem andern Ende mit einem Sechloch von 6 mm Durchmesser versehen ist.

Eine subjektive Ablesung mit Fernrohr und Maßstab in der bei uns üblichen Form erfordert gute Spiegel und ist nur dann anzuraten, wenn das Gerät dauernd eine feste Aufstellung erhalten kann. Auch die von B. OSGOOD PEIRCE (*Proceedings of the American*

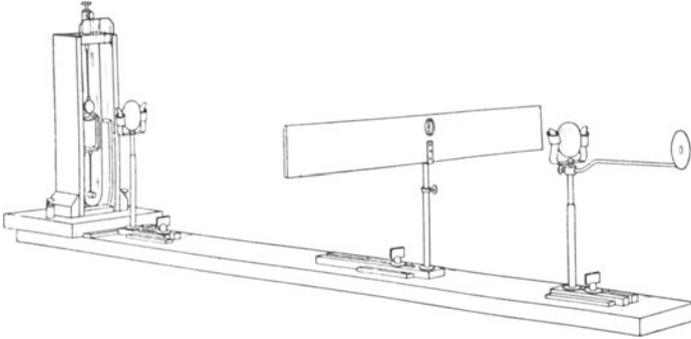


Fig. 259.

*Academy of Arts and Sciences 42, 173; 1906*) angegebene geistreiche Vorrichtung hat sich in dem Naturwissenschaftlichen Institut nicht bewährt. Fig. 259 zeigt die Ausführung, die dort angewandt wurde. Die Brennweite ( $f_1 = 57$  cm) der Vorderlinse ist gleich dem Abstände der Linse von dem Maßstab. Die Skale sitzt auf einer Holzleiste, die doppelt so breit wie die Teilung ist und in der Mitte ein  $\sim 2$  cm

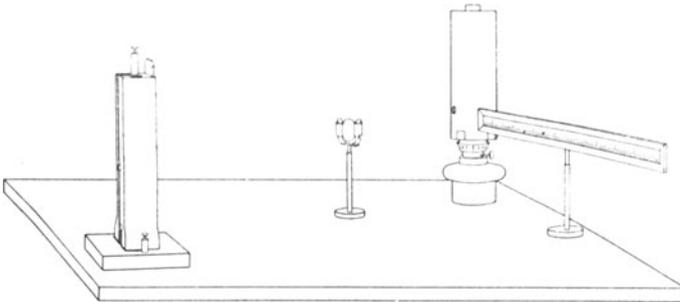


Fig. 260.

weites Loch hat. In diesem ist ein dünnes Metallband, mit der Schneide nach vorn gewendet, lotrecht angebracht. Das Bild der Teilung soll dieses Loch gerade ausfüllen. Die Augenlinse hat eine Brennweite von 12 bis 15 cm und eine Blende mit Guckloch von 5 mm Durchmesser. Der Maßstab und die Augenlinse erhalten eine solche Stellung, daß die Teilung und die Schneide des Metallbandes keine

Parallaxe zeigen, d. h. sich nicht gegeneinander verschieben, wenn man das Auge vor dem Guckloch seitwärts bewegt. Ist diese Entfernung gefunden, so wird der Maßstab festgeklemmt. Man halte das Auge nicht dicht vor das Guckloch.

Bequemer und mit ganz einfachen optischen Hilfsmitteln ausführbar ist die objektive Ablesung. Hierbei läßt man das Licht einer scharf markierten Lichtquelle durch eine Linse auf den Spiegel und von da auf die Teilung fallen. Als Lichtquelle kann man benutzen: eine Glühlampe mit geradem Faden, die von einem geschlitzten Blechrohr umgeben ist, oder eine Petroleumlampe (Rundbrenner) oder einen Auerbrenner, über deren Zugglas ein Asbestrohr so gestülpt wird, daß es den Luftzutritt nicht hindert. Das Asbestrohr hat dem hellsten Teil der Flamme gegenüber ein Loch von 1 bis 2 cm Durchmesser, worüber ein dünnes Metallband mit nach vorn gewendeter Schneide befestigt ist (Fig. 260). Als Linse dient ein

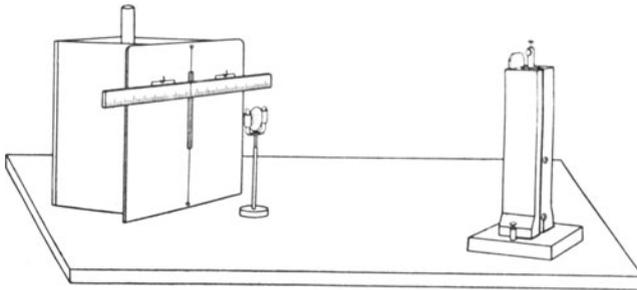


Fig. 261.

Brillenglas, das in einem bequemen Halter sitzt. Ist der Abstand zwischen Lichtquelle und Spiegel 50 bis 75 cm, so genügt ein erhabenes Brillenglas von  $\sim 12$  cm Brennweite, und bei einem Abstand von 1 m ein Brillenglas von höchstens 50 cm Brennweite. Damit ein wirkliches Bild entsteht, muß die Lichtquelle außerhalb der Brennweite der Linse stehen. In das zurückgeworfene Lichtbündel stellt man eine 50 cm lange Teilung auf durchscheinend gemachtem Papier (auf Pauspapier, Pausleinwand oder Pergamentpapier) und verschiebt dann die Linse, bis ein deutliches Bild des Glühlampenfadens oder des Metallbandes auf der Teilung entsteht.

Bequem ist auch folgende Bildwurfvorrichtung (HADLEY 226 Nr. 27): Ein oben und unten offener Holzkasten (30 cm  $\times$  26 cm  $\times$  26 cm), in dessen Hinterwand ein großes rundes Loch geschnitten ist (sie kann auch ganz fehlen), wird vorn mit einem schwarzen Pappdeckel versehen, der einen lotrecht 16 cm langen und 0,8 cm breiten Schlitz hat (Fig. 261). Über die Mitte des Schlitzes ist ein dünner Kupferdraht mit Hilfe einer Feder lotrecht gespannt. Eine Papierteilung ist auf eine Holzleiste geklebt und diese mit zwei Messingbügeln und Ketten an zwei Haken in dem Pappdeckel auf-

gehängt, so daß sich die Teilung auch in lotrechter Richtung bequem verschieben läßt. Die Lichtquelle (Petroleumlampe, Auerbrenner oder Glühlampe) wird in das Innere des Kastens gestellt. Auch diese objektiven Ablesungen des Galvanometers sind für die Schülerübungen zu zeitraubend und nur dann vorteilhaft, wenn dauernd feste Aufstellungen möglich sind.

Bei den unten mitgeteilten Übungen gebraucht man ein Spiegelgalvanometer nur bei den Versuchen über Induktion. Da hier bloß die Richtung von Ausschlägen festzustellen ist, so genügt ein weit einfacheres Verfahren. Man blicke mit dem bloßen Auge aus  $\sim 1$  m Entfernung nach dem Bild eines begrenzten hellen Gegenstandes (z. B. eines Glühlampenfadens) im Spiegel und lege die Sehrichtung durch irgendein einfaches Zielgerät fest. Dreht sich der Spiegel, so verschiebt sich das Bild.

Noch bequemer ist folgende Vorrichtung: Man befestige dicht vor dem Galvanometerspiegel einen Planspiegel derart, daß er dessen obere Hälfte verdeckt, und läßt einen hellen begrenzten Gegenstand (Glühlampenfaden oder weißen Papierstreifen auf schwarzem Papier) von beiden Spiegeln so zurückwerfen, daß die Bilder in einer lotrechten Geraden übereinander liegen. Bewegt sich der Galvanometerspiegel, so verschieben sich beide Bilder gegeneinander.

In den Vereinigten Staaten hat man die fest aufgestellten und die beweglichen Drehspulengalvanometer mit so bequemen und stets gebrauchsfertigen Einrichtungen sowohl für die subjektive als auch für die objektive Ablesung versehen, daß diese verhältnismäßig billigen Geräte für die Schülerübungen ebenso geeignet sind wie die Stromzeiger; doch erfordert ihre große Empfindlichkeit bei einigen Übungen die Verwendung von hohen Widerständen oder Abzweigungen. Fig. 262 zeigt ein solches Drehspulengalvanometer für subjektive Ablesung. Es wurde im Sommer 1907 von der CENTRAL SCIENTIFIC COMPANY zu Chicago für die praktischen Schülerübungskurse in dem Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut bezogen (Nr. 2414 des Preisverzeichnisses).

Auf der Versammlung der EASTERN ASSOCIATION OF PHYSICS TEACHERS, die am 25. Mai 1907 zu Brookline, Mass., stattfand, berichtete Herr BLACK (*Report p. 11*) über seine Prüfung von vier

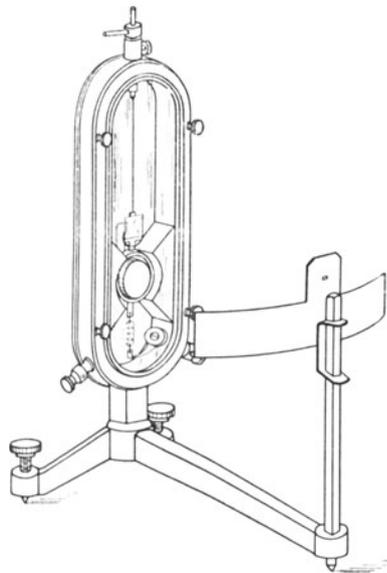


Fig. 262.

Drehspulengalvanometern, die für Schülerübungen hinreichend empfindlich sind. Ich entnehme seinem Bericht folgende Angaben:

Bezugsquelle	C. H. STORLING W. Randolph St., Chicago	L. E. KNOTT APP. CO., Harcourt St., Boston	CENTRAL SCIENTIFIC CO., Michigan St., Chicago	A. W. HALL SCIENTIFIC CO., Franklin St., Boston
Nummer des Preisverzeichnisses	2845	95-91	2414	975a
Gewicht in kg *	2,7	1	1,5	1,6
Skalenabstand in cm	13,5	7,6	14,5	20
Höhe in cm	35	23	20	23
Tiefe in cm	23	16	22	33
Länge der Aufhängung in cm	9	4	7	4,5
Widerstand in Ohm	108	280	153	470
Empfindlichkeit, d. h. die Stromstärke, die bei 1 m Abstand 1 mm Ausschlag liefert	$4,3 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$5,6 \cdot 10^{-8}$	$8,3 \cdot 10^{-8}$
Empfindlichkeit, d. h. die Stromstärke, die im Skalenabstand 1 mm Ausschlag liefert	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$3,9 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$
Preis in M (1 \$ = 4 M)	27	27	27	30
Bemerkungen	Bewegung schnell. Vorder- und Hinterseite offen. Stark gedämpft. Skala von oben abzulesen.	Bewegung langsam. Vorder- und Hinterseite offen. Steht nach einer Schwingung. Skala bequem abzulesen.	Spule hat plötzliche Auslösung. Schwer einzustellen. Steht nach zwei Schwingungen. Skala sehr deutlich, doch kleines Guckloch. Hinterseite geschlossen.	Hinterseite geschlossen. Steht nach vier Schwingungen. Veränderlicher Skalenabstand. Großes Guckloch.

### e) Stromzeiger.

Das sind Meßwerkzeuge, womit man ohne weiters durch Zeigerablesung die Stromstärke oder die Spannung in (internationalen) Welteinheiten mißt. Man wird daher ungern auf diese wertvollen Geräte verzichten, die in den Schulen der Vereinigten Staaten, besonders in den New Yorker Schulen, viel benutzt werden und sich immer mehr Eingang in die Schülerüb Räume verschaffen.

1. Strommesser. Bei den Übungen hat man Ströme von 0,01 bis 10 A zu messen. Es genügt also ein Strommesser mit den beiden Meßbereichen 0—1—10 A. Den Meßbereich kann man erweitern, indem man den Strommesser zu einem Abzweigwiderstand in Nebenschluß legt. Ist  $z$  der Widerstand dieser Nebenleitung (Fig. 263),  $\gamma$  der

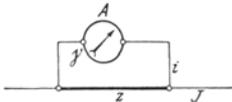


Fig. 263.

Widerstand des Galvanometers und  $W$  der Widerstand des Stromverzweigung, so ist

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{\gamma} + \frac{1}{z}$$

$$W = \frac{\gamma z}{\gamma + z}$$

und, wenn  $J$  die Stromstärke in dem Hauptstrom und  $i$  die mit dem Amperemeter gemessene Stromstärke bezeichnet,

$$J = i \left( 1 + \frac{\gamma}{z} \right).$$

Die Zahl  $a = 1 + \frac{\gamma}{z}$  nennt man die Abzweigungszahl. Die Rechnung wird am einfachsten, wenn

$$z = \frac{1}{9}\gamma, \quad \frac{1}{99}\gamma, \quad \frac{1}{999}\gamma, \dots;$$

es ist dann

$$a = 10, \quad 1000, \quad 1000.$$

**2. Spannungsmesser.** Bei den Übungen sind Spannungen von 0,01 bis 10 V zu messen. Es genügt also ein Spannungsmesser mit den beiden Meßbereichen 0—1—10 V.

Den Meßbereich eines Spannungsmessers kann man durch Vorschalten eines Widerstandes vergrößern. Hat das Voltmeter den Widerstand  $\gamma$  und liest man daran die Spannung  $E$  Volt ab, so ist nach Vorschaltung von  $\gamma'$  Ohm der Ausschlag  $E'$ , und es ist die in Volt gemessene Spannung

$$E = E' \left( 1 + \frac{\gamma'}{\gamma} \right).$$

Bei Vorschaltung eines Widerstandes  $\gamma$  Ohm wird  $\gamma' = \gamma$  und  $E = 2E'$ , d. h. der Meßbereich wird verdoppelt, die Empfindlichkeit aber auf die Hälfte herabgesetzt. Bei Vorschaltung von  $\gamma' = 9\gamma$  wird  $E = 10E'$ , mithin der Meßbereich verzehnfacht, jedoch die Empfindlichkeit auf  $\frac{1}{10}$  des ursprünglichen Betrages herabgemindert.

Mit dem Spannungsmesser kann man auch Stromstärken messen. Legt man einen Spannungsmesser vom Widerstand  $\gamma$  an die Enden eines Widerstandes  $z$ , so zeigt das Meßwerkzeug die Spannung  $E = J'z$  an, wo  $J'$  die Stromstärke in  $z$  ist. Macht man  $z = 1$  [Ohm], so ist  $E = J'$ , d. h. man kann an dem Spannungsmesser die Stromstärke in Ampere ablesen. Streng genommen muß man noch die Stärke des Zweigstroms berücksichtigen, der durch das Voltmeter fließt. Der Hauptstrom ist

$$J = J' \left( 1 + \frac{z}{\gamma} \right).$$

Man hat also zu der Amperezahl, die man am Voltmeter abgelesen hat, noch  $J^2/\gamma$  hinzuzufügen.

3. Strom- und Spannungsmesser. Mit diesen Geräten kann man nacheinander die Stromstärke und die Spannung messen.

Auf meine Anregung stellt jetzt die Firma GANS & GOLDSCHMIDT, Berlin N 4, Chausseestr. 25, zu mässigen Preisen Stromzeiger her, die für die Übungen trefflich geeignet sind, und zwar 1. ein aperiodisches Präzisions-Amperemeter, 2. ein aperiodisches Präzisions-Voltmeter und 3. ein kombiniertes Präzisions-Volt- und Amperemeter (Fig. 264). Diese Meßwerkzeuge sind neuerdings wesentlich verbessert, insbesondere, um Abweichungen auszugleichen, mit einer sichern Nullpunktseinstellung versehen worden.

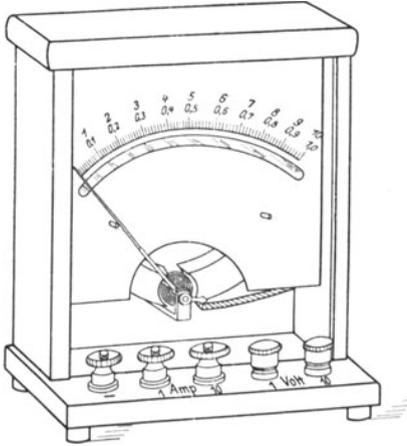


Fig. 264.

Das Amperemeter hat die Meßbereiche 0—1 und 0—10 A und bei dem ersten Meßbereich 0,2 und bei dem zweiten Meßbereich 0,02 Ohm Widerstand. Einem Teilstrich entspricht 0,01 oder 0,1 A.

Das Voltmeter hat bei dem Meßbereich 0—1 V 200 Ohm Widerstand und bei dem Meßbereich 0—10 Volt 2000 Ohm. Man kann mithin das Voltmeter auch als Milliampereometer gebrauchen, da beim Endausschlag 1 Volt ein Strom von  $\frac{1}{200}$  A = 0,005 A hindurchgeht. Es ent-

spricht mithin 1 Teil der hundertteiligen Skala der Stromstärke 0,00005 A.

Diese Meßwerkzeuge sind genau geeicht. Da die Enden der Zeiger eine scharfe Schneide bilden und Spiegel darunter gelegt sind, so lassen sich parallaktische Fehler bequem vermeiden und die Zehntel jedes Skalenteils gut abschätzen. Die Wicklungen der Drehspulen sind so gewählt, daß die Geräte geringen Stromverbrauch haben.

Alle wissenswerten Angaben sind auf die Skalen aufgedruckt, wie die Bezeichnungen der Empfindlichkeiten beim Endausschlag jedes Meßbereichs, sowie für jeden Teilstrich, ferner die Widerstände für jeden Meßbereich. Die Bezifferung der hundertteiligen Skala erfolgt von 10 zu 10 Teilstrichen, so daß eine falsche Ablesung selbst für den Anfänger ausgeschlossen ist. Die Klemme, die mit dem negativen Pol zu verbinden ist, trägt ein Minuszeichen, und an den andern Anschlußklemmen sind durch eingeschnittene Zahlen die Meßbereiche bezeichnet, so daß ein falsches Anschließen nur bei

grober Fahrlässigkeit möglich ist. Die Drehspulwerke sind außerdem so dauerhaft gebaut, daß sie vorübergehend mehr als die zehnfache Überlastung vertragen. Vgl. *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 21, 68; 1908 und 25, 333; 1912.

## II. Quellen des elektrischen Stroms.

### 1. Aufgabe. Wie wirkt verdünnte Schwefelsäure auf Zink ein?

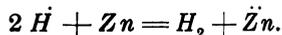
(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

<b>Geräte.</b> Flasche (500 cm <sup>3</sup> ) mit verdünnter Schwefelsäure.	Glas mit Lackmuspapierstreifen.
Flasche (250 cm <sup>3</sup> ) mit <i>n</i> -Kalilauge.	5 Prüfgläser.
Weithalsiges Glas (250 cm <sup>3</sup> ) mit gekörntem chemisch reinem Zink.	Batteriegelas.
Flasche mit Quecksilber.	Kasten mit Zinkblechstücken.
Flasche (500 cm <sup>3</sup> ) mit Ammoniak.	Quecksilberbrett.
	Streichhölzer.
	Fließpapier.
	Alte Lappen oder Werg.

**Anleitung.** a) Wenn man Schwefelsäure in viel Wasser auflöst, so entwickelt sich eine große Wärmemenge. *Zerfällung in die Ionen  $H^+$  und  $SO_4^{2-}$ .* Hypothese.

b) Lege in ein Prüfglas einen Schnitzel Zinkblech, fülle das Röhrchen  $\sim 3$  cm hoch mit verdünnter Schwefelsäure und beobachte sorgfältig die Oberfläche des Zinks. Entwickelt sich ein Gas? Riecht es?

c) Stülpe über die Mündung des Röhrchens ein leeres Prüfglas und fange damit das entweichende Gas auf. Entferne nach zwei Minuten das obere Gläschen, ohne es umzukehren, und halte ein brennendes Streichholz an seine Mündung. Mit welcher Farbe brennt das Gas? Wie ist der Knall zu erklären? Was für ein Gas hat sich entwickelt? Stelle das leere zweite Prüfröhrchen in das Batteriegelas zurück. Ändert sich die Größe des Zinkblechs? Welcher Vorgang findet also statt? *Bildung des Zinkions  $Zn^{2+}$ .*



Wie kann man dies nachweisen?

d) Gieße aus dem ersten Prüfglas etwas von der Lösung in das dritte Glas, bringe in dieses einen Streifen Lackmuspapier und tropfe langsam Kalilauge hinein, bis der Ausgleich eingetreten ist. Füge nun noch eine kleine Menge Kalilauge hinzu. Was tritt ein? *Bildung von Zinkhydroxyd.* Welches Ion war also in der Lösung vorhanden? Gieße noch mehr Kalilauge in das Gläschen. Was geschieht mit dem weißen flockigen Niederschlag? Stelle das Gläschen in das Batteriegelas zurück.

e) Lege in das vierte Prüfglas ein Körnchen reines Zink und gieße etwas verdünnte Schwefelsäure darüber. Bildet sich auch hier ein Gas? Ändert sich die Größe des Zinkkorns?

f) Füge einige Eisenfeilspäne hinzu und schüttele das Gläschen. Was geschieht, wenn die Späne das Zink berühren? Wie kann man also das verschiedene Verhalten von reinem und von unreinem Zink gegen verdünnte Schwefelsäure erklären? *Ortswirkung. Kurzschluß.* Stelle das Prüfröhrchen in das Batterieglas.

g) Bringe in das zweite Prüfglas einen Schnitzel Zinkblech, setze verdünnte Schwefelsäure hinzu und, sobald die chemische Wirkung eingetreten ist, einen Tropfen Quecksilber. Wie wirkt es auf das Zink ein? *Verquicken (Amalgamieren).* Greift die verdünnte Säure das verquicke Zink an?

h) Füge einige Eisenfeilspäne hinzu und schüttele. Tritt die chemische Wirkung wieder ein?

i) Gieße den Inhalt aller Gläschen in den Abfalleimer, reinige die Röhrchen sorgfältig und stecke sie auf die Stäbe des Trockenstells.

**Bemerkungen.** Man warne die Schüler, Kleider oder die Haut mit Säure zu betropfen. Haben sie sich trotzdem die Hände mit Säure befleckt, so lasse man sie diese mit einem Stück Fließpapier abwischen und dann mit viel Wasser nachwaschen. Säuretropfen auf dem Tisch wische man nicht mit einem guten Tuch, sondern mit einem alten Lappen, einem Bündel Werg oder dem Schwamm ab und wasche dann mit viel Wasser nach. Sollte Säure auf die Kleider gekommen sein, so betupfe man sofort die roten Flecken mit starker Ammoniaklösung.

Die verdünnte Schwefelsäure stellt man her, indem man 50 cm<sup>3</sup> chemisch reiner Schwefelsäure zu 1 l Wasser hinzusetzt (Dichte 1,06 gr/cm<sup>3</sup>), und die Kalilauge, indem man 56 gr Kaliumhydroxyd in 1 l Wasser löst (Dichte 1,05 gr/cm<sup>3</sup>). Die Prüfgläser sind 10 cm lang und 1,6 cm weit und haben ~ 20 cm<sup>3</sup> Inhalt. Sie stehen in einem Batterieglas, das 12 cm hoch und 7 cm weit ist und ~ 400 cm<sup>3</sup> Inhalt hat.

**2. Aufgabe.** *Wie kann man auf chemischem Weg einen elektrischen Strom erzeugen?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

<p><b>Geräte.</b> Batterieglas (vgl. Aufg. 1, Bemerkungen). 2 nicht verquicke Zinkstreifen. 2 verquicke Zinkstreifen. 2 Kupferstreifen. 2 Blechklemmen. 2 Bretchen mit Schlitten. 2 Ankerbausteine. Tangentenbussole (vgl. S. 344).</p>	<p>Spannungsmesser. Strommesser. Leitungsschnüre. Ausschalter (vgl. S. 333) oder Stromwender (vgl. S. 335). Stromschwächer (1 m Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser (vgl. S. 337). Flasche mit verdünnter Schwefelsäure (vgl. Aufgabe 1, Bemerkungen).</p>
---	--

<p><b>Geräte.</b> Ammoniak. Trichter. Schmirgelpapier. 2 flache EBteller von 20 cm Durchmesser. Alkohol in einem Standglas (10,5 cm hoch und 4 cm weit).</p>	<p>Tiegelzange. Wage und Gewichtsatz. Filterpapier. Lappen. Watte. Wischtücher.</p>
--	---

**Anleitung.** a) Stelle die Tangentenbussole *T* (Fig. 265) so auf, daß die Drahtwindungen in dem magnetischen Meridian liegen. Die Stellung der Bussole darf man während der Übung nicht im geringsten ändern.

b) Putze mit Schmirgelpapier die breiten Teile der beiden Kupferstreifen glänzend rein und schiebe sie in die Schlitzte der Deckbrettchen *BB*. Fülle das Batterieglass *C* so weit mit verdünnter

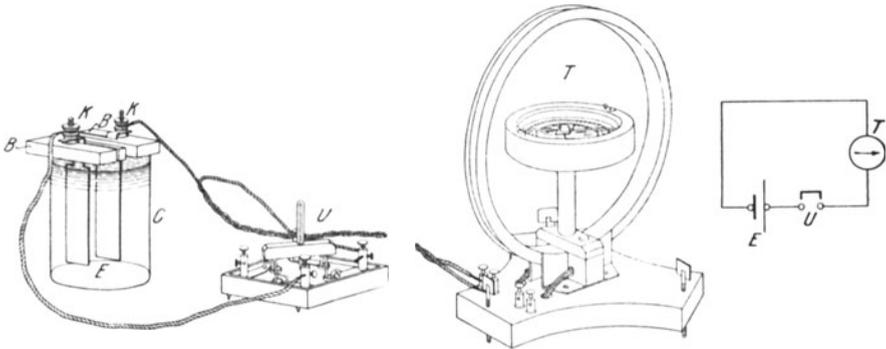


Fig. 265.

Schwefelsäure, daß die Flüssigkeit bis zur Linie *DE* (Fig. 267) reicht und beobachte ~ 1 Minute lang die Oberfläche des Kupfers. Entwickelt sich ein Gas?

c) Verbinde durch Leitungsschnüre die Klemmen *KK* mit dem offenen Ausschalter *U* und den vier Bussolenwindungen aus dickem Draht, ohne dabei die Stellung der Bussole zu ändern, und schließe dann den Strom. Beobachte ~ 1 Minute lang die Kupferstreifen und die Nadel der Bussole. Nimm die Kupferstreifen aus den Schlitzten, schraube die Klemmen ab, spüle die Streifen mit viel Wasser ab, trockne sie und lege sie auf den einen Teller.

d) Setze die beiden nicht verquiekten Zinkstreifen ein und wiederhole damit die Versuche (b) und (c). Entwickelt sich ein Gas? Welche Ionen enthält die verdünnte Schwefelsäure? Welche Ionen entstehen beim Auflösen des Zinks in der Säure? (Vgl. Aufg. 1 S. 353). Nimm die Zinkstreifen aus den Schlitzten, entferne die Klemmen, spüle die Streifen mit viel Wasser ab, trockne sie und lege sie auf den Teller, worauf sich die Kupferstreifen befinden.

e) Setze die beiden verquickten Zinkstreifen in die Schlitzte und führe damit die Versuche (b) und (c) aus. Nimm die beiden verquickten Streifen aus den Bretchen, spüle sie mit viel Wasser ab, trockne sie mit Watte und lege sie auf den andern Teller, der für diese Streifen bestimmt ist.

f) Wäge einen verquickten Zinkstreifen und einen Kupferstreifen und setze sie dann in die Schlitzte ein. Beobachte die Oberflächen beider Streifen. Entwickelt sich ein Gas? Nimm nach 15 Minuten die Streifen heraus, spüle sie behutsam mit viel Wasser ab, tauche sie in Alkohol, entzünde den Weingeist, der an den Streifen haftet, und wäge beide Metallplatten. Haben sich die Massen beider Streifen geändert?

g) Setze die Streifen wieder in die Schlitzte, gib diesen den Abstand 2 bis 3 cm, verbinde die Klemmen mit dem offenen

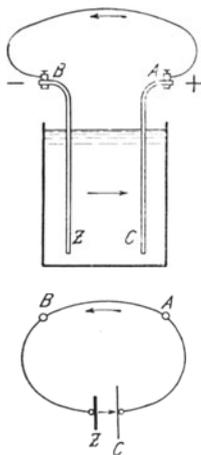


Fig. 266.

Ausschalter und den vier Windungen der Bussole und schließe dann den Strom. Beobachte die Oberfläche der beiden Streifen, klopfle leise gegen die Glasplatte der Bussole und lies so bald wie möglich die Stellung ab, wo die Nadel zur Ruhe kommt. Lies von nun an jede Minute die Stellung einundderselben Nadelspitze ab. Vergiß nicht vor dem Ablesen leise gegen das Bussolengehäuse zu klopfen. Ändert sich die Ablenkung der Nadel? Wo bildet sich diesmal das Gas? Entferne nach 15 Minuten die beiden Platten aus der Säure, spüle sie behutsam mit Wasser ab, tauche sie in Alkohol, trockne sie durch Abrennen des Alkohols und bestimme die Gewichtsänderung der beiden Platten. Lege dabei den verquickten Zinkstreifen nicht unmittelbar auf die Wagschale, sondern auf ein Stück Papier, das zuvor abgeglichen worden ist. Welches Metall hat sich gelöst? Welche Ionen sind entstanden?

**Zn.** Woher nimmt das Zink die positive Ladung? Aus dem Leitungsdraht. Woher bekommt dieser die Ladung? Vom Kupferstreifen. Wem entzieht der Kupferstreifen die positive Ladung? Den Wasserstoffionen. *Elektrolyt. Elektroden. Z (Fig. 266) Lösungselektrode oder Anode. C Ableitungselektrode oder Kathode.* In welcher Richtung bewegt sich die Ladung in dem metallischen Verbindungsdraht AB? *Elektrischer Strom.* Welches der beiden Enden A und B hat also das höhere Potential? *Spannung oder Potentialdifferenz. Elektromotorische Kraft. A positiver Pol. B negativer Pol. Elektrizitätsmenge. Stärke des Stroms. Voltischer Becher. Element oder Kette. Offene und geschlossene Kette. Schließungsbogen. Stromkreis.*

h) Ist der Zinkverbrauch in der offenen oder der geschlossenen Kette größer? Berechne den Verlust unter der Annahme, daß in beiden Fällen der Zinkstreifen ursprünglich die Masse 100 gr gehabt habe.

i) Ersetze den verquickten Zinkstreifen durch einen unverquickten und wiederhole damit die Versuche (f) und (g). Vergleiche den Zinkverbrauch in der offenen und der geschlossenen Kette miteinander. Ist er größer als bei den Versuchen (f) und (g)? Vgl. (h). Ist die Ablenkung der Nadel und deren mittlere Änderung in der Minute größer als bei Versuch (g)?

k) Ändert sich der Ausschlag der Bussolennadel, wenn man den Abstand zwischen dem Zink- und dem Kupferstreifen ändert oder die Platten weniger tief eintaucht? *Innerer Widerstand.*

l) Ändert sich die Stellung der Nadel, wenn man verschiedene Längen eines Manganindrahts von 0,25 mm Dicke in den Stromkreis einschaltet? *Außerer Widerstand.*

m) Bilde einen Stromkreis aus dem Voltischen Becher, einem Spannungsmesser und einem Ausschalter und lies fünfmal in Zwischenzeiten von je einer halben Minute die Spannung ab.

n) Ersetze in dem Stromkreis den Spannungsmesser durch einen Strommesser und lies ebenso fünfmal die Stromstärke ab.

o) Nimm die Leitungsschnüre ab. Spüle, soweit dies bis jetzt noch nicht geschehen ist, alle Metallstreifen tüchtig mit Wasser ab und trockne sie vollständig. Die verquickten Streifen dürfen mit den andern nie in Berührung kommen. Gieße die Flüssigkeit in den Abfalleimer, reinige und trockne das Batterieglass. Bringe den Ausschalter in Ordnung. Zieh alle Schrauben fest an. Nimm die Nadel der Tangentenbussole von der Spitze und lege sie daneben in das Gehäuse.

**Bemerkungen.** Man kann der Aufgabe auch die Form geben: *Wie kann man chemische Energie in elektrische Energie verwandeln?*

Man hat zahlreiche Formen des Voltischen Bechers erdonnen, die für Schülerübungen zweckmässig sein sollen: ABRAHAM 2, 267, Nr. 100; 273 Nr. 106. SCHREBER und SPRINGMANN 2, 210 Nr. 166; 212 Nr. 168. ADAMS 90 Nr. 39; 157. CHUTE 186 Nr. 110. COLEMAN 196 Nr. 66. CREW und TATNALL 158 Nr. 73. GILLEY 405 Nr. 461. HADLEY, *Pract., Exer.* 109 Nr. 76. Eine sehr durchgearbeitete Vorrichtung liefert die CENTRAL SCIENTIFIC Co. zu Chicago.

Das Batterieglass wird zuweilen größer (bis zu 500 cm<sup>3</sup> Inhalt) gewählt; man kann auch ein kleines Sammlergefäß verwenden.

Alle Zink- und Kupferstreifen, die 1 mm dick sind, haben die in Fig. 267 abgebildete Gestalt, sind längs der Linie *AB* rechtwinklig umgebogen und bei *C* 0,5 cm breit geschlitzt. In den Schlitz *C* wird eine Blechklemme (Fig. 268) gesteckt, die zur Befestigung der Anschlußdrähte dient.

Man nimmt vielfach die Zinkstreifen 3 bis 4 mm stark. Das hat zwar den Vorteil, daß sie länger vorhalten, doch den Nachteil, daß die Masse erheblich vermehrt wird. E. H. HALL macht die Streifen nur 1 cm, ABRAHAM hingegen sogar 5 cm breit. Man halte sich von den Zinkstreifen einen reichen Vorrat und bewahre die verquickten Bleche getrennt von den unverquickten Platten auf. Die verquickten Streifen, die man nicht erst kurz vor dem Versuch verquicken darf, schlägt man zur Aufbewahrung in Filterpapier ein. Bei den Versuchen legt man die Kupferbleche und die unverquickten Zinkstreifen auf einen Teller und die verquickten stets auf einen besonders andern Teller, worauf mit schwarzem Lack das Zeichen Hg gemalt ist.

Man Sorge für eine ausreichende Menge verdünnter Schwefelsäure.

Die beiden Brettchen (10 cm  $\times$  3 cm  $\times$  1 cm) aus Esenholz sind dreifach verleimt, mit Paraffin getränkt und haben einen 6,5 cm langen Einschnitt, der so breit ist, daß man die Metallstreifen bequem von der Seite her einschieben kann (Fig. 269).

Als Stromprüfer genügt schon eine Taschenbussole. Man feilt in einen flachen Kork oder ein Holzbrett von der Größe der Bussole eine gerade Nute für die Leitungsschnur ein und dreht vor dem Schließen des Stroms diesen Einschnitt in die Richtung des magnetischen Meridians. Man lasse ferner während des Versuchs die Leitungsschnur über die Nadel in verschiedenen Höhen in der Richtung des magnetischen Meridians und auch senkrecht dazu halten. Vgl. Aufg. 41. Man kann auch einen richtigen Stromprüfer von  $\sim 0,3$  Ohm Widerstand oder einen Strommesser (bis 5 A) oder einen Spannungsmesser (bis 3 V, Widerstand mindestens 100 Ohm) verwenden. Benutzt man ein Drehspulengalvanometer von geringem Widerstand (vgl. S. 346), so muß man es in Nebenschluß legen oder einen großen Widerstand vorschalten. Die Tangentenbussole wird hier als Stromprüfer verwendet. Will man ihre 50 Windungen benutzen, so ist durch Vorschalten eines Widerstandes ( $\sim 2$  Ohm) gleich nach dem Einschalten die Ablenkung der Nadel auf  $45^\circ$  herabzumindern.

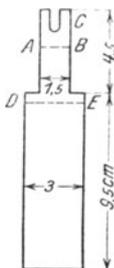


Fig. 267.



Fig. 268.



Fig. 269.

Die Übung ist etwas stark mit Wägungen belastet. Man wird daher zumeist die Wägungen der Kupferstreifen fortfallen lassen und bei Mangel an Zeit alle Schüler nur die Versuche (a) bis (h) ausführen lassen. Empfehlenswert ist es, einige Paare, die Versuche (b) bis (e), andere Paare die Versuche (f) bis (h) und die übrigen Paare die Versuche (k) bis (n) machen zu lassen. Nach meiner Erfahrung ist die Ausführung des Versuchs (i) nicht ratsam, da störende Nebenerscheinungen die Schüler verwirren können. Auch muß man bei Versuch (g) sorgfältig erwägen, welche der vielen neuen Begriffe man schon hier einführt. Über die Begriffsbestimmung für Potential, Potentialdifferenz, Elektromotorische Kraft, Spannung, Spannungsunterschied ist jetzt die Mitteilung des AEF, des Ausschusses für Einheiten und Formelgrößen, in den *Bericht d. Deutsch. Phys. Gesellschaft* 6, 578; 1908 zu vergleichen.

Man warne die Schüler, die Stellung der einmal ausgerichteten Tangentenbussole während des Versuchs zu ändern und weise nochmals auf die Vorsichtsregeln beim Arbeiten mit Säuren hin. Die Enden der Leitungsschnüre müssen vor dem Einklemmen glänzend rein geschmirgelt und die Schrauben fest angezogen werden. Bei den Versuchen dürfen sich die Zink- und die Kupferstreifen nicht berühren. Nach der Beendigung jedes Versuchs sind die Metallstreifen sofort aus der Säure herauszuheben, mit Wasser abzuspülen und auf die Teller zu legen und zwar die verquirlten Streifen auf einen besondern Teller. Man mache die Schüler hierauf besonders aufmerksam.

**3. Aufgabe.** *Warum ändert sich der Strom des Voltischen Bechers mit der Zeit?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Die Teile eines Voltischen Bechers (vgl. S. 357). Batterieglas. 2 verquickte Zinkstreifen. 2 Kupferstreifen. 2 Brettchen. Holzbrett mit 4 Einschnitten (vgl. S. 362). Blechklemmen. Tangentenbussole (vgl. S. 344). Spannungsmesser (bis 3 Volt) von mindestens 100 Ohm Widerstand. Stromschwächer ( $\sim 13$ Ohm), ein 1 m langer Manganindraht von 0,2 mm Durchmesser auf Holzbrett ausgespannt. Volkmannsche Klammer. Ausschalter (vgl. S. 333). Leitungsschnüre. Reine Schwefelsäure. Flasche mit verdünnter Schwefelsäure (170 cm <sup>3</sup> )	chemisch reiner Schwefelsäure auf 11 Wasser); Dichte = 1,18 gr/cm <sup>3</sup> . Flasche mit einer gesättigten Lösung von Kaliumdichromat in Wasser. Flasche mit einer Lösung von Chromtrioxyd in Wasser (1:1). Flasche mit einer gesättigten Lösung von Cuprisulfat in Wasser. Flasche mit Ammoniak. Glasstab, über dessen eines Ende ein Kautschukschlauch gezogen. Schmirgelpapier. Bunsenbrenner nebst Gas Schlauch. 2 flache Teller (vgl. S. 355). Porzellanschale mit Untersatz. Filterpapier. Millimeterpapier.
----------------	--	---

*A. Schwächen die sich an den Kupferstreifen setzenden Wasserstoffbläschen den Strom?*

**Anleitung.** a) Stelle die Tangentenbussole so auf, daß die Drahtwindungen in dem magnetischen Meridian liegen.

b) Putze die Kupferplatte mit Schmirgelpapier glänzend rein, fülle das Glasgefäß bis 2 cm unter dem Rande mit reinem Wasser und füge einige Tropfen reine Schwefelsäure hinzu. Setze die Streifen in ihre Brettchen, verbinde die Klemmen mit den 500 Bussolenwindungen und tauche die Zinkplatte ein. Schließe den Strom durch ganz langsames Eintauchen des Kupferstreifens in den Becher, lies so schnell wie möglich die Ablenkung der Nadel ab und wiederhole die Ablesungen 5 Minuten lang am Ende jeder Minute. Vergeiß nicht, gegen das Gehäuse der Bussole zu klopfen. Die Streifen sollen 2 cm voneinander abstehen, die Brettchen also aneinander stoßen.

Trage die Ablesungen in folgende Tabelle ein:

Zeit in Min.	Ablenkung $\alpha$	tg $\alpha$

Stelle die Ergebnisse bildlich dar, wähle die Zeit als Abszisse und tg  $\alpha$  als Ordinate.

c) Entferne nach Beendigung der Ablesungen die Gasblasen durch Erschüttern des Bechers oder durch Hinundherbewegen des Brettchens mit dem Kupferstreifen. Ändert sich die Stellung der Nadel?

d) Setze, nachdem die Ablenkung der Nadel wieder zurückgegangen ist, die Flüssigkeit bei der Kupferplatte in heftige Bewegung mit einem Glasstab, worüber ein Kautschukschlauch gezogen ist. Halte dabei den Streifen und sein Brettchen an seinem Ort. Welchen Einfluß hat dies auf die Gasbläschen und auf die Ablenkung der Nadel? Man kann die Bläschen auch mit einem Holzstab, einer Bürste, einem Wattebausch oder einem Schwämmchen an einem Holzstab entfernen.

e) Nimm, sobald sich die Ablenkung der Nadel wieder vermindert hat, den Kupferstreifen heraus, spüle und trockne ihn ab, sohmirgeln ihn glänzend rein und tauche die Kupferplatte langsam ein. Wie groß ist der Ausschlag der Nadel?

f) Nimm, nachdem die Ablenkung der Nadel wieder kleiner geworden ist, den Kupferstreifen heraus, spüle und trockne ihn ab, erhitz ihn über einer Bunsenflamme und setze ihn dann wieder langsam in den Becher ein. Lies die Stellung der Nadel ab und wiederhole die Ablesung 5 Minuten lang am Ende jeder Minute. Trage die Ergebnisse wie in (b) in eine Tafel ein und stelle sie bildlich dar.

g) Wiederhole den Versuch (e), doch gieße vor dem Eintauchen über die Kupferplatte eine Lösung von Kaliumdichromat. Setze dabei eine Porzellanschale unter. Beobachte die Oberfläche des eingetauchten Kupferstreifens und lies 5 Minuten lang jede Minute die Ablenkung der Nadel ab. Untersuche den Kupferstreifen nach dem Herausnehmen. Schreibe die Ergebnisse wie in (b) auf und stelle sie bildlich dar.

h) Wiederhole den Versuch (g), doch verwende statt Kaliumdichromat eine wässrige Lösung von Chromtrioxyd.

i) Wiederhole den Versuch (g), doch benutze statt Kaliumdichromat eine gesättigte Lösung von Cuprisulfat.

k) Wodurch wird die Schwächung des Stroms hervorgerufen? *Polarisation*. Wie kann man die Polarisation vermindern oder verhindern?

B. *Entsteht bei der Polarisation eine elektromotorische Gegenkraft an den Elektroden?*

1. Verfahren.

**Anleitung.** l) Wiederhole den Versuch (b) mit verdünnter Schwefelsäure und beobachte die Oberfläche des Kupferstreifens. Ersetze, sobald die Nadel für längere Zeit zur Ruhe gekommen ist, die Zinkplatte durch einen frisch glänzend rein geschmirgelten Kupferstreifen. Nach welcher Seite schlägt nun die Nadel aus? Vorher floß der Strom vom Kupfer durch die Bussole zum Zink und von dort durch die Flüssigkeit zum Kupfer. Wie fließt jetzt der Strom? Hat die mit Bläschen bedeckte Kupferplatte oder die reine Kupferplatte das höhere Potential? *Elektromotorische Gegenkraft.* Beobachte die Oberflächen der beiden Kupferplatten. Ändert sich der Ausschlag der Nadel?

2. Verfahren.

**Literatur.** AYRTON 421. ABRAHAM 2, 268 Nr. 101. SCHREBER und SPRINGMANN 2, 209 Nr. 165.

**Anleitung.** m) Schmirgle die Kupferstreifen  $C_1$  und  $C_2$  glänzend rein, schiebe sie und auch die beiden verquickten Zinkstreifen  $Z_1$  und  $Z_2$  so in das quadratische Holzbrettchen (Fig. 270), daß sich je eine Kupfer- und eine Zinkplatte gegenüberstehen, und schreibe an die beiden Kupferplatten die Bezeichnungen  $C_1$  und  $C_2$  und an die Zinkstreifen die Bezeichnungen  $Z_1$  und  $Z_2$ . Fülle das Batterieglas mit verdünnter Schwefelsäure von der Dichte  $1,18 \text{ gr/cm}^3$  und miß mit dem Spannungsmesser die elektromotorischen Kräfte der vier Plattenpaare:

$C_1 | Z_1$ ;  $C_1 | Z_2$ ;  $C_2 | Z_2$ ;  $C_2 | Z_1$ .

n) Bilde einen Stromkreis aus dem Plattenpaar  $C_1 | Z_1$ , dem Widerstand, und dem Ausschalter und lege den Spannungsmesser an die Platten. Ändert sich die elektromotorische Kraft mit der Zeit? Unterbrich den Strom und miß nach 5 Minuten nochmals die elektromotorische Kraft dieses Plattenpaars.

o) Verbinde die Platten  $C_1 | Z_1$  mit dem Widerstand und miß von neuem mit dem Spannungsmesser die elektromotorischen Kräfte der Plattenpaare

$C_1 | Z_2$ ;  $C_2 | Z_2$ ;  $C_2 | Z_1$ .

Wo ist also der Sitz der Polarisation? Miß ferner mit dem Spannungsmesser auch die Spannung zwischen den beiden Zinkstreifen  $Z_1$  und  $Z_2$  und den beiden Kupferstreifen  $C_1$  und  $C_2$ .

p) Laß den Spannungsmesser mit den beiden Kupferstreifen in Verbindung und öffne den Hauptstrom. Wie groß ist die Spannung zwischen den beiden Kupferstreifen? Ändert sie sich mit der Zeit? Was bilden also das Kupfer, die verdünnte Schwefelsäure

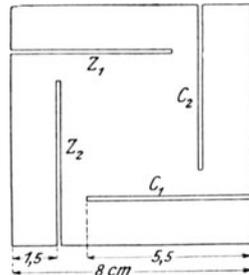


Fig. 270.

und das polarisierte Kupfer? Welche Kupferplatte bildet den negativen Pol?

q) Nimm die Leitungsschnüre ab. Spüle alle Metallstreifen tüchtig mit Wasser ab und trockne sie gut. Gieße die Flüssigkeit in den Abfalleimer, reinige und trockne das Batterieglas. Zieh alle Schrauben fest an. Nimm die Nadel der Tangentenbussole von der Spitze und lege sie daneben in das Gehäuse.

**Bemerkungen.** Die bei den Aufgaben 1 und 2 benutzte verdünnte Schwefelsäure eignet sich nicht zu diesen Versuchen. Die Versuche (a) bis (l) kann man auch mit verdünnter Schwefelsäure von der Dichte  $1,18 \text{ gr/cm}^3$  ausführen und die Versuche (m) bis (p) auch mit reinem Wasser, dem einige Tropfen reiner Schwefelsäure zugesetzt worden sind.

Das paraffinierte quadratische Holzbrett ( $8 \text{ cm} \times 8 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ ) ist mit vier  $5,5 \text{ cm}$  langen Einschnitten von solcher Breite versehen, daß man die Metallstreifen bequem einschieben kann (Fig. 270).

A. W. GRAY (*School Science* 2, 217; 1902) benutzt bei den Versuchen ein sehr einfaches Galvanoskop von  $\sim 3,5$  bis  $5 \text{ Ohm}$  Widerstand, das er auf folgende Weise herstellte: Erleimte zwei offene quadratische Kästen aus starker Pappe ( $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ ) mit den Rücken aneinander, legte in den einen Kasten eine Taschenbussole, deren Nadel  $\sim 3 \text{ cm}$  lang war, versah zwei gegenüberliegende Seiten des andern Kastens mit Einschnitten und wickelte dann um beide Kästen  $10$  bis  $15 \text{ m}$  isolierten Kupferdraht von  $0,26 \text{ mm}$  Durchmesser.

Man erinnere die Schüler an die Vorsichtsmaßregeln, die nach Aufg. 2 beim Arbeiten mit dem Voltischen Becher zu beachten sind, und wiederhole die Warnung, Kupfer- und verquickte Zinkstreifen miteinander in Berührung zu bringen oder auf denselben Teller zu legen.

Die beiden tüchtigsten Schüler lasse man die Versuche (m) bis (p) und alle übrigen Schülerpaare die Versuche (a) bis (e), (l) und (q) ausführen. Die Versuche (f) bis (i) lasse man nicht von allen Schülern machen, sondern weise sie einzelnen Paaren zu.

In Amerika wird zuweilen an die Versuche mit dem Voltischen Becher die Aufgabe angeschlossen, eine Spannungsreihe aufzustellen. Es werden außer dem Zink- und Kupferstreifen Platten aus Kohlen, Eisen, Blei, Zinn und Aluminium benutzt und als Elektrolyte außer verdünnter Schwefelsäure, Salzsäure und Lösungen von Kochsalz, Salmiak, Zinksulfat, Cuprisulfat, Natriumdichromat und Kaliumhydroxyd verwendet. Es wird für denselben Elektrolyten aus der Richtung, wonach die Nadel des Stromanzeigers ausschlägt, festgestellt, welche Platte Anode und welche Kathode wird, und dann für diesen Elektrolyten eine Spannungsreihe aufgestellt. Diese Übungen sind aus verschiedenen Gründen nicht empfehlenswert. Vgl. NOACK, *Aufgaben* 162 Nr. 146.

#### 4. Aufgabe. Kann man gleichbleibende Ketten herstellen?

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<p>Geräte. Die festen Teile einer Daniellschen Kette. Batterieglas (vgl. S. 354). Gut verquickter Zinkstreifen (vgl. S. 357). Kupferblech (<math>10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 0,03 \text{ cm}</math>), um die Tonzelle gebogen.</p>	<p>Tonzelle, <math>10 \text{ cm}</math> hoch und von <math>4,8 \text{ cm}</math> äußerem Durchmesser. Blechklemmen (vgl. S. 357). Leitungsschnüre. Flasche mit verdünnter Schwefelsäure (vgl. S. 354).</p>
--	--

<p><b>Geräte.</b> Flasche mit gesättigter Lösung von Cuprisulfat in Wasser. (100 gr kristallisiertes Salz auf 300 cm<sup>3</sup> Wasser; Dichte 1,2 gr/cm<sup>3</sup>). Flasche mit Alkohol. Flasche mit Ammoniak. Tangentenbussole. Stromwender oder Wippe (vgl. S. 335). Spannungsmesser (vgl. S. 352).</p>	<p>Stromschwächer (vgl. S. 337). Wage nebst Gewichtssatz. Abgleichschrot. Bunsenbrenner nebst Gas-schlauch. Gefäß zum Wässern der Ton-zellen. Millimeterpapier. Schmirgelpapier oder Schmirgelholz.</p>
---	---

**Anleitung a)** Wäge sorgfältig den Zinkstreifen und das glänzend rein geschmirgelte Kupferblech. Schütze bei der Wägung des Zinks die Wagschale durch ein abgeglichenes Blatt Papier.

**b)** Fülle die Tonzelle bis 2 cm unter dem Rande mit verdünnter Schwefelsäure und warte bis auf der Außenwand eine Flüssigkeitshaut sichtbar wird. Stelle dann die Zelle und das Kupferblech in das Batterieglas und fülle dieses mit der Cuprisulfatlösung. Diese soll etwas niedriger stehen als die leichtere Flüssigkeit in der Zelle. Hänge das Zink, das in den Schlitz des Brettchens eingeschoben worden ist, in die Säure. *Daniellsche Kette.*

**c)** Stelle an dem Orte, den der Lehrer angewiesen hat, die Tangentenbussole so auf, daß ihre Spule in dem magnetischen Meridian liegt.

Bilde einen Stromkreis aus der Daniell'schen Kette, der Wippe und den vier Windungen der Bussole (Fig. 271). Lies vor Beginn und nach Schluß des Versuchs die Nullstellungen der beiden Zeigerspitzen ab. Schließe den Strom und schreibe die Zeit auf, wo dies geschieht. Klopfe, sobald die Nadel zur Ruhe gekommen ist, leise gegen das Bussolengehäuse und lies jetzt und alle 3 Minuten die Stellungen der beiden Zeigerspitzen ab. Wende nach 15 Minuten den Strom, unterbrich ihn nach weiteren 15 Minuten und schreibe die Zeit auf.

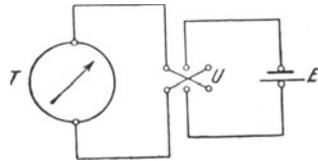


Fig. 271.

Trage diese Ablesungen in folgende Tafel ein:

Tangentenbussole Nr. . . . . Windungen. Daniell Nr. . . .

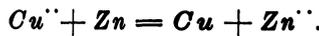
	Zeit in Min.	Zeigerablesungen				tg $\alpha$
		Ostspitze	West- spitze	Mittel	Ablen- kung $\alpha$	
Nullpunkt						

d) Nimm die Metallplatten aus ihren Flüssigkeiten, spüle sie mit Wasser behutsam ab, begieße sie mit Alkohol, entzünde diesen und trockne so die Platten. Wäge die Bleche sorgfältig und schütze bei der Wägung des Zinkstreifens die Wagschale durch ein abgeglichenes Blatt Papier. Um wieviel hat sich die Masse jeder Platte geändert? Um wieviel Gramm hätte sich die Masse jeder Platte in einer Sekunde geändert, wenn sie ursprünglich 100 gr gewesen wäre?

e) Welches Metall löst sich und welches scheidet sich ab? *Zink geht bei der Auflösung in Zinkion über* (Fig. 272). Woher nimmt das Zink die positive Ladung? *Aus dem Leitungsdraht.* Woher bekommt dieser die Ladung? *Vom Kupferblech.* Wem entzieht das Kupferblech die positive Ladung? *Den Kupferionen.* Ändert sich dadurch die Menge der Kationen in dem Zinkabteil und in dem Kupferabteil? Wie gleicht sich der Unterschied aus? *Wanderung von Sulfationen durch die Tonzelle von der Kupferseite zur Zinkseite.* *Ionengleichung:*



*Läßt man das unveränderte Ion  $\text{SO}_4^{\cdot\cdot}$  weg, so erhält man*



*Das Kupfer gibt seine Ladung an das Zink ab, das dadurch in Zinkion übergeht, während das Kupfer sich metallisch ausscheidet.<sup>1)</sup>*

f) Wie ändert sich bei dem Versuch (c) die Ablenkung der Nadel mit der Zeit? Stelle die Ergebnisse bildlich dar, nimm dabei die Zeit als Abszisse und  $\text{tg } \alpha$  als Ordinate. Wie ändert sich die Stromstärke mit der Zeit?

g) Setze die Kette wieder zusammen und bilde aus ihr, der Wippe, dem Widerstand und den 50 Windungen der Tangentenbussole

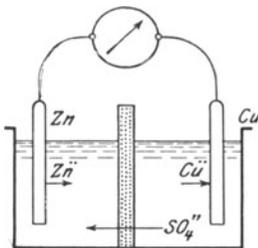


Fig. 272.

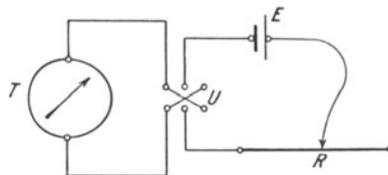


Fig. 273.

einen Stromkreis (Fig. 273). Regle den Widerstand so, daß die Ablenkung der Nadel zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$  liegt, und lies 15 Minuten lang am Ende jeder dritten Minute unter Wenden des Stroms die

<sup>1)</sup> OSTWALD, *Schule d. Chemie* 2, 252.

Zeigerstellung ab. Trage ähnlich wie bei dem Versuch (c) die Ablesungen in eine Tafel ein, berechne aus den vier zusammengehörigen Werten die Ablenkung  $\alpha$  und stelle die Ergebnisse wie beim Versuch (f) bildlich dar.

h) Wiederhole den Versuch (g) unter Einschaltung der 500 Windungen der Busssole, doch ohne Benutzung des Widerstandes.

i) Verbinde die Klemmen der Daniellschen Kette mit einem Spannungsmesser und miß 15 Minuten lang am Ende jeder Minute die EMK der Kette. Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Zeit	EMK in V gemessen

Stelle die Ergebnisse bildlich dar, nimm dabei die Zeit als Abszisse und die Spannung als Ordinate.

k). Wie ändert sich nach den Versuchen (f) und (g) die Stromstärke mit der Zeit? Wie ändert sich nach den Versuchen (h) und (i) die elektromotorische Kraft mit der Zeit? Ist die Daniellsche Kette unveränderlich? *Je größer der äußere Widerstand, desto kleiner die Stromstärke.* Hängt die Unveränderlichkeit der Daniellschen Kette von der Stärke des entnommenen Stroms ab?

l) Nimm die Kette auseinander. Spüle die Tonzelle aus und lege sie in das Gefäß zum Auswässern. Gieße die Flüssigkeiten in die Gefäße, die der Lehrer dafür angewiesen hat. Spüle die Metallplatten mit Wasser tüchtig ab und trockne sie gut. Bringe die Busssole in Ordnung.

**Bemerkungen.** Infolge der wertvollen Unveränderlichkeit der Daniellschen Kette ist die Aufgabe recht eintönig. Es ist daher ratsam, damit Übungen im Gebrauch der Tangentenbusssole zu verbinden. Dies setzt voraus, daß man zuvor einiges über das magnetische Feld des Stroms durchgenommen hat. Vgl. Aufg. 41 bis 43.

Die beiden Ziele der Übungen, der Nachweis, daß sich in der Daniellschen Kette Zink löst und Kupfer abscheidet, und der Nachweis, daß sich die EMK recht wenig ändert, lassen sich nicht gut durch denselben Versuch erreichen. Der eine Zweck verlangt eine größere und der andere eine geringere Stromstärke. Man lasse daher die eine Hälfte der Schüler die Versuche (a) bis (f) nebst (l) und die andere Hälfte die Versuche (g) bis (l) ausführen.

E. H. HALL, *Descript. List 71 Nr. 52*, bestimmt nicht die Massen der trocknen Zink- und Kupferbleche, sondern taucht bei Beginn des Versuchs die Platten in die Flüssigkeiten, hebt sie dann heraus, läßt sie darauf, wie auch am Ende des Versuchs, 15 Sekunden lang abtropfen und wägt nun die Platten samt den Flüssigkeitsmengen, die noch daran haften. Ein Abwischen der Platten ist unstatthaft; man kann sie statt mit Alkohol auch trocknen, indem man sie 30 bis 60 cm hoch über eine Bunsenflamme hält. Die Zinkstreifen darf man nicht erst kurz vor dem Versuch verquicken.

5. Aufgabe. *Wie wirkt die Polarisation in einer Leclanché-Kette?*(1 Schüler,  $\frac{1}{3}$  Stunde.)

Geräte.	Leclanché oder Gnom oder Trockenelement von SIE- MENS & HALSKE, Type T.	Stromwender oder Wippe (vgl. S. 335). Leitungsschnüre. Kurzes Stück Kupfer- draht.
	Tangentenbussole oder Spannungsmesser (vgl. S. 344).	

**Anleitung.** a) Stelle die Tangentenbussole mit ihren Windungen in den magnetischen Meridian und lies die Nullstellungen der beiden Zeigerspitzen ab. Verbinde die Klemme der Leclanché-Kette mit den 500 Windungen der Bussole und dem Stromwender (Fig. 176). Lies die Stellungen der beiden Zeigerspitzen ab, wende den Strom und bestimme wiederum die Ablenkungen der beiden Zeigerenden.

b) Unterbrich den Strom und schließe 2 bis 3 Minuten lang die Leclanché-Kette kurz, d. h. verbinde ihre Klemmen durch einen kurzen Draht. Entferne den Draht und verbinde sofort die Kette nochmals mit der Spule von großem Widerstand. Lies unter Benutzung des Stromwenders die vier Ablenkungen der Zeigerspitzen ab.

e) Unterbrich auf 3 bis 4 Minuten den Strom und lies von neuem wie vorher die vier Ablenkungen ab.

d) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Tangentenbussole Nr. . . . . Windungen. . . . Kette Nr. . . .

	Zeiger- ablesungen		Mittel	$\alpha$	tg $\alpha$	EMK in V
	Ost- spitze	West- spitze				
Vor dem Kurzschluß						
Nach einem Kurzschluß von . . . Minuten						
4 Minuten später						

e) Berechne aus den vier Ablesungen der Zeigerspitzen die Ablenkung  $\alpha$  der Nadel und schlage tg  $\alpha$  auf.

**Bemerkungen.** Die einfache Versuchsreihe läßt Zeit, die Schüler in der genauen Bestimmung des Ablenkungswinkels zu üben. Statt der Tangentenbussole kann man auch einen Spannungsmesser (bis 3 V) von mindestens 100 Ohm Widerstand verwenden.

**6. Aufgabe.** *Vergleiche die elektromotorischen Kräfte verschiedener Stromquellen miteinander.*

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Sammler.	Leitungsschnüre. Tangentenbusssole oder Spannungsmesser (vgl. S. 344). Stromwender.
	Daniell.	
	Leclanché.	
	Gnom.	
	Trockenelement von SIEMENS & HALSKE, Type T.	

**Anleitung.** a) Stelle die Tangentenbusssole so auf, daß ihre Windungen in dem magnetischen Meridian liegen.

b) Verbinde der Reihe nach die verschiedenen Ketten mit dem Stromwender und den 500 Windungen der Busssole, Sorge dabei für gute Verbindungen. Lies jedesmal wie in Aufg. 5 die vier Stellungen der beiden Nadelspitzen ab.

c) Trage die Ablesungen in folgende Tafel ein:

Tangentenbusssole Nr. . . . . . Windungen.

Kette	Zeigerablesungen		Mittel	$\alpha$	$\text{tg } \alpha$	EMK in V
	Ostspitze	Westspitze				
. . . Nr. . . . .						

d) Berechne aus den vier Ablesungen der Zeigerspitzen die Ablenkung  $\alpha$  der Nadel und schlage  $\text{tg } \alpha$  auf. Die EMK verhalten sich wie die Werte von  $\text{tg } \alpha$ .

**Bemerkung.** Statt der Tangentenbusssole kann man auch einen Spannungsmesser (bis 3 V) von mindestens 100 Ohm Widerstand benutzen.

**7. Aufgabe.** *Wie ändert sich beim Laden und Entladen die Spannung eines Bleisammlers?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

<b>Geräte.</b>	Meßsammler.	Volkmannsche Klammer. Schwefelsäure (vgl. S. 368). Leitungsschnüre. 2 Ausschalter. Millimeterpapier.
	2 Sammler.	
	Spannungsmesser (0–3V).	
	Strommesser (0–2 A).	
	Stromschwächer, 1m Mangandrad von 0,3 cm Durchmesser.	

**Anleitung.** a) Lege den Spannungsmesser  $V$  (Fig. 274) und einen offenen Ausschalter in Nebenschluß zum Meßsammler  $M$ . Stelle einen Stromkreis her aus 2 hintereinander geschalteten Sammlern  $E$ ,

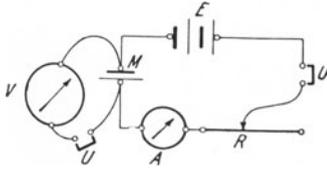


Fig. 274.

einem Stromschwächer  $R$ , einem offenen Ausschalter  $U$ , dem Meßsammler und einem Strommesser  $A$ , doch so, daß die gleichnamigen Pole der Batterie und des Meßsammlers miteinander verbunden sind. Welche Farbe hat die positive Platte des Sammlers  $M$ ? *Bleiperoxyd*. Welche Farbe haben die beiden negativen Platten? *Blei*. Schließe den Haupt-

strom, regle den Widerstand so, daß die Stromstärke  $\sim 1$  A, aber nicht mehr, beträgt, schließe den Spannungsmesserzweig und lies jede Minute die Spannung so lange ab, bis die Ausschläge sich nicht mehr ändern.

b) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Meßsammler Nr. . . . Spannungsmesser Nr. . . .

Laden			Entladen		
Zeit		Spannung in V	Zeit		Spannung in V
Zeitpunkt h m	Dauer in Min.		Zeitpunkt h m	Dauer in Min.	

e) Entferne die Batterie  $E$  aus dem Hauptstromkreis, schalte, falls dies notwendig ist, die Drähte am Spannungsmesser und Strommesser um und regle den Widerstand so, daß die Stromstärke  $\sim 1$  A, aber nicht mehr, beträgt, und lies jede Minute die Spannung ab, bis sie sehr schnell zu sinken beginnt. Trage die Ergebnisse auch in die Tafel ein.

d) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, trage dabei die Zeit als Abszisse und die Spannung als Ordinate auf.

**Bemerkungen.** Der Meßsammler hat eine Ladefähigkeit von 6 Amperestunden bei 0,6 A Entladestrom. Die gewöhnliche Ladestromstärke ist 1 A. Füllung 200 cm<sup>3</sup> chemisch reine Schwefelsäure von 1,18 gr/cm<sup>3</sup> Dichte. Diese Sammler entlade man kurz vor der Übung und lade sie nachher wieder ganz auf. Man kann auch die Übung mit der Entladung beginnen. Statt des Meßsammlers kann man auch die einfache Vorrichtung benutzen, die ABRAHAM (2,265, Nr. 98) beschrieben hat.

Statt des Spannungsmessers kann man auch die 500 Windungen der Tangentenbussole und statt des Spannungsmessers die vier Windungen einer zweiten Tangentenbussole verwenden; doch ist die Einstellung der Bussolen zeitraubend.

Ein näheres Eingehen auf die Vorgänge im Bleisammler (RÜDORFF-LÜPKE, *Grundriß der Chemie*<sup>12</sup> 309 und DOLEZALEK, *Theorie des Bleiakkulators*) ist kaum ratsam.

## III. Chemische Wirkungen des elektrischen Stroms.

8. Aufgabe. *Wie wirkt der elektrische Strom auf einen Elektrolyten ein?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

<b>Geräte.</b> 2 bis 3 Sammler oder 3 bis 4 Trockenelemente oder Starkstrom und Glühlampenschnüre und 2 isolierte Drähte von 60 bis 90 cm Länge und 0,9 mm Durchmesser. Stromwender. 2 Kohlenstäbe (für Bogenlampen), je 10 cm lang. 2 Volkmannsche Klammern. 2 Verbindungsklemmen mit zwei Löchern. 2 Bechergläser, 30 bis 60 cm <sup>3</sup> . Flasche mit gesättigter Lösung von Cuprisulfat (vgl. S. 363). Flasche mit starker Salpetersäure. Flasche mit verdünnter Schwefelsäure. 30 %, Dichte 1,22 gr/cm <sup>3</sup> . Flasche mit Ammoniak (vgl. S. 353).	Kaliumjodidstärke- lösung. Phenolphthaleinlösung (5 gr Phenolphthalein in 100 gr Alkohol) oder Pol- prüfpapier. Kochsalzlösung oder Na- triumsulfat. Lösung von Kaliumferro- cyanid. Quecksilber für Stromwen- der. Flacher Teller von 20 cm Durchmesser (vgl. S. 357). Schmirgelpapier. Eisendraht. Beißzange. Kork. Stricknadel. Bunsenbrenner nebst Schlauch. Prüfröhrchen. Scheibe aus Fensterglas (10 cm × 5 cm). Filterpapier.
---	--

**Anleitung.** a) Fülle das Becherglas ~ 3 cm hoch mit gesättigter Cuprisulfatlösung. Befestige an dem einen Ende jedes der beiden Kohlenstäbe eine Volkmannsche Klammer und daran einen Leitungsdraht. Bilde aus diesen, den Sammlern und dem offenen Stromwender einen Stromkreis. Halte die freien Enden der Kohlenstäbe in ~ 1 cm Abstand in die Cuprisulfatlösung. Die Kohlenstäbe und die metallischen Teile der Leitung dürfen sich nicht berühren. Schließe einige Minuten lang den Strom und beobachte sorgfältig beide Elektroden. An welcher entwickelt sich ein Gas? Nimm die Stäbe aus der Lösung. Hat sich etwas auf den Kohlen ausgeschieden? Wiederhole, falls dies nicht der Fall ist, den Versuch, doch setze nunmehr die Stäbe etwas näher aneinander. Aus welchem Stoff besteht der Überzug? Welche Ionen enthält die Lösung von Cuprisulfat? (Vgl. Aufg. 4.) Wie fließt der Strom in dem Elektrolyten? *Anode, Kathode*. Mit welchem Pol ist der Stab verbunden, worauf sich das Kupfer ausgeschieden

hat? Wohin ist das Kupferion  $Cu^{++}$  gewandert? *Kation*. An wen hat es seine Ladungen abgegeben? *Elektrizitätsmenge*. *Coulomb*. Wohin ist das Sulfation  $SO_4^{--}$  gewandert? *Anion*. Was macht das Sulfation, nachdem es seine Ladung an die Anode abgegeben hat?  $SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$ . *Elektrolyse*. Wende den Strom und prüfe, ob die Erscheinungen und ihre Erklärungen bestehen bleiben.

Was wird schließlich aus der Lösung von Cuprisulfat? Wie wirkt der elektrische Strom auf die übrig bleibende verdünnte Schwefelsäure?

b) Fülle das andere Becherglas  $\sim 3$  cm hoch mit dreißigprozentiger Schwefelsäure, drehe die Kohlenstäbe in den Klemmen um, so daß jetzt die noch unbenutzten Enden in die Säure tauchen, und wiederhole den Versuch (a), halte das Gläschen gegen das Licht und beobachte sorgfältig längere Zeit die Oberflächen der Kohlen. An welchem Stabe findet die stärkere Gasentwicklung statt? Welche Ionen hat die verdünnte Schwefelsäure? Wo scheidet sich der Wasserstoff ab? Was wandert an die Anode? Was macht dort das Sulfation? Was bildet sich also stets von neuem? Welches sind die sichtbaren Erzeugnisse der Elektrolyse der Schwefelsäure? Wer ist also scheinbar nicht daran beteiligt und wer wird anscheinend nur zerlegt? *Ältere Auffassung der Elektrolyse des Wassers*.

c) Nimm die Volkmannschen Klammern nebst Stäben von den Drähten ab, entferne an den Enden der Drähte  $\sim 5$  cm weit die Hülle, schmirgele die Enden glänzend rein, bohre mit einer glühenden Stricknadel in  $\sim 1$  cm Abstand zwei Löcher durch einen Kork, schiebe die blanken Drahtenden hindurch und biege sie parallel. Nimm den Kork in die Hand, tauche die Drähte in die verdünnte Schwefelsäure, schließe den Strom, halte das Gläschen gegen das Licht oder lege ein Blatt weißes Papier unter. Beobachte sorgfältig längere Zeit die Oberflächen der Drähte und die untern Teile der Flüssigkeit. Öffne den Strom. Was macht das Kation  $H^+$ ? Wohin wandert das Sulfation? Wie wirkt es nach der Abgabe der Ladung auf die Anode ein, die aus Kupfer besteht? Welche Farbe hat das Cuprisulfat? Gieße die Flüssigkeit in den Abfalleimer und spüle das Becherglas tüchtig mit Wasser aus.

d) Schneide die Enden des Drahts, die in die Schwefelsäure eingetaucht worden waren, ab und schmirgele wieder nach der Entfernung der Hülle die Drahtenden  $\sim 5$  cm weit glänzend rein. Stecke die beiden Elektroden durch den Kork, tauche sie in das Becherglas mit der Cuprisulfatlösung, schließe den Strom und beobachte die Oberflächen der Elektroden. Schließe den Strom, nimm die Drähte aus der Flüssigkeit und untersuche ihre Oberflächen. Wende den Strom. Was macht das Kation  $Cu^{++}$ ? Wohin wandert das Sulfation? Wie wirkt es auf die Anode ein?

e) Befestige am Ende des einen Drahts mit einer Klemme ein Stück Eisendraht, wiederhole den Versuch (d) und mache dabei das Eisen zur Kathode. Öffne den Strom, nimm den Eisendraht ab, gieße die Flüssigkeit in den Abfalleimer und spüle das Becherglas tüchtig mit Wasser aus.

## Polprüfer.

f) Gieß in das Becherglas  $\sim 3$  cm hoch Kaliumjodidstärkekleister, tauche die zuvor abgeschmirgelten Enden der Kupferdrähte so ein, daß sie sich nicht berühren, schließe den Strom und beobachte die Flüssigkeit. Welche Ionen hat das Kaliumjodid? Wie wirkt der Strom auf das Kaliumjodid ein? An welcher Elektrode scheidet sich Jod aus? Wie wirkt es auf die Stärke ein? Wende den Strom und prüfe, welcher Draht mit dem positiven Pol der Batterie verbunden ist. Öffne den Strom und reinige die Elektroden und das Becherglas.

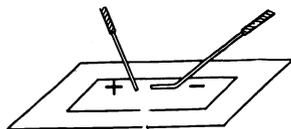


Fig. 275.

g) Setze in einem Prüfglas zu  $15 \text{ cm}^3$  einer Lösung von Kochsalz oder Natriumsulfat in Wasser einige Tropfen einer Lösung von Phenolphthalein in Alkohol. Tauche einen Streifen Filterpapier in das Gemisch und lege ihn auf eine Glasscheibe. Biege das Ende des Kupferdrahts, der mit dem negativen Pol des Sammlers verbunden ist, ein wenig um und setze beide Elektrodenenden nahe beieinander, ohne daß sie sich jedoch berühren, auf das Papier und ziehe sie dann auseinander (Fig. 275). Welche Ionen hat das Natriumsalz? Wie wirkt der Strom auf das Natriumsalz ein? Nach welcher Elektrode wandert das Natriumion? Wie wirkt das ausgeschiedene Natrium auf das Wasser ein? Wie wirkt Natronlauge auf Phenolphthalein ein? Wende den Strom und prüfe, welcher Draht mit dem negativen Pol der Batterie verbunden ist. Öffne den Strom, wirf das Papier in den Abfalleimer und wasche die Glasplatte ab.

h) Lege auf die Glasplatte einen Streifen Papier, der mit einer Lösung von Kaliumferrocyanid getränkt ist. Verbinde durch Klemmen Eisendrahtstücke mit den Kupferdrähten, setze die Eisenelektroden nahe beieinander auf das Papier und ziehe sie dann auseinander. An welcher Elektrode entsteht eine Färbung? *Berliner Blau*.

**Bemerkungen.** Die Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure mit Kohlenelektroden erfordert eine recht sorgfältige Beobachtung. Zweckmäßiger ist es, wenn auch etwas umständlicher, hierbei stromdichte Kupferdrähte zu verwenden, woran als Elektroden 5 cm lange Platindrähte in der Stichflamme des Gebläses angeschmolzt sind. Die Kohlenstäbe muß man nach der Benutzung längere Zeit in Wasser stellen.

Die Kaliumjodidstärkeklösung bereitet man, indem man 2 gr Stärke mit etwas kaltem Wasser anrührt, 100 gr siedendes Wasser darüber gießt und dann 1 gr Kaliumjodid hinzufügt.

Die Lösung von Kaliumferrocyanid (gelbem Blutlaugensalz) stellt man her, indem man  $10 \text{ cm}^3$  der gesättigten Lösung mit  $100 \text{ cm}^3$  Wasser verdünnt.

Verwendet man Polreagenzpapier, so muß man es beim Versuch anfeuchten.

Auf die Elektrolyse des Kaliumferrocyanids wird man in der Schule kaum näher eingehen. (Vgl. HITTENDORF, *Über die Wanderungen der Ionen*, Ostwalds Klassiker, Nr. 21 S. 72. LÜPKE, *Elektrochemie*<sup>2</sup> 22.)

Die Ausführung der elektrolytischen Versuche in gleicher Front wird oft dadurch verhindert, daß nicht die erforderliche Anzahl von Sammlern oder Trockenelementen vorhanden ist. Sind die Arbeitsplätze an die Starkstromleitung (110 Volt) angeschlossen, so kann man den Strom dorthin unter Vorschaltung einer geschwärzten Glühlampe entnehmen. Die Lampe dient dabei als Widerstand, Ausschalter und Galvanometer. Folgende Einrichtung ist bequem: Man schraube auf einen Holzklötz (10 cm  $\times$  10 cm  $\times$  2 cm) drei Anschlußklemmen *A*, *B* und *C* (Fig. 276) und eine Glühlampenfassung, verbinde die Klemmen *B* und *C* durch isolierte Drähte mit der

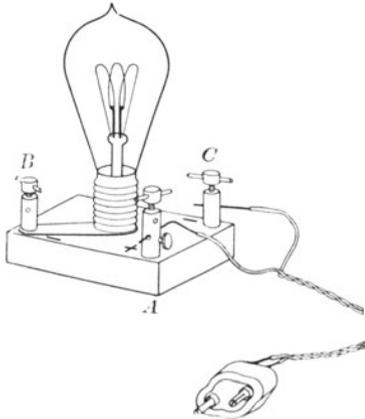


Fig. 276.

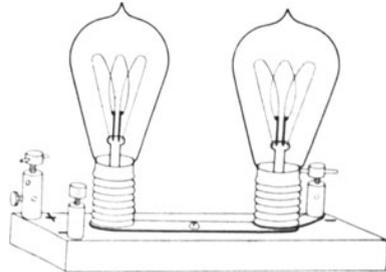


Fig. 277.

Glühlampe, lege den positiven Pol der Leitungsschnur an *A* und den negativen an *C* an und bezeichne das positive Ende der Leitungsschnur und den positiven Stift des Steckkontakts durch  $+$ -Zeichen oder rote Farbe. Den Strom für die Elektrolyse nimmt man an den Klemmen *A* und *B* ab. Die Leitungsschnur wähle man  $\sim$  2 m lang. Hat die Leitung 220 V, so verwendet man zwei Glühlampen, die parallel geschaltet sind (Fig. 277).

**9. Aufgabe.** *Wie verhält sich die Kupfermasse, die ein gleichbleibender Strom ausscheidet, zur Niederschlagsdauer?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

<p><b>Geräte.</b> Kupfercoulombmeter (vgl. S. 375). 2 Sammler. Tangentenbussole (4 Windungen). Strommesser (bis 2 A). Ausschalter. Stromschwächer, 1 m Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser. Leitungsschnur für die Bussole.</p>	<p>4 Leitungsschnüre. Cuprisulfatlösung (vgl. S. 376). Alkohol. Wage und Gewichtsatz. Feines Schmirgelpapier. 2 Bechergläser. Tiegelzange. Filterpapier. Stechuhr.</p>
---	--

**Anleitung.** a) Schmirgle alle Elektroden, soweit sie in die Flüssigkeit eintauchen, und auch ihre Verbindungsstellen mit großer Sorg-

falt glänzend rein, spüle sie mit Wasser ab und trockne sie mit Filterpapier. Streiche, wenn die Elektroden dünn sind, beim Abschmirgeln stets nach einer Seite. Fasse von nun an während des ganzen Versuchs den breiten Teil der Hauptkathode nicht mehr mit den Fingern an, sondern greife diese Elektrode am obern Teil oder nur mit einem Stück reinem Papier an.

b) Tauche die Hauptkathode (sie hat keine Marke) in Alkohol, entzünde den daran haftenden Alkohol, wäge nach dem Abkühlen diese Elektrode sorgfältig und schlage sie bis zur Benutzung in reines Papier ein.

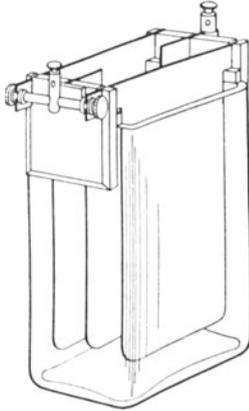


Fig. 278.

c) Setze das Anodenpaar und die Hilfskathode, die an der Einkerbung (Fig. 278) kenntlich ist, in das Coulombmeter ein und fülle dieses bis 1 cm unter dem Rande mit Cuprisulfatlösung.

d) Stelle die Tangentenbussole richtig auf (vgl. Aufg. 43).

e) Stelle einen Stromkreis her aus dem Coulombmeter  $V$  (Fig. 279), dem

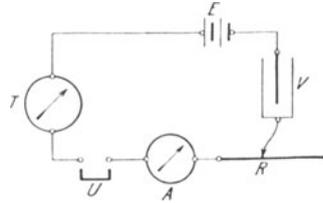


Fig. 279.

Stromschwächer  $R$ , dem Strommesser  $A$ , dem offenen Ausschalter  $U$ , den vier Windungen der Tangentenbussole  $T$  und den hintereinander geschalteten Sammlern  $E$ . Den negativen Pol der Batterie muß man mit der Kathode verbinden.

f) Schließe den Strom und regle den Widerstand so, daß der Strommesser die Stärke 1 A anzeigt und die östliche Zeigerspitze der Bussole um  $\alpha^\circ$  abgelenkt wird. Sieh nach, ob sich an der Kathode Kupfer abscheidet.

g) Öffne den Strom. Ersetze die Hilfskathode durch die Hauptkathode, schließe den Strom, schreibe den genauen Zeitpunkt des Stromschlusses auf und halte von nun an die östliche Zeigerspitze der Bussole, die bei (f) benutzt worden ist, wenn nötig durch Änderung der Widerstandes, genau über derselben Stelle der Teilung.

h) Unterbrich genau nach 15 Minuten den Strom. Nimm die Kathode heraus, spüle sie behutsam mit Wasser ab, tauche sie in Alkohol, entzünde den daran haftenden Weingeist und wäge nach

dem Abkühlen sorgfältig die Elektrode. Wie groß ist die Massenzunahme  $m$  der Kathode?

i) Wiederhole den Versuch. Halte dieselbe Zeigerspitze wie vorher durch Reglung des Widerstandes genau über derselben Stelle der Teilung wie zuvor, laß aber jetzt den Strom genau 30 Minuten durch das Coulombmeter fließen. Baue ab und bringe alle Geräte in Ordnung.

k) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Coulombmeter Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . .  
 . . . Windungen.

Stromstärke = . . . [A].

Ablenkung der Nadelspitze  $\alpha = \dots^\circ$ .

Zeitpunkt		Versuchsdauer $\tau$ sek	Masse der Kathode in mg			Verhältnis der Dauern $\tau_1/\tau_2$	Verhältnis der Massenzunahmen $m_1/m_2$
Beginn	Schluß		vor Beginn	nach Schluß	Zunahme $m$		

l) Wie verhält sich also die Masse des ausgeschiedenen Kupfers zur Niederschlagsdauer?

m) Welche Ionen befinden sich in der Cuprisulfatlösung?  $Cu$  und  $SO_4$ . Aus welchen beiden Teilen besteht das Cupriion? *Kupfer und elektrische Ladung*. Wie verhält sich die Zahl der Ionen zur Masse des ausgeschiedenen Kupfers, wenn man annimmt, daß alle Cupriionen gleiche Ladung haben? Was kann man also mit der Masse des ausgeschiedenen Kupfers messen? *Elektrizitätsmenge des Stroms*.

n) Die Cuprisulfatlösung ist nicht elektrisiert. Wie müssen sich also die Größen der elektrischen Ladungen des Cupriions  $Cu$  und des Sulfations  $SO_4$  verhalten? In welchem Verhältnis stehen aber die gleiche Ladungen tragenden Massen des Cupriions und des Sulfations? *Mit den Äquivalentgewichten wandern gleiche Elektrizitätsmengen*.

o) Welche Ionen befinden sich in einer Lösung von neutralem Silbernitrat?  $Ag$  und  $NO_3$ . Wie wirkt der Säurerest  $NO_3$  auf eine silberne Anode ein? Wird in diesem Fall die Stärke der Silbernitratlösung geändert? *Die von 1,118 mg Silber mitgeführte Elektrizitätsmenge nennt man ein Coulomb. Praktische Einheit der Elektrizitätsmenge. Ein Strom, der in einer Sekunde ein Coulomb befördert, hat die Stärke ein Ampere. Praktische Einheit der Stromstärke. 1 Coulomb = 1 Amperesekunde.*

p) Welche Elektrizitätsmenge wandert mit 1 gr Silber? 1 Coul:  $0,001118 = 894,5$  Coul. *Grammäquivalent eines Körpers heißt sein chemisches Äquivalentgewicht, in Gramm ausgedrückt. Das Grammäquivalent des Silbers ist 107,93 gr. Wieviel Coulomb befördert das Grammäquivalent des Silbers?  $894,5 \text{ Coul.} \times 107,93 = 96540 \text{ Coul.}$  Das*

Grammäquivalent des zweiwertigen Kupfers ist 63,6 gr : 2 = 31,8 gr. Wieviel Coulomb wandern mit 31,8 gr Kupfer, wenn mit den Gramm-äquivalenten stets die gleiche Elektrizitätsmenge wandert? 96540 Coul. Wieviel Gramm Kupfer scheiden 96540 Coul. ab? 31,8 gr. Wieviel Gramm Kupfer scheidet 1 Coul. ab?  $31,8 \text{ gr} : 96540 = 0,0003294 \text{ gr} = 0,3294 \text{ mg}$ . *Das elektrochemische Äquivalent des Kupfers (der Milligrammwert [Massenwert] des Coul. für Kupfer) ist  $\mathcal{E} = 0,3294 \text{ [mg/Coul.]}$ .*

q) Wieviel mg Kupfer wurden in 45 min abgeschieden? Wieviel Coulomb sind also in dieser Zeit durch das Kupfercoulombmeter geflossen? Wieviel Coulomb sind in einer Sekunde hindurchgegangen? Wie groß war also die in Ampere gemessene Stromstärke? Welche Stärke zeigt der Strommesser an? Wie groß war die Ablenkung des Zeigers der Tangentenbussole?

r) Wir wollen annehmen, daß die Angaben des Strommessers richtig waren. Wieviel Coulomb sind also in den 45 Minuten hindurchgeflossen? Wieviel Milligramm Kupfer wurden in den 2700 sek abgeschieden? Wie groß ist also das elektrochemische Äquivalent des Kupfers? Stimmt diese Zahl mit dem früher (p) berechneten Wert überein?

s) Es bezeichne  $m$  die Anzahl Milligramm eines Stoffs, die in  $\tau$  sek von  $J$  Ampere ausgeschieden werden, und  $\mathcal{E}$  mg/A sek das elektrochemische Äquivalent des Stoffs. Welche Beziehung besteht zwischen diesen Größen?

**Bemerkungen.** Kennt man die Umrechnungszahl der Tangentenbussole, so kann man den Strommesser weglassen und den Schülern die Stellung des Bussolenzeigers angeben, die der Stromstärke 1 A entspricht und die während des Versuchs dauernd zu erhalten ist.

Das Kupfercoulombmeter (Fig. 278). Auf den schmalen Rand eines rechteckigen Glasgefäßes von 10,5 cm  $\times$  13,5 cm  $\times$  6 cm sind zwei Holzleisten aufgekittet, die mit je drei Einschnitten, den Lagern der Elektroden, versehen sind. Die beiden Anoden (13,5 cm  $\times$  9,5 cm) sind aus 0,7 mm starkem Kupferblech hergestellt (Fig. 280) und tragen an den beiden obren Ecken Nasen. Die längern Vorsprünge sind geschlitzt und durch eine Blechklemme miteinander verbunden. Die Hauptkathode (Fig. 281) und die Hilfskathode, die an einer Kerbe in dem obren Teil kenntlich ist, sind aus 0,55 mm starkem Kupferblech gefertigt. Die in den Elektrolyten eintauchenden Flächen sind abgerundete Rechtecke (9 cm  $\times$  8,5 cm), sie verjüngen sich in zwei schmale Streifen und verbreitern sich dann oben wieder in einen Tragestreifen, der an dem einen Ende geschlitzt ist, damit man die Verbindungsklemme bequem ansetzen kann. Beschreibungen der verschiedenen Formen von Kupfercoulombmetern findet man bei: ABRAHAM 2, 232 Nr. 67 u. 250 Nr. 81. ADAMS 103 Nr. 45. AMES and BLISS 409 Nr. 76. BLASIUS 212. BOWER and SATTERLY 310 Nr. 199. CARHART and PATTERSON 161 Nr. 79. HENDERSON 163 Nr. 164. HADLRY, *Pract. Exerc.* 179 Nr. 115 u. 228 Nr. 35. N. M. HOPKINS, *Exp. Electrochem.* 89.

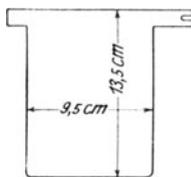


Fig. 280.

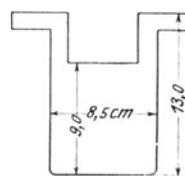


Fig. 281.

LOUDON and Mc LENNAN 219. NOACK, *Leitf.* 21. NICHOLS, *Labor. Man.* 1, 166. NICHOLS, SMITH and TURTON 220 Nr. 106. OSTWALD-LUTHER<sup>3</sup> 497. ROTH 134. SCHUSTER and LEES, *Exerc. in Pract. Phys.* 267 Nr. 56. STROUD 243. WOOLLCOMBE 4, 52. Ich habe früher bei den Übungen das Kupfercoulombmeter von HADLEY benutzt, doch führten die unsichern Anschlüsse der Elektroden und deren Beweglichkeit zu Störungen, und daher verwende ich jetzt das oben beschriebene Coulombmeter.

Die Cuprisulfatlösung stellt man am besten nach OETTEL her, indem man 150 gr Cuprisulfat pulvert und in 1000 cm<sup>3</sup> Wasser löst, filtert und dann 50 gr (nicht 500 gr, wie infolge eines Druckfehlers bei OSTWALD-LUTHER steht) Schwefelsäure und 50 gr Alkohol hinzufügt. Der leicht oxydierbare Alkohol verhindert schädliche Bildungen an der Anode. Man kann auch 125 gr Cuprisulfat in 1000 cm<sup>3</sup> Wasser lösen und 50 gr Schwefelsäure hinzusetzen.

Als Stromschwächer habe ich früher Kohlewiderstände benutzt; ich kann die von mir angewandte Form wegen ihres oft launenhaften Verhaltens zu diesem Versuch nicht empfehlen und rate zur Verwendung von Flüssigkeitswiderständen oder noch besser von Gleitwiderständen.

Obwohl es ratsam ist, in das FARADAYSche Gesetz anstatt des elektrochemischen Äquivalents das Grammäquivalent, die Wertigkeit und die FARADAYSche Zahl 96540 einzuführen, so wage ich doch nicht, mich jetzt schon so weit von der Darstellungsform zu entfernen, die heute noch an unsern Schulen üblich ist.

Die Versuche bereiten den Schülern einige Schwierigkeiten und erfordern große Aufmerksamkeit des Lehrers, namentlich eine sorgfältige Prüfung der Schaltungen. Man lasse die eine Hälfte der Schülergruppen die Aufgabe 9 und gleichzeitig die andere Hälfte die Aufgabe 10 ausführen.

**10. Aufgabe.** *Wie verhält sich die ausgeschiedene Kupfermasse zur Elektrizitätsmenge? Wie groß ist das elektrochemische Äquivalent des Kupfers?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 9, nur verwendet man, falls man auch eine Tangentenbussole einschaltet, statt des Ausschalters eine Wippe.

**Anleitung.** a) Verfahre wie in Aufgabe 9 (a) bis (h), doch laß einen Strom von 1 Ampere 30 Minuten lang durch das Coulombmeter fließen. Schalte, falls nur eine Tangentenbussole (4 Windungen) zur Strommessung benutzt wird, die Wippe so ein, daß nur in der Bussole, nicht aber im übrigen Stromkreis die Stromrichtung umgekehrt werden kann (Fig. 282),

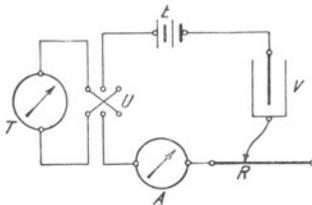


Fig. 282.

während die Hilfskathode darin sitzt, den Widerstand so, daß die Ablenkung des Bussolenzegers zwischen 30° und 60° liegt. Lies vor Beginn und nach Schluß des Versuchs die Nullstellungen beider Zeigerspitzen ab, wende nach 15 Minuten möglichst rasch den Strom in der Bussole und schreibe alle

5 Minuten die Stellungen der beiden Zeigerspitzen auf. Regle den Widerstand fortwährend und halte so die Zeigerspitzen in ihren ursprünglichen Stellungen. Lies ebenso alle 5 Minuten den Strommesserab.

b) Wiederhole den Versuch, wähle aber den Widerstand so, daß die Stromstärke 0,75 A beträgt, und laß diesen Strom 40 Minuten lang durch das Coulombmeter fließen, doch wende nach 20 Minuten möglichst rasch den Strom in der Bussole. Benutze bei der Einstellung der Stromstärke auf 0,75 A wiederum die Hilfskathode.

c) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Coulombmeter Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . .  
 . . . Windungen.

Zeitpunkt		Versuchsdauer $\tau$ sek	Stromstärke		Anzahl der Coulomb $q = J\tau$
Beginn	Schluß		$J$ A	Mittel	

Masse der Kathode in mg			Verhältnis der Elektrizitätsmengen $q_1/q_2$	Verhältnis der Massenzunahmen $m_1/m_2$
vor Beginn	nach Schluß	Zunahme $m$		

Nimm als Amperezahl  $J$  den Mittelwert aus allen Ablesungen jeder Versuchsreihe.

Schreibe, falls eine Tangentenbussole benutzt worden ist, die Ablesungen daran unter Berücksichtigung des Drehsinns folgendermaßen auf und nimm aus den Werten von  $\text{tg } \alpha$  das Mittel.

	Zeit	Zeigerablesungen			Ablenkung $\alpha$	$\text{tg } \alpha$
		Ost- spitze	West- spitze	Mittel		
Nullpunkt						
⋮						

Mittel  $\mu = \dots$

Schreibe ebenso die Ablenkungen für den zweiten Teil des Versuchs auf.

d) Die Anzahl der Coulomb oder Amperesekunden ist, wenn  $C$  die Umrechnungszahl der Bussole bezeichnet,  $q = C\tau \text{tg } \alpha$ , mithin  $q_1/q_2 = \tau_1 \text{tg } \alpha_1 / \tau_2 \text{tg } \alpha_2$ . Frage den Lehrer, wie groß die Umrechnungszahl der Tangentenbussole ist, und berechne die Stromstärken bei beiden Versuchen. Vergleiche sie mit den Angaben des Strommessers.

e) Wie verhalten sich also die ausgeschiedenen Kupfermassen zu den Elektrizitätsmengen, die durch das Coulombmeter hindurchgeflossen sind?

f) Berechne aus beiden Messungen, sowohl aus den Angaben des Strommessers als aus den Ablenkungen der Magnetnadel die Kupfermasse, die von einem Coulomb mitgeführt worden ist. Wie stimmt das Ergebnis mit dem Wert für das elektrochemische Äquivalent überein, der in Aufgabe 9 erhalten worden ist?

**Bemerkung.** Man lasse die eine Hälfte der Schülergruppen die Aufgabe 9 und die andere Hälfte gleichzeitig die Aufgabe 10 lösen.

**11. Aufgabe.** *Wie groß ist die Umrechnungszahl der Tangentenbussole und die magnetische Horizontalintensität des Beobachtungsorts?*

(3 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 10, doch ohne Strommesser.

**Anleitung.** a) Verfahre wie bei Aufgabe 9 (a) bis (h), doch regle unter Benutzung der Hilfelektrode den Widerstand so, daß der Zeiger der Bussole um  $30^\circ$  bis  $60^\circ$  abgelenkt wird, und halte während des ganzen Versuchs durch Nachregeln des Widerstandes die Ablenkung unverändert. Lies vor Beginn und nach Beendigung des Versuchs die Nullagen beider Zeigerspitzen ab und ebenso alle 5 Minuten die Ablenkungen beider Zeigerspitzen. Wende in der Mitte des Versuchs möglichst rasch den Strom der Bussole. Schreibe wie in Aufgabe 10 die Ergebnisse der Ablesungen auf. Laß den Strom mindestens 30 Minuten oder, wenn es die Zeit gestattet, 45 Minuten bis 1 Stunde durch das Coulombmeter fließen. Berechne aus der Masse des ausgeschiedenen Kupfers die Stromstärke und daraus und aus dem Mittelwert  $\mu$  von  $\text{tg } \alpha$  die Umrechnungszahl  $C$ .

Coulombmeter Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . Windungen.

Masse der Kathode vor der Elektrolyse . . . mg.

Masse der Kathode nach der Elektrolyse . . . mg.

Masse des ausgeschiedenen Kupfers  $m = \dots$  [mg].

Beginn der Elektrolyse . . .<sup>h</sup> . . .<sup>m</sup> . . .<sup>s</sup>.

Schluß der Elektrolyse . . .<sup>h</sup> . . .<sup>m</sup> . . .<sup>s</sup>.

Dauer der Elektrolyse  $\tau = \dots$  [sek].

Elektrochemisches Äquivalent des Kupfers  $\mathcal{E} = 0,3294$  [mg/Coul].

$$\text{Stromstärke } J = \frac{m}{\mathcal{E} \tau} \text{ [A].}$$

$$\text{Umrechnungszahl } C = \frac{J}{\text{tg } \alpha} = \dots \text{ [A].}$$

b) Lies auf dem Brett der Bussole ab, wie groß der mittlere Halbmesser  $r$  und die Anzahl  $N$  der Windungen ist, frage den Lehrer, wie stark an dem Standorte der Bussole die magnetische Horizontalintensität  $H$  ist, und berechne nach der Formel  $C = 5rH/N\pi$  die Umrechnungszahl.

c) Berechne aus den Werten von  $r$  und  $N$  und aus dem Werte der Umrechnungszahl, die bei (a) mit dem Kupercoulombmeter gemessen worden ist, die magnetische Horizontalintensität des Orts, wo die Bussole steht.

**12. Aufgabe.** *Wie verhält sich die Knallgasmasse, die ein gleichbleibender Strom ausscheidet, zur Dauer der Elektrolyse?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

<p><b>Geräte.</b> Knallgasoulombmeter (vgl. S. 381). Eisenfreies Gestell mit 2 Klemmen. 2 Sammler. Tangentenbussole. Strommesser. Ausschalter. Gleitwiderstand, 1 m Man- ganindraht von 0,3 mm Durchmesser.</p>	<p>Leitungsschnur für die Bussole. Leitungsschnüre. Flasche mit 2 n. Natron- lauge (80 gr Ätznatron in 1000 cm<sup>3</sup> Wasser). Stechuhr. Becherglas. Trichter.</p>
---	---

**Anleitung.** a) Fülle bei offener Auslaßröhre das Coulombmeter (Fig. 283) mit so viel Natronlauge, daß sie das Elektrodengefäß füllt und in der Meßröhre bis zum tiefsten Teilstrich reicht. Verschließe die Auslaßröhre. Stelle wie in Aufgabe 9 (e) einen Stromkreis her. Schließe den Strom und ändere den Widerstand so, daß ein Strom von 0,5 A durch das Coulombmeter fließt und die östliche Zeigerspitze der Bussole (4 Windungen) um  $\alpha^\circ$  abgelenkt wird. Öffne den Strom, klopfe leise gegen das Elektrodengefäß und warte, bis alle Gasblasen an die Oberfläche des Elektrolyten gestiegen sind und der Schaum verschwunden ist. Stelle die Meßröhre so ein, daß der Flüssigkeitsspiegel darin und im Meßgefäß gleich hoch liegt, lies die Wärmestufe ab und schreibe den Stand der Natronlauge in der Meßröhre auf.

b) Schließe den Strom, schreibe den genauen Zeitpunkt des Stromschlusses auf und halte von nun an, wenn nötig, durch Änderung des Widerstandes den Zeiger des Strommessers und die östliche Zeigerspitze der Bussole genau über den früher abgelesenen Stellen der Teilungen.

c) Unterbrich genau nach 3 Minuten den Strom, klopfe leise gegen das Elektrodengefäß, stelle die Meßröhre so ein, daß die Natronlauge in beiden Behältern gleich hoch steht, und lies die Wärmestufe und den Stand der Natronlauge in der Meßröhre ab.

d) Schließe den Strom, schreibe genau die Zeit auf, halte wie vorher die östliche Zeigerspitze der Bussole durch Änderung des Widerstandes stets genau über derselben Stelle der Teilung und laß den Strom 6 Minuten durch das Coulombmeter fließen. Lies wie vorher

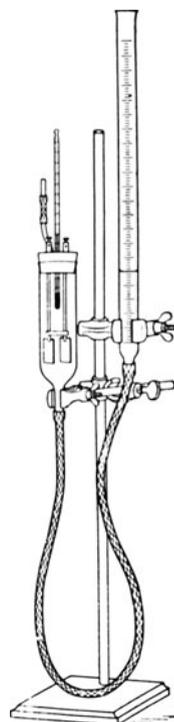


Fig. 283.

die Wärmestufe und den Stand der Natronlauge in der richtig eingestellten Meßröhre ab. Bau ab und bringe alle Geräte in Ordnung.

e) Lies den Barometerstand ab.

f) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

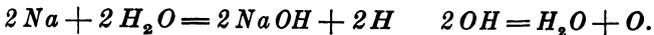
Coulombmeter Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . .  
 . . . Windungen.

Barometerstand  $b = \dots$  [mm].

Ablenkung der Ostspitze des Bussolenzeigers  $\alpha = \dots^\circ$ .

	I	II	III
Beginn der Elektrolyse . . . . .			
Schluß der Elektrolyse . . . . .			
Dauer der Elektrolyse in Sekunden . . . . .			
Flüssigkeitsstand in der Meßröhre	bei Beginn . . . . .		
	am Schluß . . . . .		
Verdrängte Flüssigkeitsmenge in $\text{cm}^3$ . . . . .			
Wärmestufe in $^\circ\text{C}$ . . . . .			
Spannkraft $e$ des Wasserdampfs in mm Quecksilber . . . . .			
Spannkraft über der Natronlauge $e - 0,07 e$ . . . . .			
Druck $p$ des trocknen Knallgases in mm . . . . .			
Raum $V_0$ des Knallgases bei $0^\circ$ und 760 mm in $\text{cm}^3$ . . . . .			

g) Welche Ionen enthält die Natronlauge?  $\text{Na}'$  und  $\text{OH}'$ . Aus welchen beiden Teilen besteht das Natriumion? Wie wirkt das Natrium, das sich an der Kathode abscheidet, auf das Wasser?  $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} = \text{NaOH} + \text{H}$ . Welches Gas entwickelt sich also an der Kathode? Aus welchen beiden Teilen besteht das Hydroxylion? Wie zerfällt das Hydroxyl, das sich an der Anode abscheidet?  $2\text{OH} = \text{H}_2\text{O} + \text{O}$ . Wieviel  $\text{Na}$  muß an der Kathode auftreten, wenn sich an der Anode  $2\text{OH}$  abscheiden?



Was wird also scheinbar durch den Strom zerlegt? In welchen Raumverhältnissen scheiden sich Wasserstoff und Sauerstoff ab? Wie heißt die Mischung beider Gase in diesen Raumverhältnissen? Wieviel Gramm Wasserstoff entwickeln sich an der Kathode, wenn sich dort zwei Grammäquivalente Natrium abscheiden?  $1,008 \cdot 2$  gr. Wieviel

Gramm Sauerstoff entwickeln sich an der Anode, wenn sich dort zwei Grammäquivalente Hydroxyl abscheiden?  $8 \cdot 2 \text{ gr}$ . Wieviel Gramm Knallgas entwickeln sich also?

h) Mit einem Grammäquivalent Natrium wandern 96540 Coulomb. Wieviel Coulomb werden also von zwei Grammäquivalenten Natrium mitgeführt? Wieviel Gramm Knallgas scheidet daher ein Coulomb ab?  $18,02 \text{ gr} : (96\,540 \cdot 2) = 0,0933 \text{ mg}$ . Die Molarformel für Wasser ist  $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ , die Dichte des Wasserstoffs bei  $0^\circ$  und 760 mm ist  $0,00090 \text{ gr/cm}^3$  und die des Sauerstoffs  $0,00143 \text{ gr/cm}^3$ . Wieviel Kubikzentimeter nehmen  $1,01 \cdot 2 \cdot 2 \text{ gr}$  Wasserstoff ein? Wieviel Kubikzentimeter nehmen  $16 \cdot 2 \text{ gr}$  Sauerstoff ein? Welchen Raum erfüllen demnach  $36,04 \text{ gr}$  Knallgas? Welchen Raum nehmen also die  $0,0933 \text{ mg}$  Knallgas ein?  $0,174 \text{ cm}^3$  von  $0^\circ$  und 760 mm Quecksilberdruck.

i) Wieviel Kubikzentimeter Knallgas wurden bei diesen drei Versuchen abgeschieden? Welche Warmheit hatte jedesmal das Gas? Unter welchem Druck stand das Gas? Barometerdruck. War das Gas trocken oder mit den Dämpfen gemischt, die aus der Natronlauge aufstiegen? *Der Druck des Wasserdampfs über einer  $2n \cdot NaOH$ -Lösung ist um  $\sim 7\%$  geringer als über reinem Wasser.* Schläge die Spannkraft  $e$  des Wasserdampfs nach, die der gemessenen Wärmestufe entspricht, und zieh davon  $7\%$  ab. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 704 Taf. 13. Der Druck  $p$  des trocknen Knallgases ist gleich dem Barometerstand, vermindert um diesen Druckunterschied.

$$p = b - e(1 - 0,07).$$

Welchen Raum  $V_0$  nehmen also die gemessenen Kubikzentimeter bei  $0^\circ$  und 760 mm ein? Zieh den ersten Raum vom zweiten und diesen vom dritten ab. Die beiden Unterschiede sind die Räume der Gasmengen, die der Strom in den gemessenen Zeiten  $\tau$  erzeugt hat. Wie verhalten sich zueinander die Dauern  $\tau$  der Elektrolysen, wie die Räume  $V_0$  und wie die Massen  $m$  der Knallgasmengen, die sich in diesen Zeiten entwickelt haben?

k) Jedes Coulomb scheidet  $0,174 \text{ cm}^3$  Knallgas von  $0^\circ$  und 760 mm ab. Wie groß war also die Anzahl Coulomb, die in 9 Minuten durch das Knallgascoulombmeter geflossen sind? Wieviel Coulomb strömten in einer Sekunde hindurch? Wie groß war die Stromstärke, in Ampere gemessen? Wieviel zeigte der Strommesser an? Wie groß war die Ablenkung der Tangentenbussole?

l) Wir wollen annehmen, daß die Angaben des Strommessers richtig waren. Wieviel Coulomb sind also in den 9 Minuten hindurchgeflossen? Wieviel Kubikzentimeter Knallgas von  $0^\circ$  und 760 mm wurden abgeschieden? Wie groß ist die Masse dieser Gasmenge? Wie groß ist also das elektrochemische Äquivalent des Knallgases? Stimmt diese Zahl mit dem oben (h) berechneten Wert überein?

**Bemerkungen.** Über die Ausführung des Versuchs ohne Strommesser vgl. Aufgabe 9.

Knallgascoulombmeter. W. A. ROTH, *Physikalisch-chemische Übungen* 136. Ein oben offnes Glasrohr von 12,5 cm Höhe und 3,7 cm

Durchmesser ist unten zu einem Schlauchansatz verjüngt und oben mit einem Gummistopfen verschlossen, durch dessen 4 Öffnungen ein Thermometer, eine Auslaßröhre und zwei Nickeldrähte mit Nিকেlelektroden (2,8 cm  $\times$  3 cm) hindurchgeführt sind. Dieses Elektrodengefäß wird durch einen Schlauch von 75 cm Länge mit einer Meßröhre verbunden, die 75 cm<sup>3</sup> faßt und in 0,1 cm<sup>3</sup> geteilt ist. Verschiedene Formen von Gascoulombmetern findet man beschrieben bei: ABRAHAM 2, 250 Nr. 81. AYRTON 39 Nr. 9. BOWER und SATTERLY 306 Nr. 198, 4. HADLEY 228 Nr. 35. N. M. HOPKINS 90. HORTVET 212. LINEBARGER, *School Science* 1, 487; 1902. LOUDON and MC LENNAN 216. F. C. G. MÜLLER 286, 288. NOACK, *Leitf.* 20 Nr. 132. NOACK, *Aufg.* 141 Nr. 126. SCHUSTER and LEES, *Intermed. Course* 212 Nr. 41. W. R. SMITH, *School Science* 1, 259; 1902. STROUD 243 Nr. 13. WOOLLCOMBE 4, 55.

Über eine verkürzte Umrechnung von Gasmengen vgl. H. REBENSTORFF, *Phys. Zeitschr.* 8, 613; 1907.

Prof. Dr. H. BÖTTGER machte mich darauf aufmerksam, daß R. A. LEHFELDT (*The Electrochemical Equivalents of Oxygen and Hydrogen*, *Phil. Mag.* (6) 15, 614—627, 1908) die Frage untersucht hat, welche Elektrolyte im Knallgascoulombmeter die besten Ergebnisse liefern. Nach LEHFELDT'S Feststellungen wäre bei Platinelektroden statt der 2n-Natronlauge eine 5- bis 10prozentige Lösung von Kaliumdichromat oder eine 10- bis 30prozentige Lösung von Natriumsulfat (30 gr Glaubersalz in 100 cm<sup>3</sup> Wasser) zu verwenden.

Man weise die Schüler an, den Flüssigkeitsstand stets in der wahren Ebene abzulesen, die die Kuppe berührt, und dabei das Auge so zu halten, daß es gegen das Fenster und nach einem fernen Punkt in der Sehnlinie blickt und bei der Ablesung die Kuppe ungefähr damit zur Deckung bringt. Man kann den Schülern auch kleine Spiegelstücke geben, die sie parallel zur Teilung so halten, daß das Spiegelbild des beobachtenden Auges in den abzulesenden Punkt fällt. Vgl. Teil 1, Aufg. 15 S. 27. Man ermahne die Schüler, vor allen Ablesungen leise seitlich gegen das Elektrodengefäß und gegen die Meßröhre (auch gegen das Barometer) und bei der Tangentenbussole und dem Strommesser gegen das Gehäuse zu klopfen.

Man lasse die eine Hälfte der Schülergruppen die Aufgabe 12 und gleichzeitig die andere Hälfte die Aufgabe 13 ausführen.

**13. Aufgabe.** *Wie verhält sich die ausgeschiedene Knallgasmasse zur Elektrizitätsmenge? Wie groß ist das elektrochemische Äquivalent des Knallgases?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 12, nur verwendet man, falls auch eine Tangentenbussole eingeschaltet wird, statt des Ausschalters eine Wippe.

**Anleitung.** a) Verfahre wie in Aufgabe 12 (a) bis (c), doch laß einen Strom von 0,6 Ampere 8 Minuten lang durch das Coulombmeter fließen. Schalte, falls nur eine Tangentenbussole (4 Windungen) benutzt wird, die Wippe so ein, daß bloß in der Bussole, nicht aber im übrigen Stromkreis, die Stromrichtung umgekehrt werden kann (Fig. 282). Lies vor Beginn und nach Schluß des Versuchs die Nullstellungen beider Zeigerspitzen ab und schreibe jede Minute die Stellungen beider Zeigerspitzen auf. Halte durch Änderung des Widerstandes die Zeigerspitzen in ihren ursprünglichen Stellungen. Lies auch jede Minute den Strommesser ab. Wende nach 4 Minuten den Strom.

**b)** Wiederhole den Versuch, doch wähle den Widerstand so groß, daß die Stromstärke 0,4 A beträgt, und laß diesen Strom 12 Minuten lang durch das Coulombmeter fließen. Wende nach 6 Minuten den Strom. Bau ab und bringe die Geräte in Ordnung.

**c)** Lies den Barometerstand ab.

**d)** Trage die Ergebnisse in eine Tafel ein, die wie bei Aufgabe 12 (f) eingerichtet und nur um eine Zeile für die Stromstärken  $J$  vermehrt ist. Nimm als Amperezahl  $J$  den Mittelwert aus allen Ablesungen jeder Versuchsreihe. Schreibe, falls die 4 Windungen der Tangentenbussole benutzt worden sind, die Ablesungen der Zeigerspitzen wie bei Aufgabe 10 (c) auf und bilde aus den Werten von  $\operatorname{tg} \alpha$  das Mittel  $\mu$ . Berechne wie bei Aufgabe 10 (d) die Stromstärken in beiden Versuchen und vergleiche sie mit den Angaben des Strommessers.

**e)** Berechne aus den Dauern der Elektrolysen und den dabei herrschenden mittlern Stromstärken die Elektrizitätsmenge, die bei jeder der beiden Messungen durch das Coulombmeter geflossen ist.

**f)** Wie verhalten sich die ausgeschiedenen Knallgasmassen zu den Elektrizitätsmengen, die durch das Coulombmeter hindurchgeflossen sind? Vgl. Aufg. 12 (g) bis (k).

**g)** Berechne aus beiden Versuchsreihen, sowohl aus den Angaben des Strommessers, als auch aus den Ablenkungen der Magnetnadel, die Knallgasmasse, die von einem Coulomb mitgeführt worden ist. Wie stimmt das Ergebnis mit dem Wert für das elektrochemische Äquivalent des Knallgases überein, der in Aufgabe 12 erhalten worden ist?

**Bemerkung.** Man lasse die eine Hälfte der Schülergruppe die Aufgabe 12 und gleichzeitig die andere Hälfte die Aufgabe 13 ausführen.

**14. Aufgabe.** *Wie groß ist die Umrechnungszahl der Tangentenbussole und die magnetische Horizontalintensität des Beobachtungsorts?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 12, doch mit Wippe, aber ohne Strommesser.

**Anleitung.** **a)** Schalte das Coulombmeter wie bei Aufgabe 10 in den Stromkreis, doch laß den Strommesser weg. Lies die Nullagen beider Zeigerspitzen ab. Stelle den Widerstand so ein, daß die Ablenkung der Bussolennadel  $\sim 45^\circ$  wird. Unterbrich den Strom, klopfe leise gegen die Wand des Elektrodengefäßes, warte, bis die Gasblasen zum Flüssigkeitsspiegel emporgestiegen sind, miß wie in Aufgabe 12 den Raum des Knallgases, schreibe die Wärmestufe auf und lies den Nullpunkt der Bussole ab.

**b)** Schließe den Strom, schreibe genau den Zeitpunkt auf, lies jede Minute die Bussole ab. Unterbrich den Strom, sobald  $\sim 20 \text{ cm}^3$  der Flüssigkeit verdrängt worden sind, bestimme genau den Raum und die Warmheit des Gases.

**c)** Schließe den Strom, doch so, daß er durch die Bussole in der entgegengesetzten Richtung wie vorher fließt, schreibe den **genauen** Zeitpunkt auf und lies jede Minute die Zeigerstellung ab. Unterbrich

den Strom, wenn im ganzen  $\sim 40 \text{ cm}^3$  Flüssigkeit verdrängt worden sind, und bestimme genau den Raum und die Wärmestufe des Gases. Schreibe die Nullagen beider Zeigerspitzen der Busssole auf.

d) Lies den Barometerstand ab.

e) Schreibe die Ergebnisse der Coulombmetermessungen wie in Aufgabe 12 (f) und die Bussolenablesungen wie in Aufgabe 10 (c) auf.

f) Berechne für alle drei Beobachtungen den Raum, den das abgeschiedene trockene Knallgas bei  $0^\circ$  und 760 mm einnehmen würde, und zieh den ersten Raum vom zweiten und diesen vom dritten ab. Die Unterschiede sind die Räume der Gasmassen, die in den beobachteten Zeiten durch den Strom erzeugt worden sind. Nimm für jede der beiden Zeitdauern das Mittel aus den Tangenten der Ablenkungen. Ist  $\mu$  der Mittelwert der Tangenten und  $C$  die Umrechnungszahl, so ist die mittlere Stromstärke  $J = C\mu$ . Werden bei  $0^\circ$  und 760 mm in  $\tau$  sek  $V_0 \text{ cm}^3$  Gas frei gemacht, dann ist  $V_0 = V_1 C \mu \tau$ , wo  $V_1$  der Raum der Knallgasmenge bei  $0^\circ$  und 760 mm ist, die 1 Coulomb abscheidet. Nach Aufgabe 12 (h) ist  $V_1 = 0,174 \text{ [cm}^3\text{]}$ , folglich

$$C = \frac{V_0}{0,174 \mu \tau}.$$

g) Berechne wie in Aufgabe 12 die Werte von  $C$  aus den Elektrolysen, vor dem Wenden und nach dem Wenden des Stroms, und bilde aus beiden Ergebnissen den Mittelwert.

h) Verfahre ferner wie in Aufgabe 11 (b) und (c).

#### IV. Wärmewirkungen des elektrischen Stroms.

**15. Aufgabe.** *Wie hängt die Wärmemenge, die ein Strom in einem Draht erzeugt, von der hindurchfließenden Elektrizitätsmenge ab?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte.	Kalorimeter mit Heizdraht von 3 Ohm Widerstand.	Wippe oder Ausschalter.
	Thermometer.	Petroleum (destilliertes Wasser, Terpentinöl, Anilin, Toluol, Xylol).
	Tangentenbusssole (4 Windungen) oder Strommesser (bis 2 A).	Meßglas.
	3 Sammler.	Wage.
	Stromschwächer (1 m Manganindraht von 0,3 mm Durchmesser).	Gewichtssatz.
	Volkmannsche Klammer.	Stechuhr.
	Leitungsschnüre.	Größerer Behälter mit kaltem Wasser.
		Eis.
		Bechergläser.

**Anleitung.** a) Nimm das eigentliche Kalorimetergefäß (Fig. 284) aus seinem Schutzmantel, entferne den Einsatz, wäge das Kalorimeter, fülle es mit  $400 \text{ cm}^3$  der Flüssigkeit, die der Lehrer angibt,

und wäge von neuem. Wie groß ist die Masse der Flüssigkeit im Kalorimeter? Stelle das Kalorimeter in ein Blechgefäß und dieses in den großen Behälter mit kaltem Wasser und kühle das Kalorimeter nebst Einsatz bis auf  $\sim 4^\circ$  unter die Zimmerwärme ab.

b) Setze das Kalorimeter  $K$  in die Schutzhülle, schalte es nach Fig. 285 in einen Stromkreis, der aus 3 Sammlern  $E$ , einem Stromschwächer  $R$ , den 4 Windungen der Tangentenbussole  $T$  (Strommesser) und der Wippe  $U$  (Ausschalter) besteht. Bestimme den Nullpunkt der Tangentenbussole. Schließe den Strom und regle den Widerstand so, daß die Ostspitze des Zeigers um  $45^\circ$  abgelenkt wird. Öffne den Strom, rühre die Flüssigkeit mit dem Thermometer gut um und lies die Wärmestufe ab.

c) Schließe den Strom, schreibe den genauen Zeitpunkt auf, rühre öfters die Flüssigkeit vorsichtig um und lies jede Minute das Thermometer und 15 sek nachher die Stellungen der beiden Zeiger-

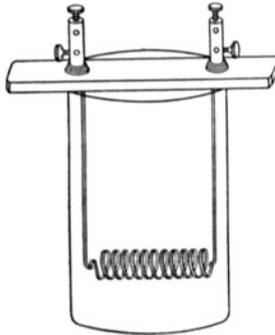


Fig. 284.

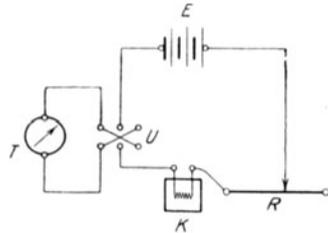


Fig. 285.

spitzen ab, vergiß bei den Ablesungen nicht, gegen die Meßgeräte zu klopfen, wende nach 5 Minuten den Strom und öffne ihn nach weitem 5 Minuten. Schreibe genau den Zeitpunkt auf, lies die Endwarmheit ab und bestimme wiederum die Nullstellungen der Zeigerspitzen. Halte während der 10 Minuten, wenn nötig durch Änderung des Widerstandes, die Ostspitze des Bussolenzeigers genau auf  $45^\circ$  oder, wenn ein Strommesser eingeschaltet ist, den Zeiger auf 1 A.

d) Nimm das Kalorimeter aus dem Schutzmantel und kühle es wie vorher in dem großen Wasserbehälter auf  $\sim 8^\circ$  unter die Zimmerwärme ab. Wiederhole die Versuche (b) und (c), doch laß jetzt den Strom, der ebenso stark wie vorher ist, genau 20 Minuten lang durch das Kalorimeter fließen und wende ihn nach 10 Minuten.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Kalorimeter Nr. . . . Wasserwert des Kalorimeters . . . Widerstand des Kalorimeters . . . Ohm. Thermometer Nr. . . . Wasserwert des Thermometers . . . Tangentenbussole Nr. . . .

Umrechnungszahl der Bussole  $C_4 = \dots$  [A].

Masse des Kalorimeters =  $\dots$  [gr].

Masse der Kalorimeterflüssigkeit = . . . [gr].  
 Spezifische Wärme der Flüssigkeit = . . .  
 Wasserwert von Kalorimeter, Flüssigkeit und Thermometer = . . . [gr].  
 Anzahl der Sammler . . .

	Zeit	Wärmestufe $t$	Zeigerablesungen			$\alpha$	$\text{tg } \alpha$
			Ostspitze	Westspitze	Mittel		
Nullpunkt							
⋮							
						Mittel $\mu = \dots$ $J = C_d \mu = \dots$ [A]	

Zeitpunkt		Versuchsdauer $\tau$ sek	Mittlere Stromstärke $J$ A	Elektrizitäts- menge $q = J\tau$ [Coul].
Beginn	Schluß			

Wärmestufe			Erzeugte Wärmemengen $Q$ grkal	Verhältnis der Versuchsdauern $\tau_1/\tau_2$	Verhältnis der Wärmemengen $Q_1/Q_2$
Anfangs-	End-	Steigerung			

f) Nimm aus den Werten von  $\text{tg } \alpha$  das Mittel  $\mu$  und berechne daraus die Stromstärke  $J$  (vgl. S. 377).

g) Stelle die Änderung der Wärmestufe (Ordinate) mit der Zeit (Abszisse) bildlich dar.

h) Berechne aus den Massen des Kalorimetergefäßes und der spezifischen Wärme des Glases (0,19) den Wasserwert des Kalorimeters.

i) Senke in die Flüssigkeit eines Meßglases oder eines Gefäßes, das auf einer Wage abgeglichen worden ist, das Thermometer so tief ein, wie es in die Kalorimeterflüssigkeit eintauchte, und bestimme so den Raum ( $V \text{ cm}^3$ ) dieses Thermometerstücks. Der Wasserwert des Thermometers ist dann 0,46  $V$ . (Vgl. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 192.)

k) Berechne für beide Versuche jedesmal aus dem Wasserwert von Flüssigkeit, Kalorimeter und Thermometer und aus der Warmheitssteigerung die Wärmemenge  $Q$  grkal, die der Strom erzeugt hat, ferner aus der Versuchsdauer  $\tau$  und der Stromstärke  $J$  die Elektrizitätsmenge  $q = J\tau$ , die durch den Heizdraht geflossen ist.

l) Berechne die Verhältnisse der Versuchsdauern  $\tau_1/\tau_2$  und der Wärmemengen  $Q_1/Q_2$  und vergleiche beide miteinander. Welcher Satz ergibt sich?

m) Welche Wärmemenge hat ein Coulomb bei jedem Versuch erzeugt?  $Q/q$ . Vergleiche diese Wärmemengen miteinander.

**Bemerkungen.** Das Kalorimeter (Fig. 286) besteht aus einem polierten Messingbecher von 10 cm Höhe und 5 cm Durchmesser. Das Blech hat eine Stärke von 0,3 mm. Das Kalorimeter nebst Schutzmantel ist mit einem Deckel verschlossen, der 3 Durchbohrungen hat. Durch das eine Loch geht ein Thermometer, das bis 50 Grad reicht und in Zehntelgrade geteilt ist. Durch die beiden andern Durchbohrungen führen zwei Kupferdrähte von 1 mm Durchmesser, die an Klemmen sitzen. An die Enden der Drähte ist ein Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser (oder besser Widerstandsplätt) gelötet, der einen Widerstand von 5 Ohm oder 10 Ohm hat. Der Manganindraht ist um drei Glasröhren gewickelt, so daß er weder an die Kalorimeterwand noch an den Rührer auf dem Thermometer stößt. Auf das Thermometer ist ein Kupferblech geschoben, dessen Ecken umgebogen sind, so daß bei der Drehung des Thermometers die Flüssigkeit umgerührt wird. Das Kalorimeter steht, um den Wärmeaustausch mit der Umgebung möglichst zu verhindern, in einem Blechgefäß auf Korkschneiden. Der Deckel schließt beide Gefäße. Diese Form hat meine Erwartungen nicht ganz erfüllt.

Man kann auch nach dem Vorgang von *AYRTON 319* und *OSTWALD-LUTHER 204* den Heizdraht auf folgende Weise herstellen: Man rollt wie in Fig. 284 Widerstandsplätt I' I' von 0,066 mm<sup>2</sup> Querschnitt und 3 oder 4 Ohm Widerstand zu einer Spule und lötet die Enden an zwei Kupferdrähte von 1 mm Durchmesser, die durch einen Holzstab führen und in zwei Klemmen endigen. Die Heizvorrichtung dient zugleich als Rührer.

Sie sitzt in einem Becherglas von 500 cm<sup>3</sup> Inhalt und dies auf Korkschneiden in einem Blechgefäß. Diese Form scheint sich für Schülerübungen am meisten zu eignen.

Andere Formen von Elektrokolorimetern sind beschrieben bei: *ABRAHAM 2, 277 Nr. 110.* *SCHREBER-SPRINGMANN 2, 241 Nr. 202.* *AYRTON 18 u. 319.* *KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 196.* *GLAZEBROOK, Elektr. and Magn. 287.* *F. C. G. MÜLLER 140 u. 301.* *NOACK, Aufg. 146.* *TROWBRIDGE 215 Nr. 217.* *WHITING 471 Nr. 85.* *WOOLLCOMBE 104 Nr. 34.* Das von *HADLEY (174 Nr. 112 u. 228 Nr. 33)* angegebene Kalorimeter hat sich nicht bewährt.

Als Füllflüssigkeiten für das Kalorimeter kommen in Betracht: Toluol (spez. Wärme 0,40), Xylol (0,40), Terpentinöl (0,42), Anilin (0,50) und Petroleum (0,51). Beim Anilin bewirken geringe Änderungen des Wassergehalts große Änderungen der spezifischen Wärme. Die Blechkannen mit der Füllflüssigkeit legt man vor dem Versuch in Eis und kühlt sie so ab; das ist bequemer als das Abkühlen jedes einzelnen Kalorimeters. Der

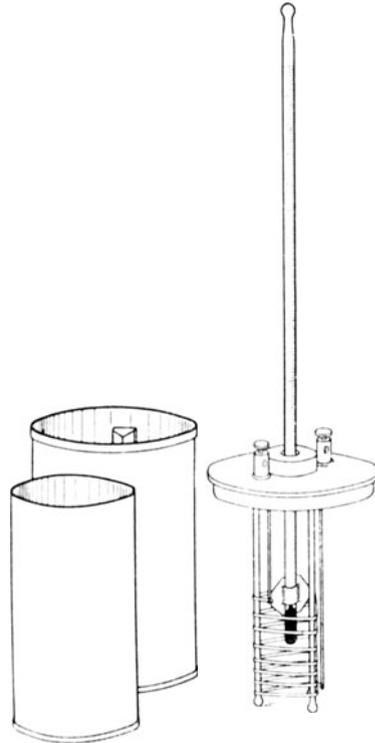


Fig. 286.

Leiter der Übungen hat nach KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 195, OSTWALD-LUTHER<sup>8</sup> 313 die spezifische Wärme der Flüssigkeit sorgfältig und wo möglich den gesamten Wasserwert von Gefäß, Thermometer und Heizdraht zu bestimmen.

Man lasse nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig verschiedene Gruppen die Aufgaben 15 bis 18 ausführen.

**16. Aufgabe.** *Wie hängt die Wärmemenge, die ein Strom in einem Draht erzeugt, von der Stromstärke ab?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte. Wie bei Aufgabe 15, doch 4 Sammler.

Anleitung. a) Verfahre wie bei Aufgabe 15 (a) bis (c).

b) Nimm das Kalorimeter aus dem Mantel, kühle es bis auf 8° unter die Zimmerwärme ab und schalte es wieder in den Stromkreis der 4 Sammler. Schließe den Strom und regle den Widerstand so, daß die Ostspitze des Bussolenzegers um 60° abgelenkt wird (der Strommesser 1,5 A zeigt). Öffne den Strom, rühre die Flüssigkeit gut um, lies die Wärmestufe ab und die Nullstellungen der beiden Zeigerspitzen der Bussole.

c) Schließe den Strom, schreibe den genauen Zeitpunkt auf, rühre öfters die Kalorimeterflüssigkeit tüchtig um und lies jede Minute das Thermometer und 15 Sekunden später die Stellungen der beiden Zeigerspitzen nach vorherigem Klopfen gegen die Meßgeräte sorgfältig ab. Wende nach 5 Minuten den Strom und unterbrich ihn nach weitem 5 Minuten. Halte während der 10 Minuten, wenn nötig durch Änderung des Widerstandes, die Ostspitze des Bussolenzegers auf 60° und, wenn ein Strommesser eingeschaltet ist, dessen Zeiger auf 1,5 A.

d) Schreibe die Ergebnisse wie in Aufgabe 15 (e) auf, doch gib der letzten Tafel folgende Gestalt:

Zeitpunkt		Versuchsdauer $\tau$ sek	Mittlere Stromstärke $J$ A	$J^2$	Elektrizitätsmenge $q = J\tau$ [Coul]
Beginn	Schluß				

Wärmestufe			Erzeugte Wärmemenge $Q$ gkal	Verhältnis der Wärmemengen $Q_1/Q_2$	$\frac{J_1^2}{J_2^2}$
Anfangs-	End-	Steigerung			

e) Verfahre wie in Aufgabe 15 (f) bis (k).

f) Ändern sich die Wärmemengen wie die Stromstärken? Bilde die Verhältnisse der Wärmemengen  $Q_1/Q_2$ , der Stromstärken  $J_1/J_2$  und

der Quadrate der Stromstärken  $J_1^2/J_2^2$  und vergleiche sie miteinander. Welchen Satz kann man aufstellen?

g) Berechne für beide Versuche die Verhältnisse  $Q/J^2$  und vergleiche sie miteinander. Frage den Lehrer, wie groß der Widerstand des Heizdrahtes ist, und bilde die Größen  $Q/J^2 W \tau$ .

Bemerkung. Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 15.

**17. Aufgabe.** *Wie hängt die Wärmemenge, die ein Strom in einem Draht erzeugt, von dem Widerstande des Drahts ab?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 15, doch 4 Sammler, außerdem ein zweites Kalorimeter, dessen Heizdraht den Widerstand 4 Ohm hat.

**Anleitung.** a) Schalte die beiden Kalorimeter hintereinander, nimm 4 Sammler und verfähre sonst wie in Aufgabe 15 (a) bis (c), (e) und (f), (h) bis (k). Halte jedoch mit Hilfe des Widerstandes die Ostspitze des Bussolenzeigers auf  $45^\circ$ , kühle die Kalorimeterflüssigkeit und die Heizdrähte auf  $\sim 6^\circ$  unter die Zimmerwärme ab und laß den Strom 20 Minuten durch die Kalorimeter fließen. Schreibe in die erste Tafel die Wärmestufen in beiden Kalorimetern und gib der zweiten Tafel folgende Gestalt:

Zeitpunkt		Versuchsdauer $\tau$ sek	Mittlere Stromstärke $J$ A	Elektrizitäts- menge $q = J \tau$ [Coul]
Beginn	Schluß			

Wärmestufe			Erzeugte Wärmemenge $Q$ grkal	Widerstand der Heizdrähte $W$ Ohm	Verhältnis der Wärmemengen $Q_1/Q_2$	Verhältnis der Widerstände $W_1/W_2$
An- fangs-	End-	Steige- rung				

b) Vergleiche die Verhältnisse der erzeugten Wärmemengen  $Q_1/Q_2$  und der Widerstände  $W_1/W_2$  miteinander. Welcher Satz ergibt sich?

c) Berechne die Wärmemengen, die in dem Widerstand ein Ohm erzeugt worden wären,  $Q/W$ , und vergleiche sie miteinander.

d) Bilde die Größen  $Q/J^2 W \tau$  und vergleiche sie mit den Werten, die in Aufgabe 16 erhalten worden sind.

Bemerkung. Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 15.

**18. Aufgabe.** Wie hängt die Wärmemenge, die ein Strom in einem Draht erzeugt, von der Spannung zwischen den Drahtenden ab?

(4 Schüler, 2 Stunden.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 17, dazu noch ein Spannungsmesser (bis 8 V), ein Glimmerwiderstand von 1000 Ohm (S. 342) und eine zweite Wippe.

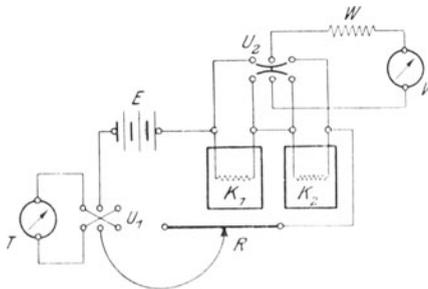


Fig. 287.

**Anleitung.** a) Schalte wie in Aufgabe 15, verbinde den Spannungsmesser und, falls er einen zu geringen Widerstand hat, den Widerstand  $W$  von 1000 Ohm und die beiden Kalorimeter wie in der Fig. 287 mit der Wippe  $U_2$ .

b) Verfahre wie bei Aufgabe 17 (a) und lies 15 Sekunden vor jeder Minute die Spannung zunächst an dem ersten Heizdraht ab und dann

nach raschem Umlegen der Wippe an dem zweiten.

c) Gib den beiden Tafeln folgende Gestalt:

	Zeit	Wärmestufe $t$		Zeigerablesungen			$\alpha$	$\text{tg } \alpha$	Spannungen	
		1. Kalorimeter	2. Kalorimeter	Ostspitze	Westspitze	Mittel			am 1. Kalorimeter $P_1$ V	am 2. Kalorimeter $P_2$ V
Nullpunkt										
...										
							Mittel $\mu = \dots$ $J = C\mu = \dots$ [A]	Mittel $P_1 = \dots$ [V]	Mittel $P_2 = \dots$ [V]	

Zeitpunkt		Versuchsdauer $\tau$ sek	Mittlere Stromstärke $J$ A	Elektrizitätsmenge $q = J\tau$ [Coul]	Wärmestufe		
Beginn	Schluß				Anfangs-	End-	Steigerung

Erzeugte Wärmemenge $Q$ grkal	Widerstand $W$	Mittlere Klemmenspannung $P$ V	$\frac{Q_1}{Q_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	$\frac{W_1}{W_2}$	$\frac{Q}{P}$	$\frac{Q}{Pq}$	$\frac{Q}{J^2 W \tau}$

d) Berechne, falls vor den Spannungsmesser der Widerstand 1000 Ohm geschaltet worden ist, nach S. 351 aus den Ausschlägen des Spannungsmessers die Spannungen zwischen den Enden der Heizdrähte in Volt.

e) Vergleiche die Verhältnisse der Stromwärmern  $Q_1/Q_2$ , der Spannungen  $P_1/P_2$  und der Widerstände  $W_1/W_2$  miteinander. Welche Sätze ergeben sich?

f) Berechne die Wärmemengen  $Q/P$ , die bei der Spannung 1 Volt zwischen den Klemmen erzeugt würden, und vergleiche diese Werte miteinander.

g) Vergleiche die Größen  $Q/Pq$  miteinander. Welches allgemeine Gesetz besteht? *Joule. Zusammenhang zwischen Wärme und Arbeit, zwischen Wärme und elektrischem Strom. Stromarbeit und Stromwärme. Stromleistung. Watt.*

h) Vergleiche die Werte von  $Q/Pq$  mit den Werten von  $Q/J^2 w \tau$ . Welche Beziehung ergibt sich zwischen  $P$ ,  $J$  und  $W$ , wenn man beachtet, daß  $q = J\tau$  ist? *Ohmsches Gesetz.*

**Bemerkungen.** Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 15. Den Glimmerwiderstand von 1000 Ohm läßt man weg, wenn das Voltmeter einen hinreichend hohen Widerstand hat.

Nach den Vorschlägen des AEF (des Ausschusses für Einheiten und Formelgrößen) ist der Wärmewert des Joule 0,2387 grkal. *Ber. d. Deutsch. Phys. Ges. 6, 578; 1908.*

**19. Aufgabe.** *Wie groß ist der Arbeitswert der Grammkalorie?*

**1. Verfahren.**

(3 Schüler, 2 Stunden,)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 18, doch ohne das Kalorimeter mit dem Heizdraht von 4 Ohm, außerdem Strommesser (2 A) statt der Tangentenbussole und zwei Ausschalter statt der beiden Wippen.

**Anleitung.** a) Wäge das Kalorimeter ohne den Einsatz, fülle es mit 400 cm<sup>3</sup> der Flüssigkeit, wäge wiederum und kühle sie und den Heizdraht auf  $\sim 5^\circ$  unter die Zimmerwärme ab.

b) Bilde einen Stromkreis aus dem Heizdraht  $K$  (Fig. 288), einem Strommesser  $A$ , einem Stromschwächer  $R$ , drei Sammlern  $E$  und einem Ausschalter  $U_1$ . Verbinde einen Spannungsmesser  $V$ , einen Widerstand  $W$  von 1000 Ohm und einen zweiten Ausschalter  $U_2$  mit den Enden des Heizdrahts. Schließe den Haupt- und den Nebenstrom, sieh nach, ob die Meßgeräte richtig ausschlagen und das Thermometer gleichförmig steigt, und regle den Widerstand so, daß die Stromstärke  $\sim 1$  A wird.

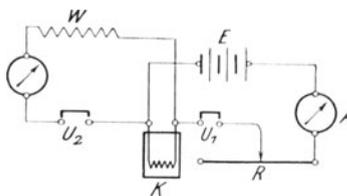


Fig. 288.

Unterbrich den Strom, rühre die Flüssigkeit gut um und lies die Wärmstufe ab.

c) Schließe den Strom, schreibe den genauen Zeitpunkt auf, lies jede Minute das Thermometer ab, den Spannungsmesser 15 Sekunden vor und den Strommesser 15 Sekunden nach jeder Minute und vergiß

nicht, die Flüssigkeit gut umzurühren. Fahre damit fort, bis die Wärmestufe des Kalorimeters um  $\sim 3^{\circ}$  über die Zimmerwärme gestiegen ist, schließe nun den Strom und schreibe den genauen Zeitpunkt auf.

d) Berechne den mittlern Wert der Spannung  $P$  und die mittlere Stromstärke  $J$  oder, wenn die Unterschiede groß sind, die einzelnen Produkte  $PJ$  und daraus den Mittelwert.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Kalorimeter Nr. . . .  
 Widerstand des Heizdrahts  $W = \dots$  [Ohm].  
 Wasserwert des Kalorimeters = . . . .  
 Thermometer Nr. . . .  
 Wasserwert des Thermometers = . . . .  
 Strommesser Nr. . . .  
 Nullpunkt des Strommessers . . . .  
 Spannungsmesser Nr. . . .  
 Nullpunkt des Spannungsmessers . . . .  
 Widerstand des Voltmeters = . . . Ohm.  
 Umrechnungszahl des Spannungsmessers bei 1000 Ohm Vorschaltwiderstand . . . .  
 Masse des Kalorimeters = . . . gr.  
 Masse der Flüssigkeit = . . . gr.  
 Spezifische Wärme der Flüssigkeit = . . . .  
 Wasserwert von Kalorimeter, Thermometer und Flüssigkeit = . . . .  
 Anfangswarmheit = . . .  $^{\circ}\text{C}$ .  
 Endwarmheit = . . .  $^{\circ}\text{C}$ .  
 Warmheitssteigerung = . . .  $^{\circ}\text{C}$ .  
 Erzeugte Wärmemenge  $Q = \dots$  [grkal].  
 Mittlere Klemmenspannung  $P = \dots$  [V].  
 Mittlere Stromstärke  $J = \dots$  [A].  
 Beginn des Stroms . . .<sup>h</sup> . . .<sup>m</sup> . . .<sup>s</sup>.  
 Schluß des Stroms . . .<sup>h</sup> . . .<sup>m</sup> . . .<sup>s</sup>.  
 Stromdauer  $\tau = \dots$  [sek].  
 Stromarbeit  $A = PJ\tau = \dots$  [Joule].

$$\text{Arbeitswert der Grammkalorie } \mathfrak{J} = \frac{A}{Q} = \dots \left[ \frac{\text{Joule}}{\text{grkal}} \right]$$

$$= \dots \left[ \frac{\text{Erg}}{\text{grkal}} \right].$$

## 2. Verfahren.

Literatur. E. MERITT, *Americ. Journ. of Science* 37, 167.

<p>Geräte. Dünnwandiges Glasgefäß von 20 cm Höhe und 10 cm Durchmesser.          Glühlampe (16 oder 32 Kerzen) mit isolierter Zuleitung.          Strommesser (bis 1 A).          Spannungsmesser von hohem Widerstand, der ge-</p>	<p>stattet, die Spannung des Starkstroms zu messen.          Lösung von Ferrochlorid (oder Ferrosulfat oder Ferroammoniumsulfat).          2 Ausschalter.          Verbindungsdrähte.          Stechuhr.          Gestell.</p>
---	--

Anleitung. f) Wäge das Glas, fülle es mit der Flüssigkeit, die der Lehrer angibt, so weit, daß sie späterhin die eingetauchte Birne bedeckt und noch  $\sim 2,5$  cm über der Fassung steht, und wäge das

Glas nebst Flüssigkeit. Wie groß ist die Masse der Flüssigkeit? Kühle das gefüllte Kalorimeter um  $\sim 10^{\circ}$  unter die Zimmerwärme ab.

g) Spanne die Glühlampe  $L$  (Fig. 289) in ein Gestell ein, tauche sie in die Flüssigkeit und verbinde ihre Drähte mit einem Strommesser  $A$ , einem Ausschalter  $U_1$  und der Starkstromleitung. Lege den Spannungsmesser  $V$  nebst Ausschalter  $U_2$  zur Lampe in Nebenschluß.

h) Bestimme die Wärmestufe der Flüssigkeit und schließe den Strom in einem Zeitpunkt, der genau aufgeschrieben wird. Lies jede halbe Minute den Strommesser, den Spannungsmesser und das Thermometer ab. Rühre fortwährend die Flüssigkeit mit dem Thermometer fleißig um. Öffne den Strom, sobald die Wärmestufe um  $\sim 10^{\circ}$  gestiegen ist, in einem Zeitpunkt, der genau aufgeschrieben wird.

i) Verfahre wie in (d) und (e). Frage den Lehrer, wie groß die spezifische Wärme der Flüssigkeit ist.

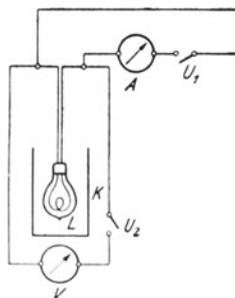


Fig. 289.

**Bemerkungen.** 1. Verfahren. Der Strommesser und der Spannungsmesser müssen gut geeicht sein. Hat der Spannungsmesser einen hohen Widerstand, so läßt man in seinem Stromzweig die 1000 Ohm weg. Man kann auch bei geringem Widerstande des Spannungsmessers aus diesem Widerstand und der Spannung die Stärke des Stroms berechnen, der durch den Spannungsmesser fließt. Vgl. S. 351. Zieht man diesen Wert von der mittlern Stromstärke im Hauptkreis ab, so erhält man die Stärke des Stroms, der durch den Heizdraht fließt.

2. Verfahren. Als Kalorimeterflüssigkeit verwende man eine Auflösung von 254 gr Ferrochlorid in 1000 cm<sup>3</sup> Wasser oder von 152 gr Ferrosulfat in 1000 cm<sup>3</sup> Wasser. Ferrochlorid ist nicht käuflich.

GRIMSEHL (*Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 16, 210; 1903) benutzte Wasser, das er mit Nigrosin dunkel gefärbt hatte. RUSSNER (*Phys. Zeitschr.* 8, 120; 1907) verwandte Ferroammoniumsulfat (300 gr in 1000 cm<sup>3</sup>). Vgl. *Phys. Zeitschr.* 9, 672; 1910.

Man bestreiche die Fassung und die Zuführungsdrähte der Lampe dick mit Paraffin oder Zaponlack. RUSSNER entfernt mit Beiß- und Flachzange das Gewinde, dann mit Salzsäure den Kitt und lötet an die kurzen Drahtstücke, die aus der Glasbirne herausragen, zwei stärkere Kupferdrähte, die er mit Hilfe zweier ineinandergeschobener Glasröhren voneinander trennt. Das weitere Rohr kittet er in die Vertiefung der Glasbirne. Verwendet man statt einer gewöhnlichen Glühlampe eine sogenannte Kettenlampe, so kann man die Zuleitungen bequemer anlöten.

#### IV. Ohmsches Gesetz.

20. Aufgabe. Wie hängt die Stärke des Stroms, den eine Kette liefert, von dem Leiter ab, den der Strom durchfließt?

(1 Schüler, 1 $\frac{1}{2}$  Stunde.)

<b>Geräte.</b> Daniell. Tangentenbussole. Stromwender. 5 Spulen aus Manganindraht	von 0,25 mm Durchmesser und 200, 160, 120, 80 und 40 cm Länge. 2 Spulen aus Manganindraht
--	--

<p><b>Geräte.</b> von 200 cm Länge und 0,25 und 0,35 mm Durchmesser. Verbindungsklemmen. Kurze Leitungsschnüre oder Drähte von 0,9 mm Durchmesser.</p>	<p>Leitungsschnur für Tangentenbussole. Millimeterpapier. Drahtlehre. Quecksilber.</p>
--	--

**Anleitung.** a) Setze die DANIELLSche Kette wie in Aufgabe 4 (S. 363) zusammen und schlieÙe sie 5 Minuten lang durch einen Draht von ~ 10 Ohm Widerstand. Stelle die Tangentenbussole *T* (Fig. 290) in der richtigen Weise (vgl. Aufg. 43) auf und bilde einen Stromkreis aus ihren 50 Windungen, der Spule *W* von 200 cm Länge und 0,25 mm Durchmesser, der Kette *E* und dem offenen Stromwender *U*. Fasse dabei stets die Spule an ihrem Holzrand an. SchlieÙe den Strom, lies die Stellungen der beiden Zeigerspitzen ab, wende den Strom und lies wiederum die Stellungen der beiden Zeigerspitzen ab. Unter-

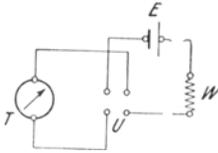


Fig. 290.

brich den Strom und miß sorgfältig mit der Drahtlehre die Dicke des Drahts.

Trage die Ergebnisse der Messungen in folgende Tafel ein:

Tafel I.

Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahl  $C_{50} = \dots [A]$ . Kette Nr. . . .

Spule				Zeigerablesung				Ablenkung $\alpha$	$\text{tg } \alpha$	Stromstärke $J = C_{50} \text{tg } \alpha$
Bezeichnung	Stoff	Länge $l$ cm	Durchmesser $d$ mm	Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel			

b) Ersetze die 200 cm-Spule durch die andere Spule, deren Draht ebenfalls 200 cm lang und 0,25 mm dick ist, und miß die Stromstärke. Hat sie die gleiche Größe?

c) Ersetze die 200 cm-Spule der Reihe nach durch die vier andern Spulen von 0,25 mm Durchmesser, die 160, 120, 80 und 40 cm lang sind, und miß jedesmal die Stromstärke.

d) Wiederhole die Messungen (a) und (c), doch beginne diesmal mit dem kürzesten Draht.

e) Stelle die Ergebnisse der Versuche (a), (c) und (d) bildlich dar und nimm dabei die Drahtlängen  $l$  als Abszissen und die Werte von  $\text{tg } \alpha$  oder von  $J$  als Ordinaten. Setze bei einer zweiten Darstellung  $x = 1/l$  und  $y = J$ .

f) Nimm aus je zwei zusammengehörigen Werten der Stromstärken das Mittel und sieh es als die wahre Stromstärke an, die der zugehörigen Drahtlänge entspricht. Trage die Ergebnisse in folgende Tafel und in die bildliche Darstellung ein.

Tafel II.

Länge $l$ cm	Stromstärke in A		
	$J_1$	$J_2$	Mittel $J = \frac{1}{2}(J_1 + J_2)$

*Schwächung des Stroms. Widerstand. Ohm.* Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Länge und dem Widerstand eines Drahts?

g) Entnimm aus der bildlichen Darstellung die Stromstärken, die eine Daniellsche Kette in Manganindrähten von 0,25 mm Durchmesser und 66, 132 und 180 cm Länge erzeugen würde.

h) Welche Drahtlängen würden die Stromstärken 0,1 und 0,2 A herstellen?

i) Ersetze die Spule von 0,25 mm Durchmesser durch die Spule von 200 cm Länge und 0,35 mm Durchmesser. Bestimme wie in (a) die Stromstärke und trage das Ergebnis in die Tafel I ein.

k) Miß mit der Drahtlehre sorgfältig den Durchmesser des Drahts. Berechne die Querschnitte dieses Drahts und des gleich langen Drahts von 0,25 mm Dicke. Trage die Ergebnisse dieser Berechnung und der Messungen (a) und (i) in die folgende Tafel ein:

Tafel III.

Bezeichnung	Spule				Stromstärke $J$ A	$q_1/q_2$	$J_1/J_2$
	Stoff	Länge $l$ cm	Durchmesser $d$ mm	Querschnitt $q$ mm <sup>2</sup>			

Welche Beziehung besteht zwischen den Querschnitten der gleich langen Manganindrähte und den zugehörigen Stromstärken?

l) Entnimm aus der bildlichen Darstellung die Länge des Manganindrahts von 0,25 mm Durchmesser, der die gleiche Stromstärke wie der 0,35 mm dicke Draht erzeugt, d. h. der den gleichen Widerstand hat.

m) Wie verhalten sich die Widerstände der beiden gleich langen Drähte von 0,25 und 0,35 mm Dicke? Vergleiche dieses Verhältnis mit dem Verhältnis der Querschnitte.

n) Ein Manganindraht von 1 m Länge und 0,25 mm Durchmesser hat 8 Ohm Widerstand. Wie groß sind die Widerstände

von Manganindrähten, die 0,25 mm dick und 200 cm lang, 0,35 mm dick und 200 cm lang und 0,35 mm dick und 1 m lang sind? Wie groß ist der Widerstand eines Manganindrahts von 1 m Länge und 1 mm<sup>2</sup> Querschnitt? Welchen Widerstand hat ein Manganindraht von 1 cm Länge und 1 cm<sup>2</sup> Querschnitt?

o) Bringe die Tangentenbussole in Ordnung, nimm die DANIELLsche Kette auseinander, spüle die Zelle tüchtig aus und wässere sie.

**Bemerkungen.** Mit einem Sammler und einem Strommesser gelingen die Versuche gut.

Es ist wesentlich, daß man bei der Herstellung der Spulen (E. H. HALL, *Descript. List 92 Nr. 103 a-c*) die verschiedenen langen Stücke gleicher Drahtsorte von derselben Drahtrolle abschneidet, damit nicht die verschiedene Beschaffenheit des Drahts die Unstimmigkeiten noch vermehrt. Die Drähte sind bifilar auf Holzrollen (Fig. 291) gewickelt, die zuvor mit Paraffin getränkt worden sind. Jede Rolle wird nach der Bewicklung in geschmolzenes Paraffin getaucht. Damit sich die Windungen nicht verschieben, klebe man zwei oder mehr Streifen Schutzband der Länge nach über die Spule. Die Enden der Drähte sind an zwei Kupferdrähte von 6 cm Länge und 0,2 cm Durchmesser gelötet und die Kupferdrähte mit Krammen oder Schrauben an der Spule befestigt. Die Kupferdrähte haben genau 4 cm Abstand, so daß man sie bequem in die Klemmen der WHEATSTONESchen Brücke einschieben kann. Ein Stück Draht ragt frei über die Lötstelle hinaus, so daß man jederzeit die Drahtdicke bequem messen kann. Jede Spulensorte hat eine Nummer, deren Indices die einzelnen Spulen bezeichnen. Ferner ist auf jeder Spule die Länge, der Durchmesser und der Stoff des Drahts angegeben. Die Spulenkasten sind der Länge nach durchbohrt und auf Stifte aufgesteckt, die in einem Grundbrett sitzen (Fig. 292).

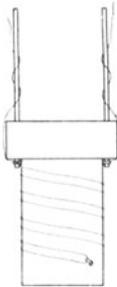


Fig. 291.

Will man die Spulen nicht der WHEATSTONESchen Brücke anpassen, so gebe man ihnen die in Fig. 253 (S. 341) abgebildete Gestalt. Man kann auch den ganzen Satz von 7 Manganindrähten oder eine Auswahl daraus und den in der folgenden Aufgabe benutzten Kupferdraht auf eine einzige lange Holzrolle wickeln und dieser die in Fig. 293 abgebildete Gestalt

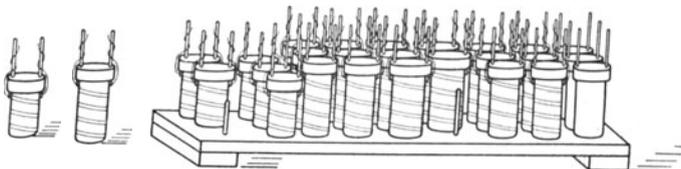


Fig. 292.

(Chicago High School Form) geben. Zwischen den Klemmen verzeichne man Stoff, Länge, Durchmesser und Widerstand jedes Drahts.

Verteilt man die Messungen auf verschiedene Übungen, so gebe man den Schülern stets dieselben DANIELLSchen Ketten, damit sie nahezu die gleichen Stromverhältnisse wieder herstellen können. Man muß eine unveränderliche Kette benutzen, also einen DANIELL oder einen Sammler. Verwendet man die 50 Windungen der Tangentenbussole und einen Sammler,

so werden die Nadelausschläge zu groß. Man kann diesen Übelstand auf mannigfache Weise beseitigen:

a) Man verkleinere den Ausschlag der Nadel durch einen Magnet, der während der ganzen Versuche dauernd an seinem Ort bleiben muß. Hierdurch wird die Umrechnungszahl geändert.

β) Man schließe den Sammler  $E$  (Fig. 294) durch einen Manganindraht  $P_1Q$  von 1 m Länge und 0,2 mm Durchmesser, setze etwa in der Mitte bei  $P_2$  eine VOLKMANNSCHE Klammer an und stelle so eine geringere Spannung her. Ist  $E$  die elektromotorische Kraft des Sammlers,  $R$  der

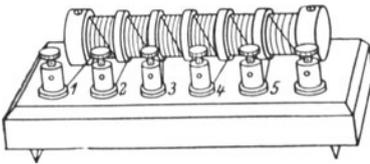


Fig. 293.

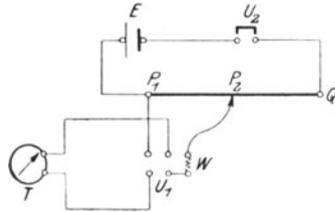


Fig. 294.

Gesamtwiderstand des Hauptstromkreises und  $z$  der Widerstand zwischen  $P_1$  und  $P_2$ , so ist die Spannung zwischen  $P_1$  und  $P_2$  gleich  $E \cdot z/R$ . (Vgl. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 404.)

γ) Man lege die Tangentenbussole in Nebenschluß.

δ) Das dauernde Einschalten eines Ballastwiderstandes in den Stromkreis empfiehlt sich hier nicht, da hierdurch der Fehler des Verfahrens erheblich vergrößert wird.

Statt der Tangentenbussole kann man auch den Stromprüfer von GRAY benutzen. Vgl. S. 344.

**21. Aufgabe.** *Wie groß ist der Widerstand einer Spule aus Kupferdraht von 20 m Länge und 0,25 mm Durchmesser? Wie groß ist der spezifische Widerstand des Kupfers?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<p><b>Geräte.</b> Daniell. Tangentenbussole. 2 Stromunterbrecher, davon einer mit Quecksilbernapfen. 1 Spule aus isoliertem Kupferdraht von 20 m Länge und 0,25 mm Durchmesser. 1 Widerstandsatz von 0,1</p>	<p>bis 5 Ohm oder von 1 bis 5 Ohm nebst Ohmdraht. (Vgl. S. 340.) Verbindungsklemmen. Kurze Leitungsschnüre oder Drähte von 0,9 mm Durchmesser. Leitungsschnur für Tangentenbussole. Quecksilber.</p>
--	--

**Anleitung.** a) Stelle einen Stromkreis her aus der DANIELLSchen Kette  $E$  (Fig. 295), den 50 Windungen der Tangentenbussole  $T$ , dem offenen Stromwender  $U_1$ , dem Widerstandsatz  $R$  und der Kupferdrahtspule  $W$ , schalte dabei die Kupferdrahtspule an die beiden Quecksilbernapfe des Unterbrechers  $U_2$ . Verbindet man diese beiden Napfe

durch einen Bügel aus 2 mm starkem Kupferdraht, so ist die Spule kurzgeschlossen, d. h. ausgeschaltet.

b) Schalte im Widerstandsatz alle Spulen aus und schließe den Strom. Lagere einen Magneten so, daß der Ausschlag der Bussolennadel  $\sim 45^\circ$  wird, klopfe gegen das Gehäuse und bestimme nach  $\sim 5$  Minuten den Ausschlag der Ostspitze des Zeigers genau nach Größe und Sinn. Öffne den Strom.

c) Schalte alle Spulen des Widerstandsatzes ein, lege bei  $U_2$  den Bügel ein und entferne so die Kupferdrahtspule aus dem Stromkreis. Schließe den Strom und schalte der Reihe nach, ähnlich wie beim Wägen, so viele Spulen aus, bis der Ausschlag der Ostspitze des Zeigers nach Größe und Richtung gleich dem Ausschlag bei dem Versuch (b) wird. Öffne den Strom.

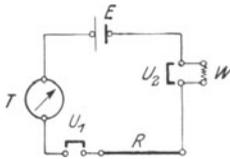


Fig. 295.

d) Gelingt es nicht, den Widerstand genau herzustellen, so bestimme die Zeigereinstellung für den nächst kleinern Widerstand  $R_1$  und für den nächst größern Widerstand  $R_2$ . Sind  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  die zugehörigen Nadelablenkungen und ist  $\alpha$  die Nadelablenkung für den Widerstand  $W$ , so ist, falls die Unterschiede klein sind,

$$\frac{W - R_1}{R_2 - R_1} = \frac{\alpha - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}$$

Berechne hieraus  $W$ . Bei Verwendung des Ohmdrahts fällt die Rechnung fort; man bestimmt  $R_1$  und stellt dann durch Verschiebung des Gleitstücks auf dem Ohmdraht die Ablenkung  $\alpha$  genau her.

e) Wiederhole den Versuch (b), doch schließe diesmal den Strom nur so lange, wie dies zur Ablesung von  $\alpha$  erforderlich ist. Hat sich  $\alpha$  geändert, so ist bei der Berechnung von  $W$  der Mittelwert aus den beiden Bestimmungen von  $\alpha$  zu benutzen.

f) Schreibe die Ergebnisse in folgender Form auf:

Tangentenbusssole Nr. . . . Kupferdrahtspule Nr. . . . Widerstandsatz Nr. . . .

	$W$	$R_1$ Ohm	$R_2$ Ohm	$W$
Eingeschalteter Widerstand . . . . .				
Ablenkung $\alpha$ nach Sinn und Größe . .				

g) Wie groß ist der Widerstand des Kupferdrahts von 20 m Länge und 0,25 mm Durchmesser? *Widerstandsbestimmung durch Vertauschen.*

h) Welchen Widerstand hätte der Draht, wenn er 1 m lang und sein Querschnitt 1 mm<sup>2</sup> wäre? Welchen Widerstand hat ein Kupfer-

stab von 1 cm Länge und 1 cm<sup>2</sup> Querschnitt? *Spezifischer Widerstand des Kupfers.* Vergleiche Aufg. 20 (n) und berechne das Verhältnis der spezifischen Widerstände von Manganin und Kupfer. *Gesetzliche Bestimmung des Ohm.*

i) Verfahre wie bei Aufg. 20 (o).

**Bemerkungen.** Man halte die Schüler an, die drei Messungen (b), (c), (d) und (e) rasch hintereinander auszuführen.

Statt der Tangentenbussole kann man einen Stromprüfer oder Strommesser verwenden, besonders geeignet ist auch der Stromprüfer von ARTHUR W. GRAY (vgl. S. 344).

Man muß eine unveränderliche Kette benutzen, also ein DANIELL oder einen Sammler. Die DANIELLSche Kette schließe man vor der ersten Messung etwa 5 Minuten lang mit der Kupferspule kurz.

Die Kupferdrahtspule ist genau so wie die Spulen in Aufgabe 20 ausgeführt.

Hat man eine POHLESche Wippe, so kann man die Auswechslung des Widerstandsatzes und der Kupferdrahtspule rasch und bequem nach nebenstehender Schaltung (Fig. 296) ausführen.

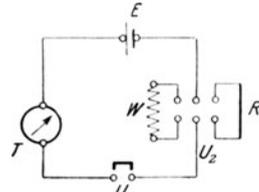


Fig. 296.

Über die Fehlerbestimmung vgl. BERNDT und BOLDT 2, 34 Nr. 11. Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 20.

**22. Aufgabe.** *Erfährt der elektrische Strom auch in der Kette einen Widerstand?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** E. H. HALL, *Descript. List* 79 Nr. 58.

<p><b>Geräte.</b> DANIELL, wie bei Aufgabe 4. Kupferblechstreifen (vgl. S. 357) oder 1 mm starker Kupferdraht von 15 cm Länge.</p> <p>Tangentenbussole.</p> <p>Stromwender.</p>	<p>Glasschale von 12 cm Höhe und 15 cm Weite.</p> <p>Leitungsschnur für die Tangentenbussole.</p> <p>Kurze Leitungsschnüre.</p> <p>Teller.</p> <p>Gesättigte Cuprisulfatlösung (vgl. S. 363).</p>
---	---

**Anleitung.** a) Fülle wie in Aufg. 4 (b) die Tonzelle mit verdünnter Schwefelsäure und laß sie sich mit der Flüssigkeit vollsaugen. Stelle sie dann und das etwas auseinander gebogene Kupferblech in die Glasschale und fülle diese mit der gesättigten Cuprisulfatlösung. Verbinde diese Kette mit dem offenen Stromwender und den vier Windungen der Tangentenbussole zu einem Stromkreis.

b) Rücke die Tonzelle an die Glaswand und nähere, so weit es geht, das Kupferblech und den

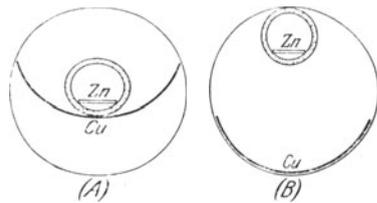


Fig. 297.

Zinkstreifen einander (Fig. 297 A). SchlieÙe den Strom und lies unter Wenden des Stroms die vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen ab. Öffne den Strom und berechne die wirkliche Ablenkung  $\alpha_1$  der Magnetnadel.

Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahl  $C_4 = \dots [A]$ . Daniell Nr. . . .

Versuch	Zeigerablesungen				Ablenkung $\alpha$	Stromstärke $J A$
	Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel		
	+					
	-					

e) Hebe das Kupferblech und den Zinkstreifen, ohne den Abstand beider Platten zu ändern, so weit empor, daß ihre untern Enden nur noch  $\sim 1$  cm in die Flüssigkeiten eintauchen. Halte sie in dieser Lage und laß den Mitarbeiter die vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen ablesen. Öffne den Strom und berechne die Ablenkung  $\alpha_2$  der Magnetnadel.

d) Ersetze das Kupferblech durch den dünnen Kupferstreifen oder durch einen Kupferdraht, führe damit den Versuch (b) aus und bezeichne die gemessene Ablenkung mit  $\alpha_3$ .

e) Frage den Lehrer, wie groß die Umrechnungszahl der Tangentenbussole ist. Schlage die Tangenten von  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  und  $\alpha_3$  auf und berechne die Stromstärken  $J_1$ ,  $J_2$  und  $J_3$ . Ändert sich die Stromstärke mit der Größe der Metallplattenteile, die in die Flüssigkeiten eintauchen? *Innerer Widerstand*. Wie hängt der innere Widerstand von der Größe der Platten ab?

f) Laß die Tonzelle in Berührung mit der Glaswand und rücke, so weit es geht, die Metallplatten auseinander (Fig. 292 B). SchlieÙe den Strom, lies die vier Stellungen der beiden Zeigerstellungen ab und unterbrich den Strom. Berechne die Ablenkung  $\alpha_4$  der Magnetnadel und die Stromstärke  $J_4$ . Vergleiche  $J_1$  mit  $J_4$ . Welchen Einfluß hat der Abstand der beiden Metallplatten auf die Stromstärke und also auf den innern Widerstand der Kette?

g) Nimm die Kette auseinander, reinige die Teile, spüle besonders die Tonzelle aus und wässere sie.

**Bemerkung.** Statt der Glasschale kann man auch den Trog des großen Flüssigkeitswiderstandes (S. 338) benutzen.

**23. Aufgabe.** *Wie hängt die Stromstärke einer unveränderlichen Stromquelle vom äußern Widerstand ab?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.	Tangentenbussole.	3 Sammler.
	Stromwender.	

**Geräte.** 100 Ohm oder 3 Spulen | Kurze dicke Leitungs-  
 von 50, 100 und 150 Ohm. | schnüre.  
 Leitungsschnur für die | Quecksilber.  
 Bussole. | Millimeterpapier.

**Anleitung.** a) Schalte die Sammler  $E$  (Fig. 298) hintereinander und in den äußern Stromkreis die 50 Windungen der Tangentenbussole  $T$ , den offenen Stromwender  $U$  und den Widerstandsatz  $R$ , bei dem alle Schrauben geöffnet sind. Schalte zunächst 50 Ohm ein, schließe den Strom und bestimme unter Benutzung des Stromwenders aus den vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen den Ablenkungswinkel.

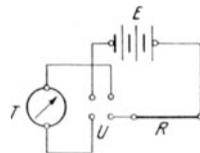


Fig. 298.

b) Bestimme ebenso die Ablenkungen, wenn die äußern Widerstände 100 und 150 Ohm eingeschaltet sind.

c) Berechne aus der Ablenkung der Nadel die Stromstärke  $J$ , aus dem eingeschalteten Widerstand  $R$  und dem des Galvanometers  $\gamma$  den gesamten äußern Widerstand  $W_a = R + \gamma$  und ferner das Produkt  $J W_a$ .

Trage die Messungen und Berechnungen in folgende Tafel ein:

Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahl der Bussole  $C_{50} = \dots$  [A].  
 Widerstand der Bussole  $\gamma_{50} = \dots$  [Ohm]. Widerstandsatz Nr. . . .

Eingeschalteter Widerstand $R$ Ohm	Gesamter äußerer Widerstand $W_a = (R + \gamma)$ [Ohm]	Zeigerablesungen				Ablenkung $\alpha$	$\text{tg } \alpha$	$J A$	$1/J$	$J W_a$
		Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel					
		+								
		-								

d) Stelle die Ergebnisse bildlich dar und nimm dabei  $W_a$  als Abszisse und  $1/J$  als Ordinate.

**Bemerkungen.** Man kann die Aufgaben 23 bis 26 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs zu gleicher Zeit von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

Bei einem Sammler benutze man die Widerstände 10, 20 und 30 Ohm, bei 2 Sammlern 20, 40 und 60 Ohm und bei 3 Sammlern auch 30, 60 und 90 Ohm.

**24. Aufgabe.** *Wie hängt die Stromstärke einer gleichbleibenden Stromquelle von dem innern Widerstand ab? Wie groß ist dieser innere Widerstand?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte. 3 Daniell. | Stromwender.  
 Tangentenbussole. | Leitungsschnüre für die  
 Widerstandsatz von 1 bis 100 Ohm. | Bussole.  
 | Kurze Leitungsschnüre.

Anleitung. a) Schalte alle drei Ketten  $E$  hintereinander und in den äußern Stromkreis die 50 Windungen der Tangentenbussole  $T$ , den geöffneten Stromwender  $U$  und den Widerstandsatz  $R$ , dessen sämtliche Spulen eingeschaltet sind (Fig. 298). Schließe den Strom und schalte so viel Widerstand ( $\sim 50$  Ohm) ein, daß die Ablenkung der Bussole  $\sim 45^\circ$  wird. Bestimme mit dem Stromwender aus den vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen die wahre Ablenkung der Magnetnadel.

b) Schalte erst einen kleinern ( $\sim 30$  Ohm) und dann einen größern Widerstand ( $\sim 70$  Ohm) ein und bestimme für jeden die wahre Ablenkung der Magnetnadel. Öffne den Strom.

c) Frage den Lehrer, wie groß die Umrechnungszahl  $C_{50}$  und der Widerstand  $\gamma_{50}$  der 50 Windungen der Tangentenbussole sind, und berechne aus dem eingeschalteten Widerstand  $R$  den gesamten äußern Widerstand  $W_a = R + \gamma_{50}$  und aus der Ablenkung der Magnetnadel die Stromstärke.

Trage die Messungen und Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahl der Bussole  $C_{50} = \dots$  [A].  
 Widerstand der Bussole  $\gamma_{50} = \dots$  [Ohm]. Widerstandsatz Nr. . . . Daniell Nr. . . .

Eingeschalteter Widerstand $R$ Ohm	Gesamter äußerer Widerstand $W_a = (R + \gamma)$ [Ohm]	Zeigerablesungen				Ablenkung $\alpha$	$\text{tg } \alpha$	$JA$	$1/J$	$JW_a$	$JW_i$	$E$
		Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel							

d) Wir wissen, daß die Stromstärke abnimmt, wenn der äußere Widerstand wächst. Bilde aus den zusammengehörigen Werten von  $W_a$  und  $J$  die drei Produkte  $W_a J$  und untersuche, ob sie gleich sind.

Es ist aber auch der innere Widerstand  $W_i$  zu berücksichtigen, also zu prüfen, ob vielleicht die Produkte  $J(W_i + W_a)$  einen festen Wert, sagen wir  $E$ , haben, ob also die Gleichung

$$E = J(W_i + W_a)$$

besteht. Berechne unter Benutzung von je zwei zusammengehörigen Wertepaaren  $J$  und  $W_a$  mit der angenommenen Gleichung die Größe

$W_i$  und mit dem Mittelwerte der erhaltenen  $W_i$  die Größen  $JW_i$  und  $E$ . Bestimme daraus den innern Widerstand eines DANIELL. Vergleiche den Wert von  $E$  mit der EMK eines DANIELL (vgl. Aufg. 6 S. 367). Welche physikalische Bedeutung hat die Größe  $E$ ?

e) Stelle die Ergebnisse der Messungen und Rechnungen bildlich dar und wähle dabei den gesamten äußern Widerstand  $W_a$  als Abszisse und  $1/J$  als Ordinate. Bezeichne beide Größen mit  $x$  und  $y$ . Es ist dann

$$Ey = x + W_i.$$

Für  $y = 0$  wird  $x = -W$ . Zieh durch je zwei Punkte der bildlichen Darstellung eine Gerade, bestimme deren Abschnitt auf der  $x$ -Achse, nimm aus den Abschnitten den Mittelwert und betrachte ihn als den wahren Wert des innern Widerstandes der drei Ketten. Bestimme daraus den innern Widerstand einer DANIELLSchen Kette. Vergleiche diesen Wert mit dem berechneten.

**Bemerkungen.** Statt der DANIELLSchen Säule kann man im Notfall auch Trocken- oder Gnomketten verwenden.

Bezeichnet man die drei äußern Widerstände, denen die Stromstärken  $J_1, J_2, J_3$  entsprechen, mit  $W_1, W_2, W_3$ , so ist die Bedingung dafür, daß die Gleichung  $E = J(W_a + W_i)$  besteht und die drei Geraden der bildlichen Darstellung zusammenfallen

$$J_1 J_2 (W_1 - W_2) + J_2 J_3 (W_2 - W_3) + J_3 J_1 (W_3 - W_1) = 0$$

oder

$$\begin{vmatrix} J_1^{-1} & W_1 & 1 \\ J_2^{-1} & W_2 & 1 \\ J_3^{-1} & W_3 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

Man kann die Aufgaben 23 bis 26 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs zu gleicher Zeit von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

Benutzt man nur zwei DANIELL, so schaltet man bei Versuch (a) 30 Ohm ein.

**25. Aufgabe.** Welche physikalische Bedeutung hat das stets gleiche Produkt  $J(W_i + W_a)$ ?

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Spannungsmesser (0 bis 3 V). Ausschalter.  
Strommesser (0 bis 3 A). Widerstandsatz oder Spulen von 1 und 5 Ohm.  
Sammler. Kurze Verbindungsschnüre.  
Gnomkette.  
Trockenkette.

**Anleitung.** a) Verbinde der Reihe nach die Pole jeder Kette mit dem Spannungsmesser und bestimme die elektromotorische Kraft einer jeden.

b) Schalte der Reihe nach jede Kette  $E$  (Fig. 299) mit dem Strommesser  $A$ , dem Ausschalter  $U$  und dem Widerstandsatz  $R$  in einen Stromkreis, verbinde dabei den negativen Pol der

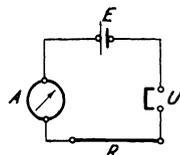


Fig. 299.

Kette mit der negativen Klemme des Strommessers. Schalte erst 1, dann 5 Ohm Widerstand ein und lies jedesmal rasch die Stromstärke am Strommesser ab.

e) Schreibe die Beobachtungen auf folgende Art auf:

Spannungsmesser Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Widerstand des Strommessers  $\gamma = \dots$  [Ohm].

Kette	Sammler Nr. . . .		Gnomkette Nr. . . .		Trockenkette Nr. . . .	
Elektromotorische Kraft $E$ V						
Stromstärke $J$ A						
Eingeschalteter Widerstand $R$ Ohm	1	5	1	5	1	5
Gesamter äußerer Widerstand $W_a = (R + \gamma)$ [Ohm]						
Innerer Widerstand $W_i$ Ohm						
$J (W_i + W_a)$						

d) Die Aufgabe 24 hat gezeigt, daß für dieselbe Kette  $J (W_i + W_a)$  einen festen Wert  $E$  hat. Schalten wir also in den Stromkreis einer Kette nacheinander die äußern Widerstände  $W_1$  und  $W_2$  ein und erhalten wir dabei die Stromstärken  $J_1$  und  $J_2$ , so können wir  $W_i$  bestimmen. Wie lautet die Formel dafür?

e) Berechne nach der Formel

$$W_i = - \frac{J_1 W_1 - J_2 W_2}{J_1 - J_2}$$

die innern Widerstände der drei Ketten und für alle sechs Messungen die Werte von  $J (W_i + W_a)$ . Vergleiche diese Größen mit den gemessenen elektromotorischen Kräften. Welche physikalische Bedeutung hat also das Produkt  $J (W_i + W_a)$ ? *Allgemeines Ohmsches Gesetz. Gesetzliche Bestimmung des Volt.* Warum weichen bei der Gnom- und der Trockenkette die Ergebnisse etwas vom Gesetz ab? *Polarisation* (vgl. S. 359). Aus  $E = J (W_i + W_a)$  folgt  $E - J W_i = J W_a = P$ . *Klemmenspannung.*

**Bemerkungen.** Diese Prüfung des Ohmschen Gesetzes ist nicht einwandfrei, da ja die Messung der elektromotorischen Kraft mit dem Spannungsmesser die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes voraussetzt.

Man kann die Aufgaben 23 bis 26 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs zu gleicher Zeit von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.



f) Schaffe aus den beiden Gleichungen den innern Widerstand fort und berechne mit der erhaltenen Formel

$$E = - \frac{J_1 J_2 (R_1 - R_2)}{J_1 - J_2}$$

die elektromotorische Kraft der Kette.

**Bemerkungen.** Im Notfall verwende man auch eine Trocken- oder Gnomkette, obwohl dann die Voraussetzungen des Verfahrens nicht mehr genau erfüllt werden. Statt der Tangentenbussole kann man einen Strommesser benutzen und dabei etwa, falls der Widerstandsatz es verträgt,  $J_1 = 1/2$  [A] und  $J_2 = 1/4$  [A] nehmen. Die Umrechnungszahl der Bussole braucht man eigentlich nicht zu wissen, da sie bei den Rechnungen herausfällt. Im Hinblick auf die Aufgabe 33 empfiehlt es sich, den Widerstand zweier DANIELLSchen Ketten sowohl bei Reihen- als auch bei Nebeneinanderschaltung zu messen.

Man kann die Aufgaben 23 bis 26 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs zu gleicher Zeit von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

**27. Aufgabe.** *Wie hängt bei gleichbleibendem Gesamtwiderstande die Stromstärke von der elektromotorischen Kraft der Stromquelle ab?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<p>Geräte. 3 Sammler. Tangentenbussole. Stromwender. Widerstandsatz.</p>	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>Leitungsschnur für die</td></tr> <tr><td>Bussole.</td></tr> <tr><td>Leitungsschnüre.</td></tr> <tr><td>Quecksilber.</td></tr> <tr><td>Millimeterpapier.</td></tr> </table>	Leitungsschnur für die	Bussole.	Leitungsschnüre.	Quecksilber.	Millimeterpapier.
Leitungsschnur für die						
Bussole.						
Leitungsschnüre.						
Quecksilber.						
Millimeterpapier.						

**Anleitung.** a) Schalte die 3 Sammler  $E$  (Fig. 298 S. 401) hintereinander und bilde einen Stromkreis aus den 500 Windungen der Tangentenbussole, dem offenen Stromwender und dem Widerstandsatz. Schließe den Strom und schalte zunächst  $\sim 150$  Ohm und, wenn nötig, noch mehr Widerstand ein, bis der Ausschlag des Bussolenzeigers nur noch  $\sim 60^\circ$  beträgt. Bestimme unter Wenden des Stroms die vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen und berechne daraus die genaue Ablenkung der Nadel. Schreibe den Winkel  $\alpha$  und die Anzahl der Ketten auf.

b) Wiederhole die Messung, ohne den Widerstand zu ändern, mit zwei und dann mit einem Sammler und schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Tangentenbussole Nr. . . .  
 Umrechnungszahl  $C_{500} = \dots$  [A].  
 Widerstand der Bussole  $\gamma_{500} = \dots$  [Ohm].  
 Widerstandsatz Nr. . . .  
 Eingeschalteter Widerstand  $R = \dots$  [Ohm].  
 Gesamter äußerer Widerstand  $W_a = R + \gamma_{500} = \dots$  [Ohm].

Anzahl der Sammler $N$	Zeigerablesungen				Ablenkung $\alpha$	$\text{tg } \alpha$	$J A$	$E = JW_a$ [V]	$E/N$
	Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel					
	+								
	-								

c) Es ist

$$E = J(W_i + W_a) = JW_a \left( \frac{W_i}{W_a} + 1 \right).$$

Der innere Widerstand eines Sammlers ist sehr klein. Wie groß ist  $W_a$  und was für einen Wert hat also  $W_i/W_a$ ? Berechne  $E$  aus  $J$  und  $W_a$ . *Spannungsmesser*. Wie ändert sich die elektromotorische Kraft mit der Anzahl der Zellen? Wie groß ist die elektromotorische Kraft eines Sammlers?

d) Stelle die Ergebnisse bildlich dar und wähle  $E$  als Abszisse und  $J$  als Ordinate.

**Bemerkungen.** Bei den hohen äußern Widerständen kann man auch statt der Sammler Trocken- oder Gnomketten verwenden.

Die Aufgaben 27 bis 29 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

**28. Aufgabe.** *Vergleiche die elektromotorischen Kräfte zweier Ketten nach dem Verfahren der gleichen Ablenkung.*

(2 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

<b>Geräte.</b>	Tangentenbussole.	Schalter.
	Daniell.	Leitungsschnur für die
	Sammler.	Bussole.
	Widerstandsatz.	Leitungsschnüre.

**Anleitung.** a) SchlieÙe fünf Minuten lang die DANIELLSche Kette mit einem großen Widerstand kurz. Stelle die Tangentenbussole richtig auf und bilde einen Stromkreis aus ihren 500 Windungen, dem offenen Stromwender, der DANIELLSchen Kette und dem Widerstandsatz. Schalte so viel Widerstand ein, daß die Ostspitze des Bussolenzeigers um  $40^\circ$  bis  $50^\circ$  im positiven Sinn abgelenkt wird. Schreibe die Ablenkung genau nach Sinn und Größe auf.

b) Ersetze die DANIELLSche Kette durch einen Sammler und ändere den Widerstand so, daß die Ablenkung der Ostspitze der Bussolennadel nach Sinn und Größe genau so groß wie vorher wird.

Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Tangentenbusssole Nr. . . . Bussolenwiderstand  $\gamma_{500} = \dots$  [Ohm]. Daniell  
 Nr. . . . Sammler Nr. . . . Widerstandsatz Nr. . . . Ablenkung der Nadel  
 $\alpha = + \dots^\circ$ .

Kette	Eingeschalteter Widerstand $R$ Ohm	Gesamter äußerer Widerstand $W_a = (R + \gamma)$ [Ohm]	$E_1/E_2$
Daniell			
Sammler			

c) Bezeichnen  $R$  den eingeschalteten Widerstand,  $\gamma$  den Bussolenwiderstand,  $E_1$  und  $E_2$  die elektromotorischen Kräfte und  $J$  die Stromstärke, so ist

$$E_1 = J(W_i + R_1 + \gamma)$$

$$E_2 = J(W_i + R_2 + \gamma)$$

und, da man  $W_i$  gegen die übrigen Widerstände vernachlässigen darf,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1 + \gamma}{R_2 + \gamma}.$$

Berechne nach dieser Formel das Verhältnis der elektromotorischen Kräfte.

**Bemerkung.** Die Aufgaben 27 bis 29 kann man gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen lassen.

**29. Aufgabe.** *Wie muß man gleichzeitig die elektromotorische Kraft und den Widerstand ändern, um eine gleichbleibende Stromstärke zu erzielen?*

(2 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

<b>Geräte.</b> 3 Sammler (Trocken- oder Gnomketten). Tangentenbusssole. Schalter. Spannungsmesser (bis 7 Volt).	Widerstandsatz. Leitungsschnur für die Bussole. Leitungsschnüre.
--	--

**Anleitung.** a) Miß mit dem Spannungsmesser die Spannung der hintereinander geschalteten Sammler. Bilde einen Stromkreis aus den Sammlern, den 500 Windungen der Tangentenbusssole, dem offenen Unterbrecher und dem Widerstandsatz. Schließe den Strom und schalte so viel Widerstand ein, daß der positive Ausschlag  $\alpha$  der Ostspitze der Nadel  $\sim 45^\circ$  wird, und bestimme  $\alpha$  genau.

b) Wiederhole den Versuch mit zwei und dann mit einem Sammler und schalte jedesmal so viel Widerstand ein, daß die Ostspitze der Nadel genau über derselben Stelle der Teilung einspielt.

c) Schreibe die Ergebnisse auf folgende Weise auf:

Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahl  $C_{500} = \dots$  [A]. Widerstand der Bussole  $\gamma_{500} = \dots$  [Ohm]. Spannungsmesser Nr. . . . Widerstandsatz Nr. . . .

Ablenkung der Ostspitze  $\alpha = + \dots^\circ$ .

Stromstärke  $J = C_{500} \operatorname{tg} \alpha = \dots$  [A].

Anzahl der Ketten $N$	Spannung $E$ V	Eingeschalteter Widerstand $R$ Ohm	Gesamter äußerer Widerstand $W_a = (R + \gamma)$ [Ohm]	$E/W_a$ [V/Ohm]
Mittel . . . . [V/Ohm]				

d) Der innere Widerstand der Sammler ist gegen  $W_a$  zu vernachlässigen. Welcher Zusammenhang besteht zwischen  $E$  und  $W_a$ ? Vergleiche den Mittelwert von  $E/W_a$  mit der Stärke des Stroms. Welche physikalische Bedeutung hat  $E/W_a$ ?

**Bemerkungen.** Man kann die Aufgaben 27 bis 29 gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen lassen. Statt der Bussole kann man einen Strommesser verwenden.

**30. Aufgabe.** Welche Schaltung der Ketten liefert bei gegebenem äußerem Widerstande den stärksten Strom?

(1 Schüler, 1 (2) Stunde.)

<p><b>Geräte.</b> 2 gleiche Daniell. Tangentenbussole. Stromwender. Spannungsmesser. Widerstandsatz bis 20 Ohm.</p>	<p>Leitungsschnur für die Bussole. Kurze Leitungsschnüre. Quecksilber.</p>
---	--

**Anleitung.** a) Miß nach Aufgabe 26 den innern Widerstand und die elektromotorische Kraft jeder einzelnen Kette und dann beider Ketten, wenn sie hintereinander, und wenn sie nebeneinander geschaltet sind, und vergleiche die Ergebnisse der Messungen mit den Berechnungen.

b) Miß mit dem Spannungsmesser die elektromotorische Kraft jeder einzelnen Kette und dann beider Ketten sowohl bei Hintereinander-, als auch bei Nebeneinanderschaltung.

c) Schalte die beiden Ketten  $E$  (Fig. 196 A) nebeneinander, d. h. verbinde Zink mit Zink und Kupfer mit Kupfer, und stelle aus dieser Verbindung, den vier Windungen der Tangentenbussole  $T$  nebst geöffnetem Stromwender  $U$  (oder dem Strommesser) und dem Widerstandsatz  $R$  einen Stromkreis her.

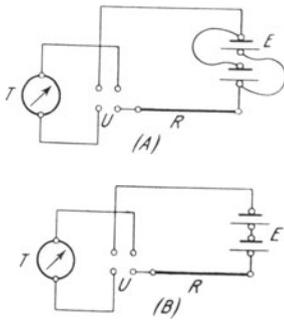


Fig. 301.

d) Schalte zunächst keine Spule des Widerstandsatzes ein und bestimme unter Wendung des Stroms aus den vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen die wahre Ablenkung der Nadel.

e) Schalte  $\sim 5$  Ohm ein und bestimme wiederum die Ablenkung der Bussolelnadel.

f) Schalte beide Ketten hintereinander (Fig. 301 B) und wiederhole die Versuche (d) und (e).

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahlen  $C_{50} = \dots [A]$ ,  $C_4 = \dots [A]$ .  
 Bussolenwiderstände  $\gamma_{50} = \dots [Ohm]$ ,  $\gamma_4 = \dots [Ohm]$ . Spannungsmesser Nr. . . .  
 Strommesser Nr. . . . Widerstandsatz Nr. . . . Anzahl der Ketten  $N = \dots$

Kette	$E$ V	$W_t$ [Ohm]
Nr. . . .		
Nr. . . .		

Schaltung	nebeneinander	hintereinander
Eingeschalteter Widerstand $R$ Ohm		
$W_a = R + \gamma$		
Zeigerablesungen	Sinn	
	Ostspitze	
	Westspitze	
	Mittel	
$\alpha$		
$tg \alpha$		
$J A$	beobachtet	
	berechnet	
Klemmenspannung $P = J W_a$		

- h) Welche Schaltung liefert den geringsten innern Widerstand?  
 i) Wie wirkt die Schaltung auf die Spannung ein?  
 k) Welche Schaltung liefert bei geringem und welche bei großem äußerem Widerstande den stärksten Strom?  
 l) Es bezeichne  $Z$  die Anzahl der Ketten,  $J_n$  die Stromstärke bei der Nebeneinanderschaltung und  $J_h$  die Stromstärke bei der Hintereinanderschaltung. Berechne aus den Mittelwerten von  $E$  und  $W_i$  mit den Formeln

$$E = J_n \left( \frac{W_i}{Z} + W_a \right) \quad \text{und} \quad ZE = J_h (Z W_i + W_a)$$

die Stromstärken  $J_n$  und  $J_h$  und vergleiche sie mit den Ergebnissen der Messungen.

- m) Berechne mit den Formeln

$$E - J_n \frac{W_i}{Z} = J_n W_a \quad \text{und} \quad Z (E - J_h W_i) = J_h W_a$$

die Klemmenspannungen.

**Bemerkungen.** Hat man keinen Spannungsmesser, so kann man die elektromotorischen Kräfte der Ketten und ihrer Verbindungen miteinander vergleichen, indem man die Ketten mit den 500 Windungen der Tangentenbussole verbindet, die Ablenkungen bestimmt und deren Tangenten aufschlägt. Bei der Strommessung kann man statt der Bussole einen Stromzeiger verwenden.

**31. Aufgabe.** *Wie hängt die Spannung zwischen zwei Punkten eines Drahts von der Stärke des Stroms ab, der durch den Draht fließt?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<p><b>Geräte.</b> Gefälldraht.                  3 Gleitschneiden.                  Tangentenbussole oder                  Strommesser.                  Spannungsmesser (bis 1 V).                  Sammler.</p>	<table border="0"> <tr><td style="border-right: 1px solid black; padding-right: 5px;">Stromwender.</td></tr> <tr><td style="border-right: 1px solid black; padding-right: 5px;">Leitungsschnur für die</td></tr> <tr><td style="border-right: 1px solid black; padding-right: 5px;">Bussole.</td></tr> <tr><td style="border-right: 1px solid black; padding-right: 5px;">Leitungsschnüre.</td></tr> <tr><td style="border-right: 1px solid black; padding-right: 5px;">Millimeterpapier.</td></tr> <tr><td style="border-right: 1px solid black; padding-right: 5px;">Schmirgelpapier.</td></tr> </table>	Stromwender.	Leitungsschnur für die	Bussole.	Leitungsschnüre.	Millimeterpapier.	Schmirgelpapier.
Stromwender.							
Leitungsschnur für die							
Bussole.							
Leitungsschnüre.							
Millimeterpapier.							
Schmirgelpapier.							

**Anleitung.** a) Schalte einen Sammler  $E$  (Fig. 302) in Reihe mit einem geöffneten Stromwender  $U$ , den vier Windungen der Tangentenbussole  $T$  oder einem Strommesser und einem Meter des Gefälldrahts  $MN$  (Fig. 303). Prüfe, ob alle Verbindungen gut sind. Reinige die beweglichen Gleitschneiden, setze sie bei  $P$  und  $Q$  in 20 cm Abstand auf den Gefälldraht und verbinde sie mit den Klemmen des Spannungsmessers. Sieh nach, ob die Zeiger frei schwingen und auf Null stehen, wenn der Strom unterbrochen ist, der durch das Meßwerkzeug fließt.

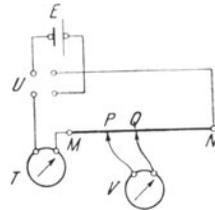


Fig. 302.

b) SchlieÙe den Strom bei  $U$ , lies die Ablenkung erst bei  $V$ , darauf bei  $T$  und dann wieder bei  $V$  ab und schätze dabei die Zehntel der kleinsten Teilungen. Wende den Strom und wiederhole die Ablesungen. Unterbrich den Strom.

c) Laß die Schneiden auf denselben Stellen  $P$  und  $Q$  stehen, schalte mit einer dritten Gleitschneide längere oder kürzere Draht-

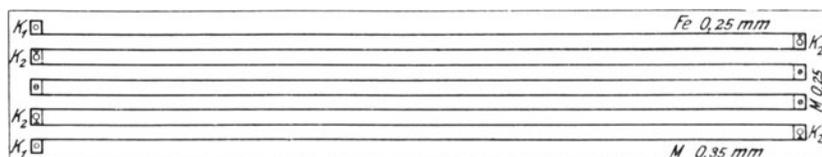


Fig. 303.

stücke  $MN$  des Gefälldrahts ein und ändere so die Stärke (0,15 bis 0,25 A) des Stroms, der durch das Drahtstück  $PQ$  fließt. Mache am Spannungsmesser und der Bussole die Ablesungen genau so wie vorher.

d) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Gefälldraht Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahl der Bussole  $C_4 = \dots$  [A]. Spannungsmesser Nr. . . .  $PQ = \dots$  cm.

Ver- such	Strom- richtung	Spannung		Bussolenablesungen			$\alpha$	$\text{tg } \alpha$	J A	P/J
		P V	Mittel	Ost- spitze	West spitze	Mittel				
	+									
	-									

e) Vergleiche die Werte von  $P/J$  miteinander. Welche Beziehung besteht zwischen der Stärke des Stroms, der durch das Drahtstück  $PQ$  fließt, und der Spannung zwischen den beiden Enden  $P$  und  $Q$ ? Welche physikalische Größe wird durch  $P/J$  gemessen? Stelle die Ergebnisse bildlich dar und wähle dabei die Stromstärke  $J$  als Abszisse und die Spannung  $P$  als Ordinate.

**Bemerkungen.** Hat man nur zwei Schneiden, so lasse man  $P$  und  $M$  zusammenfallen und regle die Stromstärke durch Verschieben der zweiten Schneide, die die Rolle von  $N$  übernimmt.

Wenn die Spannungs- und Strommesser nur nach einer Seite ausschlagen, muß man den Strommesser  $A$  (Fig. 304) so schalten, daß nur im Gefälldrahte der Strom gewendet wird, und in den Stromkreis des Spannungsmessers  $V$  entweder einen zweiten Stromwender einschalten oder vor dem Wenden die Drähte am Spannungsmesser vertauschen.

Man kann den Spannungsmesser auch durch ein Drehspulengalvanometer mit Spiegelablesung ersetzen, dessen Widerstand sehr groß ist. Hat

die Drehspule einen geringen Widerstand, so schalte man ein oder mehrere Tausend Ohm vor (Fig. 305). Vgl. S. 343. Wenn nötig, lege man in den Stromkreis des Sammlers einen Ballastwiderstand; die Stromstärke muß so groß sein, daß die Ablenkung noch auf der Skala ablesbar ist, wenn man das Drahtstück  $PQ$  einschaltet.

Der Gefälldracht. Auf einem Brett ( $108\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ ) sind in je  $2\text{ cm}$  Abstand ein Manganindraht von  $1\text{ m}$  Länge und  $0,35\text{ mm}$  Durchmesser, ein Manganindraht von  $6\text{ m}$  Länge und  $0,25\text{ mm}$  Durchmesser und ein Eisendraht von  $1\text{ m}$  Länge und  $0,25\text{ mm}$  Durchmesser ausgespannt. Die Drähte sind an rechteckige Kupferscheiben ( $2\text{ cm} \times 1,4\text{ cm}$ )

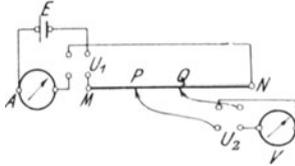


Fig. 304.

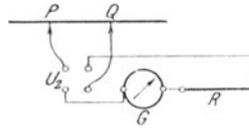


Fig. 305.

angelötet und so geführt, wie es Fig. 303 angibt. An den Lötstellen ragen freie Enden der Drähte heraus, damit man ihre Stärken messen kann. Die Dicken und die Stoffe der Drähte sind auf dem Brett angegeben.  $K_1$  sind Klemmen mit einer und  $K_2$  Klemmen mit zwei Durchbohrungen. Zur Abzweigung und gegebenenfalls zur Stromzufuhr dienen zwei oder drei Gleitschneiden (Fig. 306). Diese bestehen aus einem Bleiklotz ( $3\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ ), der auf der Unterseite abgeschragt und mit einer Mittelrinne versehen ist. Der Bleiklotz ist, mit Ausnahme der Hinterfläche, mit Siegellack überzogen. Auf seiner Vorderseite und teilweise auf der Oberseite ist ein rechtwinklig umgebogenes Messingblech befestigt, das unten in eine  $2,9\text{ cm}$  lange Schneide ausläuft und oben eine Verbindungs-

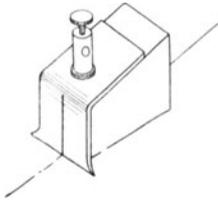


Fig. 306.

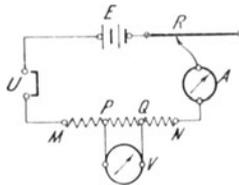


Fig. 307.

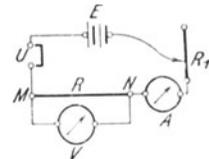


Fig. 308.

klemme trägt. Auf der Vorderseite des Messingblechs und auf der Hinterseite des Bleiklotzes ist in der Mitte ein lotrechter Strich eingeritzt, der ein scharfes Einstellen der Schneide gestattet.

Statt des Gefälldrachts kann man auch den Draht der WHEATSTONEschen Brücke und zugleich einen veränderlichen Widerstand ( $1\text{ m}$  Manganindraht von  $0,2\text{ mm}$  Durchmesser) in dem Stromkreis des Sammlers verwenden.

Statt der Längen des Gefälldrachts kann man auch die Widerstandspulen nehmen, die bei den Aufgaben 20 und 21 benutzt wurden (Fig. 307) oder auch Widerstandsätze (Fig. 308), doch müssen diese Widerstände und die Empfindlichkeiten der benutzten Spannungs- und Strommesser aneinander angepaßt sein.

Man kann auch 2 Sammler oder 2 bis 3 DANIELLSche Ketten einschalten und so den Spannungsabfall ändern.

Man lasse die Aufgaben 31 bis 34 nach dem Verfahren des allseitigen Angriffs gleichzeitig von verschiedenen Gruppen ausführen.

**32. Aufgabe.** *Wie hängt der Widerstand eines Drahts von gleichförmigem Querschnitt von der Länge ab?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 31.

**Anleitung.** a) Mache die Schaltung wie bei Aufgabe 31.

b) Stelle auf den Draht  $MN$  (Fig. 302) in 10 cm Abstand von  $M$  die Schneide  $P$  und laß sie während der Versuche dauernd dort stehen. Setze die Schneide  $Q$  in 20 cm Abstand von  $M$  auf den Draht. Schließe den Strom, halte ihn während der ganzen Versuchsreihe geschlossen und mit der dritten Schneide oder einem Stromschwächer stets auf der gleichen Stärke (0,15—0,25 A).

c) Warte eine bis zwei Minuten, bis die Drähte, die der Strom erwärmt, eine feste Wärmestufe erreicht haben. Lies wie bei Aufgabe 31 (b) die Ablenkung der Bussolennadel und den Ausschlag des Spannungsmessers ab.

d) Bewege die zweite Schneide in Stufen von je 10 cm nach rechts bis zum Abstand 80 cm von  $M$  und dann wieder in gleichen Schritten rückwärts. Lies bei jeder Stellung der Schneide den Spannungsmesser ab. Bestimme nochmals die Ablenkung der Bussolennadel und öffne dann den Strom.

e) Schreibe die Ergebnisse der Messungen in folgender Weise auf:

Tangentenbusssole Nr. . . . Umrechnungszahl der Bussole  $C_4 = \dots$  [A].  
 Spannungsmesser Nr. . . . Gefälldraht Nr. . . .  
 Zeitpunkt der ersten Ablesung . . .<sup>h</sup> . . .<sup>m</sup> . . .<sup>s</sup> Stromstärke  $J = \dots$  [A].  
 Zeitpunkt der letzten Ablesung . . .<sup>h</sup> . . .<sup>m</sup> . . .<sup>s</sup> Stromstärke  $J = \dots$  [A].

$MP$ cm	$MQ$ cm	$PQ$ l cm	Spannung $P$			Änderung der Spannung	$P/l$
			vor- wärts	rück- wärts	Mittel		

Die 7. Spalte mit dem Kopf „Änderung der Spannung“ enthält die Unterschiede von je zwei aufeinanderfolgenden Zahlen der voranstehenden Spalten, d. h. den Spannungsabfall für je 10 cm des Drahts.

f) Wende den Strom, schalte, wenn nötig, den Spannungsmesser (und den Strommesser) um, wiederhole alle Beobachtungen und trage sie in eine zweite Tafel ein.

g) Stelle die Ergebnisse bildlich dar, wähle dabei die Länge  $l$  als Abszisse und die Spannung  $P$  als Ordinate.

h) Welche Beziehungen bestehen zwischen dem Strom, der durch den Spannungsmesser fließt, und der Länge des Drahtstücks

$PQ$ , ferner zwischen dieser Länge und dem Widerstand von  $PQ$ , also zwischen jenem Strom und diesem Widerstand? Jener Strom hängt von der Spannung zwischen  $P$  und  $Q$  ab. Welche Beziehung besteht also zwischen dem Spannungsabfall und dem Widerstand von  $P$  bis  $Q$ ?

**Bemerkung.** Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 31.

**33. Aufgabe.** *Wie hängt der Widerstand eines gleichförmigen Drahts vom Querschnitt ab?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 31, ferner Drahtlehre.

**Anleitung.** a) Stelle wie bei Aufgabe 31 den Stromkreis her, doch schalte beim Gefälldraht 1 m Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser ein und davor noch den Meter Manganindraht von 0,35 mm Dicke.

b) Stelle auf den Draht von 0,25 mm Durchmesser die Schneiden  $P$  und  $Q$  in 10 cm Abstand und verfare wie bei Aufg. 32 (b) und (c). Lies den Ausschlag des Spannungsmessers und die Ablenkung der Bussolennadel ab. Wende den Strom und wiederhole die Messungen.

c) Stelle nun die beiden Schneiden in 10 cm Abstand auf das Stück des Gefälldrahts, das 0,35 mm Durchmesser hat, und wiederhole die Messungen.

d) Miß genau die Dicke jedes Drahts mitten zwischen den Stellen, auf denen die beiden Schneiden saßen, und trage die Durchmesser und die Querschnitte der Drähte in die folgende Tafel ein:

Tangentenbusssole Nr. . . . Umrechnungszahl der Bussole  $C_4 = \dots$  [A].  
Spannungsmesser Nr. . . . Gefälldraht Nr. . . .

Ablenkung der Bussolennadel  $\left\{ \begin{array}{l} + \dots \\ - \dots \end{array} \right\} \dots J = \dots$  [A].

Stoff des Drahts . . .

Ablesung $P$ am Spannungsmesser			Durchmesser des Drahts $d$ mm	Querschnitt des Drahts $q$ mm <sup>2</sup>	$Pq$
Sinn	Ausschlag	Mittel			
+					
-					

e) Wie verhalten sich die Spannungen zu den Querschnitten, die Spannungen zu den Widerständen und also die Widerstände zu den Querschnitten?

**Bemerkung.** Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 31.

**34. Aufgabe.** *Wie verhält sich der spezifische Widerstand des Eisens zu dem des Manganins?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 31, dazu Drahtlehre.

**Anleitung.** a) Stelle wie bei Aufgabe 31 den Stromkreis her, doch schalte beim Gefälldraht 1 m Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser ein und dahinter das Meter Eisendraht von 0,25 mm Durchmesser.

b) Stelle die beiden Schneiden in 80 cm Abstand auf das Eisenstück des Gefälldrahts und verfähre wie bei Aufg. 32 (b) und (c). Lies den Strom- und den Spannungsmesser ab. Wende den Strom und miß von neuem.

c) Setze die Schneiden in 20 cm Abstand auf den Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser und lies den Spannungsmesser ab. Lies auch den Strommesser ab, um festzustellen, ob sich der Strom nicht geändert hat. Wende den Strom und wiederhole die Messungen.

d) Miß die Durchmesser der Drähte mitten zwischen den Schneiden. Berechne aus den Längen  $PQ$  (Fig. 302, S. 411) die Spannung zwischen zwei Stellen jedes Drahts, die 1 m voneinander abstehen, und ferner die Spannung, wenn der Querschnitt  $1 \text{ mm}^2$  ist. Diese Spannungen verhalten sich wie die spezifischen Widerstände der Drähte.

e) Schreibe die Messungen und Rechnungen auf folgende Weise auf:

Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahl der Bussole  $C_d = \dots [A]$ .  
Spannungsmesser Nr. . . . Gefälldraht Nr. . . . Stromstärke  $J$  beim Beginn . . . A und am Schluß . . . A.

Stoff des Drahts	Länge $PQ$ $l$ cm	Spannungsabfall $P$			Drahtdicke $d$ mm	Querschnitt $q$ mm <sup>2</sup>	$P/l$	$\frac{Pq}{l}$
		Sinn	Ausschlag	Mittel				
Eisen		+						
		-						
Manganin		+						
		-						

**35. Aufgabe.** *Wie verhalten sich bei einem verzweigten Strom die Stärken der Zweigströme zu den Widerständen der Stromzweige?*

### 1. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** 2 Daniell oder 1 bis 2 | 2 Spulen, die eine von  $\sim 5$ ,  
Sammler. | die andere von  $\sim 10$  Ohm.

**Geräte.** Tangentenbussole. | Leitungsschnur der Tangentenbussole.  
 Stromwender. | Kurze Leitungsschnüre.  
 Klemmen mit 3 Durchbohrungen. | Quecksilber.

**Anleitung.** a) SchlieÙe fünf Minuten lang die DANIELL (nicht aber die Sammler) kurz.

b) Stelle nach dem Schaltbilde (Fig. 309) den Stromkreis her. Verbinde die Klemmen *K* und *L* der Widerstandspulen  $R_1$  und  $R_2$  mit der Klemme 1 des Stromwenders *U* und die beiden andern Spulenklemmen *M* und *N* mit den vier Windungen der Tangentenbussole *T*. Verbinde ferner die Klemmen 3 und 4 des Wenders *U* mit den Polen der Batterie und die Klemme 2 des Wenders mit einem Draht, dessen freies Ende mit *Q* bezeichnet ist.

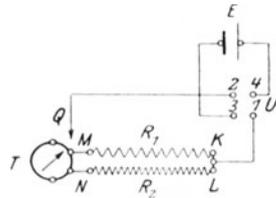


Fig. 309.

c) Verbinde das freie Ende *Q* des Drahts mit der Klemme *N* und schlieÙe den Strom. In welchem Stromzweig ist nun die Bussole eingeschaltet? Lies unter Wenden des Stroms die vier Stellungen der beiden Zeigerspitzen ab, öffne den Strom und berechne daraus die Ablenkungen  $\alpha_1'$  der Bussolennadel.

d) Verbinde nun *Q* mit der Klemme *M* und bestimme die Ablenkung  $\alpha_2$  der Bussolennadel.

e) Wiederhole die Messung (c) und bezeichne die Ablenkung der Bussolennadel mit  $\alpha_1''$ . Öffne den Strom. Berechne aus  $\alpha_1'$  und  $\alpha_1''$  den Mittelwert  $\alpha_1$ .

f) Schreibe die Ergebnisse der Messungen in folgender Weise auf:

Spule Nr. . . . und Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahl der Bussole  $C_4 = \dots$  [A]. Widerstand der Bussole  $\gamma_4 = \dots$  [Ohm].

Widerstand der Spule $R$ Ohm	Widerstand des Stromzweiges $W = R + \gamma$	Zeigerablesungen				$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\text{tg } \alpha$	Stromstärke der Zweige $J A$	$JW$
		Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel					
		+								
		-								

g) Wie verhalten sich die Widerstände ( $W_2/W_1$ ) und wie die Stromstärken ( $J_1/J_2$ ) der Zweige zueinander? Unterscheide die Stromrichtungen in den beiden Zweigen der Stromschleife durch das Vorzeichen der Stromstärken. Wie groß ist die Summe der beiden Produkte  $JW$ ? Welche physikalische Bedeutung hat das Produkt  $JW$



n) Beantworte die Fragen (g) und (i). Bilde das Mittel aus den Werten von  $J_1 W_1 / J_2 W_2$ .

### 3. Verfahren.

(1 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Wie bei dem zweiten Verfahren, nur statt der drei Strommesser einen einzigen und zwei Widerstände, die so groß sind, wie der Widerstand des Strommessers.

**Anleitung.** o) Stelle wie bei Versuch (k) eine Verzweigung her, doch schalte in den Stammstrom den Strommesser und in die Zweige die beiden Widerstände ein, die gleich dem Widerstand  $\gamma$  des Strommessers sind (Fig. 311).

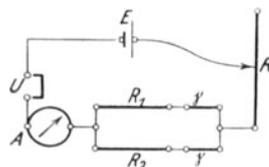


Fig. 311.

p) Miß die Stärke  $J$  des Stammstroms. Ersetze nun der Reihe nach in jedem Zweige den Widerstand  $\gamma$  durch den Strommesser und miß die Stärken  $J_1$  und  $J_2$  der Stromzweige (Fig. 312). Führe die

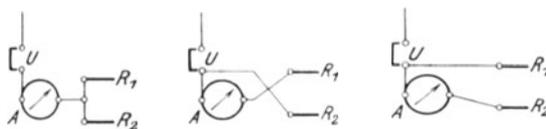


Fig. 312.

Messungen im übrigen auf die gleiche Weise wie in (l) aus und verfähre dann wie in (m) und (n).

**Bemerkung.** Man hüte sich bei der Stromverzweigung die Widerstandsätze über die zulässige Grenze zu belasten.

**36. Aufgabe.** Welche Beziehung besteht zwischen dem Leitwert einer Verzweigung und den Leitwerten der einzelnen Zweige?

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b>	1 Daniell. Tangentenbussole. 2 Spulen aus Manganindraht von 200 cm Länge und 0,25 mm Durchmesser. 2 Stromunterbrecher, davon einer mit 2 Quecksilbernäpfen (oder Wippe).	Widerstandsatz bis 20 Ohm. Ohmdraht. Verbindungsklemmen. 2 Verbindungsklemmen mit 3 Durchbohrungen. Leitungsschnur für die Tangentenbussole. Kurze Leitungsschnüre.
----------------	---	--

**Anleitung.** a) Miß wie in Aufgabe 21 den Widerstand jeder einzelnen Spule.

b) Bestimme den Widerstand der beiden hintereinander geschalteten Spulen.

c) Schalte beide Spulen nebeneinander und miß ihren Widerstand.

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Spule Nr. . . . und Nr. . . . Widerstandsatz Nr. . . . Tangentenbussole  
Nr. . . .

Widerstand der Spule Nr. . . .  $W_1 = \dots$  [Ohm].

Widerstand der Spule Nr. . . .  $W_2 = \dots$  [Ohm].

Widerstand der hintereinander geschalteten Spulen  $W_h = \dots$  [Ohm].

Widerstand der nebeneinander geschalteten Spulen  $W_n = \dots$  [Ohm].

$W_1 + W_2 = \dots$  [Ohm].

e) Vergleiche den Widerstand der beiden hintereinander geschalteten Spulen mit der Summe der Widerstände.

f) Berechne den Leitwert  $F = 1/W$  jeder Spule und die Summe ihrer Leitwerte. Vergleiche damit den Leitwert der beiden nebeneinander geschalteten Spulen.

$$F_1 = \frac{1}{W_1} = \dots [S] \quad F_2 = \frac{1}{W_2} = \dots [S]$$

$$F_1 + F_2 = \frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} = \dots [S] \quad F_n = \frac{1}{W_n} = \dots [S]$$

g) Vergleiche den Leitwert  $F_h = 1/W_h$  der beiden hintereinander geschalteten Widerstände mit der Summe der Leitwerte der einzelnen Spulen.

**Bemerkungen.** Vgl. Aufg. 38 (F), S. 425.

Es sind hier folgende Vorschläge des AEF (des Ausschusses für Einheiten und Formelgrößen) angenommen: Der umgekehrte Wert des Widerstandes heißt Leitwert, seine Einheit im praktischen elektromagnetischen Maßsystem Siemens; das Zeichen für diese Einheit ist S. Der umgekehrte Wert des spezifischen Widerstandes heißt Leitfähigkeit oder spezifischer Leitwert. Vgl. *Ber. d. Deutsch. Physik. Gesellsch.* 6. 581; 1908.

**37. Aufgabe.** *Gibt es auf den beiden Zweigen einer Stromverzweigung Stellen, zwischen denen keine Spannung besteht? Wo liegen diese Stellen?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.	WHEATSTONESche Brücke. Vgl. S. 421.)	Unterbrecher mit Quecksilbernapfen.
	Blanker Kupferdraht von 0,25 mm Durchmesser.	Trocken- oder Gnomkette.
	2 Gleitschneiden. (Vgl. S. 422.)	Gleitwiderstand (1 m Man- ganindraht von 0,2 mm Durchmesser).
	Stromprüfer.	VOLKMANNsche Klammer.
	Stromwender.	Leitungsschnüre.

**Anleitung.** a) Spanne zwischen den Klemmen  $M'$  und  $N'$  (Fig. 313) der WHEATSTONESchen Brücke einen blanken Kupferdraht von 0,25 mm

Durchmesser aus und befestige ihn unter der Unterlagscheibe der beweglichen Mutter. Verbinde die Klemmen des Stromprüfers  $G$  mit denen des geschlossenen Unterbrechers  $U_2$ , befestige an den Unterbrecherklemmen zwei Leitungsschnüre, die  $\sim 1$  m lang sind, und schraube an deren Enden die beiden Schneiden an.

b) Schicke durch den Kupferdraht  $M'N'$  den Strom einer Trockenkette  $E$ , die mit einem Stromwender  $U_1$  und einem veränderlichen Widerstand  $R$  in Reihe geschaltet ist. Wie verzweigt sich der Strom? Der Widerstand des Kupferdrahts ist kleiner als der des Meßdrahts  $MN$ . Durch welchen Draht fließt der stärkere Strom? Wie groß sind die Spannungen zwischen  $M$  und  $M'$  und zwischen  $N$  und  $N'$ ? Sind die Spannungen zwischen  $M$  und  $N$  und zwischen  $M'$  und  $N'$  verschieden?

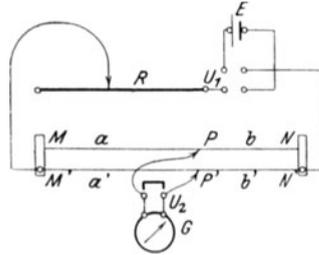


Fig. 313.

c) Halte die eine Schneide auf die Stelle  $P$  des Brückendrahts und berühre dann mit der andern Schneide verschiedene Stellen des Kupferdrahts, bis du eine Stelle  $P'$  gefunden hast, von der aus kein Strom durch den Stromprüfer fließt. Entferne nun den Bügel aus dem Unterbrecher  $U_2$  und stelle die Schneide  $P'$  scharf ein. Wie groß ist die Spannung zwischen  $P$  und  $P'$ ? *Aquipotentialpunkte* oder *Spannungsgleichen*. Bezeichne mit  $a$  und  $b$  die Teile  $MP$  und  $PN$ , in die der Meßdraht  $MN$  durch die Schneidenstelle zerlegt wird, und mit  $a'$  und  $b'$  die entsprechenden Teile  $M'P'$  und  $P'N'$  des Kupferdrahts. Miß die Strecken  $a, b, a'$  und  $b'$ .

d) Wende den Strom und wiederhole die Messungen.

e) Ändere die Stromstärke durch Verschieben der VOLKMANNschen Klammer auf dem Draht des Stromschwächers und wiederhole die Messungen (c) und (d).

f) Verschiebe die Schneide  $P$  und suche die neue Lage von  $P'$ . Wiederhole die Messungen (c) bis (e).

g) Trage die Ergebnisse in folgende Tafel ein:

Stromprüfer Nr. . . . Brücke Nr. . . .  
 $MN = \dots$  cm.  $M'N' = \dots$  cm.

Versuch	Stromrichtung	$MP = a$	$M'P' = a'$	$a/b$	$a'/b'$

h) Wie teilen die Spannungsgleichen  $P$  und  $P'$  die beiden Drähte? Wie verhalten sich die Widerstände dieser Drahtstücke?

**Bemerkungen.** Ich habe zwei Formen der WHEATSTONEschen Brücke benutzt: die im ROYAL COLLEGE OF SCIENCE SOUTH KENSINGTON (*Syllabus* 139) gebrauchte 50 cm lange Brücke und die von E. H. HALL angegebene (*Descript.*

List 92 Nr. 106, HALL-BERGEN 547 Nr. 106) 1 m lange Harvard-Bücke. Beide Formen haben sich durchaus bewährt, doch arbeiten die Schüler mit der genauern Harvard-Bücke lieber. Diese Bücke hat folgenden Bau: Zwischen zwei starken ( $8\text{ cm} \times 0,8\text{ cm} \times 0,8\text{ cm}$ ) Messingstücken  $FM'$  und  $TN'$  (Fig. 314) von sehr geringem elektrischem Widerstand ist über einem Meterstab aus Holz, der in Millimeter geteilt ist, ein  $0,35\text{ mm}$  starker Konstantendraht ausgespannt und sorgfältig an die beiden Seitenstücke gelötet.  $F, H, K, S$  und  $T$  sind kräftige Klemmschrauben mit Knebeln. Die beiden Klemmschrauben  $M'$  und  $N'$  (Fig. 315) besitzen eine wagerechte Durchbohrung, in die man mit einer lotrechten Schraube



Fig. 314.

einen Leitungsdraht einklemmen kann, ferner eine bewegliche Mutter, deren Rand genau mit dem innern Rande des Seitenstücks abschneidet, so daß man damit zwischen  $M'$  und  $N'$  einen dünnen Draht von genau 1 m Länge ausspannen kann. Bei den eigentlichen Brückenmessungen wird dieser Draht entfernt.  $HS$  (Fig. 314) ist ein Kupferblechstreifen ( $95\text{ cm} \times 1,5\text{ cm} \times 0,05\text{ cm}$ ). Die Klemmen  $F, H$  und  $S, T$  haben einen solchen Abstand ( $4\text{ cm}$ ), daß man die dicken Kupferdrähte der Spulen, die in den Aufgaben 20 und 21 benutzt wurden, bequem und rasch einschieben kann. Das Grundbrett ist  $108\text{ cm}$  lang,  $12\text{ cm}$  breit und  $2\text{ cm}$  dick.

Andere einfache Formen der WHEATSTONESCHEN Brücke findet man bei: ADAMS 161. ALLEN 227. BOTTONE, *Electric. Instr.-Making for Amateurs* 133. GHUTE 226. GAGE 69 Nr. 77. HADLEY 145 Nr. 94. KOHLRAUSCH u. HOLBORN,

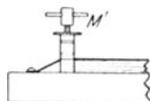


Fig. 315.

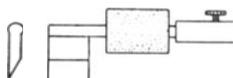


Fig. 316.

Leitvermögen d. Elektrolyte 38. MILLIKAN-GALE 91 Nr. 32. NICHOLS-SMITH-TURTON 202 Nr. 97 u. 207 Nr. 98. OSTWALD-LUTHER<sup>8</sup> 401. SCHNETZLER, *Elektrotechn. Experimentierbuch* 94. STEWART and GEE 2, 107. WIEDEMANN-EBERT 417.

Als Schneide dient bei eigentlichen Brückenmessungen entweder die Schneide, die bei dem Gefälldrath (S. 413) benutzt wird, oder ein Messingstück von der in Fig. 316 abgebildeten Gestalt, das an einen Messingstab von  $4,1\text{ cm}$  Länge und  $0,35\text{ cm}$  Dicke gelötet ist. Auf den Stab ist als Handgriff ein Kork aufgeschoben und an seinem freien Ende eine Klemme aufgeschraubt.

Man kann bei dem Versuch auch den blanken Kupferdraht weglassen und zwischen die Klemmen  $F$  und  $H$  der Brücke eine Spule von  $2\text{ Ohm}$  und zwischen die Klemmen  $S$  und  $T$  eine Spule von  $3\text{ Ohm}$  Widerstand einschalten und zeigen, daß  $a/b = 2/3$  usw. ist.

Man kann auch dem Kupferdraht eine beliebige Länge geben und ihn zwischen zwei Klemmen ausspannen, die in einem Holzbrett sitzen.

Verwendet man die S. 344 beschriebenen Stromprüfer, so kann man den Unterbrecher  $U_2$  weglassen.

**38. Aufgabe.** *Wie kann man mit der Wheatstoneschen Brücke Widerstände vergleichen und messen?*

(2 Schüler,  $3 \times 1$  Stunde.)

<b>Geräte.</b>	WHEATSTONESCHE BRÜCKE (vgl. S. 421). Stromprüfer. Trocken- oder Gnomkette. 5 Spulen aus Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser und 200, 160, 120, 80 und 40 cm Länge (vgl. S. 396). 2 Spulen aus Manganindraht von 200 cm Länge und 0,25 und 0,35 mm Durchmesser (vgl. S. 396). 1 Spule aus isoliertem Kupfer-	draht von 20 cm Länge und 0,25 mm Durchmesser. Widerstandsatz oder we- nigstens 1 Spule von 5 Ohm Widerstand. 2 Klemmen mit 3 Durch- bohrungen. Stromwender. Unterbrecher mit 2 Queck- silbernäpfen. Drahtlehre. Leitungsschnüre.
----------------	---	--

A. *Prüfe die Gleichheit zweier Widerstände.*

**Anleitung.** a) Schließe die eine Spule  $W$  (Fig. 317) von 200 cm Länge und 0,25 mm Durchmesser an die Klemmen  $F$  und  $H$  und die andere Spule von gleicher Länge und Dicke an die Klemmen  $S$  und  $T$  an. Verbinde die Kette  $E$  mit zwei zusammengehörigen Klemmen des offenen Stromwenders  $U_1$  und die beiden andern Klemmen des Wenders mit der Klemme  $K$  der Brücke und der Schneide  $P$ . Verbinde ferner die Klemmen  $M$  und  $N$  mit den beiden Quecksilbernäpfen des Unterbrechers  $U_2$  und diese mit den Klemmen des Stromzeigers  $G$ . Setze in die beiden Quecksilbernäpfe einen dicken Kupferbügel ein und schließe so den Stromprüfer kurz. Sieh nach, ob alle Verbindungen gut und sicher sind.

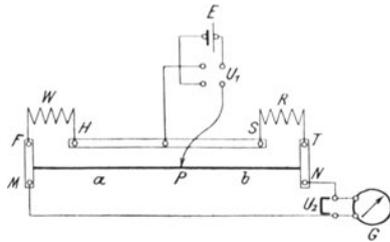


Fig. 317.

b) Schließe den Unterbrecher  $U_1$  und berühre auf einen Augenblick den Meßdraht  $MN$  mit der Schneide  $P$ , beachte den Sinn, in dem die Nadel des Stromprüfers ausschlägt, und suche dann eine Stelle auf dem Meßdraht, bei deren Berührung der Zeiger im entgegengesetzten Sinn ausschlägt. Suche mit der Schneide ungefähr die Stelle des Drahts, bei deren Berührung kein merklicher Ausschlag der Nadel erfolgt. Berühre jedesmal den Draht nur kurze Zeit. Nimm nun den Bügel aus dem Unterbrecher  $U_2$ , der seither den Stromprüfer kurz geschlossen hat, und suche möglichst genau die Stelle des Meßdrahts, bei deren Berührung kein Ausschlag der Nadel erfolgt.

Lies sorgfältig  $a$  ab, entferne die Schneide vom Draht und setze den Bügel in  $U_2$  ein.

c) Wende mit  $U_1$  den Strom und wiederhole die Messung. Nimm aus beiden Werten von  $a$ , falls sie nur wenig voneinander abweichen, das Mittel und berechne daraus das Verhältnis  $W/R$  beider Widerstände. Ist der Unterschied erheblich, so muß man für jeden Wert von  $a$  das Verhältnis bestimmen und daraus das Mittel nehmen.

d) Vertausche die Spulen  $W$  und  $R$  miteinander und wiederhole die Messungen (b) und (c) und berechne wieder das Verhältnis  $W/R$  der Widerstände beider Spulen. Nimm das Mittel aus allen berechneten Verhältnissen.

e) Schreibe die Ergebnisse folgendermaßen auf:

Brücke Nr. . . . Länge des Meßdrahts  $a + b = \dots$  [mm]. Stromprüfer Nr. . . .

Ver- such	Widerstand $W$ links				Widerstand $R$ rechts				Schnei- den- stellung $a$ mm	$W/R$
	Spule Nr.	Stoff	Länge $l$ cm	Durch- messer $d$ mm	Spule Nr.	Stoff	Länge $l$ cm	Durch- messer $d$ mm		

B. *Vergleiche die Widerstände der Spulen aus Manganindraht von 0,25 mm Durchmesser und von 200 und 160 cm Länge.*

f) *Verfahre wie bei Aufgabe (A). Wie hängt der Widerstand eines Drahts von seiner Länge ab? Vgl. Aufgabe 20 und 32.*

C. *Vergleiche den Widerstand der Spule aus Manganindraht von 200 cm Länge und 0,25 mm Durchmesser mit dem Widerstande der Spule aus Manganindraht von 200 cm Länge und 0,35 mm Durchmesser.*

g) *Verfahre wie bei Aufgabe A. Miß sorgfältig die Durchmesser beider Drähte. Wie hängt der Widerstand eines Drahts vom Querschnitt ab? Vgl. Aufgabe 20 und 33.*

D. *Miß die Widerstände aller Manganindrähte.*

h) *Verfahre wie bei Aufgabe A, doch ersetze die Spule  $R$  durch einen Widerstandsatz, der durch kurze Leitungsschnüre mit den Klemmen  $S$  und  $T$  verbunden wird. Setze die Schneide zunächst auf die Mitte des Meßdrahts und schalte bei dem Widerstandsatz so viel Widerstand ein, daß der Ausschlag des Stromprüfers möglichst klein wird, und verschiebe dann die Schneide, bis die Nadel genau auf Null einspielt. Lies  $a$  ab und berechne  $W/R$ , den Widerstand  $W$  und den spezifischen Widerstand  $\sigma$  des Mangans. Vgl. Aufg. 20 und 34.*

Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Brücke Nr. . . . Länge des Meßdrahts  $a + b = \dots$  [mm]. Stromprüfer Nr. . . . Widerstandsatz Nr. . . .

Versuch	Spule				Vergleichswiderstand $R$ Ohm	Schneidenstellung $a$ mm	$W/R$	$W$ Ohm	$\sigma$
	Nr.	Stoff	Länge $l$ cm	Durchmesser $d$ mm					

E. Wie groß ist der spezifische Widerstand des Kupfers?

i) Schalte als Widerstand  $W$  die Spule aus Kupferdraht von 20 m Länge und 0,25 mm Durchmesser ein und als Widerstand  $R$  die 5 Ohm-Spule oder den Widerstandsatz und verfähre wie unter D.

k) Berechne aus dem Widerstand des 20 m langen Kupferdrahts den Widerstand eines Stücks, das 1 m lang ist, und daraus den Widerstand eines Kupferdrahts, der 1 m lang ist und  $1 \text{ mm}^2$  Querschnitt hat. Vgl. Aufg. 21 und 34.

F. Wie hängt der Leitwert einer Verzweigung von den Leitwerten der einzelnen Zweige ab?

l) Miß mit der Brücke einzeln die Widerstände der Spulen aus Manganindraht von 0,25 mm Dicke und von 200 und 120 cm Länge.

m) Schalte die beiden Widerstände nebeneinander und miß mit der Brücke den Gesamtwiderstand der Verbindung. Vgl. Aufg. 36.

n) Man kann auch  $W$  durch einen Widerstandsatz  $R_1$  und  $R$  durch zwei nebeneinander geschaltete Widerstandsätze  $R_2$  und  $R_3$  ersetzen (kurze Leitungsschnüre), dann in den Sätzen etwa folgende Widerstände einschalten und den Gesamtwiderstand von  $R_2$  und  $R_3$  bestimmen.

$R_1$ Ohm	$R_2$ Ohm	$R_3$ Ohm
1	1	2
1	2	3
1	3	5

Bemerkungen. Der Stromprüfer soll so empfindlich sein, daß er für eine Verschiebung der Schneide um 1 mm auf dem Meßdraht noch einen deutlichen Ausschlag gibt. Statt des Schülerstromprüfers von RHESTRAT kann man auch das Galvanometer von ARTHUR W. GRAY (vgl. S. 344) oder das von GRIMSEHL (vgl. S. 344) oder einen astatischen Multiplikator von

geringem Widerstand oder ein Drehspulen-Spiegelgalvanometer verwenden. Die Schwingungen der Stromprüfer kann man rasch zur Ruhe bringen, wenn man  $U_2$  schließt und  $U_1$  öffnet. Bei dem Schülerstromprüfer ist der Unterbrecher  $U_2$  überflüssig. Stets ist der Batteriestrom zuerst zu schließen und zuletzt zu öffnen.

Die Messungen mit der Brücke fallen um so genauer aus, je näher die Schneide der Mitte des Meßdrahts steht. Man achte darauf, daß die Schüler stets die Schneide nur kurze Zeit auf den Draht halten.

Bei Schülerübungen empfiehlt es sich, stets die Kette in den Brückenweig zu legen, auch dann, wenn diese Schaltung nicht die günstigste ist.

Über Messungen mit der Brücke sind zu vergleichen: BERNDT-BOLDT 2, 36. HEYDWEILLER 114. KOHLRAUSCH, *Prakt. Phys.*<sup>11</sup> 449. KOHLRAUSCH-HOLBORN 38. OSTWALD-LUTHER<sup>3</sup> 401. STEWART and GEE 2, 439. WIEDEMANN-EBERT 417.

**39. Aufgabe.** *Wie hängt der Widerstand eines Drahts von seiner Warmheit ab?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

Geräte.	Trocken- oder Gnomkette.	Wasserbad.
	WHEATSTONEsche Brücke.	Thermometer.
	Stromprüfer.	Asbestplatte.
	Widerstandspule von 2 Ohm oder Widerstandsatz.	Dreifuß.
	Wärmespule.	Argandbrenner oder Weingeistlampe.
	Weißblechgefäß für die Spule.	Kurze Leitungsschnüre.
		Steinöl.

**Anleitung.** a) Setze die Wärmespule (Fig. 318) in das Blechgefäß mit Steinöl und diesen Behälter in ein Wasserbad, das auf einem Dreifuß mit Asbestplatte steht, und erwärme mit einem Argandbrenner oder einer Weingeistlampe.

b) Schalte mit kurzen Leitungsschnüren den Widerstandsatz an die Klemmen  $S$  und  $T$  (Fig. 317) und die Wärmespule an die Klemmen  $F$  und  $H$  der Brücke.

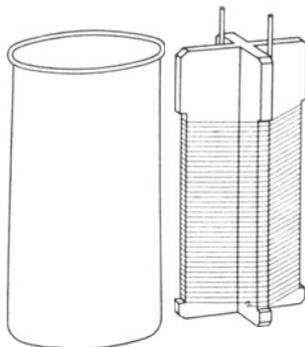


Fig. 318.

c) Miß nach tüchtigem Umrühren die Warmheit des Steinöls und den Widerstand der Spule.

d) Erwärme nun langsam das Bad, steigere die Warmheit des Wassers auf  $\sim 20^\circ$ , drehe die Flamme klein, rühre gut um, lies die Wärmestufe ab, miß den Widerstand der Spule und lies wieder die Warmheit ab.

Trage die Mittelwarmheit und die Widerstände in nachfolgende Tafel ein:

Brücke Nr. . . . Widerstandsatz Nr. . . .  
Stromprüfer Nr. . . . Wärmespule Nr. . . . Vergleichwiderstand  $R = \dots$  [Ohm].

Beim Erwärmen			Beim Abkühlen		
Wärmestufe in C°	Stellung der Schneide a mm	Widerstand W Ohm	Wärmestufe in C°	Stellung der Schneide a mm	Widerstand W Ohm

e) Bestimme ebenso den Widerstand der Spule bei 30, 40, 50 und 60° C, laß abkühlen und wiederhole die Messungen bei Wärmestufen, die jenen möglichst nahe liegen.

f) Stelle die Ergebnisse bildlich dar und wähle dabei die Wärmestufe als Abszisse und den Widerstand als Ordinate.  $x = t$ ,  $y = W$ . Wo schneidet die Kurve die  $x$ -Achse? Bei welcher Wärmestufe hätte also der Draht keinen Widerstand?

g) Wie ändert sich nach der bildlichen Darstellung der Widerstand mit der Warmheit? Sind  $W_0$ ,  $W_1$ ,  $W_2$  die Widerstände bei den Wärmestufen  $0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  und ist  $a$  das Erwärmungsmaß des Drahtwiderstandes, so ist

$$W_1 = W_0 (1 + a t_1) \quad W_2 = W_0 (1 + a t_2),$$

also

$$a = \frac{W_2 - W_1}{W_1 t_2 - W_2 t_1} = \frac{\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2}}{\frac{t_2}{W_2} - \frac{t_1}{W_1}}$$

Nimm aus den beiden zusammengehörigen Wärmestufen der ersten und vierten Spalte und aus den zugehörigen Widerständen die Mittel. Ordne in der nachstehenden Tafel diese Mittelwerte in zwei Gruppen I und II, berechne aus den Größen derselben Reihe jedesmal  $a$  und bilde daraus den Mittelwert.

Mittlere Wärme- stufe $t_1$ °C	Mittlerer Wider- stand $W_1$	$\frac{1}{W_1}$	$\frac{t_1}{W_1}$	Mittlere Wärme- stufe $t_2$ °C	Mittlerer Wider- stand $W_2$	$\frac{1}{W_2}$	$\frac{t_2}{W_2}$	$a$
(15)				(40)				
(20)				(50)				
(30)				(60)				
Mittel $a = \dots$								

**Bemerkungen.** Man kann auch statt des Petroleums Öl nehmen und die Widerstände der Spule bei  $0^\circ$  und bei  $100^\circ$  messen und aus beiden Messungen  $\alpha$  berechnen.

Die Wärmespule (Fig. 318) besteht aus 8 m Kupferdraht von 0,2 mm Durchmesser, der auf ein Holzkreuz aufgewickelt und mit zwei dicken Kupferdrähten verbunden ist. Sie wird in ein Blechgefäß von 15 cm Höhe und 9 cm Durchmesser gestellt.

**40. Aufgabe.** *Wie groß ist die elektromotorische Kraft einer Trockenkette?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Geräte.** Stromprüfer. | 1 Daniell.  
Gefälldraht (vgl. S. 413), | 2 Stromunterbrecher, der  
1 Sammler oder 2 bis 3 Daniell. | eine mit Quecksilbernäpfen.  
1 Trockenkette. | Leitungsschnüre.

**Anleitung.** a) Bilde einen Stromkreis aus dem Stück  $MN$  des Gefälldrahts, das 6 m lang ist, dem offenen Unterbrecher  $U_1$  (Fig. 319) und dem Sammler  $E$  und schließe dabei  $M$  an den positiven Pol von  $E$  an. Befestige an dem positiven Pol der Trockenkette  $D$  einen Draht und daran die Schneide  $P$ , verbinde den negativen Pol von  $D$  mit dem geschlossenen Unterbrecher  $U_2$  und mit dessen Quecksilbernäpfchen den Stromprüfer. Befestige an dem Unterbrecher  $U_2$  den Draht, woran die Schneide  $Q$  sitzt.

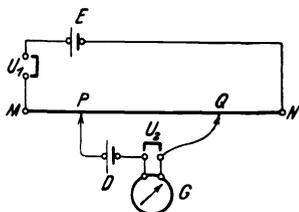


Fig. 319.

b) Schließe den Unterbrecher  $U_1$ , setze nach  $\sim 10$  Minuten  $P$  in  $\sim 10$  cm Abstand von  $M$  auf den Meßdraht  $MN$  und suche auf diesem Draht eine Stelle, worauf man die Schneide  $Q$  setzen kann,

ohne daß die Nadel des Stromprüfers ausschlägt. Setze dabei die Schneide  $Q$  immer nur kurze Zeit auf den Draht. Entferne nun in  $U_2$  den Bügel, stelle  $Q$  scharf ein, unterbrich beide Stromkreise und miß sorgfältig die Strecke  $PQ$ .

c) Setze der Reihe nach  $P$  in 20 cm, 30 cm usw. Abstand von  $M$  auf, bis  $Q$  das andere Ende von  $MN$  erreicht, und verfare genau so wie bei (b).

d) Ersetze die Trockenkette durch einen Daniell und wiederhole die Messungen (b) und (c).

e) Wiederhole die Messungen (b) und (c) mit der Trockenkette.

f) Schreibe die Ergebnisse der Messungen in folgender Weise auf:

Stromprüfer Nr. . . . Gefälldraht Nr. . . . Trockenkette Type . . . Nr. . . .

Kette	Schneidenstellungen		$PQ = l$ mm	Mittel	Hauptmittel f. Trockenkette
	$MP$ in mm	$MQ$ in mm			

g) Berechne für die Trockenkette das Hauptmittel aus den beiden Mittelwerten von  $l$ .

h) Welche der beiden Stellen  $M$  und  $N$  hat das höhere Potential? Welche der beiden Stellen  $P$  und  $Q$  hat das höhere Potential? In welcher Richtung würde also ein Strom durch den Zweig  $PQ$  fließen, wenn die Kette  $D$  nicht vorhanden wäre? In welcher Richtung sendet die Kette  $D$  einen Strom durch die Schleife  $PQG$ ? Wie fließt der Strom, wenn die elektromotorische Kraft  $E$  von  $D$  größer ist als die Spannung zwischen  $P$  und  $Q$ , und wie, wenn sie kleiner ist? Wem ist also  $E$  gleich, wenn durch den Stromprüfer kein Strom fließt? Wem entspricht die Spannung zwischen  $P$  und  $Q$  und mithin auch  $E$ ? Es seien  $E_t$  die elektromotorische Kraft der Trockenkette und  $E_d$  die elektromotorische Kraft des Daniells und  $l_t$  und  $l_d$  die Mittelwerte der Drahtlängen, bei denen die Spannungen jenen elektromotorischen Kräften gleich sind. Welche Beziehung besteht also zwischen jenen vier Größen?

**Bemerkungen.** Der Widerstand des Drahts  $MN$  muß so groß sein, daß sich der Sammler nicht rasch entladet und sich der Draht nicht erheblich erwärmt. Ist der Gefälldraht nicht lang genug, benutzt man etwa an seiner Stelle den Meßdraht einer WHEATSTONESCHEN BRÜCKE, so muß man in den Stromkreis des Sammlers noch einen Stromschwächer einschalten. Da die elektromotorische Kraft eines Sammlers in der ersten Zeit nach dem Stromschluß etwas sinkt, so beginne man die Messungen erst  $\sim 10$  Minuten nach dem Schließen des Sammlerstroms und halte ihn während einer Versuchsreihe dauernd geschlossen.

Man entferne aus  $U_2$  den Bügel nur so lange, wie man die Schneide  $Q$  scharf einstellt.

Über andere geeignete Stromprüfer, die den von PASCHEN ersetzen können, vgl. S. 425.

## VI. Magnetisches Feld des elektrischen Stroms.

**41. Aufgabe.** Welche Beziehungen bestehen zwischen der Richtung eines elektrischen Stroms und den Kraftlinien seines magnetischen Feldes?

(2 Schüler, 2 Stunden.)

<b>Geräte.</b>	1 Sammler oder Tauchelement oder Daniell. Gleitwiderstand, 0,2 mm starker Manganindraht (vgl. S. 337). Stromwender oder Stromschlüssel, der selbsttätig den Strom öffnet. Kleine Bussole, am besten mit Gradteilung. 2,5 m isolierter Leitungsdraht von 0,9 mm Durchmesser.	Quecksilber für den Stromwender. Papier ( $\sim 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ ). Starke Pappe ( $\sim 25 \text{ cm} \times 7,5 \text{ cm}$ ). Stecknadeln. Holzstab ( $30 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ ), vgl. S. 311. Isolierband. Retortenständer aus Holz. Reißbrett. Hakenzwecken.
----------------	---	---

**Anleitung.** a) Befestige auf dem Tisch mit zwei Stecknadeln das Blatt Papier. Zieh durch seine Mitte eine Gerade, die parallel zur Bussolennadel, also von Süden nach Norden läuft, und senkrecht dazu eine Gerade in der Richtung von Osten nach Westen. Lege die Bussole mit ihrer Mitte auf den Schnittpunkt beider Geraden und drehe sie so, daß der Nordpol über dem Nordpunkt (oder dem Nullpunkt) der Rose einspielt (Fig. 320).

b) Bilde einen Stromkreis aus dem Sammler  $E$  (Fig. 321), dem Widerstand  $R$ , dem offenen Stromwender  $U$  und dem 2,5 m langen

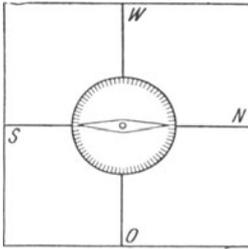


Fig. 320.

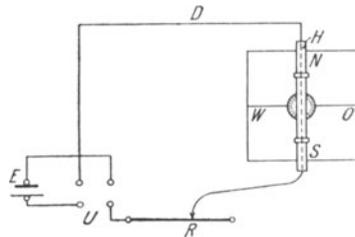


Fig. 321.

**Draht.** Befestige mit Isolierband oder Bindfaden eine 15 cm lange gerade Strecke des Drahts an dem Holzstabe  $H$  (Fig. 322). Halte den Draht dicht über die Nadel der Bussole und genau in ihrer Richtung. Schließe den Strom so, daß er in dem geraden Drahtstück von Süden nach Norden fließt. Nach welcher Himmelsrichtung wird der Nordpol der Nadel abgelenkt? Regle den Widerstand so, daß die Nadel um  $\sim 45^\circ$  abgelenkt wird. Halte die ausgestreckte rechte Hand so an den Draht, daß die Stromrichtung

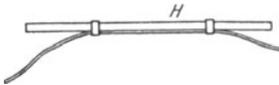


Fig. 322.

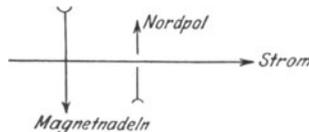


Fig. 323.

mit der Richtung der ausgestreckten Finger zusammenfällt und die hohle Hand der Magnetnadel zugewandt ist, der Draht also zwischen der Hand und der Nadel liegt, und strecke nun den Daumen aus. Daumen und abgelenkte Nadel weisen nach derselben Seite. Unterbrich den Strom. Wohin weist jetzt der Nordpol der Nadel? *Daumenregel der rechten Hand.* Mache eine Handzeichnung ins Ubheft; stelle dabei die Magnetnadel, wenn sie überm Draht liegt, ähnlich wie in Fig. 323 durch einen ganzen Pfeil dar, und wenn sie

unterm Draht liegt, durch einen durchbrochenen Pfeil, dessen Spitze den Nordpol bezeichnet.

c) SchlieÙe den Strom so, daÙ er in derselben Richtung wie vorher flieÙt, drehe das gerade Leiterstück über der Bussole langsam bis in die Ost-Westrichtung und dann weiter, bis der Strom darin von Norden nach Süden flieÙt. Beobachte dabei fortwährend Richtung und GröÙe der Ablenkung des Nordpols und prüfe, ob stets die Daumenregel erfüllt wird. Öffne den Strom. Stelle die Ergebnisse ähnlich wie in (b) durch verschiedene Zeichnungen dar. Was wirkt der Ablenkung der Nadel durch den Strom entgegen? *Richtkraft der Erde.*

d) Lege den Holzstab so aufs Papier, daÙ das gerade Drahtstück auf der Oberseite und genau über der Süd-Nordlinie liegt. Halte die Bussole dicht überm Draht so in der Hand (oder lege sie auf ein eingeklemmtes Stück Pappe), daÙ ihre Mitte wie vorher genau über dem Schnittpunkte des Achsenkreuzes auf dem Papier und ihr Nordpol über dem Nordpol der Rose liegt. SchlieÙe den Strom so, daÙ er in dem geraden Drahtstück von Süden nach Norden flieÙt. Nach welcher Himmelsrichtung und wie stark wird der Nordpol der Nadel abgelenkt? Bewährt sich auch jetzt noch die Daumenregel? Drehe, ohne die Stellung der Bussole zu ändern, den Draht langsam um die Mitte des Achsenkreuzes auf dem Papier in die Ost-Westlage und dann weiter, bis der Strom darin von Norden nach Süden flieÙt. Beobachte dabei fortwährend die Richtung und GröÙe der Ablenkung und prüfe, ob stets die Daumenregel gilt. Öffne den Strom. Stelle die Ergebnisse ähnlich wie in (b) durch Zeichnungen dar. Welchen EinfluÙ übt der Erdmagnetismus aus?

e) Trage die Ergebnisse der Versuche (b) bis (d) in folgende Tafel ein:

Lage der Bussolennadel zum Draht	Stromrichtung	Himmelsrichtung, wohin der Nordpol abgelenkt	GröÙe der Ablenkung
Unterm Draht	S → N		

f) Wie kann man die Richtung bestimmen, wohin der Nordpol abgelenkt wird, wenn man die Stromrichtung kennt? Wie kann man die Stromrichtung feststellen, wenn man die Ablenkung des Nordpols beobachtet hat?

g) Wiederhole den Versuch (b), verschiebe dann das gerade Drahtstück parallel zu sich so, daÙ es in derselben waagrechten Ebene wie die Bussolennadel liegt, und zwar das eine Mal östlich und das andere Mal westlich dicht neben dem Bussolengehäuse. Findet in beiden Fällen eine Ablenkung des Nordpols statt? Öffne den Strom.

h) Wiederhole den Versuch (b) und vergrößere, während der Strom geschlossen ist, den Abstand der geraden Drahtstrecke von der Bussole. Wie ändert sich die Größe der Nadelablenkung, wenn dieser Abstand wächst? Öffne den Strom.

i) Nimm den Holzstab vom Draht weg, biege 40 cm des Drahts zu einem Quadrat, dessen Seite 10 cm lang wird, und lege es so auf ein Reißbrett, daß zwei Seiten von Osten nach Westen laufen. Stelle so drei Windungen her und befestige sie in den Ecken durch Haken. Schließe den Sammler usw. in der Südwestecke der Spule an. (Fig. 324.)

k) Halte die Bussole über die Mitte der Südseite und beobachte die Richtung, wohin der Nordpol der Nadel abgelenkt wird. Schiebe die Bussole unter dieselbe Drahtstelle und beobachte die Richtung der Nadelablenkung. Balle die Finger der rechten Hand zur Faust und halte den ausgestreckten Daumen in die Richtung des Stroms. Vergleiche die Richtungen der gekrümmten Finger

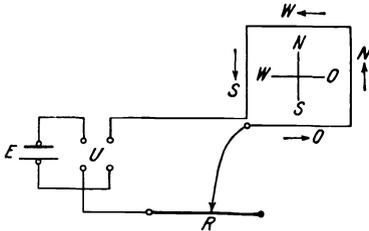


Fig. 324.

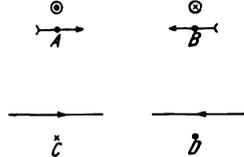


Fig. 325.

mit den Richtungen der abgelenkten Nadel, d. h. der Kraftlinien. *Regel der rechten Faust.*

l) Wiederhole die Beobachtungen in den Mitten der übrigen Quadratseiten. Mach eine Zeichnung, ähnlich der Fig. 323 und stelle darin wie in Versuch (b) die Richtung dar, die die Magnetnadel an jeder Stelle annimmt. Welchen Einfluß hat der Erdmagnetismus? Öffne den Strom.

m) Ist an jeder Stelle die Daumenregel der rechten Hand erfüllt? Gilt für die wagerechte Stromschleife die Regel der rechten Faust?

n) Befestige den Holzstab wie in Versuch (b) an dem Draht und klemme das gerade Drahtstück genau lotrecht fest. Halte die Bussole dicht westlich von diesem Drahtstück so, daß der Nordpol über dem Nordpunkt der Rose liegt. Man kann die Bussole auch auf ein umgekehrtes Becherglas legen oder auf einen Holzklotz, den man auf die hohe Kante gestellt hat. Schalte den Widerstand ganz aus und schließe auf ganz kurze Zeit den Strom. Gilt hier die Regel der rechten Faust? Wende den Strom. Nach welchen Richtungen wird der Nordpol der Nadel abgelenkt? Mach eine Handzeichnung

der Ablenkungen ins Übhft. Bezeichne dabei durch das Zeichen  $\odot$  einen Strom, der senkrecht aus dem Papier auf den Beschauer zufließt, durch  $\otimes$  einen Strom, der vom Beschauer wegfließt, und durch das Zeichen  $\cdot$  eine Kraftlinie, die senkrecht aus dem Papier auf den Beschauer zu gerichtet ist, und durch  $\times$  eine Kraftlinie, die senkrecht durch das Papier hindurch von dem Beschauer weg gerichtet ist. Erkläre die Bedeutung der vier Beziehungen von Stromrichtung und Kraftlinie, die in der Fig. 325 A—D dargestellt sind.

o) Wiederhole den Versuch (n), doch stelle die Bussole östlich, nördlich und südlich vom Draht und zwar dicht daneben auf. In welchen Lagen treten Ablenkungen ein? Welchen Einfluß hat der Erdmagnetismus auf diese Erscheinungen? Schließe jedesmal nur ganz kurze Zeit den Strom. Stelle alle acht Nadelstellungen unter Benutzung der Zeichen dar, die bei dem Versuch (n) angegeben worden sind. Umfaßt die Regel von der rechten Faust auch diese Erscheinungen?

p) Klemme ein Stück Pappe A (Fig. 326) in den Retortenhalter ein, lege die Bussole B darauf und drehe sie in die richtige Stellung. Schalte den Widerstand wieder ein, halte das gerade Drahtstück C im magnetischen Meridian wagerecht darüber, schließe den

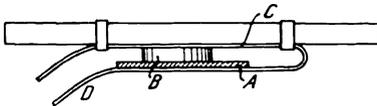


Fig. 326.

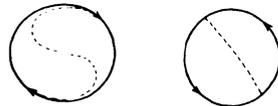


Fig. 327.

Strom so, daß er im Draht von Süden nach Norden fließt, und bestimme die Größe der Ablenkung. Biege den beweglichen Drahtteil D so, daß er dicht unter der Pappe im magnetischen Meridian wagerecht liegt. Nach welcher Seite lenkt der obere Draht und nach welcher Seite der untere Draht die Nadel ab? Wird also die Ablenkung, die durch die Drahtschleife hervorgerufen wird, größer sein, als die, die durch jeden der beiden geraden Drahtteile bewirkt wird? Ist die Ablenkung tatsächlich größer? Krümme die Finger in der Richtung des Stroms in der Stromschleife zur Faust und strecke den Daumen aus. Vergleiche die Richtung des ausgestreckten Daumens mit der Richtung, wohin der Nordpol der Nadel abgelenkt wird. *Erweiterte Regel der rechten Faust.* Wende den Strom in der Schleife. Gilt auch jetzt noch diese Regel? Öffne den Strom. In welcher Richtung treten die magnetischen Kraftlinien aus der Stromschleife? Als was darf man daher die Schleife auffassen? *Magnetische Scheibe.* Welche Seite bildet den Nordpol und welche den Südpol? Fig. 327 bietet eine Gedächtnishilfe; die punktierten Linien ergänzen die Pfeile der Stromrichtung zu den Buchstaben S und N.

q) Verschiebe die Bussole auf der Pappe längs der Achse der Drahtschleife. Ändert sich die Größe der Ablenkung?

r) Wiederhole den Versuch (p), doch drehe die Schleife so um ihre lotrechte Achse, daß ihre Ebene in die Ost-West-Richtung fällt. Wie wirkt nun der Strom auf die Bussole in der Mitte der Schleife? Wende den Strom.

s) Nimm den Draht von dem Holzstab ab, schling ihn einmal dicht um die Bussole längs einem Gehäusedurchmesser und laß den Strom so hindurchfließen, daß er in dem obern Drahtstück von Süden nach Norden fließt. Wie groß ist die Ablenkung?

t) Wiederhole den Versuch (s), doch gib der Schleife einen größeren Durchmesser und lege die Bussole auf das eingeklemmte Pappstück. Ändert sich die Größe der Ablenkung?

u) Wickle den Draht zweimal, dann dreimal und schließlich viermal eng um die Bussole und bestimme jedesmal die Ablenkung der Nadel. Wächst die Größe der Ablenkung mit der Anzahl der Windungen?

v) Wickle den Draht mehrfach um die Bussole und bestimme die Richtung, wohin der Nordpol abgelenkt wird. In welcher Richtung fließt der Strom durch die Spule? Wie sind die Kraftlinien gerichtet? Gilt hier die erweiterte Regel der rechten Faust? Als was können wir die Stromspule auffassen? An welchem Ende liegt der Nordpol und an welchem der Südpol? *Solenoid.*

w) Schalte den Sammler aus, bringe die benutzten Geräte in Ordnung und gib sie ab.

**Bemerkungen.** Verwendet man einen Sammler, so muß man noch einen Widerstand in den Stromkreis einschalten. Man wähle die eingeschaltete Drahtlänge ausreichend groß, damit keine für den Widerstand und den Sammler gefährliche Stromstärke entsteht. Bei den Versuchen (n) und (o) gebraucht man starken Strom, man schalte deshalb hier den Widerstand ganz aus und schließe den Strom jedesmal nur für einen Augenblick. Bei nicht zuverlässigen Schülern ist es daher ratsam, statt des Stromwenders einen Stromschlüssel zu verwenden, der nur bei Druck den Strom schließt. Man schärfe den Schülern stets ein, daß sie bei allen galvanischen Versuchen nur dann und nur so lange den Strom einschalten dürfen, als es unbedingt notwendig ist.

Die Aufgaben 41 bis 43 wird man schon bei der Untersuchung der Stromquellen stellen. Die Aufgaben setzen die Kenntnis der in Aufg. 10, S. 63, Aufg. 11, S. 65, Aufg. 27, S. 107 und Aufg. 1, S. 303 gefundenen Tatsachen voraus.

**42. Aufgabe.** *Wie ist das magnetische Kraftfeld einer Tangentenbussole beschaffen?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b> Tangentenbussole (vgl. S. 344). 1 Sammler oder Daniell. 1 Zeichenbussole (vgl. S. 309). Stromwender (vgl. S. 335).	Leitungsschnüre. Meterstab. Quecksilber. Zigarettenkistendeckel. Papier. Briefmarkenstreifen.
--	--

**Anleitung.** a) Stelle die Tangentenbussole mit ihren Windungen senkrecht zu dem magnetischen Meridian, so daß also der Zeiger auf  $90^\circ$  einspielt, und entferne dann die Magnetnadel. Bilde einen Stromkreis aus dem Sammler, den 50 oder auch den 500 Windungen der Tangentenbussole und dem offenen Stromwender.

b) Lege auf den Deckel des Bussolengehäuses den Meterstab so, daß dessen Mitte über der Nadelspitze liegt und seine Richtung mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, also senkrecht zu den Windungen steht. Setze die Zeichenbussole  $\sim 20$  cm südlich von der Spule auf den Stab, schließe den Strom und lies die Stellung der Nadel ab. Nimm an, das Blatt des Übhefts sei ein wagerechter Schnitt durch die Bussole in der Höhe des Gehäusedeckels, und stelle also die Spule durch die beiden Rechtecke *O* und *W* (Fig. 328) dar. Gib die Stellung der Nadel in der Zeichnung durch einen Pfeil wieder.

O ■ ■ W

Fig. 328.

c) Bewege die Zeichenbussole in acht Stufen von je 5 cm nach Norden zu und trage jedesmal die Stellung der Nadel in das Übheft ein. Wird hier die erweiterte Regel der rechten Faust erfüllt? Nimm den Meterstab weg.

d) Halte die Zeichenbussole im Innern des Spulenringes in die Nähe des östlichen Teils der Windungen. Bezeichne die Stellung der Nadel. Bewege die Bussole in der Richtung der Kraftlinie (vgl. S. 309) und buche im Übheft für 3 oder 4 Stellen die Richtung der Bussolennadel. Wird hier die Regel der rechten Faust erfüllt?

e) Mache auch für den westlichen Teil der Spule die Beobachtungen und Zeichnungen.

f) Halte die Zeichenbussole dicht über die höchste Stelle der Spule, drehe die Bussole so, daß ihre Nadel um eine von Ost nach West gerichtete wagerechte Achse drehbar ist und bewege sie dann ähnlich wie beim Versuch (d) um die Spule. Gilt hier die Regel der rechten Faust?

g) Halte die Bussole wagerecht genau östlich von der Ostseite der Spule und dann genau westlich von der Westseite der Spule dicht neben die Windungen und untersuche die Stellung der Nadel.

h) Wende den Strom, der durch die Spule fließt, und wiederhole die Versuche (b) bis (g). Öffne den Strom.

i) Drehe bei geöffnetem Strom die Spule der Tangentenbussole in den magnetischen Meridian und lege auf das Gehäuse ein Holzbrettchen, auf dem ein Blatt Papier an den Ecken mit Briefmarkenstreifen festgeklebt worden ist. Nimm wie in der Aufgabe 2 (S. 308) das magnetische Kraftfeld auf. *Kraftfeld der Erde.*

k) Schließe den Strom und nimm von neuem das Kraftfeld auf. Vergleich es mit dem Kraftfelde des Versuchs (i). Wie wirkt also die vom Strom durchflossene Spule auf eine Magnetnadel in ihrem

Mittelpunkt ein? Öffne den Strom. *Kraftfeld der Erde. Kraftfeld der Spule. Zusammengesetztes Feld.*

**Bemerkungen.** HADLEY (*Pract. Exerc.* 15 Nr. 16; 128 Nr. 87; 216 Nr. 4 und 225 Nr. 26) empfiehlt, die Tangentenbussole aus dem Ablenkungsmagnetometer (vgl. S. 307) und einem Gestell mit Spule zusammenzusetzen. Eine solche nach meinen Angaben ausgeführte Verbindung hat sich nicht bewährt, da das Zusammenfügen und Auseinandernehmen für beide Teile zu gefährlich ist. Zu dem Gestell mit Spule habe ich von Herrn HINTZE aus Pappe und Holzleiste folgenden Klapptisch herstellen lassen, der für die Aufnahme der Kraftlinien einer Spule recht bequem ist (Fig. 329).

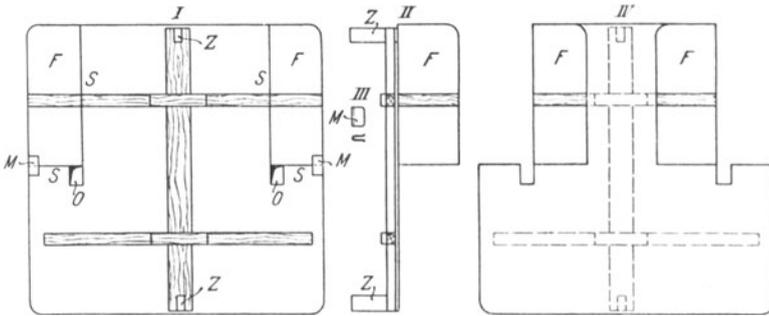


Fig. 329.

Die Holzapfen *Z*, die auf der Unterseite sitzen, greifen in die Einschnitte der Gestellpfosten ein. Durch die Öffnungen *O* tritt die Spule durch den Tisch. Längs der Linien *S* ist die Pappe durchgeschnitten, die so entstandenen Flügel *F* sind mit Kalikostreifen an der übrigen Pappe befestigt. Mit Hilfe der Messingklammer *M* kann man nach dem Aufsetzen des Tisches die Klappen feststellen.

Die kleinen Bussolen arbeiten in den Stellungen, die bei (*f*) verlangt werden, wenig befriedigend.

Vgl. ABRAHAM 2, 335 Nr. 153 und SCHREBER-SPRINGMANN 2, 248 Nr. 210.

Die Aufgabe 42 wird man schon bei der Untersuchung der Stromquellen stellen. Vgl. Aufg. 10, S. 63, Aufg. 11, S. 65, Aufg. 27, S. 107 u. Aufg. 1, S. 303.

**43. Aufgabe.** *Wie stellt man eine Tangentenbussole auf, und wie bestimmt man die wahre Ablenkung des Zeigers?*

(1 Schüler, 1 Stunde.)

Geräte.	Tangentenbussole (vgl. S. 344).	Stromwender (vgl. S. 335).
	Sammler oder Trockenelement.	Gleitwiderstand, 1 m Manganindraht von 0,2 mm Durchmesser.
	Stabmagnet.	VOLKMANNSCHE Klammer.
	Leitungsschnur für die Bussole.	Quecksilber für den Stromwender.
	Leitungsschnüre.	

**Anleitung.** a) Stelle die Tangentenbussole an dem Ort auf, den der Lehrer angewiesen hat. Richte sie mit den Stellschrauben so aus, daß die Teilung wagerecht liegt.

b) Lege Messer, Schlüssel u. dgl. so weit weg, daß sie von jeder Bussole im Zimmer mindestens 1 m entfernt sind. Drehe die Bussole so, daß die Spule im magnetischen Meridian liegt, d. h. die eine Zeigerspitze auf Null steht. Halte dabei das Auge so, daß sich der Zeiger und das Zeigerbild im Spiegel decken und die am besten beleuchtete Kante der Zeigerspitze mit dem Nullstrich der Teilung zusammenfällt. Benutze bei allen folgenden Ablesungen desselben Versuchs stets dieselben Kanten der Zeigerspitzen. Lies die Nullstellungen an beiden Zeigerspitzen ab und schreibe sie auf:

$$\text{Ostspitze } \alpha_0 = \dots^\circ \quad \text{Westspitze } \alpha'_0 = \dots^\circ$$

Beachte den Sinn der Drehung. Bezeichne dabei die Drehung als positiv, die der Bewegung der Uhrzeiger entgegengesetzt ist.

c) Klopf mit der Spitze des Mittelfingers schwach auf den Deckel des Gehäuses und lies nochmals ab. Hat die Nadel ihre Ruhelage geändert? Welche Ruhelage ist richtig? Was muß man vor jeder Ablesung des Zeigers machen?

d) Bring einen Pol eines Stabmagnets in die Nähe der Bussole und versetze so die Nadel in schwache Schwingungen. Entferne den Magnet, klopf schwach gegen das Gehäuse und schreibe die Ruhelagen beider Nadelspitzen auf.

e) Verbinde das Element  $E$  (Fig. 330) und einen Widerstand  $R$  mit dem Stromwender  $U$  und diesen durch zwei Drähte, die umeinander gewickelt sind, mit den 50 Windungen der Tangentenbussole  $T$ . Die Bussole darf man beim Schalten nie aus ihrer Stellung bringen, und alle übrigen Teile des Stromkreises muß man möglichst weit davon entfernt aufstellen.

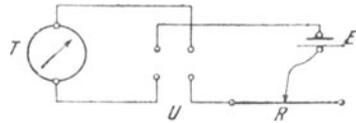


Fig. 330.

f) Schließe den Strom und schalte so viel Widerstand ein, daß die Ablenkung des Zeigers zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$  liegt. Öffne den Strom.

g) Drehe die Bussole um einen kleinen Winkel aus ihrer richtigen Stellung heraus. Lies die Stellungen der Zeigerspitzen in der Ruhelage ab.

$$\text{Ostspitze } \alpha_0 = \dots^\circ \quad \text{Westspitze } \alpha'_0 = \dots^\circ$$

Schließe den Strom und lies die Stellungen der Zeigerspitzen ab.

$$\text{Ostspitze } \alpha_1 = \dots^\circ \quad \text{Westspitze } \alpha'_1 = \dots^\circ$$

Wie groß ist die Ablenkung jeder Zeigerspitze aus dem magnetischen Meridian?

$$\text{Ostspitze } \delta_1 = \dots^\circ \quad \text{Westspitze } \delta'_1 = \dots^\circ$$

h) Wende den Strom und lies die Ablenkungen der Zeigerspitzen ab, beachte dabei den Sinn der Drehung.

$$\text{Ostspitze } \alpha_2 = \dots^\circ \quad \text{Westspitze } \alpha'_2 = \dots^\circ.$$

Öffne den Stromkreis. Vergleiche Größe und Sinn von  $\alpha_1$ ,  $\alpha'_1$  und von  $\alpha_2$ ,  $\alpha'_2$ . Wie groß ist die Ablenkung jeder Zeigerspitze aus dem magnetischen Meridian?

$$\text{Ostspitze } \delta_2 = \dots^\circ \quad \text{Westspitze } \delta'_2 = \dots^\circ.$$

i) Nimm aus den absoluten Beträgen der Ablesungen  $\alpha_1$ ,  $\alpha'_1$ ,  $\alpha_2$  und  $\alpha'_2$  das Mittel und ebenso aus den vier Ablenkungen  $\delta_1$ ,  $\delta'_1$ ,  $\delta_2$  und  $\delta'_2$  der beiden Nadelspitzen aus dem Meridian. Vergleiche beide Mittelwerte miteinander. Wie muß man also verfahren, um den richtigen Ausschlag des Zeigers einer Tangentenbussole zu bestimmen?

k) Die Zeigerablesungen schreibt man zweckmäßig in folgender Form auf:

Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel	Ablenkung
	$\alpha_1$	$\alpha'_1$	$\frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha'_1)$	$\frac{1}{2}[\frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha'_1) + \frac{1}{2}(\alpha_2 + \alpha'_2)]$
	$\alpha_2$	$\alpha'_2$	$\frac{1}{2}(\alpha_2 + \alpha'_2)$	

Man berechnet zuerst das Mittel aus  $\alpha_1$  und  $\alpha'_1$  und das Mittel aus  $\alpha_2$  und  $\alpha'_2$ . Das Hauptmittel aus den beiden so erhaltenen Mitteln liefert die wahre Ablenkung der Bussolennadel.

l) Wie groß ist der Unterschied der Stellungen  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  der östlichen Nadelspitze? Nimm die Hälfte dieser Unterschiede. Vergleiche sie mit dem Wert von  $\alpha_0$ . Wie muß man also die Bussole drehen, damit die Ablenkungen  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  möglichst gleich werden, wenn man gefunden hat, daß  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  verschieden sind?

m) Drehe die Bussole um den Winkel  $\frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha_2)$  in dem richtigen Sinn. Schließe den Strom, lies den Ausschlag der östlichen Nadelspitze ab, wende den Strom und wiederhole die Ablesung. Vergleiche beide Ablesungen miteinander. Öffne den Strom, nimm die Bussolennadel von der Spitze und lege sie in das Gehäuse.

**Bemerkungen.** Ist der Übraum mit feststehenden Arbeitstischen ausgestattet, so empfiehlt es sich, die Orte, wo die Tangentenbussolen aufzustellen sind, durch Messingnägeln oder andere feste Marken dauernd zu bezeichnen. Die Bussole wird so aufgestellt, daß der Drehpunkt der Nadel über einer Marke liegt. Die Plätze für die Bussole wähle man so, daß in  $\sim 1$  m Umkreis kein Eisen vorhanden ist. Man bestimme selbst für eine Stelle des Übraums möglichst genau die Horizontalintensität des Erdmagnetismus und dann durch Vergleichung damit die Horizontalintensitäten für die übrigen Orte.

Man warne die Schüler, die Begriffe Magnetnadel und Zeiger zu verwechseln.

Die Aufgabe 43 wird man schon bei der Behandlung der Stromquellen stellen.

**44. Aufgabe.** *Wie hängt die magnetische Feldstärke eines geraden Stromleiters von der Stromstärke und dem Abstand von der Drahtachse ab?*

(3 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** HALL-MINOR 95 Nr. 50. STEWART-GEE 2, 314. ABRAHAM 2, 333 Nr. 152. SCHREBER-SPRINGMANN 2, 247 Nr. 209.

<p><b>Geräte.</b> Schwingungs-Magneto- meter (vgl. S. 314). Bussole mit Gradteilung. Brett (vgl. S. 442). Wasserwage. Schraubzwinde. Ringgewichtstück (1 kg*). Bindfaden. Flüssigkeitswiderstand. 3 bis 4 Sammler.</p>	<p>Strommesser (bis 10 A und mehr), wenn möglich ein Erhitzungs-Strommesser. Stromwender. Stechuhr. Schublehre. Maßstab. Millimeterpapier. Leitungsschnüre von 2 mm Durchmesser.</p>
--	--

### I. Schwingungsverfahren.

**Anleitung.** a) Spanne oberhalb des Arbeitstisches in mindestens 75 cm Höhe über der Platte und in der Richtung von Nord nach Süd einen starken Bindfaden aus (Fig. 331). Befestige daran über dem nördlichen oder den südlichen Tischrand einen mindestens 1,50 m langen Kupferdraht von 1 mm Durchmesser, ziehe ihn durch das Loch des Brettchens und belaste ihn unten mit einem Gewichtstück (1 kg\*). Richte das Brettchen waagrecht so aus, daß der Draht genau durch seine Mitte hindurchführt und die eine Mittellinie genau von Norden nach Süden läuft, und klemme

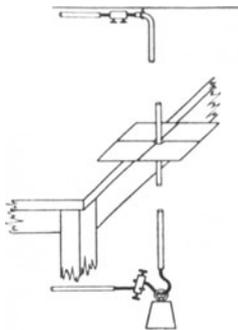


Fig. 331.

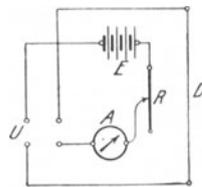


Fig. 332.

es dann mit einer Schraubzwinde fest. Stelle an dem gegenüberliegenden Tischrand in  $\sim 3$  m Entfernung von dem lotrechten Draht eine Sammlerbatterie  $E$  (Fig. 332) auf, der man  $\sim 10$  A entnehmen kann, schalte diese in Reihe mit einem Flüssigkeitswiderstand  $R$ , einem Stromzeiger  $A$ , einem Stromwender  $U$  und dem lotrechten Drahte  $D$ . Halte dabei die Leitungsschnüre möglichst fern von dem lotrechten Draht, führe daher die obere Litze den Bindfaden und die untere den Boden entlang.

b) Stelle auf dem Brettchen das Magnetometer östlich vom Draht so auf, daß das Lot von der Mitte des Magnets auf die Drahtachse lotrecht auf dem magnetischen Meridian steht und die Mitte des Magnets von der Achse des Drahts genau um  $r = 6$  cm entfernt ist. Schließe den Strom, sobald der Magnet zur Ruhe gekommen ist. Wird der Magnet nicht abgelenkt, so ist die Aufstellung richtig. Findet eine Ablenkung statt, so muß man das Magnetometer ein wenig im Meridian verschieben. Setze, sobald die richtige Aufstellung des Magnetometers erzielt ist, bei geöffnetem Strom den Magnet in kleine Schwingungen und bestimme die Schwingungszahl  $n_0$ .

c) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Anzahl der Schwingungen $z_0$	Schwingungszeit $t_0$		Schwingungszahl $n_0 = z_0/t_0$
	min sek	sek	

Mittel  $n_0 = \dots$

d) Schließe den Strom, lies die Stromstärke ab und bestimme wiederum die Schwingungszahl. Halte dabei sorgfältig mit dem Widerstande die Stromstärke auf derselben Höhe. *Stromfeld. Erdfeld.* Bestimme mit der Regel der rechten Faust, ob an der Stelle, wo das Magnetometer steht, beide Felder gleiche oder entgegengesetzte Richtungen haben. Wende den Strom und wiederhole den Versuch.

e) Vermindere die Stromstärke und wiederhole die Messungen (d). Untersuche, ob sich nicht bei einer gewissen Stromstärke die Magnetnadel umkehrt.

f) Stelle das Magnetometer genau 6 cm westlich vom Draht auf und wiederhole die Messungen (d) und (e).

g) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf, deute dabei die Stromrichtungen durch Pfeile,  $\uparrow$  oder  $\downarrow$ , und die Stellung des Magnets durch  $w$  oder  $o$  an.

Magnetometer Nr. . . .  $n_0^2 = \dots$   $r = \dots$  [cm].  $H = \dots$  [Gauß].

Stromstärke $J$ A	Stromrichtung	Feldrichtung	Stellung des Magnetometers	Schwingungszeit $t$		Anzahl der Schwingungen $z$
				min sek	sek	

Schwingungszahl $n = z/t$	Mittelwert $\bar{n}$	$n^2 - n_0^2$		$\oint$	$\oint/J$	$r \oint/J$
			Mittel			



p) In welche Gleichung kann man die Ergebnisse von (g) und (m) zusammenfassen?  $\xi = \eta J/r$ . Berechne aus diesen Ergebnissen  $r\xi/J$  und daraus den Mittelwert von  $\eta$ . *Gesetz von BIOT und SAVART.*

q) Verschiebe bei ungeänderter Stärke und Richtung des Stroms eine Bussole auf der Ost-Westlinie des Drahts und suche die Stelle, wo sich die Nadel umkehrt, also sich das Erdfeld und das Stromfeld gegenseitig aufheben.

## II. Ablenkungsverfahren.

**Anleitung.** r) Stelle genau auf dem magnetischen Meridian, der durch die Achse des Drahts geht, eine Bussole so auf, daß die Ablenkung der Nadel genau  $45^\circ$  beträgt. Miß den Abstand der Drahtachse von der Mitte der Nadel und lies die Stromstärke ab. Wende den Strom; verrücke die Bussole auf dem magnetischen Meridian, bis die Ablenkung der Nadel wieder genau  $45^\circ$  ist. Regle, wenn nötig, den Widerstand so, daß sich die Stromstärke während des Versuchs nicht ändert. Vergiß nicht, vor dem Ablesen an die Bussole zu klopfen.

s) Bringe die Bussole auf die entgegengesetzte Seite des Drahts und wiederhole die Versuche (r).

t) Die Magnetnadel habe die Länge  $l$  und die Polstärke  $m$ , also das Moment  $M = ml$ . Im Mittelpunkt der Bussole sei die Horizontalkomponente  $H$  und die Stärke des Stromfeldes  $\xi$ . Wie groß sind die beiden Drehantriebe, die auf den Magnet wirken? Es ist  $\xi = H \tan \alpha$ , wo  $\alpha$  die Ablenkung der Nadel bezeichnet. Nach den Versuchen (b) bis (q) ist  $\xi = \eta J/r$ , wo  $\eta$  einen festen Wert hat. Berechne aus den Messungen von (r) und (s) den Wert von  $\eta$  und vergleiche seinen Mittelwert mit dem in (p) gefundenen Mittelwert.

u) Spanne nun den Draht, der seither lotrecht hing, in der Höhe der Magnetometernadel wagerecht aus und stelle das Magnetometer neben den Draht. Schicke verschieden starke Ströme durch den Draht und bestimme jedesmal die Schwingungszahl. Ändert sich die Schwingungszahl mit der Stromstärke?

**Bemerkungen.** Auf dem Brett ( $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ ) sind die beiden Mittellinien gezogen und längs dieser Striche zwei Streifen Millimeterpapier geklebt. Durch die Mitte des Bretts ist ein 0,5 bis 1 cm weites Loch gebohrt.

Statt des Flüssigkeitswiderstandes kann man einen andern Stromschwächer (bis  $\sim 5 \text{ Ohm}$ ) verwenden, der eine dauernde Belastung mit 10 A verträgt. Man kann den Strom auch durch Ausschalten von Sammlern schwächen.

Bussole haben für die Schwingungsversuche eine zu starke Dämpfung.

Bei Schülerübungen ist es wohl kaum ratsam, durch einen Hilfsmagnet, der in der Nähe des Magnetometers aufgestellt ist, die Wirkung des Erdfeldes auszugleichen.

Man kann die Fragen, die durch das Schwingungsverfahren gelöst wurden, auch nach dem Ablenkungsverfahren beantworten lassen, doch dürfte es sich dabei empfehlen, statt der Bussole ein Spiegelmagnetometer

zu verwenden und die Ablenkungswinkel mit Spiegel und Teilung genau zu messen.

Man halte die Schüler an, daß sie bei den zusammengehörigen Messungen die Stromstärke stets sorgfältig auf der gleichen Höhe halten und sofort nach jeder Messung den Strom öffnen.

Man lasse einen Teil der Gruppen die Versuche (l) bis (q) und (u) und den andern Teil zu gleicher Zeit die Versuche (r) und (s) ausführen.

**45. Aufgabe.** *Wie hängt die Feldstärke in der Mitte einer Stromschleife vom Halbmesser und von der Stromstärke ab?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Literatur.** STEWART-GEE 2, 324. F. C. G. MULLER, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 8, 34; 1894. ABRAHAM 2, 335 Nr. 153. SCHREBER-SPRINGMANN 2, 248 Nr. 210.

<p><b>Geräte.</b> Stromschleife (vgl. S. 448).                  Bussole mit Gradteilung.                  2 Sammler.                  Stromwender.                  Strommesser.                  Flüssigkeitswiderstand.                  Stromschwächer (1 m Man-</p>	<p>ganindraht von 0,5 mm Durchmesser).                  VOLKMANNsche Klammer.                  Leitungsschnüre für Tangentenbussole.                  Leitungsschnüre.                  Stechuhr.</p>
---	---

**Anleitung.** a) Stelle einen Stromkreis her aus 2 Sammlern *E* (Fig. 333), dem Stromschwächer *R*, dem Strommesser *A*, dem Wender *U* und der Stromschleife *S* (Fig. 334). Verbinde dabei die Schleife durch zusammengedrehte Leitungsschnüre, wie man sie bei der Tangentenbussole verwendet,

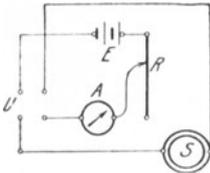


Fig. 333.

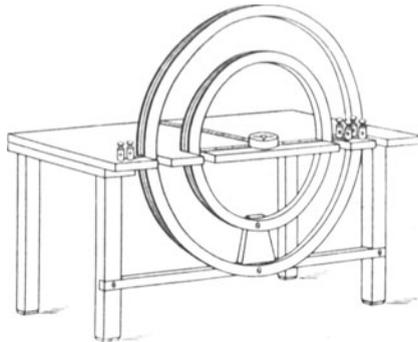


Fig. 334.

mit dem Stromwender und stelle die Schleife möglichst weit von den übrigen Geräten auf.

### I. Schwingungsverfahren.

b) Stelle die Stromschleife so auf, daß die Windungen senkrecht zum magnetischen Meridian stehen. Setze in die Mitte der Schleife die Bussole, bringe ihre Nadel zum Schwingen und bestimme ihre Schwingungszahl  $n_0$ . Schreibe die Ergebnisse wie in Aufgabe 44 (c) auf.

c) Schalte die einfache Windung, deren Halbmesser 10 cm ist, in den Stromkreis, schlieÙe den Strom, regle den Widerstand so, daÙ die Stromstärke 2 A wird, und halte sie während des Versuchs stets genau auf der gleichen Höhe. Stelle die Stromrichtung und mit der erweiterten Regel der rechten Faust die Richtung des Stromfeldes fest. Bestimme die Schwingungszahl der Bussolennadel. Wende den Strom und wiederhole die Messung. Öffne den Strom.

d) Schalte die Windung ein, deren Halbmesser 15 cm ist, regle den Widerstand so, daÙ die Stromstärke wieder genau 2 A wird, halte sie dauernd auf dieser Höhe, bestimme die Richtungen des Stroms und des Stromfeldes und die Schwingungszahl der Bussolennadel. Wende den Strom und wiederhole den Versuch. Unterbrich den Strom.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf, unterscheide dabei die Stromrichtungen als Zeigerstrom (Z) und Gegenzeigerstrom (G).

Stromschleife Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Bussole Nr. . . . Stromstärke  $J = \dots$  [A].  $n_0^2 = \dots$   $H = \dots$  [Gauß].

Stromrichtung	Feldrichtung	Halbmesser der Schleife $r$ cm	Schwingungszeit $t$ sek	Anzahl der Schwingungen $z$

Schwingungszahl $n = z/t$	Mittelwert von $n$	$n^2 - n_0^2$	Mittelwert von $n^2 - n_0^2$	$r(n^2 - n_0^2)$	$\xi$	$r\xi/J$

f) Nach Aufgabe 44 (h) ist  $\pm c\xi = n^2 - n_0^2$  und  $\xi = \pm \frac{n^2 - n_0^2}{n_0^2} H$ , also  $n^2 - n_0^2$  der Feldstärke  $\xi$  der Stromschleife verhältnissgleich. Welche Beziehung besteht zwischen  $n^2 - n_0^2$  und  $r$  und demnach zwischen  $\xi$  und  $r$ ?

g) Schalte die einfache Windung, deren Halbmesser 10 cm ist, in den Stromkreis ein und regle den Widerstand so, daÙ ein Strom von 1,5 A durch den Draht fließt, und halte diese Stärke dauernd aufrecht. Stelle die Richtungen des Stroms und des Stromfeldes fest und bestimme die Schwingungszahl. Wende den Strom und wiederhole den Versuch. Unterbrich den Strom.

h) Stelle die Ergebnisse dieses Versuchs und des Versuchs (c) in folgender Weise zusammen:

$$r = \dots \text{ [cm]}. \quad n_0 = \dots \quad H = \dots \text{ [Gauß]}.$$

Stromrichtung	Feldrichtung	Stromstärke $J$ A	Schwingungszeit $t$ sek	Anzahl der Schwingungen $z$

Schwingungszahl $n = z/t$	Mittelwert von $n$	$n^2 - n_0^2$	Mittelwert von $n^2 - n_0^2$	$\frac{n^2 - n_0^2}{J}$	$\xi$	$r\xi/J$

i) Welche Beziehung besteht zwischen  $n^2 - n_0^2$  und  $J$ , also zwischen  $\xi$  und  $J$ ? Wie kann man dieses Ergebnis und das von (e) zusammenfassen?

k) Schalte die einzelne Windung und die drei Windungen, deren Halbmesser 10 cm ist, hintereinander, regle den Widerstand so, daß ein Strom von 2 A hindurchfließt, und erhalte diese Stärke während des Versuchs stets aufrecht. Bestimme die Richtungen des Stroms und des Stromfeldes und die Schwingungszahl der Bussolennadel. Wende den Strom und wiederhole den Versuch.

l) Stelle die Ergebnisse dieses Versuchs und des Versuchs (e) in folgender Weise zusammen:

$$r = \dots [\text{cm}], \quad n_0 = \dots \quad J = \dots [\text{A}], \quad H = \dots [\text{Gauß}].$$

Stromrichtung	Feldrichtung	Anzahl der Windungen $N$	Schwingungszeit $t$ sek	Anzahl der Schwingungen $z$

Schwingungszahl $n = z/t$	Mittelwert von $n$	$n^2 - n_0^2$	Mittelwert von $n^2 - n_0^2$	$(n^2 - n_0^2)/N$	$\xi$	$r\xi/NJ$

m) Welche Beziehung besteht zwischen der Feldstärke  $\xi$  und der Anzahl  $N$  der Windungen? Fasse die Ergebnisse von (e), (h) und (l) zusammen.

n) Schicke einen Strom von 2 A durch die drei Windungen und in entgegengesetzter Richtung durch die vierte Windung der Spule von 10 cm Halbmesser. Bestimme die Schwingungszahl. Wende den Strom und wiederhole die Messung. Von welchen Windungen heben sich die Felder gegenseitig auf. Wieviel Windungen könnten das entstandene Feld auch erzeugen?

o) Trage diese Ergebnisse in die Tafel von (l) ein.

## II. Ablenkungsverfahren.

Anleitung. p) Stelle die Stromschleife so auf, daß die Windungen im magnetischen Meridian liegen. Schalte die einzelne Windung, deren Halbmesser 10 cm ist, in den Stromkreis, schließe den Strom, regle den Widerstand so, daß die Stromstärke 2 A wird, und halte

sie während des ganzen Versuchs genau auf dieser Höhe. Bestimme die Richtungen des Stroms und seines Feldes. Lies die Stellungen der beiden Nadelspitzen ab, wende den Strom und wiederhole die Ablesungen. Unterbrich den Strom.

q) Schalte nun die Stromschleife, deren Halbmesser 15 cm ist, ein, regle den Widerstand so, daß der Strom wieder genau 2 A stark wird, und halt ihn dauernd auf diesem Stande. Bestimme die Richtungen des Stroms und seines Kraftfeldes. Ermittle unter Wenden des Stroms aus den vier Stellungen der Nadelspitzen die Ablenkung der Bussolennadel. Öffne den Strom.

r) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:  
 Stromschleife Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Bussole Nr. . . . Stromstärke  $J = \dots$  [A].  $H = \dots$  [Gauß].

Stromrichtung	Feldrichtung	Halbmesser der Stromschleife $r$ cm	Nadelablesungen			Ablenkung $\alpha$	$\text{tg } \alpha$	$\xi = \frac{H}{\text{tg } \alpha}$	$r \xi$	$r \xi / J$
			Ostspitze	Westspitze	Mittel					

s) Vergleiche die Werte von  $r$  und die von  $\text{tg } \alpha$  miteinander. Bezeichnet  $H$  die Horizontalkomponente, so ist, nach Aufgabe 44 (t) die Feldstärke  $\xi = H \text{tg } \alpha$ . Welche Beziehung besteht zwischen  $\xi$  und  $r$ ?

t) Schalte die einzelne Windung, deren Halbmesser 10 cm ist, ein, regle den Widerstand so, daß ein Strom von 1,5 A durch die Drahtschleife fließt, und halte während des ganzen Versuchs den Strom sorgfältig auf dieser Stärke. Bestimme unter Wenden des Stroms aus den vier Stellungen der Spitzen die Ablenkung der Nadel. Öffne den Strom.

u) Stelle die Ergebnisse dieses Versuchs und des Versuchs (p) in folgender Weise zusammen:

$$r = \dots \text{ [cm]}. \quad H = \dots \text{ [Gauß]}.$$

Stromrichtung	Feldrichtung	Stromstärke $J$ A	Nadelablesungen			Ablenkung $\alpha$	$\text{tg } \alpha$	$\xi = \frac{H}{\text{tg } \alpha}$	$\xi / J$	$r \xi / J$
			Ostspitze	Westspitze	Mittel					

v) Vergleiche die Stromstärken  $J$  mit den Werten von  $\text{tg } \alpha$ . Welche Beziehung besteht zwischen  $\xi$  und  $J$ ? Wie kann man diese Ergebnisse und die von (s) zusammenfassen? Berechne aus den Messungsergebnissen, die in (r) und (u) zusammengestellt sind, die Werte von  $r \xi / J$ . Welcher Zahl sind die Fünffachen dieser Größen gleich? Wie ist also  $\xi$  von  $J$  und  $r$  abhängig?

w) Schalte die einzelne Windung und die drei Windungen mit dem Halbmesser 10 cm hintereinander, regle den Widerstand so, daß ein Strom von 2 A hindurchfließt, und erhalte während des ganzen Versuchs diese Stromstärke sorgfältig aufrecht. Bestimme die Richtungen des Stroms und seines Kraftfeldes und unter Wenden des Stroms aus den vier Stellungen der Spitzen die Ablenkung der Bussolennadel.

x) Stelle die Ergebnisse dieses Versuchs und des Versuchs (p) auf folgende Weise zusammen:

$$r = \dots [\text{cm}]. \quad J = \dots [\text{A}]. \quad H = \dots [\text{Gauß}].$$

Stromrichtung	Feldrichtung	Anzahl der Windungen $N$	Nadelablesungen			Ablenkung $\alpha$	$\text{tg } \alpha$	$\xi = H \text{tg } \alpha$	$\xi/N$	$r\xi/NJ$
			Ostspitze	Westspitze	Mittel					

y) Vergleiche die Werte von  $N$  und von  $\text{tg } \alpha$  miteinander. Welche Beziehung besteht zwischen  $\xi$  und  $N$ ? Wem sind die Werte von  $5r\xi/NJ$  angenähert gleich? Drücke  $\xi$  durch die Größen  $N, J$  und  $r$  aus. Welche Gleichung bestehe zwischen  $H, \alpha, N, J$  und  $r$ ? Berechne daraus  $J$ . Tangentenbussole. Umrechnungszahl (Stromwert der Ablenkung  $45^\circ$ )  $C$ . Welcher Teil dieser Umrechnungszahl hängt nicht von der Tangentenbussole, sondern von dem Ort ab, wo sich diese befindet? Es ist

$$J = 5 \frac{rH}{N\pi} \text{tg } \alpha = 10 \frac{r^2 H}{N \cdot 2\pi r} \text{tg } \alpha.$$

Welche Größe wird durch  $N \cdot 2\pi r$  dargestellt? Es läßt sich  $H$  in cm, gr und sek, also auch  $J$  in absolutem Maß messen. Da

$$\xi = H \text{tg } \alpha = \frac{N \cdot 2\pi r \cdot J}{10r^2},$$

so ist die Kraft  $F$ , womit der Strom von der Länge  $l = N \cdot 2\pi r$  aus der Entfernung  $r$  auf den Magnetpol von der Stärke  $m$  wirkt,  $F = m\xi = mJ/10r^2$ , mithin  $J = 10r^2 F/m$ . Dann hat ein Strom, dessen Länge 1 cm ist, und der aus der Entfernung 1 cm auf den Magnetpol von der Stärke 1 CGS mit der Kraft 1 Dyne wirkt, die Stärke

$$J = 10 \text{ A}.$$

Diese Stromstärke, das Weber, ist die elektromagnetische Einheit der Stromstärke.

z) Schicke einen Strom von 2 A durch die drei Windungen mit 10 cm Halbmesser und in entgegengesetzter Richtung durch die vierte Windung derselben Spule. Bestimme unter Wenden des Stroms die Ablenkung der Nadel. Von welchen Windungen heben sich die

Felder gegenseitig auf? Wieviel Windungen könnten das entstandene Feld auch erzeugen?

Trage die Ergebnisse dieser Messungen in die Tafel von (x) ein.

**Bemerkungen.** Man Sorge dafür, daß die Schüler die Stromstärken sorgfältig unverändert halten und sofort nach jeder Messung den Strom unterbrechen.

Die Stromschleife (Fig. 334, S. 443). Die Schemelplatte, deren Oberseite  $\sim 20$  cm über dem Tisch liegt, ist  $\sim 40$  cm lang und 20 cm breit und ragt  $\sim 3$  cm über das Untergestell hinaus. In den einen Längsrand der Platte sind vier  $\sim 3$  cm tiefe Einschnitte gemacht und darin zwei Holzreifen lotrecht so eingesetzt, daß deren gemeinsamer Mittelpunkt so hoch über der Oberseite der Platte liegt, daß die Mitte einer Bussole, die auf der Platte steht, genau mit jenem Mittelpunkt zusammenfällt. Auf den kleinern Reifen ist eine Windung aus isoliertem Kupferdraht von 1 mm Durchmesser so gelegt, daß die Drahtachse einen Kreis von 20 cm Durchmesser bildet. Unter dem Mittelpunkte des Drahtachsenkreises liegt der Anfangspunkt der beiden Millimeterteilungen. Die eine Teilung liegt längs dem Durchmesser, sie beginnt beim Mittelpunkt und zählt nach beiden Seiten, die andere Teilung liegt in der Achse der Schleife und beginnt auch beim Mittelpunkt. Die freien Enden der Schleife laufen gleich und führen nach zwei Klemmen, bei denen die Bezeichnung:  $A \cdot 20 \text{ cm} \cdot 1 \text{ mm}$  steht. Auf den Reifen sind noch weitere drei Windungen desselben Drahts dicht nebeneinander gelegt. Die freien Enden der Spulen laufen gleich und führen zu zwei Klemmen, bei denen die Bezeichnung:  $B \cdot 20 \text{ cm} \cdot 1 \text{ mm}$  steht. Auf dem größern Reifen liegt eine Windung derselben Drahtsorte so, daß die Drahtachse einen Kreis von 30 cm Durchmesser bildet und dessen Mittelpunkt mit dem der andern Schleife zusammenfällt. Die freien Enden dieses Drahts laufen zu zwei Klemmen mit der Bezeichnung:  $C \cdot 30 \text{ cm} \cdot 1 \text{ mm}$ . Für manche Versuche ist es zweckmäßig, die obere und untere Hälften der Drahtschleifen verschieden zu färben. Die Füße des Schemels sind mit Spitzen versehen.

Das Ablenkungsverfahren ist dem Schwingungsverfahren vorzuziehen.

Man lasse gleichzeitig einige Gruppen die Versuche (a) bis (o), andere Gruppen die Versuche (a) und (p) bis (z) ausführen und weitere Gruppen die Aufgabe 46 erledigen.

**46. Aufgabe.** *Wie ändert sich die Feldstärke einer Stromschleife auf dem wagerechten Durchmesser und auf der Achse der Schleife?*

(2 Schüler, 2 Stunden.)

**Geräte.** Wie bei Aufgabe 45, dazu Millimeterpapier, Maßstab und Schublehre.

### I. Schwingungsverfahren.

**Anleitung.** a) Verfahre wie bei Aufgabe 45 (a) bis (c); schalte dabei die einzelne Windung mit 10 cm Halbmesser in den Stromkreis.

b) Verschiebe die Mitte der Bussole auf dem ostwestlichen Durchmesser der Stromschleife bis zu dem östlichen Innenrand, miß den Abstand  $a$  der Bussolenmitte von der Mitte der Stromschleife und bestimme die Schwingungszahl. Verschiebe nun die Mitte der Bussole auf dem Durchmesser der Schleife bis zu dem westlichen Innenrand, miß den Abstand der Bussolenmitte von der Schleifen-

mitte und bestimme die Schwingungszahl. Halte bei diesen Versuchen, wenn nötig, durch Änderung des Widerstandes die Stromstärke stets auf der gleichen Höhe.

e) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stromschleife Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Bussöle Nr. . . .  
 $r = \dots$  [cm]. Stromstärke  $J = \dots$  [A] =  $\dots$  [Weber].  $n_o^2 = \dots$   
 $H = \dots$  [Gauß].

Stromrichtung	Feldrichtung	Abstand $a$ cm	Schwingungszeit $t$ sek	Anzahl der Schwingungen $z$

Schwingungszahl $n = z/t$	Mittelwert von $n$	$n^2 - n_o^2$	Mittelwert von $n^2 - n_o^2$	$\xi$

d) Nach Aufgabe 44 (h) ist  $\xi = (n^2 - n_o^2) H / n_o^2$ . An welcher Stelle des westöstlichen Schleifendurchmessers hat  $n^2 - n_o^2$  und mit hin  $\xi$  einen kleinsten Wert?

e) Miß den Halbmesserr der Stromschleife. Verschiebe die Mitte der Bussöle auf der im magnetischen Meridian liegenden Achse der Stromschleife jedesmal um ein Zentimeter bis zum Abstand 6 cm und bestimme für jede Stellung in der üblichen Weise die Schwingungszahl.

f) Stelle die Ergebnisse dieser Messungen und die von (a) in folgender Weise zusammen, bezeichne dabei den Abstand der Bussölmittle von der Schleifenmitte mit  $d$ .

$n_o^2 = \dots$   $J = \dots$  [A] =  $\dots$  [Weber].  
 $r = \dots$  [cm.]  $H = \dots$  [Gauß].

Stromrichtung	Feldrichtung	Abstand $d$ cm	Schwingungszeit $t$ sek	Anzahl der Schwingungen $z$	Schwingungszahl $n = z/t$	Mittelwert von $n$

$n^2 - n_o^2$	Mittelwert von $n^2 - n_o^2$	$\xi = \frac{n^2 - n_o^2}{n_o^2} H$	$\xi = \frac{2 \pi r^2 J}{(r^2 + d^2)^{3/2}}$	$\frac{1}{(r^2 + d^2)^{3/2} (n^2 - n_o^2)}$

g) Es ist  $\pm \xi = (n^2 - n_0^2) H / n_0^2$ , ferner, wie sich durch Rechnung ableiten läßt,

$$\xi = \frac{2\pi r^2 J}{(r^2 + d^2)^{3/2}}$$

wo  $J$  in Weber gemessen ist. Es muß also  $1/(r^2 + d^2)^{3/2} (n^2 - n_0^2)$  einen festen Wert haben. Ergeben dies die Messungen? An welcher Stelle der Schleifenachse ist das Feld am stärksten?

h) Stelle die Ergebnisse bildlich dar und wähle dabei als Abszisse  $d$  und als Ordinate  $\xi = (n^2 - n_0^2) H / n_0^2$ . Stelle ebenso  $\xi = 2\pi r^2 J / (r^2 + d^2)^{3/2}$  als Kurve dar, und setze dabei  $x = d$  und  $y = \xi$ . Vergleiche beide Kurven miteinander.

II. Ablenkungsverfahren.

Anleitung. i) Verfahre wie bei Aufgabe 45 (a) und (p).

k) Verschiebe die Mitte der Busssole auf dem nordsüdlichen Durchmesser der Stromschleife bis zu dem südlichen Innenrand, miß den Abstand  $a$  der Bussolenmitte von der Schleifenmitte und bestimme wie in Aufgabe 45 (p) die Ablenkung der Nadel. Verschiebe die Bussole nach dem nördlichen Innenrand und verfahre ebenso.

l) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Stromschleife Nr. . . . Strommesser Nr. . . .  
 Bussole Nr. . . .  
 Stromstärke  $J = \dots$  [A] =  $\dots$  [Weber].  
 $H = \dots$  [Gauß].  
 $r = \dots$  [cm].

Strom- richtung	Feld- richtung	Abstand $a$ cm	Nadelablesungen			Ab- lenkung $\alpha$	$\text{tg } \alpha$	$\xi$
			Ost- spitze	West- spitze	Mittel			

m) Es ist die Feldstärke  $\xi = H \text{tg } \alpha$ , wo  $H$  die Horizontalkomponente bezeichnet. An welcher Stelle des Schleifendurchmessers hat  $\text{tg } \alpha$  und mithin  $\xi$  seinen kleinsten Wert?

n) Miß den Halbmesser  $r$  der Stromschleife. Verschiebe nun die Mitte der Busssole auf der Achse der Stromschleife jedesmal um ein Zentimeter bis zum Abstand 6 cm und bestimme für jede Lage unter Wenden der Stromrichtung aus den vier Stellungen der Spitzen die Ablenkung der Magnetnadel.

o) Stelle die Ergebnisse dieser Messungen und die von (i) in folgender Weise zusammen und bezeichne dabei den Abstand der Bussolenmitte von der Schleifenmitte mit  $d$ .



Spule zurück. Zeichne das eine Ende der Spule durch ein aufgeklebtes Stückchen Papier. Verbinde die freien Drahtenden der Spule  $S$  (Fig. 335) mit den beiden Gegenklemmen des geschlossenen Stromwenders  $U_1$ , doch schalte dabei in die Leitung den Stromschlüssel  $U_2$  und einen Stromschwächer ein. Verbinde die beiden andern Klemmen des Wenders  $U_1$  mit den Polen der Kette  $E$ .

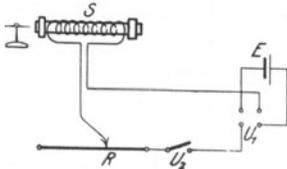


Fig. 335.

Drücke den Stromschlüssel nieder und schließe den Strom. Halte die Spule von Osten nach Westen und nähere das gezeichnete Ende der Spule der Bussolennadel. Wie wirkt es auf den Nordpol und wie auf den Südpol der Nadel? Wiederhole die Versuche mit dem andern Ende der

Spule. Wo liegen also gleichsam der Nordpol und der Südpol der Spule? Lege die rechte Hand so um die Spule, daß die Finger die Richtung des Stroms anzeigen. Nach welchem Pol der Spule weist der ausgestreckte Daumen? *Erweiterte Regel der rechten Faust.* Öffne den Strom und prüfe, ob sich die Spule noch wie ein Magnet verhält.

b) Kehre mit dem Stromwender die Richtung des Stroms in der Spule um und prüfe wiederum die beiden Enden der Spule mit der Bussole. Welches Ende ist nun Nordpol? Gilt auch jetzt noch die erweiterte Regel der rechten Faust? Mach eine flüchtige Zeichnung der Spule und gib darin die Stromrichtung und die Richtung der Kraftlinien an.

c) Wickle den Draht von der Glasröhre ab und dann in entgegengesetztem Sinn wieder auf. Wiederhole die Versuche (a) und (b).

d) Prüfe mit der Bussole, ob die Stäbe aus weichem Eisen magnetisiert sind. Halte sie, falls sie magnetisiert sind, in die Ost-Westrichtung und schlage sie kräftig auf den Tisch. Schließe den Strom und stelle die Bussole so weit von der Spule entfernt auf, daß die Ablenkung  $\sim 45^\circ$  wird. Schiebe die nicht magnetisierten oder entmagnetisierten Stäbe der Reihe nach einzeln in die Glasröhre und untersuche die Einwirkung der Spule auf die Bussole. Wird die magnetische Kraft der Spule verstärkt oder geschwächt? Wird nach dem Öffnen des Stroms die Nadel noch abgelenkt? Ziehe die Eisenstäbe aus der Spule und schiebe sie, ohne dabei die Stromrichtung zu ändern, umgekehrt in die Spule hinein. Werden hierdurch die Pole umgekehrt?

e) Nimm die Eisenstäbe aus der Spule und prüfe, ob sie magnetisiert sind. Was für Pole bilden die Stabenden, die beim Nordpol der Spule lagen, und was für Pole die andern Enden? Sind die Stäbe magnetisiert worden, so entmagnetisiere sie wie bei dem Versuch (d).

f) Prüfe, ob die Uhrfedern bereits magnetisiert sind. Lege eine nicht magnetisierte Feder in die Spule, schicke durch diese einen

Strom und prüfe, ob die Uhrfeder nach dem Herausnehmen noch magnetisiert bleibt. Läßt sie sich ebenso leicht wie das weiche Eisen entmagnetisieren? Kann man sie mit der Spule entmagnetisieren?

g) Biege den Draht in der Mitte um und wickle die eine Hälfte rechts und die andere Hälfte links herum auf die Glasröhre. Wiederhole mit dieser Spule die Versuche (a) und (b).

**Bemerkungen.** Als Stromquelle kann man auch die Starkstromleitung benutzen und dabei wie bei den Versuchen über Elektrolyse (vgl. S. 372) elektrische Lampen als Vorschaltwiderstände verwenden.

Man halte streng darauf, daß die Schüler nur während der Versuche und auf möglichst kurze Zeit den Strom schließen. Unzuverlässige Schüler lasse man einen Widerstand in den Stromkreis einschalten.

**48. Aufgabe.** *Wie ist das Wesen des Drehspulen-Galvanometers zu erklären?*

(1 Schüler,  $\frac{1}{2}$  Stunde.)

**Literatur.** CREW-TATNALL 153 Nr. 71.

<p><b>Geräte.</b> Trockenkette. Hufeisenmagnet, der in einem Holzklötz aufrecht steht. Drehspule.</p>	<p>Stromschlüssel. Holzgestell oder ein anderer Gegenstand, woran man die Spule aufhängen kann.</p>
---	---

**Anleitung.** a) Schätze die Höhe der Polflächen über der Tischplatte ab. Hänge ungefähr in der gleichen Höhe die flache Stromspule an einem Gestell oder Galgen so auf, daß sie sich leicht um ihre lotrechte Achse drehen kann. Laß dabei die Spule den einen Draht spannen und wickle den andern Draht lose herum. Verbinde die Kette mit dem Stromschlüssel und der Drehspule zu einem Stromkreis. Schließe den Strom. Bewegt sich dabei die Spule?

b) Stelle nun, während der Strom unterbrochen ist, den Hufeisenmagnet (Fig. 336) so auf, daß die Spule zwischen den Polen hängt. Schließe den Strom. Dreht sich die Spule?

Warum bewegt sie sich? Gib dem Magnet verschiedene Stellungen zu den Windungen der Spule und suche die Anordnung, wo die Drehung am größten wird. Bei welcher Stellung des Magnets findet keine Ablenkung statt, wenn der Strom geschlossen ist? Wie laufen die Kraftlinien des Magnets? Wie muß man die Windungen der Spule zu diesen Kraftlinien stellen, damit die größte Drehung entsteht?

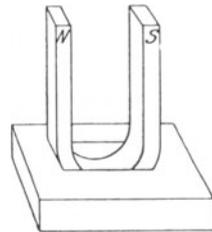


Fig. 336.

c) Stelle den Magnet so, daß seine Kraftlinien den Windungen der Spule gleich laufen und beobachte den Sinn, in dem sich die Spule dreht, wenn ein Strom hindurchfließt. Drehe, ohne die Spule zu berühren, den

Magnet so, daß die beiden Pole ihre Stellen miteinander vertauschen. Schließe den Strom. Vergleiche diese Drehung der Spule mit der vorigen.

d) Laß den Magnet und die Spule in dieser Stellung und vertausche die Drähte an den Polen der Kette. Wie wirkt diese Vertauschung auf die Drehung der Spule ein? Stelle die vorige und die jetzige Stromrichtung fest.

**Bemerkungen.** Die flache Drehspule besteht aus 10 bis 15 Windungen aus isoliertem Draht von 0,5 mm Durchmesser. An seine Enden sind zwei stromdichte Aufhängedrähte von 0,17 mm Durchmesser und 1 m Länge gelötet. Die Spule darf nur so breit sein, daß sie sich zwischen den Polen des Hufeisenmagnets (vgl. S. 311) frei drehen kann. Sind die Aufhängedrähte zu steif, so beschwere man die Spule unten mit einer Bleikugel.

MILLIKAN und GALE (85 Nr. 30) benutzen eine Spule von  $\sim 175$  Windungen aus isoliertem Kupferdraht von 0,2 mm Durchmesser und verwenden zur Aufhängung stromdichten Kupferdraht von 0,08 mm Durchmesser. Den Aufhängedraht führen sie durch einen Kork in einem Holzstab, der auf einem Gehäuse mit einer Glaswand ruht.

**49. Aufgabe.** *Wie hängt das magnetische Feld einer Spule von der Stromstärke ab?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** HADLEY 193 Nr. 122.

<b>Geräte.</b> Spule (vgl. S. 455).	4 Sammler.	
Zeigermagnetometer (vgl. S. 307).		Leitungsschnüre für die Spule.
Tangentenbussole oder Amperemeter.		Leitungsschnüre für die Bussole.
Flüssigkeitswiderstand.		Leitungsschnüre.
Stromwender.		Millimeterpapier.

**Anleitung.** a) Stelle das Magnetometer so auf, daß seine Schiene senkrecht zum magnetischen Meridian steht. Lege die Spule so

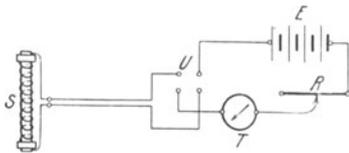


Fig. 337.

auf den Maßstab, daß ihre Achse durch die Mitte der Nadel geht und das nächste Ende  $\sim 10$  cm von der Nadelmitte absteht. Schalte die Spule  $S$  (Fig. 337) durch zwei lange zusammengedrehte Leitungsschnüre mit dem Stromschwächer  $R$ , den vier Windungen der Tangentenbussole  $T$ , dem Stromwender  $U$  und

der Batterie  $E$  in Reihe und stelle dabei die Bussole in beträchtlicher Entfernung von der Spule auf.

b) Stelle den Stromschwächer so ein, daß die Magnetometernadel nur schwach abgelenkt wird. Bestimme unter Wenden des Stromes die Ablenkungen der Magnetometernadel und der Tangentenbussole in der üblichen Weise.

c) Wiederhole die Messungen etwa zehnmal unter Benutzung stärkerer Ströme (bis zu 2 A).

d) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Spule Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahl  $C_4 = \dots$  [A].  
 Magnetometer Nr. . . .  $H = \dots$  [Gauß]. Abstand der Spulenmitte von der Magnetmitte . . . cm.

Ablösungen an der Tangentenbussole				$\alpha$	$\text{tg } \alpha$	$J \text{ A}$
Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel			

Ablösungen am Magnetometer				$\varphi$	$\text{tg } \varphi$	$\S = H \text{ tg } \varphi$
Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel			

e) Zeichne auf Millimeterpapier die Kurve  $x = \text{tg } \varphi$  und  $y = \text{tg } \alpha$ . Besteht zwischen der Stromstärke  $J$  und der Stärke  $\S$  des magnetischen Feldes der Spule eine einfache Beziehung?

**Bemerkungen.** Der Spulenkern ist eine 30 cm lange Glasröhre von 4,7 cm äüßerm Durchmesser. Sie ist mit isoliertem Kupferdraht von 0,4 mm Durchmesser dicht bewickelt. Man befestigt die Endwindungen mit Bindfadenschleifen, oder indem man über die Enden der Glasröhre kurze Stücke Kautschukschlauch streift und unter diesen die Drahtenden hindurchführt. Die freien Drahtenden biegt man um und führt sie längs der Spule bis zu deren Mitte.

Die Werte von  $\S$  geben infolge der ungenauen Bestimmung von  $\varphi$  nicht viel mehr als die Größenordnung an, und es empfiehlt sich daher, die Schlüsse aus der bildlichen Darstellung zu ziehen. Da die Ablenkungen des Zeigermagnetometers nur klein sind, so erhält man mit dem Spiegelmagnetometer bessere Ergebnisse. Vgl. ABRAHAM 2, 337 Nr. 154. SCHREBER-SPRINGMANN 2, 250 Nr. 211.

Man lasse gleichzeitig einige Gruppen diese Aufgabe und andere Gruppen die folgende Aufgabe ausführen.

**50. Aufgabe.** Wie hängt die Feldstärke einer Drahtspule von der Windungszahl ab?

(2 Schüler, 1 Stunde.)

**Literatur.** HENDERSON, *Preliminary Pract. Magn. and Electric.* 32 Nr. 29. HADLEY 193 Nr. 122, 229 Nr. 36.

Geräte.	1 m Kupferdraht von 0,9 mm Durchmesser.	Stromwender.
	10 cm-Spule.	Leitungsschnüre für die Spule.
	Zeigermagnetometer.	Leitungsschnüre für die Bussole.
	Strommesser.	Leitungsschnüre.
	1 Sammler.	Millimeterpapier.
	Flüssigkeitswiderstand.	

**Anleitung.** a) Schalte den Kupferdraht  $S$  (Fig. 337) durch eine lange zusammengedrehte Leitungsschnur in Reihe mit dem Sammler  $E$ , dem Stromwender  $U$ , dem Strommesser  $T$  und dem Stromschwächer  $R$ .

b) Stelle das Magnetometer so auf, daß die Schiene senkrecht zum magnetischen Meridian steht. Wickle auf die 10 cm-Spule 10 Windungen des Kupferdrahts auf, biege die freien Enden nach der Mitte der Spule zurück, flicht sie zusammen und verbinde sie wieder mit der langen zusammengedrehten Leitungsschnur. Lagere die Spule so auf der Schiene, daß ihre Achse durch die Mitte der Magnetometernadel geht und miß den Abstand der Spulenmitte von der Mitte der Nadel. Stelle den Widerstand so ein, daß der Ausschlag der Magnetometernadel  $\sim 15^\circ$  beträgt. Lies am Strommesser die Stromstärke ab und halte sie während aller Versuche, wenn nötig, durch Regelung des Widerstandes unverändert. Bestimme unter Wenden des Stroms aus den vier Stellungen der Zeigerspitzen die Ablenkung  $\varphi$  der Magnetometernadel.

c) Wickle die Spule ab und bewickle sie so mit dem Kupferdraht, daß 20 Windungen auf die 10 cm kommen. Lagere die Spule auf der Schiene genau in derselben Stellung und in demselben Abstand ihrer Mitte von der Nadelmitte wie bei Versuch (b) und bestimme wie vorher die Ablenkung der Magnetometernadel.

d) Wiederhole die Messungen mit 30 und 40 Windungen auf der 10 cm-Spule.

e) Schreibe die Ergebnisse der Versuche in folgender Weise auf:

Spule Nr. . . . Strommesser Nr. . . . Stromstärke  $J = \dots [A]$ . Magnetometer Nr. . . . Abstand der Mitte der Spule von der Mitte der Magnetometernadel . . . cm.  $H = \dots [Gauß]$ .

Anzahl $N$ der Windungen auf der 10 cm-Spule	Windungs- zahl $n = N/10$	Ablösungen des Magneto- meterzeigers			Ablen- kung $\varphi$	$\text{tg } \varphi$	$\xi =$ $H \text{ tg } \varphi$
		Sinn	Ost- spitze	West- spitze			

f) Stelle die Ergebnisse der Messungen bildlich durch die Kurve  $x = n$  und  $y = \text{tg } \varphi$  dar. Welchen Schluß kann man aus der Gestalt der Kurve über die Abhängigkeit der Feldstärke  $\xi$  von der Windungszahl  $n$  ziehen?

Wie kann man die Ergebnisse dieser Aufgabe und die der Aufgabe 49 zusammenfassen? *Amperewindungszahl auf einem Zentimeter.*  $nJ = NJ/l$ , wo  $l$  die Länge der Spule ist.

**Bemerkungen.** Der 10 cm-Spulen Kern (Fig. 338) ist eine hohle Holzwalze von 0,7 cm Durchmesser und 10 cm Länge. Die quadratischen Stirnscheiben sind so groß, daß die Spulenachse bei der Lagerung auf die Magnetometerschiene genau in der Höhe der Magnetnadel liegt.

Vgl. die Bemerkungen zu Aufgabe 49.

HENDERSON verwendet 10, 15, 20, 25 und 30 Windungen und ein Magnetometer. Mit einem Zeigermagnetometer mit Spitzenlager gelangen mir die Versuche nicht, wohl aber mit einem Spiegelmagnetometer. Zeigermagnetometer, die für diesen Versuch verwendet werden sollen, müssen Fadenaufhängung haben. Rohe und nur für bildliche Darstellung verwendbare Ergebnisse erhielt ich bei einer Stromstärke von 10 A mit einer Taschenbussole.

HADLEY benutzt zwei Spulen, die auf Glasröhren von 25 cm Länge und 0,4 cm äüßerm Durchmesser eng gewickelt sind. Für die eine Spule verwendet er stromdichten Kupferdraht von 0,3 mm Durchmesser und für die andere Spule Draht von 0,7 mm Stärke. Er schaltet gleichzeitig beide Spulen hintereinander in den Stromkreis und benutzt so lange Verbindungsdrähte, daß er die eine Spule so weit entfernen kann, daß sie auf die Magnetometernadel nicht einwirkt, während er mit der andern Spule die Messungen ausführt.

Man kann bei den Aufgaben 49 und 51 die Feldstärken für einen bestimmten Punkt der Spulenachse auch mit einem Schwingungsmagnetometer miteinander vergleichen.

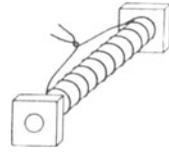


Fig. 338.

**51. Aufgabe.** *Wie groß ist das Aufnahmevermögen, die Durchlässigkeit und die Induktion von gegebenen Eisen- und Stahlorten?*

(2 Schüler, 2 Stunden).

**Literatur.** HADLEY 195 Nr. 123. ABRAHAM 2, 312 Nr. 137. SCHREBER-SPRINGMANN 2, 264 Nr. 222.

<b>Geräte.</b> Magnetisierungsspule. (Vgl. S. 455.)	(2 m Manganindraht von 0,5 mm Durchmesser).
Ausgeglühte geradegerichtete Eisendrähte von 20 cm Länge und 1 mm Durchmesser.	Leitungsschnüre für die Magnetisierungsspule.
Nichtmagnetisierte Stricknadeln.	Leitungsschnüre für die Tangentenbussole.
Zeigermagnetometer.	Leitungsschnüre.
Tangentenbussole oder Stromzeiger (bis 2 A).	Bunsenbrenner.
Stromwender.	Dünner Glasstab.
4 Sammler.	Gasschlauch.
Flüssigkeitswiderstand oder Gleitwiderstand.	Tiegelzange.
	Drahtlehre.
	Maßstab.
	Millimeterpapier.

**Anleitung.** a) Stelle die Schiene des Magnetometers  $M$  (Fig. 337, S. 454) senkrecht zum magnetischen Meridian. Lege die Magnetisierungsspule  $S$  so auf die eine Schiene, daß ihre Achse nach der Mitte der Magnetometernadel weist, verbinde sie durch lange zusammengedrehte Leitungsschnüre mit dem Stromwender  $U$ , der möglichst entfernt davon aufgestellten Tangentenbussole (4 Windungen), dem Stromschwächer und den vier Sammlern.

b) Halte jeden Eisendraht einzeln, falls er magnetisiert sein sollte, senkrecht zum magnetischen Meridian und glühe ihn in dieser Stellung aus. Lege ihn, wenn er trotzdem noch eine Ablenkung der Magnetometernadel hervorruft, in die Magnetisierungsspule, schicke durch diese zunächst einen schwachen Strom in solcher Richtung, daß die Ablenkung der Nadel geringer wird, und verstärke den Strom so weit, daß die Nadel nach der Unterbrechung des Stroms keinen Ausschlag mehr zeigt.

c) Bestimme bei dem Magnetometer und der Tangentenbussole die Nullage der Zeiger.

d) Lege drei nicht magnetisierte Eisendrähte so in die Magnetisierungsspule, daß die Mitten der Drähte und der Spule zusammenfallen. Miß unter Benutzung des Glasstabes den Abstand  $r$  der Mitten der Eisendrähte von der Mitte der Nadel. Schalte so viel Widerstand ein, daß nur ein schwacher Strom durch den Kreis fließen kann. Schließe den Strom und lies beide Meßwerkzeuge ab, klopfe jedoch dabei nicht an das Magnetometer, das überhaupt in keiner Weise erschüttert werden darf.

e) Vermindere, ohne dabei den Strom zu unterbrechen, den Widerstand, vergrößere so die Stromstärke, bis schließlich die Ablenkung der Bussolennadel  $60^\circ$  bis  $70^\circ$  (oder der Ausschlag des Stromzeigers 1 bis 2 A) erreicht hat, und wiederhole jene Messungen.

f) Vermindere nun, ohne dabei den Strom zu unterbrechen, die Stromstärke und wiederhole die Messungen.

g) Unterbrich den Strom und lies die Tangentenbussole und das Magnetometer ab. *Rückstand (Remanenz)*.

h) Wende den Strom und verfare wie bei den Messungen (d) bis (g), laß dabei die Stromstärke zunächst so weit steigen, bis die Ablenkung der Magnetometernadel verschwindet. *Zwangskraft (Koerzitivkraft)*. Steigere die Stromstärke noch weiter, bis genau die größte Stromstärke wie bei (e) erreicht worden ist, und laß dann den Strom wieder bis Null abnehmen. Lies die Nullagen beider Zeiger ab.

i) Wende den Strom und laß ihn wieder bis zu der bei (e) erreichten größten Stromstärke ansteigen. Unterbrich den Strom und lies wiederum die Nullagen der Zeiger ab.

k) Schreibe die Ergebnisse in folgender Weise auf:

Magnetometer Nr. . . . Tangentenbussole Nr. . . . Umrechnungszahl  
 $C_4 = \dots$  [A]. Eisendraht Nr. . . . Länge des Drahts = . . . cm. Durchmesser des Drahts = . . . cm. Raum des Drahts  $V = \dots$  [cm<sup>3</sup>]. Magnetisierungsspule Nr. . . . Länge der Spule  $l = \dots$  [cm]. Anzahl der Windungen

$N = \dots$  Windungszahl  $n = N/l = \dots$   $H = \dots$  [Gauß]. Abstand der Mitte des Drahts von der Magnetmitte  $r = \dots$  [cm].

	Magnetometer						$M$	$\mathfrak{J} = \frac{M}{V}$
	Sinn	Ostspitze	Westspitze	Mittel	$\varphi$	$\text{tg } \varphi$		
Nullage								

Sinn	Tangentenbusssole						$J$	$\mathfrak{H}$	$\kappa$	$\mu$	$B$
	Ostspitze	Westspitze	Mittel	$\alpha$	$\text{tg } \alpha$						

l) Berechne aus  $r$ ,  $\varphi$  und  $H$  das magnetische Moment des Eisendrahts

$$M = \frac{1}{2} r^3 H \text{tg } \varphi.$$

m) Miß den Durchmesser und die Länge des Eisendrahts und berechne daraus seinen Raum  $V$ . Bestimme nunmehr die Magnetisierung des Drahts

$$\mathfrak{J} = \frac{M}{V}.$$

n) Berechne aus der Länge der Magnetisierungsspule  $l$  und der Anzahl  $N$  der Windungen die Windungszahl  $n = N/l$ , dann aus der Stromstärke  $J$  A und der Windungszahl  $n$  die Stärke des magnetischen Feldes im Innern der Magnetisierungsspule

$$\mathfrak{H} = 4\pi n \frac{J}{10}$$

und aus  $\mathfrak{H}$  und  $\mathfrak{J}$  das Aufnahmevermögen (Suszeptibilität) des Drahts

$$\kappa = \frac{\mathfrak{J}}{\mathfrak{H}},$$

seine Durchlässigkeit (Permeabilität)

$$\mu = 1 + 4\pi\kappa$$

und seine magnetische Dichte (Induktion)

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{H}\mu.$$

o) Stelle die Beziehung zwischen der magnetisierenden Feldstärke  $\mathfrak{H}$  und der Magnetisierung  $\mathfrak{J}$  bildlich dar und setze dabei

$$x = \mathfrak{H} \text{ und } y = \mathfrak{J}.$$

*Hysteresiskurve.* Entnimm aus der bildlichen Darstellung die Größe der Zwangskraft und die Größe des Rückstandes.

p) Zeichne die Kurve  $x = \mathfrak{H}$ ,  $y = \mathfrak{B}$ . Schneide die Fläche aus, bestimme deren Inhalt mit der Wage und teile die Maßzahl durch  $4\pi$ . „Energievergeudung“.

q) Stelle ebenso die Beziehungen zwischen  $\mathfrak{H}$  und  $\kappa$  und zwischen  $\mathfrak{H}$  und  $\mu$  bildlich dar.

**Bemerkungen.** Ist  $r$  nicht groß gegen die Magnetnadel und bezeichnen  $\mathfrak{L}$  und  $l$  die Polabstände des Drahts und der Nadel ( $\frac{5}{6}$  ihrer Längen), so kann man setzen

$$\eta = \frac{1}{2} \mathfrak{L}^2 - \frac{3}{4} l^2 \quad \text{und} \quad M = \frac{1}{2} \frac{r^3 H \operatorname{tg} \varphi}{1 + \frac{\eta}{r^2}}.$$

Da die Formeln für  $\mathfrak{J}$  und  $\mathfrak{H}$  nur rohe Annäherungen sind, so haben die Ergebnisse von (o) bis (q) nur Anschauungswert, und es ist hier jede Verfeinerung der Rechnung überflüssig.

Bei Schülerübungen darf man wohl davon absehen, die Wirkungen der Magnetisierungsspule und ebenso die entmagnetisierende Intensität auszugleichen oder zu berücksichtigen.

ABRAHAM benutzt die zweite Hauptlage.

Da Zeigermagnetometer mit Spitzenlagerung für die Übung etwas unempfindlich sind, so ist es ratsam, Magnetometer mit Fadenaufhängung oder Spiegelmagnetometer zu verwenden. Sind die erhaltenen Zahlenwerte zu roh, so lege man auf die bildlichen Darstellungen besondern Nachdruck.

Man lasse die Schüler etwa 10 bis 15 Messungen ausführen, einige Gruppen statt der Eisendrähte Stricknadeln oder Uhrfedern verwenden und auch die einzelnen Gruppen mit verschiedenen größten Stromstärken arbeiten.

## VII. Induktionsströme.

**52. Aufgabe.** Kann man mit einem Magnet einen elektrischen Strom erzeugen?

(2 Schüler, 2 Stunden).

Geräte.	Stromprüfer, am besten ein Drehspulen-Galvanometer.	Stromspule (vgl. S. 464).
	Hufeisenmagnet (vgl. S. 310).	2 Verbindungsklemmen.
	Langer isolierter Kupferdraht von 0,9 mm Durchmesser.	Kleiner Zinkstreifen oder ein eiserner Nagel.
	Stabmagnet (vgl. S. 309).	Ein Paar lange, nicht zusammengedrehte Leitungsschnüre für den Stromprüfer.
	Busssole.	

**Anleitung.** a) Stelle den Stromprüfer auf, verbinde seine Klemmen mit zwei Drähten und drücke das freie Ende des einen Drahtes

gegen einen Zinkstreifen (oder ein Messer oder einen Nagel). Tauche das Zinkstück und das freie Ende des andern Drahts in angesäuertes Wasser oder halte beide, wenn der Prüfer empfindlich genug ist, einfach gegen die Zunge. Schreib auf den Tisch neben die Klemme, wo der Strom eintritt, ein  $\dagger$ -Zeichen und einen Pfeil, der die Richtung des Prüferauschlags angibt. Ist der Tisch paraffiniert, und nimmt er nur schlecht die Kreide an, so hefte ein Stückchen Papier mit diesen Angaben neben den Stromprüfer auf den Tisch.

b) Lege einen starken Hufeisenmagnet mit dem einen Schenkel auf den Tisch in solcher Entfernung vom Stromprüfer, daß eine kleine Bewegung des Magnets keine oder nur eine schwache Wirkung auf den Prüfer ausübt (Fig. 339).

c) Verbinde nun die Klemmen des Stromprüfers mit einem ausreichend langen Draht. Fasse das Mittelstück des Drahts mit beiden Händen und bewege es rasch zwischen den Polen hindurch, so daß es die Kraftlinien des Magnets senkrecht schneidet. Zeigt der Stromprüfer einen Ausschlag? Ist die Stromdauer lang? In welcher Richtung floß der Strom durch das Mittelstück des Drahts? Wie verlaufen die geschnittenen Kraftlinien des Magnets? Wie steht die Bewegungsrichtung zu diesen beiden Richtungen? Halte Daumen (1), Zeigefinger (2) und Mittelfinger (3) der rechten Hand so, daß sie rechte Winkel miteinander bilden. Halte den Daumen (1) in die Richtung der Bewegung und den Zeigefinger (2) in die Richtung der Kraftlinien. Wie verhält sich nun die Richtung des ausgestreckten Mittelfingers (3) zu der Richtung des erregten Stroms? *Dreifingerregel der rechten Hand.*

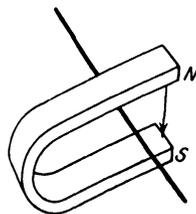


Fig. 339.

d) Bewege nun das Mittelstück des Drahts rasch in entgegengesetzter Richtung, also aus dem Innenraum des Hufeisenmagnets heraus. Nach welcher Richtung schlägt die Nadel des Stromprüfers aus? Gilt auch jetzt noch die Dreifingerregel der rechten Hand?

e) Wiederhole die Versuche (c) und (d), doch bewege dabei das Mittelstück des Drahts recht langsam. Welche Wirkungen treten ein?

f) Wiederhole den Versuch (c), doch halte dabei den Draht da, wo das Feld des Magnets am stärksten ist, einige Sekunden lang still. Welche Wirkung zeigt sich?

g) Bewege den Draht rasch quer durch die Kraftlinien, das eine Mal durch den schwächsten und das andere Mal durch den stärksten Teil des magnetischen Feldes. Welchen Teil des Feldes muß man mit dem Draht durchqueren, wenn man den stärksten Strom erzeugen will?

h) Bewege den Draht in der Richtung der Kraftlinien. Welche Wirkung hat dies auf den Stromprüfer? Entsteht ein Strom, wenn der Draht so bewegt wird, daß er keine Kraftlinien schneidet?

i) Bewege rasch ein langes Mittelstück des Drahts senkrecht zu der Richtung der Kraftlinien der Erde. Entsteht in dem Draht ein Strom? Bewege den Draht in der Richtung der Kraftlinien der Erde. Zeigt der Stromprüfer einen Ausschlag?

k) Biege das Mittelstück des Drahts zu einer Schleife. (Fig. 340). Halte die Schleifenebene senkrecht zur Richtung der Kraftlinien des Hufeisenmagnets und bewege sie rasch in ihrer eignen Ebene so weit, daß die Schleife die größte Zahl der Kraftlinien einschließt.

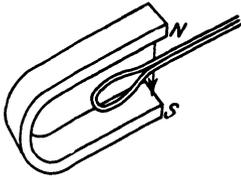


Fig. 340.

In welcher Richtung fließt der induzierte Strom? Bewege rasch die Schleife in ihrer Ebene aus dem Kraftfeld heraus und stelle wieder die Stromrichtung fest. Besteht ein Zusammenhang zwischen der Vermehrung oder der Verminderung der Kraftlinien innerhalb des Schleifenumfangs und zwischen den Richtungen der Ströme in der Drahtschleife? Sieht das Auge der Richtung der Kraftlinien entgegen, so

nennt man die Ströme, die in der Schleife nach rechts oder nach links fließen, rechtsgerichtet oder linksgerichtet. Welche einfache Regel läßt sich für die Ströme aufstellen, die in der Schleife induziert werden?

l) Bewege die Schleife von verschiedenen Seiten her in das Kraftfeld hinein. Bewährt sich die Regel?

m) Drehe den Magnet und damit die Richtung seiner Kraftlinien um und prüfe, ob die Regel auch jetzt noch gilt.

n) Bewege die Schleife parallel zu den Kraftlinien. Entsteht ein Strom?

o) Biege das Mittelstück des Drahts so zusammen, daß die beiden Teile dicht nebeneinander liegen, und bewege den Draht in dem Kraftfelde des Magnets so hin und her, daß die Anzahl der geschnittenen Kraftlinien nicht geändert wird. Entstehen Induktionsströme?

p) Stelle aus dem Mittelstück des Drahts eine kleine Spule mit einigen Windungen her und untersuche, ob bei der raschen Bewegung der Spule in das Feld des Magnets hinein und aus dem Felde heraus die induzierten Ströme stärker sind als bei den Versuchen mit der einfachen Schleife.

q) Halte die Spule senkrecht zu den Kraftlinien zwischen die Pole des Hufeisenmagnets und drehe sie in vier raschen Wendungen jedesmal um  $90^\circ$ . Entstehen Ströme? Wie sind sie gerichtet? Drehe rasch die Spule in dem Kraftfeld mehrmals vollständig herum. Bei welchen Stellungen wechselt der Strom seine Richtung?

r) Verbinde die große Drahtspule mit den Klemmen des Stromprüfers. Wie ist das Kraftfeld des Stabmagnets beschaffen? Folgt das Feld den Bewegungen des Magnets?

s) Bestimme die Pole des Magnets und klebe, falls die Pole nicht bereits bezeichnet sind, ein Stückchen Papier auf den Nordpol.

t) Fasse den Magnet am Südpol und stoße den Nordpol rasch in die Mitte der Spule. Wird hierdurch die Gesamtzahl der Kraftlinien, die durch die Spule hindurchgehen, vermehrt oder vermindert? Zeigt der Prüfer einen Strom an, wenn man der Spule den Magnet nähert? Entsteht ein Strom, wenn man den Magnet von der Spule entfernt? Wie verhalten sich die Richtungen beider Ströme? Halte den Nordpol ruhig in die Mitte der Spule. Zeigt der Prüfer einen Strom an, solange der Magnet in Ruhe bleibt? Wiederhole die Versuche mit dem Südpol. In welcher Richtung floß bei jedem Versuch der Strom in der Spule? Die Spule bildet einen Blattmagnet. Welche Seite ist der Nordpol und welche Seite der Südpol? Stelle in flüchtigen Zeichnungen die Kraftlinien der Spule und die Kraftlinien des Stabmagnets dar. Muß man bei der Erzeugung induzierter Ströme Arbeit leisten?

u) Lege den Magnet so auf den Tischrand, daß sein Nordpol darüber hinausragt. Nimm die Spule in die Hand und schiebe sie rasch über den Pol, ohne dabei den Magnet zu berühren. Zeigt der Stromprüfer einen Ausschlag? Wird bei der Bewegung der Spule die Gesamtzahl der Kraftlinien geändert, die die Spule schneiden?

v) Kehre den Magnet um und laß den Südpol über den Tischrand hinausragen. Schiebe, sobald der Stromprüfer zur Ruhe gekommen ist, die Spule über den Pol des Magnets, ohne ihn dabei zu berühren. Wie verhält sich die Richtung des Stroms zu der bei Versuch (u) erhaltenen Richtung? Schneiden die Kraftlinien die Spule in demselben oder in entgegengesetztem Sinn wie vorher?

w) Halte die Spule so, daß sie die größte Anzahl von Kraftlinien des Erdfeldes einschließt, und drehe sie, sobald der Stromprüfer zur Ruhe gekommen ist, rasch in eine solche Lage, daß die kleinste Anzahl der Kraftlinien der Erde hindurchgeht. Zeigt der Stromprüfer einen Ausschlag?

x) Lege die Spule flach auf den Tisch und wende sie dann rasch um. Schlägt der Stromprüfer aus? Wie kann man die Erscheinungen (w) und (x) erklären?

y) Lege den Hufeisenmagnet so auf den Tischrand, daß seine Pole darüber hinausragen, und schiebe die Spule über beide Pole. Zeigt der Stromprüfer einen Ausschlag? Schiebe die Spule nur über einen Pol des Hufeisenmagnets. Ist die Ablenkung ebenso groß wie vorher? Wie ist dies zu erklären?

**Bemerkungen.** Die Versuche (a) bis (q) erfordern einen recht empfindlichen Stromprüfer. Er soll bei Versuch (i) einen deutlichen Ausschlag liefern. Zu den Versuchen wurde ein Drehspulen-Spiegelgalvanometer von 5 Ohm Widerstand benutzt und ein Stromprüfer von 0,15 Ohm Widerstand, den die Gebr. RUHSTRAT zu Göttingen für das Naturwissenschaftliche Fortbildungsinstitut angefertigt haben.

Statt des Hufeisenmagnets kann man bei einem sehr empfindlichen Stromprüfer zwei starke Stabmagnete verwenden, die man so legt, daß

die ungleichnamigen Pole einander zugekehrt sind. Bei weniger empfindlichen Stromprüfern verwende man Elektromagnete, womöglich solche mit geschlitztem ringförmigem Kern. Sie bieten auch den Vorteil, daß man die Richtung der Kraftlinien bequem umkehren kann.

Die Spule, die bei den Versuchen (r) bis (y) verwendet wird, stelle man aus Draht von 0,9 mm Durchmesser her. Man gebe der Spule einen Durchmesser von 10 bis 20 cm und nehme so viele Windungen, daß der Stromprüfer deutlich ausschlägt, wenn man die Spule im Erdfeld rasch umdreht.

Die Zuleitungsdrähte darf man nicht spulenförmig winden.

Den Stromprüfer beruhigt man, wenn dies erforderlich ist, mit einem Magnet oder bei geringem innerem Widerstand bequemer, indem man die Klemmen des Galvanometers durch eine Leitung kurzschließt, in die man einen Stromschlüssel oder einen Druckknopf einschaltet.

Man kann bei dem Versuch (a) den Zusammenhang zwischen der Stromrichtung und dem Sinn des Galvanometerauschlages auch mit einer Trockenkette feststellen. Den zu starken Strom schwächt man durch einen großen Widerstand oder durch eine Abzweigung, man schließt dabei z. B. die Kette kurz mit einem 2 m langen Kupferdraht oder einem 15 cm langen und 0,5 mm dicken Manganindraht.

**53. Aufgabe.** *Kann man in einem geschlossenen Leiter Ströme erzeugen, wenn man einen benachbarten Stromkreis bewegt oder darin die Stromstärke ändert?*

(2 Schüler, 1 Stunde.)

<b>Geräte.</b> Stromdichter Draht von ~ 30 m Länge und 0,9 mm Durchmesser, der zu zwei Spulen verwandt wird. (Vgl. S. 465.)	1 bis 2 Trockenketten. Stromschlüssel. Stromprüfer. Verbindungssehnüre.
---	--

**Anleitung.** a) Wiederhole Aufgabe 52 (a).

b) Bilde einen Stromkreis aus der einen Spule (Hauptspule), der Kette und dem Stromschlüssel. Verbinde die Enden der andern Spule (Nebenspule) mit den Klemmen des Stromprüfers. Lege die Nebenspule auf den Tisch und die Hauptspule oben darauf. Stelle die Richtung des Hauptstroms fest. Sieh nach dem Stromprüfer und schließe den Strom. Wie weit und nach welcher Seite schlägt der Stromprüfer aus? Welche Richtung hat der Strom in der Nebenspule? Entsteht in der Nebenspule ein dauernder oder ein vorübergehender Strom? Wird der Nebenstrom durch einen unveränderlichen oder durch einen veränderlichen Hauptstrom erzeugt? Welche Wirkung ruft das Unterbrechen des Stroms hervor? Wie unterscheiden sich die Ausschläge des Stromprüfers, die bei dem Öffnen und bei dem Schließen des Stroms entstehen?

c) Vertausche an der Kette die Drähte miteinander und untersuche, ob beim Schließen des Hauptstroms ein Nebenstrom von derselben Richtung wie vorher erzeugt wird.

d) Laß die Nebenspule ruhig liegen. Hebe die Hauptspule empor, drehe sie um und lege sie wieder auf die Neben-

spule. Schließe den Strom und beobachte am Prüfer die Richtung des Ausschlags. Ist die Richtung die gleiche wie vor dem Umdrehen der Spule?

e) Schließe den Strom und halt ihn geschlossen, bis der Zeiger des Stromprüfers in die Ruhelage zurückgekehrt ist. Hebe nun, während der Hauptstrom mit gleichbleibender Stärke fließt, schnell die Hauptspule von der Nebenspule ab und  $\sim 30$  cm hoch oder noch höher empor. Was geschieht in der Nebenspule? Halte den Strom geschlossen und lege, sobald der Zeiger des Stromprüfers zur Ruhe gekommen ist, die Hauptspule rasch wieder auf die Nebenspule. Was geschieht? Hat der Strom, der beim Entfernen entsteht, dieselbe Richtung wie der Strom, der beim Annähern erzeugt wird?

f) Unterbrich den Hauptstrom und entferne die Hauptspule, durch die also kein Strom fließt, von der Nebenspule. Wird in dieser eine Wirkung hervorgerufen?

**Bemerkungen.** Aus dem Draht von 30 cm Länge und 0,9 mm Durchmesser wickelt man zwei flache Spulen, die 10 bis 15 cm Durchmesser haben und wovon jede  $\sim 15$  m Draht enthält. An jedem Drahtende läßt man ein  $\sim 60$  cm langes Stück gerade, das als Zuleitung dient.

Der Stromprüfer soll so empfindlich sein, daß er einen deutlichen Ausschlag liefert, wenn man eine der Spulen im Erdfeld umdreht.

Man kann in jeden Stromkreis einen Widerstand und in den Hauptkreis einen Stromzeiger und einen Stromwender einschalten.

Man achte darauf, daß die Schüler den Hauptstrom nur so lange schließen, wie es der Versuch erfordert.

## Anhang.

### I. Die physikalischen Schülerübungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und die Kurse in dem naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut für Lehrer höherer Schulen.

In diesem Buch sind Versuche beschrieben, die ich in den Schülerübungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und in den praktischen Kursen für physikalische Schülerübungen in dem naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut habe ausführen lassen. Das Buch beruht auf meinen Vorbereitungszetteln und Versuchsberichten. Man wird es richtig beurteilen, wenn man die Entwicklung der physikalischen Übungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium und in dem naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut kennt.

Wenn auch bereits vorher an andern Schulen, z. B. am Realgymnasium zu Wiesbaden, am Königstädtischen Realgymnasium zu Berlin, am Askanischen Gymnasium zu Berlin, am Gymnasium zu Gießen usw., physikalische Schülerübungen veranstaltet worden sind, so ist doch in Preußen der beharrlichste Antrieb zur Einführung des neuen Lehrverfahrens vom Dorotheenstädtischen Realgymnasium zu Berlin ausgegangen. Der Bannerträger war der Direktor dieser Schule, der „wirkungsgewaltige“ BERNHARD SCHWALBE. Am 16. September 1890 hielt er auf der Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Bremen einen Vortrag „Über die Ausführung von technischen Exkursionen im Anschluß an den chemischen und physikalischen Unterricht und die Möglichkeit der Einrichtung eines physikalischen praktischen Unterrichts an höheren Schulen<sup>1)</sup>“. SCHWALBE, der stets einen sichern Blick für das zunächst Erreichbare hatte, forderte damals nur die „Ausführung einzelner physikalischer Versuche, um nicht durch den Ausdruck physikalisches Laboratorium oder praktische Übungen in der Physik Mißverständnisse zu erregen.“ Er trat für wahrfreie Übungen ein, um dem Einwande der Überbürdung vorzubeugen, und empfahl, mit diesem Unterricht in Obersekunda zu beginnen. Die Versuche sollten nur Gegenstände be-

<sup>1)</sup> Verh. d. Gesellsch. d. Naturf. u. Ärzte, Bremen 1890. Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 4, 209; 1891.

handeln, die vorher in der Klasse durchgenommen worden waren, auch sollten die Schüler kleinere einfache Geräte selbständig herstellen. Er trat auch dafür ein, die in England und Nordamerika gesammelten Erfahrungen näher zu prüfen und den Versuch zu machen, sie in geeigneter Form für unsere höhern Schulen zu verwerten.

In seinem trefflichen Aufsatz „Über die Anleitung von Schülern zu physikalischen Versuchen“ hob dann F. POSKE<sup>1)</sup> hervor, daß nach seinen Erfahrungen auch die Schüler der Untersekunda für diese Übungen wohl befähigt seien.

Verhältnismäßig spät, erst im Sommer 1892, richtete SCHWALBE am Dorotheenstädtischen Realgymnasium in Obersekunda und Untersekunda physikalische Schülerübungen ein und übertrug H. BOHN deren Leitung; schon im nächsten Halbjahr dehnte er diese Übungen auf alle Klassen aus, wo Physik unterrichtet wurde. Über die dabei gemachten Erfahrungen berichtete SCHWALBE selbst in seinem heute noch wertvollen, leider zu wenig gelesenen und zuweilen wohl nicht recht verstandenen Aufsatz „Über praktische Schülerübungen“<sup>2)</sup>. Er wendet sich hier gegen das Arbeiten in gleicher Front: „Zunächst wird man von der Methode absehen müssen, welche in einigen Instituten in Amerika zur Anwendung kommt und jedenfalls eine originelle Seite darbietet, über deren Erfolg man aber nur aus eigner Anschauung ein Urteil gewinnen könnte. Bei uns würde sie in den ganzen Schulorganismus nicht hineinpassen und wegen der erforderlichen Räumlichkeiten und großen Kosten auch versuchsweise nicht angewendet werden können ... Bei großen Klassen ist sie überhaupt nicht durchführbar.“ Durch POSKE, die Amerikaner und Engländer und die Erfahrungen an seiner eigenen Schule beeinflußt, tritt er jetzt dafür ein, die physikalischen Übungen schon in der Klasse zu beginnen, wo der physikalische Unterricht anfängt. Er fordert, auch bei den Übungen die Klassenteilung beizubehalten. Er hält es für durchaus notwendig, messende Versuche anzustellen, doch wendet er sich gegen wissenschaftliche Messungen; wissenschaftliche Genauigkeit könne und solle man nicht erreichen. Er meint, es sei das beste, die quantitativen und die qualitativen Versuche so zu verteilen, daß ein gewisser Wechsel stattfindet.

Am Dorotheenstädtischen Realgymnasium wurden damals bei den Übungen die Geräte benutzt, die die Unterrichtssammlung enthielt, einige Sammlungen von MEISER & MERTIG und wenige von den Schülern selbst angefertigte Vorrichtungen.

Bei den Übungen wandte man von vornherein, wie auch heute noch, verschiedene Verfahren an. SCHWALBE und seine damaligen Mitarbeiter, BEYER, BOHN und SCHIEMENZ, führten die ganze Einrichtung

1) Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 5, 57; 1891.

2) Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 6, 161; 1893.

als Unterrichtsversuch großen Stils durch und machten so das Dorotheenstädtische Realgymnasium zu einem Versuchsfeld für das neue Lehrverfahren.

Die Übungen waren für die Schüler wahlfrei. SCHWALBES Lebensarbeit war der Kampf um die Anerkennung der Naturwissenschaften als unentbehrliches allgemeines Bildungsmittel. Durfte er es dulden, daß sich einzelne unverständige Schüler von den Übungen ausschlossen, die nach seiner innersten Überzeugung für ihre Ausbildung vom höchsten Wert waren? SCHWALBE war ein willenskräftiger Mann, dessen Einfluß sich kein Schüler entziehen konnte<sup>1)</sup>. Schon im Winter 1892/93 nahmen alle Schüler seiner Klassen an den Übungen teil. Bei SCHWALBE schlummerte aber unter der rauhen Schale ein milder Kern. Das wußten die Schüler, und manche waren darauf bedacht, sich für die Teilnahme an den Übungen anderswo Erleichterungen zu verschaffen. Dadurch und durch einige wohlgemeinte, aber doch verfehlte Zwangsmaßnahmen kamen anfangs die Leiter der Übungen mehrfach in recht unerquickliche Lagen. Einen lehrreichen Einblick in diese verborgenen Kämpfe und in die ärgerlichen Schwierigkeiten, die in den ersten Jahren die Übungen bei uns zu überwinden hatten, bietet der oben angeführte Bericht von H. BOHN. Das Endergebnis war jedoch, daß eine Überlieferung geschaffen wurde, der zufolge sich alle Schüler an den Übungen beteiligten<sup>2)</sup>. Hierdurch wurde es am Dorotheenstädtischen Realgymnasium möglich, zu erproben, wie man unter preussischen Schulverhältnissen den Betrieb verbindlicher physikalischer Übungen gestalten kann.

*Der Jahresbericht über das Dorotheenstädtische Realgymnasium für das Schuljahr 1900/1901* enthält über die physikalischen Übungen an dieser Schule einen Gesamtbericht, der von BOHN und mir verfaßt und von SCHWALBE überarbeitet worden ist.

SCHWALBES große Verdienste um die physikalischen Übungen sind unbestreitbar; doch hat auch er Versehen begangen, aus denen man noch heute viel lernen kann. SCHWALBE lehnte es zwar entschieden ab, die Arbeitsweise der Universität auf die Schule zu übertragen, doch konnte er sich gegen seinen Willen, und ohne sich dessen bewußt zu werden, davon nicht ganz frei machen. An der Hochschule folgte auf die Vorlesung das Praktikum und an seiner Schule auf den Klassenunterricht die Übung. Auch in der Auswahl der Aufgaben spürt man den Einfluß des „kleinen Praktikums“ seines Schwagers AUGUST KUNDT. Sein Hauptfehler aber war, daß er es unterließ, für die Übungen besondere Geräte zu beschaffen. Die Benutzung der Demonstrationsapparate führte, auch wenn sie mit Tei-

<sup>1)</sup> F. POSKE, *Bernhardt Schwalbe* 9. H. BOHN, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 12, 91; 1899.

<sup>2)</sup> Die Schüler der Untersekunda jedoch, die mehr als zwei Halbjahre dieser Klasse angehörten und die Anstalt mit dem Berechtigungsschein verlassen wollten, durften nur auf besondern Wunsch an den Übungen teilnehmen.

lungen versehen waren, zu einer allzustarken Anlehnung der Übungen an die Demonstrationsexperimente. In dem Bau geeigneter Vorrichtungen und in der Ausarbeitung der Versuche, die damit anzustellen sind, hat unvergleichlich mehr geleistet KARL NOACK, der neben BERNHARD SCHWALBE an erster Stelle den Schülerübungen bei uns zur Anerkennung verholfen hat. Wir ständen wohl heute in den Schülerübungen auf einer höhern Stufe als die Amerikaner und Engländer, wenn SCHWALBE seine ursprüngliche Absicht durchgeführt hätte, ihre Versuche und Geräte näher zu prüfen. Die beiden besten Werke, die es zu seiner Zeit gab, WORTHINGTONS *First Course* und HALLS *Descriptive List*, hatte er in Händen. Warum benutzte er diese ausgezeichneten Vorarbeiten nur gelegentlich? Es fehlte ihm der richtige Mechaniker, und er überschätzte daher stark die Kosten einer solchen Prüfung.

Seine Mitarbeiter bei den Übungen hatte SCHWALBE zu Lehrern selbst herangebildet, nur ich gehörte einer andern Schule an. Ich hatte meine Vorbildung in dem Institut zur Ausbildung von Lehrern der Mathematik erhalten, das mit dem Friedrich-Wilhelms-Gymnasium zu Berlin verbunden war und von KARL SCHELLBACH geleitet wurde. Der große Schweiger SCHELLBACH pflegte mit einem Satz mehr zu sagen als andere in einem langen Vortrage. In einer Pause, diese Zeit genügte für unsere Seminarsitzungen, hatte uns SCHELLBACH auf die damals beginnenden amerikanischen Bestrebungen, den physikalischen Unterricht umzugestalten, mit den wenigen Worten hingewiesen: „In den amerikanischen Schulen wollen sie jetzt sogar Erfinder großziehen.“ SCHELLBACH war damals bereits viel zu betagt, um sich noch eingehend mit dieser Frage beschäftigen zu können. Mich aber hatte diese kurze Bemerkung, die halb anerkennend, halb ablehnend gemeint war, stark angeregt, und als mich SCHWALBE 1900 an seine Anstalt berief, brachte ich nicht nur die Überlieferungen der SCHELLBACHschen Schule, sondern auch eine nahezu vollständige Kenntnis der amerikanischen und englischen Schriften über Schülerübungen mit. Als ich damals SCHWALBE fragte, nach welchem Verfahren ich die physikalischen Übungen leiten sollte, erwiderte er mir: „Machen Sie es so, wie Sie es für am besten halten“. Diese schwere Anweisung entsprach durchaus SCHWALBES Ansichten von der künftigen Entwicklung der Schülerübungen. „Aber nur, wenn die Sache von vielen Seiten angegriffen wird, und wenn die gesammelten Erfahrungen und Anschauungen ausgetauscht werden, ist Aussicht auf dauernden Bestand vorhanden“.<sup>1)</sup>

Jeder Schellbachianer mußte sofort erkennen, daß das im Ausland vielfach angewandte Verfahren des Arbeitens in gleicher Front in seinem Wesen nichts anderes war, als eine folgerichtige Übertragung des SCHELLBACHschen Lehrverfahrens von dem mathematischen auf den physikalischen Unterricht. Es war zu erwarten, daß

<sup>1)</sup> *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 6, 163; 1893.

jenes Verfahren auch bei uns zu denselben Erfolgen wie im Ausland führen würde, wenn unsere Schüler bei den physikalischen Übungen mit der gleichen Geschwindigkeit arbeiteten und die Kosten für die erforderlichen Einrichtungen auch bei uns erschwingbar wären. Da ein so hervorragender Physiklehrer wie SCHWALBE erklärt hatte, daß jene Arbeitsweise an unsern Schulen undurchführbar sei, so war bei ihrer Prüfung mit großer Vorsicht vorzugehen.

Zunächst ließ ich, ohne an den seitherigen Arbeitsweisen etwas zu ändern, einzelne amerikanische und englische Versuche anstellen, die mit den vorhandenen oder mit leicht selbst herzustellenden Geräten ausführbar waren. Es zeigte sich, daß diese Versuche mit wenigen Ausnahmen auch bei uns mit gutem Erfolg verwertbar waren.

Ich ließ ferner planmäßig die Schüler selbständig auch schwierigere Geräte bauen. Diese Übungen bewährten sich nicht. Die Schüler fertigten zwar mit großem Vergnügen und Geschick ganz brauchbare Vorrichtungen an, doch war der Aufwand an Zeit zu groß und der Gewinn an physikalischer Bildung zu klein. Heute lasse ich die Schüler nur noch einfache Geräte selbst herstellen, doch müssen sie stets alle Vorrichtungen selbständig aufbauen und zurichten.

Ein Schuljahr ist 20 v. H. der Zeit, die auf die physikalische Ausbildung eines Schülers verwandt wird, und es ist mehr als 3 v. H. der Zeit, in der durchschnittlich ein Lehrer Physik unterrichten kann. Die Lehrverfahren ändern sich bei uns zuweilen so langsam, daß eine gesunde, gleichmäßige Fortentwicklung gefährdet wird und wir später gezwungen werden, Rückständigkeiten durch mühevolleres sprunghaftes Vorgehen zu überwinden. Zur raschen Aufklärung der Sachlage unternahm ich daher mit meinen Schülern einen verwegenen pädagogischen Streifzug. Er glückte. Im Jahre 1901 ging ich zu Übungen in gleicher Front über. Es ist zwar am Dorotheenstädtischen Realgymnasium im chemischen und physikalischen Unterricht Überlieferung, daß die Lehrer alle Kräfte rücksichtslos bis zur vollen Erschöpfung einsetzen, doch waren, da weder ausreichende Arbeitsräume noch die erforderlichen Geräte zur Verfügung standen, die Arbeiten und Sorgen bei diesem gewagten Vorgehen so groß, daß ich heute, wo die Sache hinter mir liegt, es nicht noch einmal unternehmen möchte, etwas Ähnliches auszuführen trotz des großen Reizes, den ein solches durch seinen ungewissen Erfolg aufregendes Wagnis ausübt.<sup>1)</sup>

Ich ließ bei den Übungen in gleicher Front Aufgaben be-

<sup>1)</sup> Die Forderungen, die ich in meinem Breslauer Vortrag auf Grund harter Erfahrungen freimütig aufgestellt hatte, erregten anfangs Verwunderung, die inzwischen anscheinend geschwunden ist, und sie wurden zuweilen mit Unrecht und ohne die erforderliche Erfahrung abgelehnt. W. KAISER, *Physik. Schülerübungen* 2, übersah, daß 18 Jahre lang am Dorotheenstädtischen Realgymnasium die Übungen ohne besondern Arbeitsraum ausgeführt wurden.

handeln, deren Stoff ich im Klassenunterricht noch nicht in der üblichen Weise durchgenommen hatte. In großen Klassen übten die Schüler alle 14 Tage, und es lag mithin ein zu großer Zeitraum zwischen dem Versuch und der nachfolgenden Auswertung in der Klasse. In kleinen Klassen, deren Schüler alle acht Tage arbeiteten, war diese Schwierigkeit erheblich geringer. Die erforderlichen Geräte wurden mit Hilfe der großen Bestände an Verbrauchsstoffen hergestellt, die am Dorotheenstädtischen Realgymnasium für die damals dort bestehenden Experimentierkurse vorhanden waren. Da ich aber das neue Verfahren gleichzeitig in drei Klassen durchführte, machte mir die Beschaffung der erforderlichen Geräte und die Anpassung von Aufgaben und Geräten aneinander sehr große Sorgen. Die Sache war angefangen, zurück konnte und mochte ich nicht, also hieß es „durch!“. Ließ sich mit unsern Stegreifgeräten kein quantitativer Versuch durchsetzen, dann machten wir einen qualitativen. Trotz aller Schwierigkeiten waren die Ergebnisse recht befriedigend. Ich konnte feststellen, und das war die Hauptsache, daß die Schüler derselben Klasse<sup>1)</sup> nahezu mit gleicher Geschwindigkeit arbeiteten, und zwar ebenso schnell wie ihre amerikanischen und englischen Altersgenossen. Es wurden zugleich bei diesem Unterrichtsversuch Lehrgänge von CREW-TATNALL, GLAZEBROOK, GREGORY-SIMMONS, HADLEY, NICHOLS-SMITH-TURTON, SCHUSTER-LEES, WATSON, WHITING, WORTHINGTON u. a. ganz oder teilweise auf ihre Verwertbarkeit an deutschen Schulen geprüft.

Nach diesen ermutigenden Vorversuchen ging ich zum endgültigen Bau von besondern Geräten für Schülerübungen in gleicher Front über. Hier hatte ich das Glück, in F. A. HINTZE einen Mechaniker zu finden, der den neuen Aufgaben vollkommen gewachsen war. Ich fertigte zunächst für das zu behandelnde Gebiet einen Arbeitsplan an, d. h. ein Verzeichnis der Aufgaben, die ich in dem Lehrgang lösen wollte. Dann stellte ich alle Geräteformen zusammen, die man bis dahin für diese Zwecke ersonnen hatte, und entwarf, wo es mir nötig schien, so viel neue Vorrichtungen, als mir einfelen. Hierauf besprach ich mit HINTZE alle diese Formen und ihre notwendigen oder wünschenswerten Umänderungen. War keine der Formen zu gebrauchen, so entwarfen wir neue, die nach unserer Meinung am besten den Bedürfnissen der Schule und der Leistungsfähigkeit der Werkstatt entsprachen. Wir erstrebten dabei folgende Ziele: Die Geräte sollten möglichst einfach, handfest und billig sein und ausreichend genaue Ergebnisse liefern. Die wesentlichen Teile sollten mit großer Sorgfalt hergestellt und auf die unwesentlichen Teile keinerlei überflüssige Arbeit verschwendet werden.

Über die Erfahrungen, die ich während der ersten drei Jahre

---

<sup>1)</sup> Die Arbeitsgeschwindigkeiten eines Obertertianers und eines Oberprimaners sind erheblich verschieden.

gesammelt hatte, habe ich am 2. Juni 1903 auf der Hauptversammlung des Vereins zur Förderung des Unterrichts in der Mathematik und den Naturwissenschaften zu Breslau berichtet.<sup>1)</sup>

Beim Arbeiten in gleicher Front stellte es sich bald als un Zweckmäßig heraus, die Übungsstunden von dem übrigen Physikunterricht getrennt abzuhalten; es erwies sich vielmehr bereits im Winter 1903/1904 als ein bedeutender Fortschritt, die Übungen und den Klassenunterricht miteinander zu verweben.<sup>2)</sup>

Ferner zeigte es sich, daß der physikalische Unterricht, worin Übungen eingewebt sind, fast ebenso rasch wie der reine Klassenunterricht fortschreiten kann, wenn man in geeigneten Fällen das Verfahren des allseitigen Angriffs anwendet, d. h. die Hauptaufgabe in Teilaufgaben zerlegt, die man von verschiedenen Schülern gleichzeitig ausführen läßt.<sup>3)</sup> In den „Bemerkungen“ dieses Buchs ist überall darauf hingewiesen, wo sich dieses Verfahren empfiehlt.

Die Aufstellung der Aufgaben für die physikalischen Schülerübungen, die mit dem Klassenunterricht verwoben sind, verlangt die Umformung des gesamten physikalischen Lehrstoffs in Probleme und das Aufsuchen der besten Reihenfolge dieser Probleme. Daher sind die Ausführungen von F. POSKÉ „Über Grundfragen des physikalischen Unterrichts“<sup>4)</sup>, die man leider bis jetzt viel zu wenig beachtet hat, für die Schülerübungen von grundlegender Bedeutung.<sup>5)</sup>

Das vorliegende Buch bringt die Übungsaufgaben keineswegs in der „besten Reihenfolge“, sondern in der Anordnung, wie sie in den Arbeitsplänen meiner Kurse im naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut standen.

Ich zerlege jetzt beim fortschreitenden Unterricht so gut, wie ich es eben kann, den physikalischen Lehrstoff in Probleme und behandle diese Fragen in drei Stufen: Aufstellung, Lösung und Wertung.<sup>6)</sup>

Bei der Aufstellung des Problems suche ich durch Fragen aus den Schülern ihre Erfahrungen und Gedanken herauszulocken.

<sup>1)</sup> Ein kurzer Auszug ist in den *Unterrichtsbibl. f. Mathematik u. Naturwissenschaften* 9, 108; 1903 erschienen. Der vollständige Abdruck dieses Vortrags bildet den ersten Teil meines Aufsatzes: *Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten?* *Abhandl. z. Didaktik u. Philosophie d. Naturwissenschaft* 1, 269 (Heft 4). Der Aufsatz wurde im April 1904 gesetzt, das Heft erschien im Herbst 1904, trägt aber die Jahreszahl 1905 und der Band die Jahreszahl 1906.

<sup>2)</sup> *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 17, 73; 1904 u. 21, 73; 1908.

<sup>3)</sup> *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 21, 73; 1908.

<sup>4)</sup> *Unterrichtsbibl. f. Mathem. u. Naturw.* 7, 46; 1901.

<sup>5)</sup> H. HAHN, *Die Lehraufgaben d. phys. u. chem. Unterr. an den höheren Schulen Frankreichs. Wissenschaftl. Beilage zum Jahresber. d. Dorotheenstädt. Realgymn. Ostern 1906.* S. 16.

<sup>6)</sup> *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 21, 56; 1908.

Das vorhandene Wissen ergänze und kläre ich durch qualitative Versuche (zumeist Freihandversuche). Diese führe ich selbst vor oder lasse sie einen Schüler machen, oder alle Schüler führen sie als Übung aus. Von diesen qualitativen Vorübungen habe ich nur wenige in dieses Buch aufgenommen. Ich lasse dabei, um die Tatsachen beschreiben zu können, vorläufige Begriffe bilden und zwischen den Begriffen und den Tatsachen und zwischen den Begriffen untereinander die Beziehungen erörtern, die nach den Beobachtungen zulässig und wahrscheinlich sind, und schließlich unter starker Betonung der besten Annahmen das Problem aufstellen. Nun rege ich die Schüler an, sich Versuche und Geräte auszudenken, die zu einer Lösung der Frage führen können; und falls ich diese durch Schülerübungen herbeiführen will, lasse ich die Versuchsgänge, wie sie in den Anleitungen dieses Buchs enthalten sind, als voraussichtlich zweckmäßige Wege herausarbeiten. Auf dieser Vorstufe kommt es vor allem darauf an, Lust und Aufmerksamkeit der Schüler kräftig zu erregen und ihrem Willen und Denken eine bestimmte Richtung zu geben.

Die Lösung des Problems schreitet von der Annahme zum Gesetz fort und erfolgt zuweilen durch eine rein geistige Betrachtung, manchmal aber auch durch einen Versuch, den ich ausführe oder einen Schüler vor der Klasse anstellen lasse, oder, wo es durchführbar ist, durch eine Hauptübung, die die Schüler zur Auffindung des vermuteten Gesetzes hinleitet. Solche Übungen bilden den wesentlichen Inhalt dieses Buchs.

Auf der letzten Stufe, bei der Wertung des Problems, lasse ich die Schüler die Begriffe und Gesetze scharf fassen, Folgerungen daraus ziehen und Anwendungen davon suchen. Auch hier sind zuweilen Vorführungen von Versuchen und Schülerübungen (Nachübungen, wie Bestimmungen fester Werte, Bestätigungen usw.) notwendig.

Bei diesem kurz angedeuteten Unterrichtsbetrieb hat der Lehrer möglichst zurückzutreten; überall ist der Schüler zur Selbsttätigkeit und Selbsthilfe anzuspornen. Auch die Demonstrationsexperimente soll, wo es irgendwie geht, ein geschickter Schüler ausführen. Was ein Schüler in seinem Lehrbuch oder in einem ihm zugänglichen Hilfsmittel, wie KOHLRAUSCH, LANDOLT-BÖRNSTEIN usw., selbst finden kann, darf ihm der Lehrer nicht sagen. Kommt ein Schüler nicht zum Ziel, so hat ihm zunächst ein Mitschüler zu helfen und erst an letzter Stelle der Lehrer. Einen glänzenden Abschluß erhält das Problem in der Hervorhebung seiner Bedeutung für Wissenschaft und Menschheit. Hier hat sich der Lehrer als ein Mann von umfassender und tiefer Bildung zu offenbaren und seine Schüler mit hoher Begeisterung für seine Wissenschaft zu erfüllen. Neben der Aufstellung des Problems ist die Wertung der schwerste, aber auch der schönste Teil des Lehrverfahrens. Jeder Lehrer, der seinen Unterricht in Probleme zerlegt, wird nicht selten bei der versuch-

ten Wertung mit schrecklicher Klarheit erkennen, welchen Tand die systematischen Lehrgänge mit der Zeit in unsern Lehrbüchern aufgehäuft haben.

Das hier geschilderte Lehrverfahren, das die wahlfreien Schülerübungen ausschließt, läßt sich an den preußischen Realgymnasien, Oberrealschulen und Realschulen ohne weiters durchführen, wenn man, wie am Dorotheenstädtischen Realgymnasium, den Stundenplan so gestaltet, daß in jeder Woche einmal zwei Stunden aufeinander folgen, wenn man Arbeitsräume einrichtet und allmählich die erforderlichen Geräte anschafft. Klassen mit mehr als 20 Schülern sind zu teilen; das stellt sich nicht teurer als die Einrichtung der wahlfreien Übungen, die den Schülern ihre kostbare freie Zeit rauben. An kleinern Schulen ist das neue physikalische Lehrverfahren leichter durchführbar, als an ungesunden Riesenanstalten, die immer weniger mit den Bedürfnissen des sprachlichen und des naturwissenschaftlichen Unterrichts vereinbar sind.

Die Zeit- und die Kostenfrage der physikalischen Schülerübungen habe ich eingehend in einem Vortrage behandelt, den ich am 29. September 1909 zu Graz auf der fünfzigsten Versammlung Deutscher Philologen und Schulmänner gehalten habe<sup>1)</sup>.

Es sind noch einige Worte zu sagen über das naturwissenschaftliche Fortbildungsinstitut für Lehrer höherer Schulen zu Berlin, dessen Einrichtungen wenig bekannt sind und oft mißverstanden werden. Die praktischen Kurse dieser Anstalt hat das Königliche Preußische Kultusministerium im Sommer 1899 eingerichtet und ihre Leitung BERNHARD SCHWALBE und OTTO VOGEL übertragen<sup>2)</sup>. Die Kurse dienen zur praktischen Vorbildung und Weiterbildung der Lehrer für den naturwissenschaftlichen Unterricht an den höhern Schulen Großberlins und werden hauptsächlich von Seminarkandidaten und Probekandidaten, aber auch, was sehr erfreulich ist, von jüngern und ältern Oberlehrern, Professoren und Direktoren besucht.

Diese Anstalt, die jetzt unter der Oberleitung des Geheimen Regierungsrats Dr. OTTO VOGEL steht und dem Königlichen Provinzial-Schulkollegium unterstellt ist, zerfällt in folgende Abteilungen: 1. Zoologischer Kursus (Leiter: Prof. Dr. RÖSELER). 2. Botanischer Kursus (Prof. Dr. KOLKWITZ). 3. Physikalische Kurse a) für Demonstrationsexperimente (Prof. BOHN) und b) für Schülerübungen (Prof. HAHN). 4. Chemischer Kursus (Prof. Dr. BÖTTGER). 5. Mineralogischer Kursus (Prof. Dr. BÖTTGER). 6. Geographischer Kursus (Prof.

<sup>1)</sup> H. HAHN, *Die Zeit- und Kostenfrage der physikalischen Schülerübungen*. Leipzig, Quelle & Meyer, 1910.

<sup>2)</sup> B. SCHWALBE, *Über praktische Kurse zur Vorbildung und Weiterbildung der Lehrer der Naturwissenschaften*. Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 12, 319; 1899.

Dr. LAMPE). 7. Kursus in der darstellenden Geometrie. 8. Kursus in der Mechanischen Werkstatt (Mechaniker und Optiker HINTZE).

Ursprünglich bestand nur ein einheitlicher physikalischer Kursus, wo Übungen in Demonstrationsexperimenten stattfanden. Geheimrat VOGEL, der schon in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts am Königstädtischen Realgymnasium physikalische Schülerübungen eingerichtet hatte, sah mit weitem Blick die starke Ausbreitung dieses neuen Lehrverfahrens voraus und veranlaßte bereits im Winter 1902/03, daß die Teilnehmer an dem physikalischen Kursus auch in der Leitung von Schülerübungen ausgebildet wurden. Die Teilnehmer an dem Kursus bildeten von nun an zwei Gruppen. Die eine Abteilung machte während der einen Kursushälfte bei Prof. BOHN Demonstrationsexperimente, während die andere Abteilung bei mir Versuche ausführte, die für Schülerübungen geeignet waren. In der Mitte des Kursus wechselten beide Gruppen mit ihren Übungen. Es stellte sich jedoch bald heraus, daß bei dieser Arbeitsteilung für jedes Verfahren die Ausbildungszeit zu kurz war, und es wurden daher im Sommer 1907 beide physikalischen Kurse vollständig voneinander getrennt.

Mit den praktischen Kursen des naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstituts in der Alten Urania ist eng verbunden der Naturwissenschaftliche Ferienkursus für Lehrer höherer Schulen, den das Kultusministerium jeden Herbst zu Berlin veranstaltet. Auch hier läßt Herr Geheimrat VOGEL seit einigen Jahren durch mich einen Kursus in der Leitung von physikalischen Schülerübungen abhalten.

Auf Anregung des Herrn Geheimrats VOGEL habe ich 1903 eine Untersuchung darüber angestellt, wie die Arbeitsräume für Schülerübungen einzurichten und auszustatten seien, um ein klares Bild von den Kosten zu gewinnen, die die äußern Einrichtungen für Schülerübungen verursachen. Diese Ausarbeitung bildet den zweiten Teil meiner Abhandlung „*Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten?*“<sup>1)</sup> Nach den dort gemachten Vorschlägen ließ Herr Geheimrat VOGEL im Winter 1905/06 durch mich das Laboratorium für Schülerübungen in dem naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut einrichten, das einen Arbeitsraum für Übungen und ein Meßzimmer für die wissenschaftliche Prüfung der Übungsgeräte umfaßt<sup>2)</sup>.

In der ersten Zeit benutzten wir in dem naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstitut Nachbildungen der Geräte, die sich bei den Übungen des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums bewährt hatten. Bei den ersten Ausführungen einer Vorrichtung sind kleinere oder größere Unvollkommenheiten unvermeidlich. Solche Geräte sind für

---

<sup>1)</sup> Berlin, Julius Springer, 1905 (2 M.).

<sup>2)</sup> Auch der Ubraum des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums ist 1910 auf Grund dieser Abhandlung eingerichtet worden.

unsere Schüler zumeist minderwertig, in hohem Maß aber anregend für Lehrer, die später selbst solche Vorrichtungen ersinnen sollen. Daher habe ich in neuerer Zeit das Verfahren umgekehrt. Heute werden die neuen Geräte für das naturwissenschaftliche Fortbildungsinstitut angefertigt und dort erprobt, und das Dorotheenstädtische Realgymnasium schafft nun an, was sich in dem Fortbildungsinstitut bewährt hat.

## II. Betrieb der Schülerübungen.

Ich habe das Verfahren in der mehrfach erwähnten Abhandlung „*Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten?*“ ausführlich erörtert und meine spätern Erfahrungen in dem voranstehenden Abschnitt dieses Buchs zusammengestellt. Im folgenden sind einige Einzelheiten des Betriebes (die Arbeitsordnung, die allgemeinen Ratschläge, die Auswertung der Beobachtungen und die Übungsberichte) für künftige Leiter von Schülerübungen behandelt. Ich selbst hatte früher keine Arbeitsordnung und Ratschläge ausgehängt, sondern suchte ihre Ziele durch beharrliches mündliches Wiederholen der Vorschriften und durch allmähliche Gewöhnung der Schüler zu erreichen. Ich verkenne nicht die Vorteile solcher allgemeinen Regelungen, aber auch nicht ihre Gefahren. Die größten sind: rein handwerksmäßiger, nur äußerlich tadelloser Betrieb der Übungen und zu starke Beschränkung der Bewegungsfreiheit der Schüler.

### A. Arbeitsordnung.

1. Es ist verboten, vor dem Beginn der Übung den Arbeitsraum zu betreten.
2. Überzieher, Hüte, Mützen, Schulmappen oder dgl. dürfen nicht in den Arbeitsraum hineingebracht und dort abgelegt werden.
3. Bei dem Beginn der Übung hat jeder Schüler nachzusehen, ob sein Arbeitsplatz in Ordnung ist. Alle Unordnungen sind sofort zu beseitigen und, wenn dies nicht möglich ist, dem Leiter zu melden.
4. Bei dem Beginn der Übung hat jeder Schüler festzustellen, ob alle Geräte, die in der Geräteliste der Aufgabe verzeichnet sind, auf seinem Arbeitsplatz stehen, und sofort dem Lehrer jeden Mangel anzuzeigen. Die Nummern der bezifferten Geräte sind in den Übungsbericht einzutragen.
5. Kein Schüler darf ohne besondere Erlaubnis des Leiters Geräte aus den Schränken und von den Gestellen nehmen oder aus der Werkstatt und der Sammlung holen.
6. Es ist nicht erlaubt, von Mitschülern Geräte zu leihen.
7. Sollte ein Gerät schmutzig oder sonstwie in Unordnung sein, so ist dies sofort dem Leiter zu melden.

8. Jeder Schüler ist für die Geräte, die er benutzt, verantwortlich, und er hat sofort dem Leiter jede Beschädigung eines Geräts während des Versuchs zu melden. Der Schüler hat allen Schaden zu ersetzen, den er durch bösen Willen oder grobe Sorglosigkeit verursacht.

9. Jeder Schüler ist verpflichtet, die Geräte und Stoffe, die ihm zu Versuchen anvertraut werden, mit reiflicher Überlegung, gewissenhafter Sorgfalt und weiser Sparsamkeit zu benutzen. Sofort nach dem Gebrauch ist jede Flamme auszulöschen, jeder Wasserhahn zu schließen und jeder elektrische Strom zu unterbrechen. Es ist verboten, Säuren u. dgl. mit guten Tüchern aufzuwischen.

10. Es ist verboten, an Schrauben, Kurbeln, Ausschaltern, Gasähnen oder dgl. gedankenlos spielend zu drehen, Glas- und Ebonitflächen unnötig mit den Fingern zu berühren und auf Teilungen der Geräte Marken usw. einzuritzen.

11. Es ist untersagt, ohne Benutzung des Quecksilberbretts mit Quecksilber und ohne Asbestunterlage mit Brennern zu arbeiten.

12. In den Ausguß darf nur Wasser gegossen werden; alle andern Stoffe sind in die Töpfe, Eimer oder sonstigen Behälter zu schütten oder zu legen, die der Lehrer dafür bestimmt hat.

13. Die Tischplatte ist mit großer Schonung zu behandeln.

14. Es ist untersagt, Abfälle, wie Papier, Streichhölzer u. dgl., auf dem Tisch und dem Fußboden liegen zu lassen.

15. Lautes Reden ist verboten. Leise Gespräche mit den Mitarbeitern sind nur dann gestattet, wenn sie zu der Durchführung der Versuche erforderlich sind.

16. Jeder Schüler hat alle Anordnungen und Handlungen zu unterlassen, die seine Mitschüler stören, belästigen oder gefährden können.

17. Nach jedem Versuch muß jeder Schüler die Geräte in demselben guten Zustand abliefern, wie er sie vor dem Versuch empfangen hat. Alle Glas- und Blechgefäße sind auszuspülen und abzutrocknen oder auf das Ablaufbrett oder das Trockengestell zu stülpen. Gas- und Wasserhähne müssen geschlossen und die Stromschalter geöffnet sein. An den Klemmen der benutzten Ketten oder Sammler dürfen keine Verbindungsdrähte sitzen. Die Leitungsdrähte sind sorgsam aufzurollen und auf die Stäbe ihres Gestells zu schieben. Der Tisch ist abzuwischen und das benutzte Tuch aufzuhängen.

18. Die Schüler, die die Vorschriften dieser Arbeitsordnung nicht gewissenhaft erfüllen, sind für alle Schäden verantwortlich, deren Urheber nicht ermittelt werden.

### B. Ratschläge.

1. Lies vor dem Versuch die ganze Anleitung gründlich durch. Überlege sorgfältig, was zu tun und wie es zu tun ist. Achte darauf, welche Beobachtungen besonders schwierig, welche Mes-

sungen ganz genau auszuführen und welche Vorsichtsmaßregeln streng zu beachten sind.

2. Sieh vor dem Versuch alle Geräte genau an und mache dir ihren Bau, ihre Arbeitsweise und ihre Handhabung ganz klar. Stelle die Geräte ordentlich auf und prüfe, wenn Vorversuche zulässig sind, ob die Vorrichtungen richtig arbeiten. Achte bei den Geräten auf alle Einrichtungen, die etwa ungenaue Ergebnisse hervorrufen können. Gib allen Geräten, auch denen, die augenblicklich noch nicht gebraucht werden, einen bestimmten Platz. Baue erst ab und gib die Geräte nur dann zurück, wenn du sicher weißt, daß du die Vorrichtungen nicht mehr bedarfst.

3. Richte vor dem Beginn der Messungen an einer geeigneten Stelle des Berichts die Tafel ein, wo die Ergebnisse einzutragen sind. Spare dabei nicht mit dem Raum. Vergiß auch nicht, für Bemerkungen zu jeder einzelnen Messung eine besondere Spalte hinzuzufügen.

4. Richte deine ganze Aufmerksamkeit auf den Versuch und beachte gewissenhaft und vorurteilsfrei alle Erscheinungen und Umstände, die das Ergebnis beeinflussen können. Scheue keine Mühe und Unbequemlichkeit. Mache die Versuche ohne Hast und mit Überlegung.

5. Führe jede einzelne Messung mit der größten erreichbaren Genauigkeit aus, als ob von ihr allein das Ergebnis der Versuche abhinge.

Von dieser strengen Arbeitsweise darf man nur dann abweichen, wenn man sich durch eine gründliche und umfassende Überlegung die Gewißheit verschafft hat, daß man bei andern Messungen desselben Versuchs so große Fehler durchaus nicht vermeiden kann, daß jene peinliche Sorgfalt in der Tat zwecklos ist.

Schätze bei allen Ablesungen stets die Zehntel der kleinsten Teilstrecke. Beachte dabei, daß die Teilstrecke der Abstand der Mitten zweier benachbarten Teilstriche ist.

Vermeide die großen Fehler. Schätze also beim Thermometer nicht nur die Zehntelgrade sorgfältig, sondern lies auch die ganzen Grade richtig ab. Richte deine Aufmerksamkeit nicht nur auf die Zehntelmillimeter, sondern bestimme auch die Anzahl der Zentimeter und Millimeter richtig.

Vergiß nicht, vor dem Ablesen von Zeigern, Flüssigkeitständen usw. schwach gegen die Meßgeräte zu klopfen; überlege jedoch in jedem einzelnen Fall, ob diese Erschütterung zweckmäßig und zulässig ist.

6. Schreibe sofort alle Messungen an der geeigneten Stelle des Berichts deutlich auf, und zwar genau so, wie du sie an den Teilmessungen abgelesen hast, ohne zuvor eine Umrechnung vorzunehmen oder eine Verbesserung anzubringen. Trage alle Umrechnungen und Verbesserungen besonders ein. Zeichne z. B. den Beginn und das Ende eines Ereignisses in Minuten und Sekunden auf und rechne

erst später die Dauer des Ereignisses in Sekunden aus. Schreibe nicht nur die Maßzahlen, sondern auch die Maßeinheiten und vor allem die gemessene Größe selbst auf.

7. Befürchte keine falschen Ergebnisse. Schreibe alle Messungen auf, auch wenn sie mit frühern ganz genau übereinstimmen oder davon bedeutend abweichen. Ein Ergebnis darf man nur dann verwerfen, wenn nachweislich bei der Messung ein Versehen vorgekommen oder eine Störung eingetreten oder wenn schon bei der Messung ein Bedenken aufgestiegen ist. Auch diese verworfnen Ergebnisse sind aufzuschreiben und in den Bemerkungen die Gründe für das Ausschließen anzuführen.

8. Schreibe alle Aufzeichnungen, die nicht in Tafeln eingetragen werden, als Gleichungen oder in vollständigen Sätzen nieder.

9. Beantworte schriftlich knapp und bestimmt alle Fragen, die in der Anleitung gestellt sind. Bitte, wenn du dir nicht selbst helfen kannst, einen Mitschüler oder den Lehrer um Auskunft.

10. Führe während des Versuchs keine Arbeit aus, die du ebensogut nach Beendigung des Versuchs tun kannst. Mach also Rechnungen nur dann, wenn deren Ergebnisse unbedingt zur Fortführung des Versuchs erforderlich sind.

11. Schreibe die Rechnungen vollständig auf, so daß du jeden einzelnen Schritt sofort nachprüfen kannst. Rechne nie auf einzelnen Papierstücken, wie Löschpapier, Briefumschlägen, Postkarten usw.

12. Zieh nur aus den eigenen Beobachtungen Schlüsse.

13. Sieh bei falschen Ergebnissen zunächst nach, ob du keine Rechenfehler begangen hast. Mach erst mit den stark abgerundeten Zahlen einen groben Überschlag und wiederhole dann erforderlichenfalls die Rechnung mit den vollständigen Zahlen.

14. Prüfe dann gewissenhaft, ob das Mißlingen des Versuchs der eigenen Unerfahrenheit und Sorglosigkeit oder Mängeln der Geräte zuzuschreiben ist, und weise, wenn Fehler feststellbar sind, auf geeignete Mittel hin, sie zu verkleinern oder zu vermeiden.

### C. Auswertung der Beobachtungen.

Hierüber findet man ausreichende Belehrung bei F. KOHLRAUSCH<sup>11</sup> 1ff., OSTWALD-LUTHER<sup>3</sup> 1, SCHREBER-SPRINGMANN 2, 1ff. u. K. SCHREBER, *Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr.* 20, 14; 1907. Ich kann mich daher auf einige kurze Bemerkungen über die bildliche Darstellung der Beobachtungen und über das Zahlenrechnen beschränken.

#### 1. Bildliche Darstellungen.

Sie liefern am raschesten eine Übersicht über den Zusammenhang gemessener Größen. Man benutzt bei den Zeichnungen Millimeterpapier. (Es ist zu beachten, daß Blöcke billiger und bequemer sind als große Bogen.) Die Verwendung von logarithmischem und

semilogarithmischem Papier ist bei Schülerübungen im allgemeinen ausgeschlossen. Man halte darauf, daß die Schüler mit spitzen harten Bleistiften arbeiten und die einzelnen Kurvenpunkte durch kleine Kreuze festlegen.

Bei der Zeichnung wähle man für gewöhnlich den Maßstab so groß, daß ein halbes Millimeter oder höchstens ein Millimeter eine Einheit der letzten Ziffer darstellt, die man vernünftigerweise noch beibehalten darf. Hat man z. B. eine Wärmestufe mit einem Thermometer gemessen, das in ganze Grade geteilt ist, so stellt man jeden Grad durch 0,5 oder höchstens 1 cm dar. Entspricht einer starken Änderung der einen Größe eine nur schwache Änderung der andern Größe, so darf man für die Größe, die sich rascher ändert, einen viel kleinern Maßstab wählen. Bei jeder bildlichen Darstellung sind stets die Längenmaßstäbe für die Abszissen und die Ordinaten und die Namen der abgetragenen Größen anzugeben. Sind  $a$  und  $b$  die kleinsten Werte der Größen  $x$  und  $y$ , die bei den Versuchen vorkommen, so wählt man nicht  $x$  und  $y$ , sondern  $\xi$  und  $\eta$  als Koordinaten, wo  $\xi = x - a$  und  $\eta = y - b$  ist.

Die Ausführung einer bildlichen Darstellung bereitet selbst jungen Schülern keine Schwierigkeiten, und es gelingt ihnen sogar (namentlich wenn zwischen den Größen eine Gleichung ersten Grades besteht) die ausgleichenden Kurven zu ziehen, und so die Beobachtungsfehler auszuschalten.

Die sich jetzt vollziehende Umgestaltung des mathematischen Unterrichts bewirkt, daß sich auch bei uns die bildlichen Darstellungen immer mehr einbürgern und vielfach in Aufsätzen und Lehrbüchern behandelt werden.

## 2. Zahlenrechnen.

Eine Berechnung der Versuchsergebnisse, die in allen Einzelheiten einer tiefer gehenden Prüfung standhält, ist weit schwieriger, als viele Physiker ahnen. Gut rechnen zumeist nur die Astronomen und ihre Berufsverwandten. Eine einwandfreie Berechnung setzt voraus, daß man sich ein Urteil verschafft hat über die Fehler der Zahlen, womit man rechnen soll. In Verbindung damit steht die Forderung, die ganze Messung so einzurichten, daß die Teilfehler, die die einzelnen Messungen in dem Endergebnis hervorrufen, alle annähernd gleich sind. Diese strenge Forderung erfüllen aus Gründen, die jeder Kenner weiß, nur zum Teil die Anleitungen, die in diesem Buch und anderswo gegeben sind. Bei den Schülerübungen ist es verfehlt, nach amerikanischem Vorbilde grundsätzlich überall Fehlerbetrachtungen anzustellen; das entspricht weder den geistigen Bedürfnissen der Jugend, noch den Zwecken dieses Lehrverfahrens. Eine gründliche Erörterung der Fehler ist nur dann zweckmäßig, wenn in den Schülern selbst ein Bedürfnis entstanden ist, solche Fragen zu klären. Dieser Fall tritt z. B. stets ein, wenn die Frage

zu entscheiden ist, wieviel Stellen der Zahl  $\pi$  bei einer Berechnung zu verwenden sind. Wenn auch in den Übungen nur zuweilen die Fehler der Geräte, des Verfahrens und der Beobachtungen eingehender untersucht werden können, so soll sich doch der Leiter nach Kräften bemühen, für jeden Versuch eine möglichst gründliche Fehleruntersuchung durchzuführen; er wird dabei sicher vielfach vor Fragen gestellt, deren glückliche Lösung seinen Unterricht und nicht selten auch die Wissenschaft erheblich fördern kann. Eine sorgfältige Prüfung seiner Meßgeräte, wie Maßstäbe, Massensätze, Thermometer, Widerstände usw. wird ihm ganz grobe Fehlerquellen enthüllen und ihn darüber aufklären, warum seine absoluten Messungen so dürftig und dabei seine relativen Messungen ganz befriedigend ausfallen. Eine nachträgliche Beseitigung systematischer Fehler durch Verbesserungen usw. ist nur bei wenigen Übungen ausführbar und ratsam. Die Beobachtungsfehler soll man unter die Grenze hinabdrücken, wo die systematischen Fehler beginnen. Man läßt daher die Messungen so oft wiederholen, wie es die Zeit und die geringe Geduld der lebhaften Jugend erlauben. Läßt man in gleicher Front arbeiten und gestattet der Versuch die Bildung eines Gesamtmittels, so darf man die Anzahl der Wiederholungen stark herabsetzen. Hat das gesuchte Gesetz die Gestalt  $y=f(x)$  und sind  $x$  und  $y$  gemessen worden, so lasse man nicht nur  $f(x)$ , sondern auch  $y-f(x)$  berechnen und aus diesen Unterschieden den Mittelwert bilden. Bei den Schülerübungen kommt es nicht darauf an, die besten Ergebnisse zu erzielen, sondern solche, die den Schülern die Gewißheit liefern, daß das gefundene Gesetz den Tatsachen gut angepaßt ist, abgesehen von kleinen Abweichungen, die von den unvermeidlichen Fehlern herrühren. Alle Versuche, die ohne hervorragende Geschicklichkeit oder übergroße Mühe zu einem solchen Ziel hinführen, sind für Übungen zulässig. Eine Genauigkeit von 1 v. H. befriedigt durchaus unsere Schüler und ist auch in vielen Fällen erreichbar. Ist der Fehler viel größer als 1 v. H., so ist es ratsam, die Versuchsergebnisse nicht durch Rechnung, sondern durch bildliche Darstellung auszuwerten.

Die Beobachtungen der Schüler sind zumeist gut; schlechte Ergebnisse haben vielfach ihre Ursache in hastigem und unordentlichem Aufschreiben der Messungsergebnisse, falschem Setzen des Kommas, flüchtigem Rechnen usw. Man muß zunächst den Schüler zum richtigen Schreiben der Zahlen erziehen. Man mache ihm den Begriff der geltenden Ziffern klar und weise ihn darauf hin, daß jede geschätzte Größe fehlerhaft ist, daß es keinen Sinn hat, rechts von der fehlerhaften Stelle noch Ziffern beizubehalten, daß vielmehr diese wertlosen Ziffern über die vorhandene Genauigkeit täuschen. 9,98 cm z. B. bedeutet, daß die 8 Zehntelmillimeter auf Schätzung beruhen. In der Physik ist 10 cm von 10,00 cm verschieden. In der erstern Zahl beruhen die Einer der Zentimeter und in der letztern die Hundertstel der Zentimeter auf Schätzung; bei 10 cm ist der

Fehler kleiner als 5 cm und bei 10,00 cm kleiner als 0,05 cm. Geltende Nullen darf man nicht weglassen.

Beim Rechnen ist darauf zu achten, daß die Schüler richtig abrunden. Im Fall der zweifelhaften Abrundung, wenn also die abgestoßene Ziffer eine 5 ist, pflegt man an den Berliner Schulen die letzte Ziffer um Eins zu erhöhen. Dieses Verfahren ist zwar einfach, doch roh; feiner ist es, auf „gerade“ abzurunden, d. h. für die Beträge

0,5      2,5      4,5      6,5      8,5

die Zahlen 0, 2, 4, 6, 8 und für die Beträge

1,5      3,5      5,5      7,5      9,5

die Zahlen 2, 4, 6, 8, 10 anzusetzen. Vgl. H. BRUNS, *Grundlinien des wissenschaftl. Rechnens* 28.

Da die Genauigkeit der Messungen bei den Schülerübungen im Durchschnitt 1 v. H. ist, so wird man bei längern logarithmischen Rechnungen vierstellige Logarithmentafeln benutzen. Bedient man sich nicht der Logarithmentafel oder des Rechenschiebers, so sind bei den Rechnungen die abgekürzten Verfahren für ungenaue Zahlen anzuwenden. Man muß dieses Rechenverfahren aber häufig benutzen; denn erlangen die Schüler darin nicht die erforderliche Übung, so erklären sie mit Recht, daß die gewöhnlichen Verfahren und nachträgliches Kürzen mit geringerem Aufwand von Zeit und Nachdenken zum Ziel führen. Das genäherte Rechnen ist übrigens, wenn man es mit allen Feinheiten ausführen will, schwieriger, als viele Theoretiker denken.

#### D. Übungsberichte.

Als Übungsheft dient ein Viertelbogenheft aus weißem Papier, oder besser, aus Netzpapier. Achtelbogenhefte sind zu klein nach den Erfahrungen, die am Dorotheenstädtischen Realgymnasium gemacht worden sind. Verwebt man die Übungen mit dem Klassenunterricht, so ist die Einrichtung besonderer Übungshefte nicht ratsam, man läßt dann besser die Übungsberichte, die sogenannten „Protokolle“, in das allgemeine Physikheft eintragen, doch soll auch hier der Schüler bei jeder neuen Aufgabe eine neue Seite anfangen. Auf dem Deckel des Hefts muß selbstverständlich der Name des Schülers und die Klasse stehen.

Der Bericht über die ausgeführten Versuche soll enthalten: 1. die gestellte Aufgabe, 2. den Tag und, falls in Gruppen gearbeitet wird, deren Nummer und den Namen des Führers, 3. die Nummer des Arbeitsplatzes, 4. die Nummern der benutzten Geräte, 5. eine knappe und klare Beschreibung des Versuchsverfahrens und des Versuchsverlaufs, 6. die Messungen, Rechnungen, Schlußfolgerungen und Ergebnisse in übersichtlicher und sachgemäßer Anordnung und

### 7. saubere Umrißzeichnungen der benutzten Geräte und ihrer Anordnungen.

Der Bericht soll die urschriftlichen Aufzeichnungen des Schülers enthalten und sofort nach jeder Beobachtung mit Bleistift, am besten mit dem Kopierstift „Castel“ von A. W. FABER, niedergeschrieben werden. Im Berichte darf nichts weggeschabt werden; alle zu tilgenden Eintragungen sind durchzustreichen oder in Winkelklammern  $\langle \rangle$  einzuschließen und die Versehen durch eine Randbemerkung zu erklären. Der ganze Bericht muß unbedingt zuverlässig sein. Auf deutliches Schreiben namentlich aller Zahlen und Einheiten ist großer Nachdruck zu legen. Alle Aufzeichnungen und Rechnungen müssen übersichtlich angeordnet und reichliche Zwischenräume für spätere Zusätze freigelassen werden. Alle Ergebnisse sind womöglich in Tafeln einzutragen und, wenn dies nicht zweckmäßig ist, in gutem Deutsch kurz, aber bündig, in ganzen Sätzen klar und bestimmt aufzuschreiben.

Die Abfassung eines guten Berichts bereitet den Schülern große Schwierigkeiten. Man muß daher bei den ersten Übungen den Schülern etwas helfen. Auch empfiehlt es sich, die Schüler später dann und wann eine Übung aus dem Stegreif nur unter Benutzung ihrer eigenen Berichte wiederholen zu lassen. Die hauptsächlichsten Mängel der Berichte sind: schlechte Ausdrucksweise, Verstöße gegen Rechtschreibung und Zeichensetzung, schlechte Schrift, unübersichtliche Anordnung, unvollständige und dürftige Aufzeichnung der Beobachtungen, ungenaue und unordentliche Eintragungen der Meßergebnisse, Rechenfehler, falsche Schlüsse und irrige Feststellungen, Angabe von unwesentlichen Nebenerscheinungen, Wortschwall usw.

### III. Geräteverzeichnis.<sup>1)</sup>

Diese Übersicht soll junge Lehrer bei der Einrichtung von Schülerübungen in den Stand setzen, mit dem geringsten Aufwand von Zeit, Geld und Arbeit eine brauchbare Ausrüstung zu beschaffen.

Die einzelnen Geräte sind in der Reihenfolge aufgeführt, wie sie nach der Anordnung der Versuche in diesem Buch zur Verwendung kommen. Jeder Gegenstand steht nur an der Stelle, wo er zum erstenmal gebraucht wird, doch ist dort auf alle spätern Versuche hingewiesen, wo er wiederum benutzt wird. Man muß also, wenn man die Geräte zusammenstellen will, sagen wir für die Wärmelehre, nicht nur den Abschnitt VII des Verzeichnisses durchlesen, sondern auch nachsehen, ob nicht bereits einige Geräte dieses Gebiets, wie z. B. die Thermometer, in frühern Teilen dieser Übersicht erwähnt worden sind. Diesem kleinen Nachteil steht der große Vor-

<sup>1)</sup> Die Übräume und ihre Ausstattung habe ich ausführlich behandelt in der Schrift: *Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten?* Berlin, Springer, 1905.

teil gegenüber, daß man den ganzen Verwertungsbereich jedes einzelnen Geräts vollständig überblickt.

Bei der Anschaffung der Geräte für Schülerübungen in gleicher Front kann man zwei Wege einschlagen: die Anfügung oder die Einschaltung. Entweder kauft man sofort so viele Stücke eines Geräts, wie kleinste Arbeitsgruppen vorhanden sind, und fügt später nach und nach die Ausrüstungen für weitere Versuche hinzu, oder man erwirbt zunächst für zahlreiche Versuche eine nicht ausreichende Anzahl Geräte, mit denen man größere Schülergruppen arbeiten läßt, und vermehrt dann allmählich die Anzahl der Geräte, bis man die kleinsten Arbeitsgruppen bilden kann. Wo es darauf ankommt, daß alle Schüler mit genau übereinstimmenden Geräten, z. B. Massensätzen, Widerstandspulen usw., arbeiten, ist eine Vermehrung durch Einschalten nicht ratsam; bei teureren Gegenständen hingegen wird man diesen Ausweg mit Vorteil einschlagen. Die größte Anzahl der Geräte, die für Übungen in gleicher Front notwendig ist, findet man, indem man die größte Anzahl der Schüler, die voraussichtlich den Versuch gleichzeitig machen sollen, durch die Anzahl der Schüler teilt, die mindestens zur Ausführung des Versuchs erforderlich ist. Will man bei geeigneten Übungen das Verfahren des allseitigen Angriffs anwenden, so muß man untersuchen, wie diese Arbeitsweise die Anzahl der erforderlichen Geräte beeinflusst.

Die Arbeit, die mit dem Anschaffen und dem Instandhalten der Geräte für Schülerübungen verbunden ist, wird meist bedeutend unterschätzt. Diese falsche Bewertung kann zu großer Geldvergeudung führen. Von den Leitern der Übungen ist unbedingt zu verlangen, daß sie jedes Gerät sofort nach der Lieferung genau untersuchen und seine Brauchbarkeit durch Versuche prüfen. Sie haben z. B. nachzusehen, ob bei den Klemmen die Schrauben lang genug sind und ihre untern Enden keine Spitzen haben, die die Drähte durchschneiden, ob die Spulen die vorgeschriebene Bewicklung, den richtigen Widerstand usw. haben. Die Anzahl der Geräte, die eine Schule anschaffen kann, ist mithin nicht bloß vom vorhandenen Gelde, sondern auch von der Zeit abhängig, die der Leiter der Übungen auf das Prüfen und das Instandsetzen der Geräte verwenden kann. Oft wird auch übersehen, daß der Mechaniker zur Anfertigung der Geräte Zeit gebraucht. Da der Leiter Dinge, die nicht vorhanden sind, auch nicht kaufen kann, so sind Anweisungen, Geräte für Übungen sofort oder binnen weniger Wochen anzuschaffen, manchmal unausführbar. Überstürzungen führen fast stets zu hastigem und übereilem Ankauf von Geräten, die für die Übungen nicht zu gebrauchen sind, also zur Vergeudung der vorhandenen, meist viel zu spärlichen Mittel. Das Geld, das zur Anschaffung von Geräten bewilligt wird, muß in richtigem Verhältnis stehen zu der Zeit, die für ihre Herstellung und Prüfung nötig ist. Daher wäre es dringend erwünscht, wenn die Mittel, die für Schüler-

übungen angewiesen werden, auf irgend eine Weise von einem Rechnungsjahr auf das andere übertragbar gemacht würden. Will man für das wenigste Geld die beste Einrichtung für Schülerübungen erwerben, so muß man die Ausrüstung im Laufe einiger Jahre allmählich beschaffen.

Das naturwissenschaftliche Fortbildungsinstitut und das Dorotheenstädtische Realgymnasium beziehen Zeichenausrüstungen von GEBR. WICHMANN, Berlin NW 6, Karlstr. 13, Chemikalien und Drogen von R. SCHERING, Berlin N., Chausseestr. 19, chemische Geräte u. dgl. von Dr. HERMANN ROHRBECK, Nachf., Berlin N 4, Pflugstr. 5, und physikalische Geräte, soweit in diesem Buch nicht andere Bezugsquellen genannt worden sind, von F. A. HINTZE, Berlin NO. 55, Prenzlauer Allee 33. Für das naturwissenschaftliche Fortbildungsinstitut haben OTTO DAMMANN, Berlin N., Gerichtstr. 72, und für das Dorotheenstädtische Realgymnasium MAX KOHL, Chemnitz i. S., die Arbeitstische, Schränke, Wandbretter und Galgen angefertigt.

Sofort nach dem Erscheinen dieses Buchs haben einige Geschäfte das darin enthaltene Geräteverzeichnis zur Herstellung von Preislisten benutzt und unter widerrechtlicher Verwendung meines Namens die Geräte nachgebaut, ohne im Besitz der erforderlichen Vorbilder und Angaben zu sein. Über die gelieferten Vorrichtungen habe ich manche ungünstigen Urteile gehört. Meine Anleitungen setzen die Geräte voraus, die ich in diesem Buch beschrieben habe. Nur mit diesen Geräten habe ich selbst die Übungen ausgeführt und von vielen Lehrern und Schülern ausführen lassen. Ob die Versuche auch mit andern Geräten gelingen, weiß ich nicht. Man verlange daher bei Bestellungen ausdrücklich, daß die Geräte genau so geliefert werden, wie ich sie in diesem Buch beschrieben habe, und lehne alle angeblichen Verbesserungen und Umgestaltungen ab; es sei denn, daß ich die Abänderungen geprüft und in spätern Veröffentlichungen gebilligt habe.

Ich habe neben Herrn F. A. HINTZE auch die Herren LEPPIN & MASCHE, Berlin SO., Engelufer 17, ermächtigt, meine Geräte für physikalische Schülerübungen herzustellen.

Will der Leiter seine Ausrüstung für Schülerübungen vollkommen beherrschen, so muß er bei der Bestellung der Geräte vom Verfertiger verlangen, daß dieser die einzelnen Geräte mit Nummern versieht, und außerdem alle Festwerte, wie Widerstand, größte zulässige Belastung, Windungszahl usw., dauerhaft darauf verzeichnet.

Das Verzeichnis enthält die Geräte des naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstituts, einer Anstalt zur Ausbildung von Übungsleitern, und diese Ausrüstung ist, da sie zahlreiche Abarten der Geräte und Versuche umfaßt, viel umfangreicher als die Ausstattung einer höhern Schule. Ein geschickter Übungsleiter kann für wenig Geld eine recht leistungsfähige Ausrüstung beschaffen.

Da die Preise der Geräte schwanken, habe ich sie in dieser Auflage weggelassen und verweise auf die Preislisten von F. A. HINTZE und LEPPIN & MASCHE.

Bei der Benutzung des Geräteverzeichnis ist zu beachten, daß „kurzer Robisonscher Magnet (S. 306). IX 1<sub>2</sub>.“ heißt: Der auf S. 306 beschriebene kurze Robisonsche Magnet wird in dem 9. Teil bei dem 2. Verfahren der 1. Aufgabe benutzt.

### Werkzeuge und Zeichengeräte.

#### Ausrüstung des Werkzeugbretts:

1. Vierkantiger Vorstecher. II A 7, 8<sub>2</sub>, 9, 10.
2. Runder Vorstecher. II A 25, 27<sub>1</sub>.
3. Rundfeile. VII 2, 8.
4. Dreikantfeile. I 12, 14. VI 5. VII 8.
5. Flachzange. II A 4. IV 2. VI 3—5.
6. Rundzange. II A 4. IV 2. VI 3—5.
7. Beißzange. I 12, 21. II A 4. II B 7<sub>2</sub>, 9. III 5. IV 2. V 9, 10, 15. VI 3, 4, 5. VII 1, 14. X 8.
8. Tiegelszange. X 2, 3, 9—11, 51.
9. Stahlschlagwinkel. I 20. II A 13, 29. III 1, 2. VIII 24.
10. Schere. I 2—4, 6, 18<sub>2</sub>, 19, 20. II A 3, 7, 8—10, 12, 15, 29, 31. II B 1<sub>1</sub>, 1<sub>3</sub>, 2, 4—6, 8. III 1—8. IV 1, 2. V 8, 14. VI 2—5. VII 3—5. VIII 15, 18, 19, 21—23, 25. IX 6, 7<sub>1</sub>, 8. X 47.

11. Hammer. II A 4, 7, 11, 35—38. II B 9.

#### Empfehlenswerte Ergänzungen:

Schraubenzieher, Kneifzange u. Pinsel.  
 12. Vollständige Zeichenausrüstung (S. 60). II A 8—10. 13—15. 20—26<sub>1</sub>. 27<sub>1</sub>. VIII 1—8, 15.

Von den Teilen werden allein benutzt: Reißbrett. II B 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>. X 41. — Reißschiene II B 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>. IV 1. — Zeichendreiecke I 1, 4. II A 12. II B 1<sub>1</sub>, 3—6. VIII 16. IX 2, 7<sub>2</sub>, 9<sub>2</sub>. — Winkelmesser II A 15, 19. — Reißbogen II B 3<sub>1</sub>. IX 2—5, 7<sub>2</sub>, 8. — Reißnägeln I 2. II B 1<sub>1</sub>, 2, 3, 6. VIII 16. — Bleistift I 2, 4, 6, 7, 18<sub>1</sub>. II A 28, 29, 35—39. II B 3<sub>1</sub>. IX 2, 3, 5, 7<sub>2</sub>, 8. — Zirkel I 19. — Millimetermaßstab I 18<sub>2</sub>, 19, 20. II A 4, 29, 34. VIII 3<sub>3</sub>, 4, 15—17.

### Chemikalien und Drogen.

13. Alkohol. III 8. VII 15<sub>2</sub>. X 2—4, 8—11.
14. Ammoniak. X 1—4, 8.
15. Ammoniumchlorid. III 8.
16. Anilin. X 15—19<sub>1</sub>.
17. Bärlappsaamen. II B 1<sub>4</sub>. VI 7.
18. Benzin. III 8.
19. Chromtrioxyd. X 3.
20. Cuprisulfat. I 15<sub>1</sub>, 15<sub>2</sub>. III 2, 7, 8. IV 2. X 3, 4, 8—11.
21. Ferroammoniumsulfat. X 19<sub>2</sub>.
22. Ferrochlorid. X 19<sub>2</sub>.
23. Ferrosulfat. X 19<sub>2</sub>.
24. Glyzerin III 8. VII 10.
25. n-Kalilauge. X 1.
26. Kaliumdichromat. X 3, 12—14.
27. Kaliumferrocyanid. X 8.
28. Kaliumjodid. X 8.
29. Kaliumnitrat. III 8.

30. Kochsalz. I 15. III 2, 8. IV 2. VII 7, 8. VIII 21. X 8.
31. Lithiumchlorid. VIII 21.
32. Lackmuspapier. X 1.
33. Naphthalin. VII 15.
34. Natriumbikarbonat. VIII 21.
35. Natriumnitrat. VIII 25.
36. Natriumsulfat. X 8, 12—14.
37. 2n-Natronlauge. X 12—14.
38. Paraffin. III 6. IX 4.
39. Paraffinöl. III 1.
40. Petroleum. III 1, 8. X 15—19<sub>1</sub>.
41. Phenolphthalein. X 8.
42. Quecksilber. III 1. VII 10. X 1. Vgl. X.
43. Rizinusöl. IV 2.
44. Konz. Salpetersäure. X 10.
45. Reine Schwefelsäure. X 1—4, 8, 9.
46. Denaturierter Spiritus. I 15.

47. Stärke. X 8.  
 48. Terpentinöl. III 1, 8. VII 10.  
 X 15—19<sub>1</sub>.  
 49. Thallo-sulfat. VIII 21.  
 50. Toluol. X 15—19<sub>1</sub>.

51. Destilliertes Wasser. I 15<sub>2</sub>, 17.  
 VII 6. X 15—19<sub>1</sub>.  
 52. Xylol. X 15—19<sub>1</sub>.  
 53. Chem. reines Zink. X 1.

## I. Maß und Messen.

54. Paraffinierter Holzklötz (S. 3).  
 I 1, 10.  
 55. 2 Meterstäbe (S. 3). I 1, 3—5,  
 7, 8, 12, 21. II A 1<sub>1</sub>, 5, 13, 15, 19,  
 23—27<sub>1</sub>, 30, 31, 33, 35—39. II B 1,  
 3—8, 11—14. III 5. IV 1. V 1—6,  
 10, 15. VI 2, 4, 6, 7. VII 1, 3. VIII  
 14, 25. IX 2, 7—9. X 31—34, 40,  
 42, 44, 46, 51.  
 56. Stecknadeln. I 1, 3. II A 8<sub>1</sub>,  
 28. VIII 1—6, 12, 13, 23. IX 7<sub>2</sub>. X 41.  
 57. Rechenstab (S. 6). I 2.  
 58. Millimeterpapier. I 2, 6, 7, 18<sub>1</sub>.  
 II A 1, 3—6, 10, 15—19, 24, 26, 27<sub>1</sub>,  
 35—39. II B 1<sub>2</sub>—3, 6, 13. V 7, 13.  
 VII 2, 15<sub>2</sub>, 16. VIII 3, 5, 6<sub>1</sub>, 9, 11.  
 IX 1. X 3, 4, 7, 20, 23, 27, 31—34,  
 44, 46, 49—51.  
 59. Metallwalze (S. 7). I 3, 4, 9. III 3.  
 60. Dünnes Papier. I 3<sub>1</sub>.  
 61. Garn (weißes u. schwarzes). I 3<sub>2</sub>.  
 II A 8—11, 15, 30, 35—39. II B 4—6,  
 8. IV 1. V 8. VII 6, 15. VIII 14.  
 62. Kupferdraht, sehr dünn. I 3<sub>2</sub>.  
 II B 9.  
 63. Kupferdraht von 0,8 mm Durch-  
 messer. I 12, 15<sub>2</sub>, 21. III 5. IV 2. VII 1.  
 64. Kupferdraht von 1,6 mm Durch-  
 messer. I 6. II A 30. VII 1, 14.  
 65. Harter Kupferdraht von 0,25 mm  
 Durchmesser. V 9. X 37.  
 66. Unterlegklötze (S. 143). I 3<sub>2</sub>, 5.  
 II A 7, 15, 23, 24. II B I 3<sub>2</sub>, 6, 8. III  
 3—8. V 8, 11, 12. VIII 17<sub>2</sub>—19, 22.  
 67. Karton. I 4. II B 1<sub>1</sub>, 1<sub>3</sub>, 6. VIII  
 16, 18. IX 6, 7<sub>1</sub>, 8.  
 68. Dünner Karton. I 18<sub>2</sub>, 19.  
 69. Schublehre. I 4, 5, 7, 13. II B  
 1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>, 1<sub>3</sub>, 3<sub>1</sub>, 4—6, 7<sub>2</sub>, 14. III 3. V 10.  
 VI 7. VIII 14. IX 7<sub>1</sub>, 9. X 44, 46.  
 70. Linse von kurzer Brennweite.  
 I 4, 5. II A 6. Vgl. VIII.  
 71. 2 Fadenzähler. I 4, 5. II A 6.  
 VIII 14, 17<sub>2</sub>, 22.  
 72. Kugel aus Buchsbaumholz (S. 13).  
 I 5, 10.  
 73. Glasröhren (6 bis 8 mm dick).  
 I 6, 8. II A 34. IV 2. VII 8, 18. IX  
 6, 7<sub>1</sub>, 8.  
 74. Glasscheiben. I 6. X 8.  
 75. Kleine Lagerkugeln. I 6. II A  
 13, 26<sub>3</sub>, 27<sub>2</sub>.

76. Schrot. I 6. II A 3, 8<sub>2</sub>, 9, 11,  
 32. V 12. VII 2, 13, 19.  
 77. Holzwalze (S. 16). I 7.  
 78. Ziehfeder. I 7. VIII 16.  
 79. Tusche. I 7. VIII 16.  
 80. 2 Bunsengestelle nebst Zubehör.  
 I 7. II A 1<sub>1</sub>, 3, 3, 8<sub>1</sub>, 12, 15, 31, 34.  
 II B 1<sub>1</sub>, 3<sub>1</sub>, 4—6, 7<sub>2</sub>, 8. III 1—3, 8.  
 IV 1, 2. V 1—6, 8, 15. VI 1, 6<sub>1</sub>. VII  
 6, 11, 15, 18. VIII 16<sub>2</sub>, 17, 20, 23, 25.  
 X 19<sub>2</sub>.  
 81. Schraube und Mutter (S. 17). I 7.  
 82. Klebwachs. I 7. II A 3, 30. II  
 B 1<sub>1</sub>, 9. III 1, 2. V 8, 13. VI 1.  
 VIII 14—16. IX 2, 3, 5, 7<sub>2</sub>, 8. X 42.  
 83. Fischleim. I 7.  
 84. Feinschraubenzieher. I 8, 20, 21.  
 II A 4—6. III 5. V 5. IX 9<sub>2</sub>. X 20,  
 33, 34, 38, 51.  
 85. Messingdraht von 1 mm Durch-  
 messer. I 8. VIII 15.  
 86. Wage (S. 21). I 9—17, 18<sub>2</sub>—21.  
 II A 11, 32. II B 1<sub>2</sub>, 7<sub>2</sub>, 9, 10, 14.  
 III 3—8. V 4—6, 8, 10, 12, 13, 15.  
 VI 5, 7. VII 10, 12—14, 17, 18. IX 9.  
 X 2, 4, 9—11, 15—19.  
 87. Massensatz (S. 22). I 9—17,  
 18<sub>2</sub>—21. II A 1, 8, 11, 12, 15, 31, 32,  
 34. II B 1<sub>2</sub>, 7, 9, 10, 14. III 3—8.  
 V 1—8, 10, 12—15. VI 5, 7. VII 10,  
 13, 14, 17, 18. IX 9. X 2, 4, 9—11,  
 15—19.  
 88. Abgleichschrot. I 13, 14, 15, 17.  
 III 5, 6. X 4.  
 89. 2 Abgleichbecher. I 13—15, 17.  
 III 5, 6.  
 90. Brücke zur Wage (S. 179). III  
 3—8.  
 91. Becher aus Messing mit auf-  
 geschliffener Glasplatte (S. 25). I 13.  
 92. 2 Bechergläser (600 cm<sup>3</sup>). I 13,  
 14, 15<sub>2</sub>, 16, 17. II A 23, 24. II B 1<sub>2</sub>. III  
 3—8. IV 2. V 6, 12. VII 4, 8—14,  
 15<sub>2</sub>, 16, 17. X 9—11, 15—19.  
 93. Becherglas (250 cm<sup>3</sup>). VII 12 bis  
 15<sub>1</sub>, 18. X 12—14.  
 94. 2 Bechergläser (50 cm<sup>3</sup>). I 15<sub>1</sub>.  
 II A 32. X 8.  
 95. Pipette (50 cm<sup>3</sup>, S. 25). I 13, 14,  
 15<sub>2</sub>, 17. III 2—8. VII 2, 4, 12—14, 18.  
 96. 2 Thermometer (S. 231). I 13, 15.

- III 1—3, 8. IV 2. VI 1, 7. VII 2.  
4—7, 9, 10, 12—19. X 15—19, 39.  
97. Pinsel. I 13, 14, 15<sub>2</sub>. II A 1.  
II B 2, 7<sub>2</sub>. V 1—4, 9—12, 15.  
98. Fließpapier. I 13—15. VII 10,  
15<sub>2</sub>, 17. X 1.  
99. Enghalsige Flasche (100 cm<sup>3</sup>). I  
14. (50 cm<sup>3</sup>) I 15<sub>2</sub>.  
100. Ablesespiegel. I 14—16. II A  
1, 8<sub>2</sub>—12, 20, 21, 25, 27<sub>1</sub>. IV 1. V 3.  
VII 6, 8, 12—14, 17. IX 1. X 12—14.  
101. Meßglas (250 cm<sup>3</sup>). I 14. V  
6. X 15—19.  
102. 2 Trichter. I 14—16. III 1, 2.  
VII 4, 11. X 2, 12—14.

103. Meßröhre (50 cm<sup>3</sup>, geteilt in  
0,1 cm<sup>3</sup>). I 15<sub>1</sub>, 16.  
104. Ableseklemme (S. 29). I 15<sub>1</sub>, 16.  
105. Dichtefläschchen (50 cm<sup>3</sup>). I 15<sub>2</sub>,  
17. VII 10.  
106. Kieselsteine. I 16.  
107. Klebpapier. I 16. III 2. V 6.  
VI 6<sub>1</sub>. VIII 16, 21. IX 2, 3, 5, 7<sub>2</sub>, 8.  
X 42, 47.  
108. Abgleichgranaten. I 17.  
109. Pauspapier. I 18<sub>2</sub>.  
110. Nähnadeln. I 18<sub>2</sub>.  
111. Zinnblatt. I 20. II A 3, 32.  
VII 3—5. VIII 23.

## II A. Gleichgewicht der festen Körper.

112. Spulfeder aus Stahldraht (S.  
38). II A 1<sub>1</sub>. V 1—4, 15.  
113. Spulfeder aus Stahldraht nach  
GULLAUMER (S. 36). II A 1<sub>2</sub>.  
114. Spulfeder aus Messingdraht (S.  
191). II A. V 3.  
115. Korke. II A 1<sub>1</sub>, 11. VI 7. VII  
2, 4, 8, 15. VIII 17<sub>2</sub>. IX 1, 4, 6—8. X 8.  
116. Große Korke (Spunde). VII 8,  
12—14, 17, 18.  
117. Spiegelmaßstab (S. 38). II A 1<sub>1</sub>.  
III 1, 2. IV 2. V 3, 8.  
118. Leichte Wagschale. II A 1<sub>1</sub>,  
1<sub>2</sub>, 8<sub>1</sub>, 11, 34. V 1—5, 8, 15.  
119. 2 Wagschalen von 10 cm Durch-  
messer. II A 8<sub>2</sub>. II B 7<sub>1</sub>.  
120. Holzstab (S. 37). II A 1<sub>2</sub>.  
121. Holzstab (S. 68). II A 13.  
122. Holzstab (S. 86). II A 21.  
123. Holzstab (S. 88). II A 22, 26<sub>1</sub>.  
124. Holzstab (S. 107). II A 27<sub>1</sub>.  
125. Holzstab (S. 118). II A 34.  
126. Lot. II A 1<sub>2</sub>, 10, 15, 19, 28 bis  
30. II B 3<sub>1</sub> 6. III 1, 2. IV 1, 2. V 6.  
VI 6<sub>1</sub>.  
127. Federwagen nebst Schlitten  
(S. 40). 3 Stück bis 4 kg\*. II A 7, 8<sub>2</sub>,  
9, 10, 12, 21, 25, 26<sub>2</sub>. — 3 Stück bis  
5 kg\*. II A 21, 31. — 4 Stück bis  
10 kg\*. II A 2, 3, 14, 26<sub>2</sub>, 27<sub>2</sub>.  
128. 2 runde Federwagen bis 20 kg\*  
(S. 89). II A 22, 26<sub>1</sub>.  
129. Druckfederwage. II A 7.  
130. Ringgewichte (S. 41). 4 Stück  
zu 1 kg\*. II A 2, 7, 8<sub>2</sub>, 9, 20, 21, 24,  
25<sub>2</sub>, 27<sub>1</sub>, 33. X 44. — 2 Stück zu  
2 kg\*. II A 2, 9, 10, 13, 20, 21, 23,  
24, 27<sub>1</sub>, 31. — 5 kg\*. II A 2, 7, 10,  
12, 22, 23, 26<sub>1</sub>, 31, 35—39. — 10 kg\*.  
II A 14, 22, 26<sub>1</sub>, 31, 33, 35—39. —  
20 kg\*. II A 35—39.

131. Stabgewichte (S. 41). 2 Stück  
zu 1 kg\*. II A 3—6, 16—19, 31, 35  
bis 39. II B 10. — 4 Stück zu 2 kg\*.  
II A 3—6, 15—19, 31, 35—39. —  
2 Stück zu 5 kg\*. II A 3, 4, 6, 15 bis  
19, 31, 35—39. — 2 Stück zu 10 kg\*.  
II A 4, 6, 15—19, 31, 35—39. — 2 Stück  
zu 20 kg\*. II A 4, 15, 39. V 8.  
132. Scheibengewichte (S. 41). II A  
3—5, 7, 8<sub>2</sub>, 16—20, 25<sub>2</sub>, 27<sub>1</sub>, 31, 35 bis  
39. II B 10. V 13.  
133. Dünnes Messingblech. II A 2,  
3. VIII 23.  
134. Mittlere Wagschale von 20 cm  
Durchmesser (S. 124). II A 3, 5, 15  
bis 19, 31, 35—39.  
135. Große Wagschale von 36 cm  
Durchmesser. II A 4, 6.  
136. Bleiblatz (Tapeziererblei). II A  
3, 32. VII 14.  
137. Schraubzwinge mit Haken. II A  
3, 22, 26<sub>1</sub>, 33.  
138. Schreibpapier. II A 3, 13, 24,  
25<sub>2</sub>, 27<sub>1</sub>, 30. II B 2. III 1, 2. IV 2.  
VI 2—5. IX 4. X 41, 42.  
139. Tafelwage. II A 3, 4.  
140. Tiefenlehre mit Ansatz (S. 47).  
II A 4, 6.  
141. Verzinkter Eisendraht von 1 mm  
Durchmesser. II A 4, 6.  
142. 2 Bügel für Galgen. II A 4,  
35—38. II B 7<sub>1</sub>.  
143. 2 Holzkeile. II A 4, 35—38.  
II B 7<sub>1</sub>, 9.  
144. Kasten mit Sägemehl. II A 4.  
145. Schnittbrenner (S. 279). II A 4.  
VII 8. VIII 11—14, 18—20, 22.  
146. Gasschlauch (1,50 m lang). II  
A 4. VI 6<sub>1</sub>, 7. VII 1—3, 5, 7, 8, 10,  
11, 14, 15, 17, 18. VIII 11—14, 18—22,  
25. IX 4. X 3, 4, 8, 51.

147. Kautschukstab. II A 5.  
 148. Lange Stopfnadeln. II A 5.  
 149. Bandmaß. II A 6. (10 m lang.)  
 150. 4 Rollen (S. 53). II A 7, 8<sub>2</sub>,  
 12, 20, 25<sub>3</sub>, 27<sub>1</sub>.  
 150a. — aus Aluminium.  
 150b. — — Holz mit zwei Griff-  
 schrauben.  
 151. Kleine Rolle (S. 65). II A 11.  
 152. Universalrolle (S. 53). II A 15  
 bis 19, 22, 26<sub>1</sub>, 39.  
 153. Messingring von 0,5 cm Durch-  
 messer. II A 7, 8<sub>2</sub>—10.  
 154. Kleine Haken. II A 7, 34. V  
 8, 14.  
 155. Große Haken. II A 22, 26<sub>1</sub>.  
 156. Drahtstifte. II A 7, 11, 25.  
 X 52.  
 157. Angelschnur (S. 71). II A 7,  
 8<sub>3</sub>—10, 14—21, 25, 26, 39. II B 7<sub>1</sub>,  
 11—14.  
 158. Bindfaden. II A 7, 9, 10, 12, 16,  
 22—24, 26<sub>1</sub>, 31, 34<sub>1</sub>. II B 9. V 14.  
 X 44, 47.  
 159. Kautschukschnur (S. 54). II A  
 8<sub>1</sub>, 29, 34.  
 160. Seidenschnüre. II A 8<sub>2</sub>, 16—19,  
 25<sub>3</sub>.  
 161. Talg. II A 8<sub>2</sub>, 9, 10.  
 162. Kleine Metallzwingen. II A 8<sub>3</sub>,  
 26<sub>2</sub>, 26<sub>3</sub>, 27<sub>2</sub>.  
 163. Hakenschrauben. II A 9, 10,  
 13, 21.  
 164. Zwirn. II A 13.  
 165. Dachstuhlmodell (S. 71). II A 14.  
 166. Schiefe Ebene (S. 76). II A  
 15—19.  
 167. Wagen (S. 76). II A 15.  
 168. Eisendraht von 5 mm Durch-  
 messer. II A 15.
169. Drahtrahmen von 0,5 mm  
 Durchmesser. VII 1.  
 170. Reibschlitten (S. 79). II A 16  
 bis 19.  
 171. Sandpapier. II A 16—19, 34.  
 171a. Schmirgelpapier. X 2—53.  
 172. Wasserwaage. II A 16—19, 22,  
 26<sub>1</sub>. II B 1<sub>1</sub>. III 1, 2. IX 1. X 44.  
 173. Pappe. II A 20, 25<sub>3</sub>, 28—30.  
 VII 18. VIII 20. X 41.  
 174. Hebel mit fester Achse (S. 93).  
 II A 23, 24, 31.  
 175. Hebel mit verschiebbarer Achse  
 (S. 116). II A 31, 33.  
 175a. Schraubzwinde mit Lager für  
 beide Hebel.  
 176. Schmieröl. II A 23, 24, 35—39.  
 176a. Meterstab mit 3 Löchern. II A  
 25<sub>1</sub>.  
 176b. 2 Zapfenklappen für Feder-  
 wagen (S. 99). II A 25<sub>1</sub>.  
 176c. Zapfenklappe für Meterstab  
 (S. 99). II A 25<sub>1</sub>.  
 177. Glasperlen. II A 25<sub>1</sub>.  
 178. Halls Scheibe (S. 106). II A  
 26<sub>3</sub>, 27<sub>2</sub>.  
 179. Holzstäbchen. II A 30.  
 180. Baurolle (S. 124). II A 35.  
 181. Seil von 0,75 cm Durchmesser.  
 II A 35, 36.  
 182. 2 feste Rollen (S. 127). II A 36.  
 II B 7<sub>1</sub>.  
 183. Bewegliche Rolle (S. 127). II  
 A 36.  
 184. Dreierolliger Flaschenzug (S. 129).  
 II A 37.  
 185. Weston-Differentialflaschenzug  
 (S. 130). II A 38.  
 186. Schraubenwinde (S. 132). II A 39.

## II B. Bewegung der festen Körper.

187. 3 Fallrinnen (S. 143). II B 1<sub>1</sub>,  
 1<sub>2</sub>, 1<sub>3</sub>, 3<sub>1</sub>.  
 188. Langer Holzkeil (S. 143). II B  
 1, 3.  
 189. 2 Lagerkugeln von 5 cm Durch-  
 messer. II B 1<sub>2-3</sub>.  
 190. Lagerkugel von 3,8 cm Durch-  
 messer. II B 1<sub>4</sub>.  
 191. Lagerkugel von 1,25 bis 2 cm  
 Durchmesser. II B 3<sub>1</sub>.  
 192. Lagerkugel von 2,5 cm Durch-  
 messer. II B 3<sub>2</sub>.  
 193. 2 Auslöser (S. 144). II B 1<sub>1-3</sub>, 3<sub>1</sub>.  
 194. Zielbügel (S. 143). II B 1<sub>1</sub>.  
 195. Kohlepapier (S. 151). II B 1<sub>1</sub>,  
 2, 3<sub>2</sub>.
196. Quecksilberbrett (S. 176). II  
 B 1<sub>1</sub>, III 1. IV 1. VII 10. X 1—19<sub>1</sub>,  
 20—47, 49—51.  
 197. Watte. II B 1<sub>1</sub>, 1<sub>4</sub>, 2, 3<sub>1</sub>. VI 1.  
 VII 14. X 2, 3.  
 198. Mariottesche Flasche (S. 144).  
 II B 1<sub>2</sub>.  
 199. Stoppuhr. II B 1<sub>2</sub>, 1<sub>4</sub>, 2, 4—7,  
 11—14. V 1—8, 13, 15. VI 1. IX 6  
 bis 9. X 9—19, 44—46.  
 200. Taktschläger. II B 1<sub>3</sub>, 4—6,  
 7<sub>2</sub>. V 7. VI 1.  
 201. Færøys Fallrinne (S. 144). II B 1<sub>4</sub>.  
 202. Wischtuch. II B 1<sub>4</sub>. VII 14. X  
 2, 3.  
 203. Whiting's Pendel (S. 147). II B 2.

204. Seidengarn. II B 2. III 3—8.  
 205. Federn. II B 2, 7<sub>2</sub>. V 1—4, 9—12, 15.  
 206. Packards Fallrinne (S. 151). II B 3<sub>2</sub>.  
 207. 2 Pendelaufhängungen. II B 4—6, 8.  
 208. 2 Bleikugeln von 2 cm Durchmesser mit Ose. II B 4—6, 8.  
 209. Kreide. II B 4—6. V 7.  
 210. Holzkugel von 2 cm Durchmesser mit Ose. II B 5.  
 211. Drillring (S. 158). II B 7<sub>2</sub>. V 10.  
 212. Sechrohr (S. 159). II B 7<sub>2</sub>.  
 213. Federharter Messingdraht oder Konstantandraht von 0,25 mm Durchmesser. II B 7<sub>2</sub>. V 9, 10.

214. Schraubzwinge mit Feilkloben. II B 7<sub>2</sub>. V 7, 8, 10, 14. VI 7.  
 215. Stelltisch. II B 7<sub>2</sub>.  
 216. 2 Elfenbeinkugeln (50 gr u. 150 bis 200 gr) mit Ose. II B 9.  
 217. Glaserkitt. II B 9.  
 218. Holzzwinge. II B 9. X 44.  
 219. Aufhängebrett für Stoßversuche (S. 163). II B 9.  
 220. Grundbrett für Stoßversuche (S. 163). II B 9.  
 221. Hakenstifte. II B 9.  
 222. Stoßwage (S. 165). II B 10.  
 223. Bleistück (750 gr). II B 10.  
 224. Schwungrad (S. 167). II B 11 bis 14.

### III. Eigenschaften der Flüssigkeiten.

225. U-Röhre (S. 176). III 1, 2.  
 226. Quecksilberzange. III 1, 2. X 1—19, 20—47, 49—51.  
 227. Kamelhaarpinsel. III 3—8. VII 10.

228. Großer Glasstopfen. III 4, 8.  
 229. Bleikugel mit Haken. III 6. (Vgl. Nr. 126 u. 208.)

### IV. Eigenschaften der Gase.

230. Meldes Kapillar-Barometer (S. 185). IV. 1.  
 230a. Drehbare Klemme. IV 1.  
 231. Sehr dünner Stahldraht. IV 1.  
 232. Barometer. IV 1. VII 8, 14. X 12—14.  
 233. Dreiwege-Stück (S. 188). IV 2.  
 234. Kautschukschlauch (50 cm lang). IV 2. VII 18.

235. 4 kurze Kautschukschläuche. IV 2. VII 6.  
 236. Kristallisationsschale. IV 2. VII 10.  
 237. 3 Federklemmen mit Griffschrauben (S. 176). IV 2.  
 238. Schraubenquetschhahn. IV 2.  
 239. 2 Glasröhren von 8 bis 10 mm lichter Weite, 1 m lang. IV 2.

### V. Schwingungen und Wellenbewegungen.

240. Bleistück von 50 gr. V 4.  
 241. Kautschukschnur (S. 193). V 5.  
 242. U-Röhre (S. 195). V 6.  
 243. Quetschhahn. V 6. VII 6.  
 244. Holzstab (S. 198). V 7.  
 245. Stahlstreifen (S. 196). V 7.  
 246. Stahlstreifen (S. 198). V 8.  
 247. Stahlstreifen (S. 208). V 14.  
 248. Stricknadeln. V 7. VIII 21. X 8, 47, 51.  
 249. Noacks Diopter. V 8.  
 250. Geschlitzte Metallscheiben. V 8.

251. Schemel. V 8.  
 252. Drillscheibe nebst Klemme (S. 202). V 9, 10.  
 253. Messingstab (S. 204). V 10.  
 254. Drillstab nebst Bleireiter und Zinkwalzen (S. 206). V 11, 12.  
 255. Stahldraht von 0,4 mm Durchmesser. V 11, 12.  
 256. Stahlstab (S. 208). V 13.  
 257. Messingscheibe (500 gr). V 13.  
 258. 2 Volkmannsche Klammern. V 15. X 8. (Vgl. Gleitwiderstand, S. 337.)

### VI. Schall.

259. Schreibvorrichtung (S. 213). VI 1.  
 260. Spiegelglasplatten (S. 211). VI 1.  
 261. Berußungslampe (S. 213). VI 1. VII 4, 5.  
 262. c<sub>1</sub>-Stimmgabel (S. 214). VI 1—6.

263. d<sub>1</sub>-Stimmgabel. VI 2, 3, 6.  
 264. Anschlaghammer (S. 214). VI 1-6.  
 265. Monochord nebst Zubehör (S. 215). VI 2—5.  
 266. Klaviersaiten-Stahldraht von 0,3 mm Durchmesser. VI 3—5.

267. Mittönende Röhre (S. 221). VI 6<sub>1</sub>.  
 268. Großer Trichter mit Schlauchansatz. VI 6<sub>1</sub>. VII 6.  
 268 a. Kautschukschlauch, 150 cm lang.  
 269. Kautschukringe. VI 6<sub>1</sub>. VII 15<sub>1</sub>. VIII 17<sub>2</sub>.  
 270. Emaillierter Blechtopf. VI 6<sub>1</sub>.  
 271. Emaillierte Waschschüssel. VI 6<sub>1</sub>. VII 7.  
 272. Kundtsche Röhrenebstzubehör (S. 224). VI 6<sub>2</sub>, 7.  
 273. Bunsenbrenner. VI 7. VII 1—3, 5, 7, 8, 10, 11, 14, 15, 17, 18.  
 274. Sandpapier. VI 7.  
 275. Wollener Lappen. VI 7.

### VII. Wärme.

276. Batterieglas. VII 2, 6.  
 277. Weißblechbecher (S. 226). VII 2.  
 278. Durchlochte Holzplatte (S. 228). VII 2, 5.  
 279. Korkbohrer. VII 2, 8.  
 280. Großes Prüfglas (S. 228). VII 3, 14, 15<sub>2</sub>, 16.  
 281. 5 mittlere Prüfgläser (S. 354). X 1, 8.  
 282. Enges Prüfglas. VII 7. VIII 21.  
 283. 2 weithalsige Glasfläschchen (60 cm<sup>3</sup>). VII 4.  
 284. Gummi arabicum. VII 4, 5. VIII 18.  
 285. 3 Bechergläser (500 cm<sup>3</sup>). VII 5.  
 286. Sack aus Segeltuch. VII 6.  
 287. Holzhammer. VII 6.  
 288. Suberitring. VII 7.  
 289. 2 Suberitscheiben. VII 12—14, 290. Holzlöffel. VII 7. [17, 18.  
 291. Kochflasche (500 cm<sup>3</sup>). VII 8, 18.  
 292. Doppelt durchbohrter Kautschukstopfen. VII 8, 15.  
 293. Dreifuß. VII 8, 10, 14, 15, 17. IX 4. X 39.  
 294. Drahtnetz mit Asbesteinlage. VII 8, 10, 11, 14, 15, 17, 18.  
 295. Glasstab. VII 9, 15<sub>1</sub>. X 3.  
 296. Kleiner Dreifuß aus Glas. VII 10.  
 297. Abdampfschale. VII 10, 15<sub>2</sub>.  
 298. Dickwandiges Haarröhrchen (S. 239). VII 11.  
 299. 2 Thermometer, in Zehntelgrade geteilt. VII 12—14, 17—19. X 15—19, 39. (Vgl. auch Nr. 96.)  
 300. Blechkanne. VII 12—14, 18, 19.  
 301. Becher aus Schablonenblech (S. 242). VII 14.  
 302. Kupferdrahtnetz. VII 14.  
 303. Kleine eiserne Nägel. VII 14.  
 304. Glasröhren (innerer Durchmesser 5 mm). VII 15<sub>1</sub>.  
 305. Rührer aus Nickeldraht. VII 15<sub>2</sub>.  
 306. Wassersack (S. 251). VII 18.  
 307. Schutzschirm (S. 251). VII 18.  
 308. Teclu-Brenner. VII 18.  
 309. Whittingsche Röhre (S. 254). VII 19.

### VIII. Licht.

310. Ebener Spiegel (S. 256). VIII 1, 2.  
 311. Planparallele Glasplatte (S. 263). VIII 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 5, 6.  
 312. Ideal-Insektennadeln Nr. 3. VIII 3<sub>1</sub>.  
 313. Putzleder. VIII 3—22, 24.  
 314. 2 Prismen (S. 270). VIII 3<sub>3</sub>, 4, 7, 8, 18, 19, 21, 22.  
 315. Kugelspiegel (S. 274). VIII 9, 10.  
 316. 2 Nadeln in Holzklötzen (S. 274). VIII 9—14, 16<sub>1</sub>, 17<sub>1</sub>, 20.  
 317. Millimetermaßstab mit abgeschrägtem Nullende (S. 273). VIII 9, 10.  
 318. Optische Bank (S. 279). VIII 11—14, 20.  
 319. Gegenstand f. opt. Bank (S. 279). VIII 11, 14, 15, 20.  
 320. Linse f. opt. Bank (S. 279). V III 11, 12, 14, 15, 20.  
 321. Schirm f. opt. Bank (S. 279). VIII 11—16, 18—20, 22.  
 322. Halbe Sammellinse (S. 282). VIII 12.  
 323. 2 Nadelhalter (S. 281). VIII 12, 13.  
 324. Zerstreuungslinse (S. 282). VIII 13.  
 325. Halbe Zerstreuungslinse (S. 282). VIII 13.  
 326. Rollenpapier. VIII 15.  
 327. Sammellinse ( $f=25$  cm). VIII 16.  
 328. Sammellinse ( $f=7,5$  cm). VIII 16, 17<sub>1</sub>.  
 329. 2 Sammellinsen ( $f=2,5$  cm). VIII 17<sub>1</sub>.  
 330. 2 Sammellinsen ( $f=15$  cm). VIII 22.

331. Sammellinse ( $f=5$  cm). VIII 22.  
 332. 3 Linsenhalter. VIII 16<sub>1</sub>, 17<sub>1</sub>, 22.  
 333. Schirm aus Drahtgaze mit Fuß. VIII 16, 17<sub>1</sub>, 22.  
 334. Pappröhre (S. 289). VIII 16<sub>2</sub>.  
 335. Messingröhre (S. 291). VIII 17<sub>2</sub>.  
 336. 2 Millimeterteilungen auf weißem Papier. VIII 17.  
 337. Blende mit Spalt (S. 291 und 297). VIII 18, 19, 21, 22.  
 338. Rot- und Blautift. VIII 18.  
 339. Rotes und blaues Glas. VIII 18, 20, 21, 23.  
 340. Mattes weißes, gelbes, grünes, violettes und schwarzes Papier. VIII 18.

341. Mattes rotes Papier. VIII 18, 20.  
 342. Mattes blaues Papier. VIII 18, 20.  
 343. Schwarzer Karton. VIII 18, 19, 22, 25.  
 344. Dickes weißes Fließpapier. VIII 21.  
 345. Glühlampe. VIII 21.  
 346. Asbestpapier. VIII 21, 25.  
 347. Fettstift. VIII 21.  
 348. Argandbrenner. VIII 23, 24.  
 349. Diapositivplatte. VIII 24.  
 350. Auerbrenner (S. 302). VIII 25.  
 351. Beugungsgitter nebst Halter (S. 302). VIII 25.

### IX. Magnetismus.

352. Magnetstab von 50 cm Länge und 0,25 cm Durchmesser (S. 306). IX 1<sub>1</sub>.  
 353. Kurzer Robisonischer Magnet (S. 306). IX 1<sub>2</sub>.  
 354. Langer Robisonischer Magnet (S. 320). IX 7<sub>2</sub>.  
 355. Ablenkungsmagnetometer (S. 307). IX 1, 9<sub>1</sub>. X 49—51.  
 356. Ablenkungsmagnetometer (S. 327). IX 9<sub>2</sub>. X 49—51.  
 357. Zeichenbussole (S. 309). IX 2, 3, 5, 8. X 42.  
 358. 2 Stabmagnete (15 cm  $\times$  1 cm  $\times$  1 cm, S. 309). IX 3—5, 8. X 43.  
 359. Runder Stabmagnet 15 cm, 1 cm Durchmesser, (S. 310). IX 4. X 52.  
 360. Hufeisenmagnet (S. 310). IX 4. X 48, 52.  
 361. Langer Magnet (S. 315). IX 7<sub>1</sub>.  
 362. Magnetstab (5 cm  $\times$  0,8 cm  $\times$  0,8 cm). IX 9<sub>1</sub>.  
 363. Magnetstab (3 cm  $\times$  0,8 cm  $\times$  0,8 cm). IX 9<sub>1</sub>.  
 364. Brett für Magnete (S. 310).  
 365. Ring aus weichem Eisen (S. 311). IX 4.

366. Zerschnittener Ring (S. 311). IX 4.  
 367. 4 Holzleisten (15 cm  $\times$  2 cm  $\times$  1 cm). IX 4.  
 368. 4 Holzleisten (30 cm  $\times$  2 cm  $\times$  1 cm). IX 4. X 41.  
 369. Eisenfeilspäne. IX 4.  
 370. Streubüchse für Eisenfeilspäne (S. 312). IX 4.  
 371. Schippe und Handfeger. IX 4.  
 372. Fischbein. IX 4.  
 373. Weißblechschale. IX 4.  
 374. a) Schwingungsmagnetometer nach HADLEY (S. 314). IX 6—8. X 44.  
 b) Schwingungsmagnetometer nach SEARLE (S. 314).  
 375. Nachtlicht. IX 6—8.  
 376. Halter für das Schwingungsmagnetometer. IX 7<sub>1</sub>, 8.  
 377. Halter für den langen Magnet. IX 7.  
 378. Magnetnadel. IX 7.  
 379. Batterieglas (S. 326). IX 9.  
 380. Steinöllampe. IX 9<sub>2</sub>.  
 381. Gehäuse mit Skala (S. 348). IX 9<sub>2</sub>.  
 382. Sammellinse ( $f=12$  cm) mit Gestell. IX 9<sub>2</sub>.

### X. Galvanismus.

383. 3 Daniellsche Ketten (S. 330). X 6, 20, 21, 24, 26, 28, 30, 35<sub>1</sub>, 36, 40—42.  
 384. 4 Gnom-Ketten (S. 330). X 5, 6, 25, 29, 37—39.  
 385. 4 Trockenketten (S. 330). X 5, 6, 25, 29, 37—39, 40, 43, 47, 48, 53.  
 386. Leclanchékette. X 6.  
 387. 3 Bleisammler (S. 330). X 6, 7, 9—19<sub>1</sub>, 23, 25, 27—29, 31—35, 40 bis 46, 49—51.

388. Meßsammler (S. 368). X 7.  
 389. Starkstromanlage. X 8, 19<sub>2</sub>.  
 390. Leitungsschnüre (S. 331). X 2 bis 19<sub>1</sub>, 20—43, 45—51, 53.  
 391. Doppelt mit Baumwolle besponnener und gewachster Kupferdraht von 0,9 mm Durchmesser (S. 331). X 2—19<sub>1</sub>, 20—24, 26—43, 45—48, 50—53.  
 392. Leitungsdrähte für große Stromstärken. X 44, 49, 50.  
 393. Gestell für Drahtspulen (S. 331).

394. Gestell für Leitungsschnüre (S. 331).
395. Klemmschrauben (S. 331). II A 1<sub>1</sub>. X 8, 20, 21, 36, 52, 53.
396. 2 Klemmschrauben mit 3 Durchbohrungen. X 35, 36, 38.
397. Taster (S. 332). X 41, 47, 48, 53.
398. 2 Schalter (S. 333). X 2, 3, 7, 9, 12, 15—19, 21, 25, 28, 29, 35<sub>2</sub>—40.
399. Stromwender (S. 335). X 2, 4—6, 8, 20, 22—24, 26, 27, 30—35<sub>1</sub>, 37, 38, 41—47, 49—51.
400. 2 Wippen (S. 336). X 4, 5, 10, 11, 13—19<sub>1</sub>, 36.
401. Quecksilbertropfgefäß (S. 334). X 2—19<sub>1</sub>, 20—38, 40—47, 49—51.
402. Gleitwiderstand mit Volkman-scher Klammer (S. 337). X 2—4, 7, 9—19<sub>1</sub>, 35<sub>2</sub>, 35<sub>3</sub>, 37, 41, 43, 45, 46, 51.
403. Flüssigkeitswiderstand (S. 338). X 44—46, 49—51.
404. Glühlampenwiderstand (S. 372). X 8.
405. Widerstandsatz (S. 339). X 21, 23—30, 35<sub>2</sub>, 35<sub>3</sub>, 36, 38, 39.
406. Bruchohm (S. 340). X 21, 28, 36.
407. Widerstandspulen (S. 341). 1 Ohm X 25. — 2 Ohm X 39. — 5 Ohm X 25, 35<sub>1</sub>, 38. — 10 Ohm X 35<sub>1</sub>. — 50, 100, 150 Ohm X 23.
408. a) Stromprüfer nach Paschen (S. 343). X 37—40.  
b) Schülergalvanoskop Nr. 5 von Gebr. RUMSTRAT.
409. Stromprüfer (S. 463). X 52, 53.
410. Tangentenbusssole (S. 344). X 2—6, 9—19<sub>1</sub>, 20—24, 26—35<sub>1</sub>, 36, 42, 43, 49, 51.
411. Leitungsschnur für die Tangentenbusssole. X 2—6, 9—19<sub>1</sub>, 20—24, 26—35<sub>1</sub>, 36, 42, 43, 45, 46, 49—51.
412. 2 Spannungsmesser (S. 351). X 2—7, 15—19<sub>1</sub>, 25, 29, 30, 31—34.
413. Spannungsmesser für Starkstrom. X 19<sub>2</sub>.
414. Strommesser (S. 350). X 2, 3, 7—10, 12, 13, 15—20, 25, 31—34, 35<sub>2-3</sub>, 44—46, 49—51.
- 414a. Strom- und Spannungsmesser (S. 352).
415. Batterieglass (S. 354). X 1—4, 22.
416. Zinkblechstücke. X 1—3.
417. Werg. X 1—3.
418. Alte Lappen. X 1—3.
419. 2 nicht verquickte Zinkstreifen (S. 357). X 2.
420. 2 verquickte Zinkstreifen (S. 357). X 2—4, 22.
421. 2 Kupferstreifen (S. 357). X 2, 3.
422. 4 Blechklemmen (S. 357). X 2—4, 22.
423. 2 Brettchen mit Schlitz (S. 358). X 2—4, 22.
424. 1 Brettchen mit 4 Schlitz (S. 362). X 3.
425. 2 Ankerbausteine. X 2, 3.
426. Standglas (S. 354). X 2—4.
427. Filterpapier. X 2, 3, 8—11.
428. 2 flache Eßteller (S. 357). X 2, 3, 8, 22.
429. Kupferblech f. Daniell (S. 362). X 4, 22.
430. Tonzelle (S. 362). X 4, 22.
431. Gefäß zum Wässern der Tonzellen. X 4, 22.
432. 2 Kohlenstäbe (S. 368). X 8.
433. Kupfercoulombmeter (S. 375). X 9—11.
434. Knallgas-coulombmeter (S. 381). X 12—14.
435. Eisenfreies Gestell für Knallgas-coulombmeter usw. X 12—14, 41, 48.
436. 2 Kalorimeter mit Heizdraht (S. 387). X 15—19<sub>1</sub>.
437. Glühlampe (16 oder 32 HK). X 19<sub>2</sub>.
438. Glasgefäß (S. 392). X 19<sub>2</sub>.
439. 2 Ausschalter für Starkstrom. X 19<sub>2</sub>.
440. 7 Spulen aus Manganindraht (S. 396). X 20, 36, 38.
441. Spulen von 20 m Kupferdraht (S. 397). X 21, 38.
442. Glasschale (S. 399). X 22.
443. Gefälldraht (S. 413). X 31 bis 34, 40.
444. 3 Gleitschneiden (S. 413). X 31—34, 37, 38, 40.
445. Wheatstonesche Brücke nebst Schneide (S. 421). X 37, 38.
446. Warmheispule nebst Blechgefäß (S. 428). X 39.
447. Wasserbad. X 39.
448. Argandbrenner. X 39.
449. Spirituslampe. X 39.
450. Asbestplatte. X 39.
451. Busssole mit Gradteilung. X 41, 44—46, 52.
452. Isolierband. X 41, 47.
453. Zigarrenkistendeckel. X 42.
454. Holzbrett (S. 442). X 44.
455. Stromschleife (S. 448). X 45, 46.
456. Glasröhre (S. 451). X 47.
457. Weißblechstreifen. X 47.

- |  |   |
|--|---|
| 458. Uhrfedern. X 47.<br>459. Holzklötz für Hufeisenmagnet<br>X 43.<br>460. Drehschnecke (S. 454). X 48. | 461. Drahtschnecke (S. 455). X 49, 51.<br>462. 10 cm - Schnecke (S. 457). X 50.<br>463. Eisendraht (S. 457). X 51.<br>464. Dünner Glasstab. X 51. |
|--|---|

#### IV. Bücherverzeichnis.

Das Verzeichnis enthält die Schriften meiner Büchersammlung, die bei der Einrichtung und der Leitung physikalischer Übungen und besonders messender Versuche von Nutzen sind, und gibt zugleich einen Überblick über die Bücher, die mir bei den Arbeiten auf diesem Gebiet zur Verfügung standen. Diese Sammlung dürfte, so weit sie reine Übungsbücher umfaßt, nur sehr wenige Lücken haben. Jeder Sachkundige vermag an den vielen ausländischen, namentlich amerikanischen Schriften, die in unsern Büchereien nicht vorhanden sind, zu ermessen, wieviel Arbeit, Zeit und Geld ich auf die Herbeischaffung dieser Bücher verwandt habe. Die wenigen fehlenden Schriften, die feinere wissenschaftliche oder technische Messungen behandeln und die wegen Schülerübungen nur recht selten einzusehen sind, findet man in KOHLRAUSCHS *Lehrbuch der praktischen Physik*. Von dem Verzeichnis habe ich die Bücher ausgeschlossen, die fast nur qualitative Übungen enthalten, da ich diese in meinen *Freihandversuchen* bereits angeführt habe oder noch darin erwähnen werde.

Die Arbeiten über Schülerübungen, die in ausländischen Zeitschriften und Schulschriften stehen, sind mir nicht alle zugänglich; nur ausländische Gelehrte können diese Veröffentlichungen mit ausreichender Vollständigkeit zusammenstellen. WALTER LEICK hat in seinem trefflichen Büchlein über *die praktischen Schülerarbeiten in der Physik* die deutschen Abhandlungen nahezu vollständig verzeichnet, und ich habe in den letzten Jahren in der *Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht* regelmäßig über die Fortschritte der Schülerübungen berichtet. Aus diesen Gründen habe ich alle Abhandlungen, die in Zeitschriften und Schulschriften erschienen sind, nicht in das Verzeichnis aufgenommen, sondern mich hier darauf beschränkt, die deutschen, englischen und französischen Zeitschriften zu erwähnen, wo die Arbeiten über Schülerübungen zumeist erscheinen:

*Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht. In Verbindung mit A. HÖFLER, O. OHMANN und H. HAHN herausgegeben von F. POSKE. Berlin, Julius Springer.*

*Monatshefte für den naturwissenschaftlichen Unterricht aller Schulgattungen. Herausgegeben von B. LANDSBERG und B. SCHMIDT. Leipzig, B. G. Teubner.*

*School Science and Mathematics. CHAS. H. SMITH, Editor. CHAS. M. TURTON, Business Manager. Chicago.*

*The School World. London, Macmillan and Co., Ltd.*

*La revue de l'enseignement des sciences. Paris, Librairie H. Le Soudier.*

*Bulletin de l'union de physiciens. Bureaux: Paris (XII<sup>e</sup>), Avenue Ledru-Rollin.*

- Abraham, Henri. Recueil d'expériences élémentaires de physique. 2 Vol. Paris, Gauthier-Villars, 1904. Vgl. Schreiber-Springmann.
- Adams, Charles F. Physical Laboratory Manual. New York, American Book Company, o. J. (1909).
- Adamson, John William. The Practice of Instruction. London, National Society's Depository, o. J. (1907).
- Allanach, William. Elementary Experimental Magnetism and Electricity, London, Longmans, Green and Co., 1906.
- Allen, Charles R. Laboratory Exercises in Elementary Physics. Edition for Teachers. New York, Henry Holt and Company, 1895.
- Alt, Heinrich. Schülerübungen zur Einführung in die Physik. Ein praktisches Hilfsbuch für den Lehrer. Leipzig, B. G. Teubner, 1910.
- Ames, Joseph S., and Bliss, William J. A. A Manual of Experiments in Physics. New York, American Book Company, o. J. (1898).
- Andrews, Ernest J., and Howland, H. N. Elements of Physics. New York, The Macmillan Company, 1903.
- Archibald, R. D., and Rankin, R. Electrical Laboratory Course for Junior Students. London, Blackie & Son, 1908.
- Armagnat, H. Instruments et méthodes de mesures électriques industrielles. 2. éd. Paris, Gauthier-Villars, 1902.
- Armstrong, Henry E. The Teaching of Scientific Method and other Papers on Education. London, Macmillan and Co., 1903.
- Ashford, C. E. A Preliminary Course of Practical Physics. 3. Impr. London, Edward Arnold, o. J. (1904).
- Ashford, C. E. Electricity and Magnetism, Theoretical and Practical. 6. Impr. London, Edward Arnold, o. J. (1903).
- Ashworth, J. Reginald. Heat, Light, and Sound. London, Whittaker & Co., 1906.
- Aurén, T. E. Fysikaliska laborationsuppgifter för gymnasiet. Första delen: Värmelära, Magnetism, elektrostatik. Andra delen: Elektrodynamik, akustik, optik. Stockholm, C. E. Fritze, o. J. (1910, 1911).
- Ayres, Franklin H. Laboratory Exercises in Elementary Physics. New York, D. Appleton and Company, 1905.
- Ayrton, W. E. Practical Electricity. London, Cassell and Company, 1903.
- Bahrdt, Wilhelm. Physikalische Messungsmethoden. Sammlung Göschen Nr. 301. Leipzig, G. J. Göschen, 1906.
- Ball, Sir Robert Stawell. Experimental Mechanics. 2. Ed. London, Macmillan and Co., 1888.
- Baly, E. C. C. Spektroskopie. Deutsche Ausgabe von Richard Wachsmuth. Berlin, J. Springer, 1908.
- Barrett, W. F., and Brown, W. Introductory Practical Physics. New Ed. London, Simpkin, Marshall, Hamilton, Kent & Co., o. J. (1906).
- Bauckner, Jakob. Physikalische Messungen und Wägungen in Schülerübungen, für die oberen Klassen der Volksschulen bearbeitet. F. C. Huber, Dießen vor München, 1910.
- Beckmann, E. Das Laboratorium für angewandte Chemie der Universität Leipzig in seiner neuen Gestaltung. Leipzig, Quelle & Meyer, 1908.
- Berndt, Georg W., und Boldt, Carl. Physikalisches Praktikum. 2 Teile. Halle a. S., Carl Marhold, 1906.
- Blair, Robert. Some Features of American Education. Dublin, Alex. Thom & Co., 1904.

- Blasius, Eugen. *Physikalische Übungen für Mediciner*. Leipzig, S. Hirzel, 1895.
- Board of Education. *Educational Pamphlets, No. 17. Report on Science Teaching in Public Schools Represented on the Association of Public School Science Masters*. London, Eyre and Spottiswoode, 1909.
- Board of Education (Education Departement). *Special Reports on Educational Subjects. Bd. 2—11*. London, Eyre and Spottiswoode, 1898—1902. (Bd. 1 ist vergriffen und nicht in meinem Besitz.)
- Board of Education. *Syllabus of the Course of Practical Instruction in Physics, Part I, at the Royal College of Science, South Kensington*. London, Eyre and Spottiswoode, 1902.
- Board of Education. *Syllabuses and Lists of Apparatus Applicable to Schools and Classes Other than Elementary*. London, Eyre and Spottiswoode, 1903.
- Bödige, Nikolaus. *Das Archimedische Prinzip als Grundlage physikalisch-praktischer Übungen*. Osnabrück, Mainders & Elstermann, 1901.
- Börnstein, Richard, und Roth, Walther A. *Landolt-Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen. 4. Aufl.* Berlin, Julius Springer, 1912.
- Borchardt, W. G. *Elementary Statics*. London, Rivingtons, 1907.
- Böttger, W. *Amerikanisches Hochschulwesen*. Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1906.
- Bower, William R., and Satterly, J. *Practical Physics*. London, University Tutorial Press Ltd., 1906.
- Bremer, F., *Leitfaden der Physik*. Leipzig, B. G. Teubner, 1904.
- Brion, G. *Leitfaden zum elektrotechnischen Praktikum*. Leipzig, B. G. Teubner, 1910.
- Bucknell, E. T. *A Practical Course in First Year Physics*. London, Mills & Boon, Ltd., 1910.
- Buignet, Henri. *Manipulations de physique*. Paris, J.-B. Baillière et Fils, 1877.
- Carhart, Henry S., and Patterson, George W. *Electrical Measurements*. Boston, Allyn and Bacon, o. J. (1895).
- Carmichael, N. R. *Physical Experiments*. Kingston, Ontario, R. Uglow & Co., 1904.
- Charles, Fred, and Hewitt, W. H. *Experimental Mechanics for Schools*. London, G. Bell & Sons, 1909.
- Cheston, Henry C., Dean, Philip R., and Timmermann, Charles E. *A Laboratory Manual of Physics*. New York, American Book Company, o. J. (1903).
- Chute, H. N. *Physical Laboratory Manual. Rev. Ed.* Boston, D. C. Heath & Co., 1903.
- Clarke, Frank Wigglesworth. *A Report on the Teaching of Chemistry and Physics in the United States. Circulars of Information of the Bureau of Education. Nr. 6. 1880*. Washington, Government Printing Office, 1881.
- Clay, Reginald S. *Practical Exercises in Light*. London, Macmillan and Co., 1902.
- Clough, W. T., and Dunstan, A. E. *Elementary Experimental Science. 3. Ed.* London, Methuen & Co., 1906.
- Cohn, Paul. *Das Bildungswesen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika*. Wien, Alfred Hölder, 1906.
- Coleman, S. E. *Physical Laboratory Manual*. New York, American Book Company, o. J. (1903).
- Coleman, S. E. *New Laboratory Manual of Physics*. New York, American Book Company, o. J. (1908).
- Conard, H. E. *The Combination Physics Manual and Laboratory Note-Book*. Chicago, Atkinson, Mentzer & Grover, o. J. (1902).
- Conférences du musée pédagogique 1904. *L'Enseignement des sciences mathématiques et des sciences physiques par H. Poincaré, G. Lippmann, L. Poincaré, P. Langevin, E. Borel, F. Marotte avec une introduction de L. Liard*. Paris, Imprimerie Nationale, 1904.

- Crew, Henry, and Tatnall, Robert, G. *A Laboratory Manual of Physics*. New York, The Macmillan Company, 1902.
- Cumming, Linnaeus. *Mechanics for Beginners*. London, Rivington, Percival & Co., 1897.
- Damien, B.-C., et Paillot, R. *Traité de manipulations de physique*. Paris, Masson et Cie., 1896.
- Dannemann, Friedrich. *Der naturwissenschaftliche Unterricht auf praktisch-heuristischer Grundlage*. Hannover, Hahn, 1907.
- Dannemann, Friedrich. *Naturlehre für höhere Lehranstalten, auf Schülerübungen gegründet*. 2. T.: Physik, insbesondere für Realschulen und den ersten Kursus der Vollanstalten. Hannover, Hahn, 1908.
- Dennert, E. *Das physikalische Praktikum*. 2. Aufl. Leipzig, Erwin Nägele, 1907.
- Dexter, Joseph S. *Elementary Practical Exercises in Sound, Light, and Heat*. London, Longmans, Green and Co., 1901.
- Dobbs, W. J. *Examples in Elementary Mechanics Practical, Graphical and Theoretical*. London, Methuen & Co., o. J. (1908).
- Dobbs, W. J. *Weighing and Measuring, a Short Course of Practical Exercises in Elementary Mathematics and Physics*. London, Methuen & Co., o. J. (1910).
- Duff, A. Willmer. *Elementary Experimental Mechanics*. New York, The Macmillan Company, 1905.
- Duff, A. Willmer, and Ewell, Arthur W. *Physical Measurements*. 2. Ed. London, J. & A. Churchill, 1911.
- Duncan, J. *Applied Mechanics for Beginners*. London, Macmillan and Co., 1903.
- Earl, Alfred. *Practical Lessons in Physical Measurement*. London, Macmillan and Co., 1894.
- Earl, A. G. *The Elements of Laboratory Work*. London, Longmans, Green and Co., 1890.
- Edser, Edwin. *Measurement and Weighing*. London, Chapman & Hall, 1899.
- Eggar, W. D. *Mechanics*. London, Edward Arnold, o. J. (1905).
- Ehrhardt, Gustav. *Physikalisches Schülerarbeitsbuch im Sinne des Werkunterrichts*. Ausgabe A für vielklassige Schulen. Leipzig, Paul List, o. J.
- Ellemann, Fr., *Physikalische Schülerversuche*. Hildesheim, A. Lax, 1910.
- Felgentraeger, W. *Theorie, Konstruktion und Gebrauch der feineren Hebelwaage*. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.
- Ferry, Ervin Sidney, and Jones, Arthur Taber. *A Manual of Practical Physics*. Vol. I. New York, Longmans, Green and Co., 1908.
- Findlay, Alex. *Practical Physical Chemistry*. London, Longmans, Green and Co., 1906.
- Fischer, Franz. *Praktikum der Elektrochemie*. Berlin, J. Springer, 1912.
- Fischer, Karl T. *Der naturwissenschaftliche Unterricht in England*. Leipzig, B. G. Teubner, 1901.
- Fischer, Karl T. *Der naturwissenschaftliche Unterricht — insbesondere in Physik und Chemie — bei uns und im Auslande. Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft*. Bd. I. Heft 3. Berlin, Julius Springer, 1905.
- Fischer, Karl T. *Neuere Versuche zur Mechanik der festen und flüssigen Körper*. Leipzig, B. G. Teubner, 1902.
- Fiske, Wilbur A. *Physical Laboratory Manual*. Richmond, Ind., Nicholson Printing & Mfg. Co., 1901.
- Foxcroft, C., Samuel, T., and Bunting, S. J. *An Elementary Course in Practical Science*. For Use in Elementary, Higher Elementary and Evening Continuation Schools. 3 Parts. London, G. Philip & Son, Ltd., o. J.
- Franklin, W. S., Crawford, C. M., and Macnutt, Barry. *Practical Physics*. 3 Vol. New York, The Macmillan Company, 1908.
- Frey, O. *Physikalischer Arbeitsunterricht*. Leipzig, Ernst Wunderlich, 1907.
- Frey, O. *Physikalische Schülerübungen*. Leipzig, E. Wunderlich, 1910.
- Frey, O. *Wellpapparbeiten*. Leipzig, E. Wunderlich, 1912.

- Fröhlich, O. Die Entwicklung der elektrischen Messungen. Die Wissenschaft. 5. Heft. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn, 1905.
- Gage, Alfred P. Physical Experiments. Boston, Ginn & Company, 1901.
- Getman, Frederick H. Laboratory Exercises in Physical Chemistry. New York, John Wilson & Sons, 1904.
- Gilley, Frank M. Principles of Physics. Boston, Ally and Bacon, o. J. (1901).
- Glazebrook, R. T. Mechanics. Cambridge, University Press, 1895. — — Heat. Ebd. 1894. — — Light. 2. Ed. Ebd. 1895. — — Electricity and Magnetism. Ebd. 1903.
- Glazebrook, R. T., und Shaw, W. N. Einführung in das physikalische Praktikum. Deutsch herausgegeben von W. Schloesser. Leipzig, Quandt & Händel, 1888.
- Goodwin, H. M. Physical Laboratory Experiments. General Physical Measurements and Mechanics. Printed for the use of students of the Massachusetts Institute of Technology, not published. 2. Ed. Boston, Geo. H. Ellis Co., Printers, 1906.
- Gordon, Hugh. Elementary Course of Practical Science. Part I. London, Macmillan and Co., 1893.
- Gregory, Richard A. An Exercise Book of Elementary Practical Physics. London, Macmillan and Co., Ltd., 1899.
- Gregory, R. A., and Hadley, H. E. A Class Book of Physics. London, Macmillan and Co., Ltd., 1909.
- Gregory, R. A., and Simmons, A. T. Exercises in Practical Physics. 2 Parts. London, Macmillan and Co., Ltd., 1899.
- Grimsehl, E. Ausgewählte physikalische Schülerübungen. Leipzig, B. G. Teubner, 1906.
- Grimsehl, Ernst. Didaktik und Methodik der Physik. München, C. H. Beck, 1911.
- Grimsehl, E. Die Ziele und Methoden des physikalischen Unterrichts auf der Unterstufe und der Oberstufe. Hamburg, Lütcke & Wulff, 1905.
- Grünbaum, F. und Lindt, R. Das physikalische Praktikum des Nicht-physikers. Leipzig, Georg Thieme, 1905.
- Gutzmer, A. Die Tätigkeit der Unterrichtskommission der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. Leipzig, B. G. Teubner, 1908.
- Hadley, H. E. Practical Exercises in Magnetism and Electricity. London, Macmillan and Co., Ltd., 1901.
- Hahn, Hermann. Die Zeit- und Kostenfrage der physikalischen Schülerübungen. Leipzig, Quelle & Meyer, 1910.
- Hahn, Hermann. Leitfaden für physikalische Schülerübungen. Berlin, J. Springer, 1909.
- Hahn, Hermann. Physikalische Freihandversuche. I—III. Berlin, Otto Salle, 1905, 1907 u. 1912.
- Hahn, Hermann. Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten? Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaften. Bd. I. Heft 4. Berlin, Julius Springer, 1905.
- Hall, Edwin H. Descriptive List of Elementary Exercises in Physics Corresponding to the Requirement in Elementary Experimental Physics for Admission to Harvard College and the Lawrence Scientific School. 3. Ed. Cambridge, Harvard University, 1903.
- Hall, Edwin H. Elementary Lessons in Physics, Mechanics (Including Hydrostatics) and Light. New York, Henry Holt and Company, 1900.
- Hall, Edwin H., and Bergen, Joseph Y. A Text-Book of Physics. 3. Ed. New York, Henry Holt and Company, 1903.
- Hall, Elmer E., and Minor, Ralph S. A Sophomore Course in Physical Measurements. Berkeley, California, 1904.
- Hallo, H. S., und Land, H. W. Elektrische und magnetische Messungen und Meßinstrumente. Berlin, Julius Springer, 1906.

- F. Harrwitz. Adreßbuch der deutschen Präzisionsmechanik und Optik und verwandter Berufszweige (Glasinstrumentenindustrie, Elektromechanik). 3. Aufl. Berlin, Administration der Fachzeitschrift „Der Mechaniker“, 1906.
- Heller, W. Mayhowe, and Ingold, Edwin G. Elementary Experimental Science. London, Blackie & Son, 1905.
- Henderson, John. Practical Electricity and Magnetism. New Ed. London, Longmans, Green and Co., 1904.
- Henderson, John. Preliminary Practical Magnetism and Electricity. London, Longmans, Green and Co., 1900.
- Henrici, O., and Turner, G. C. Vectors and Rotors with Applications. London, Edward Arnold, o. J. (1903).
- Heydeweller, Ad. Hilfsbuch für die Ausführung elektrischer Messungen. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1892.
- Hibbert, W. Magnetism and its Elementary Measurement. London, Longmans, Green and Co., 1904.
- Hoadley, George A. Practical Measurements in Magnetism and Electricity. New York, American Book Comp., o. J. (1904).
- Hodson, F. Broad Lines in Science Teaching. London, Christophers, o. J. (1909).
- Holman, Silas W. Computation Rules and Logarithms. New York. The Macmillan Company, 1908.
- Holman, Silas W. Disoussion of the Precision of Measurements. 2. Ed. New York, John Wiley & Sons, 1904.
- Holman, Silas W. Physical Laboratory Notes. Part II. Electrical Measurements. Massachusetts Institute of Technologie. 12. Ed. (von Frank A. Laws). Boston, The Southgate Press, o. J. (1906).
- Hopkins, N. Monroe. Experimental Electrochemistry. London, Archibald Constable & Co., Ltd., 1905.
- Hopkins, William J. Preparatory Physics, a Short Course in the Laboratory. London, Longmans, Green and Co., 1894.
- Horn, Ewald. Das höhere Schulwesen der Staaten Europas. 2. Aufl. Berlin, Trowitzsch & Sohn, 1907.
- Hortvet, Julius. A Manual of Elementary Practical Physics. 2. Ed. Minneapolis, H. W. Wilson, 1902.
- Jackson, C. S., and Roberts, W. M. A First Dynamics. London, J. M. Dent & Co., 1909.
- Zweites Jahrbuch der Pädagogischen Zentrale des Deutschen Lehrervereins 1912. Das Arbeitsprinzip im naturwissenschaftlichen Unterricht. Leipzig, J. Klinkhardt, 1912.
- Jameson, J. M. Elementary Practical Mechanics. London, Longmans, Green and Co., 1909.
- Jones, Lionel M. Practical Physics. London, Longmans, Green and Co., 1909.
- Kaiser, Wilhelm. Physikalische Schülerübungen in den oberen Klassen. Leipzig, Quelle & Meyer, o. J. (1907).
- Kelsey, W. R. Physical Determinations. 2. Ed. London, Edward Arnold, 1904.
- Kerr, John G., and Brown, John N. Elementary Physics, Practical and Theoretical. 2. Vol. London, Blackie & Son, 1901 und 1903.
- Kerschensteiner, Georg. Grundfragen der Schulorganisation. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.
- Kielhauser, Ernst A. Die Stimmgabel. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.
- Kleiber, Johann. Experimental-Physik für die Unterstufe. 2. Aufl. München, R. Oldenbourg, 1910.
- Kleiber, Johann. Zur Einrichtung der physikalischen Schülerübungen auf der Unterstufe. München, R. Oldenbourg, 1909.
- Kohlrausch, Friedrich. Kleiner Leitfaden der praktischen Physik. 2. Aufl. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.

- Kohlrausch, Friedrich. Lehrbuch der praktischen Physik. 11. Aufl. Leipzig, B. G. Teubner, 1910.  
 Meine Hinweise, bei denen nur „Kohlrausch“ steht, beziehen sich stets auf dieses Buch und nicht auf den Leitfaden.
- Kohlrausch, F., und Holborn, L. Das Leitvermögen der Elektrolyte. Leipzig, B. G. Teubner, 1898.
- Kümmell, Gottfried. Physikalisch-chemische Praktikums-Aufgaben. Leipzig, B. G. Teubner, 1910.
- Kuypers, Franz. Volksschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten. Aus Natur und Geisteswelt. 150. Bändchen. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.
- Laisant, C.-A. L'éducation fondée sur la science. 2. éd. Paris, Felix Alcan, 1895.
- Lambert, P. A. Computation and Mensuration. New York, The Macmillan Company, 1907.
- Le Bon, Gustave. Psychologie de l'éducation. Paris, Ernest Flammarion, 1906.
- Leick, Walter. Praktische Schülerarbeiten in der Physik. 2. Aufl. Leipzig, Quelle & Meyer, 1910.
- Leobner, Heinrich. Die Grundzüge des Unterrichts- und Erziehungswesens in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Wien, Franz Deuticke, 1907.
- Liebethal, Emil. Praktische Photometrie. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn, 1907.
- Lodge, Sir Oliver. School Teaching and School Reform. London, Williams & Norgate, 1905.
- Loudon, W., and McLennan, J. C. A Laboratory Course in Experimental Physics. New York, Macmillan and Co., 1895.
- Lupton, Sidney. Notes and Observations. London, Macmillan and Co., Ltd., 1898.
- Mach, E. Erkenntnis und Irrtum. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1905.
- Mackenzie, A. H. Theoretical and Practical Mechanics and Physics. London, Macmillan and Co., Ltd., 1906.
- Mann, C. Riborg. Manual of Advanced Optics. Chicago, Scott, Foresman and Company, 1902.
- Marotte, F. L'enseignement des sciences mathématiques et physiques dans l'enseignement secondaire des garçons en Allemagne. Paris, Imprimerie nationale, 1905.
- Mascart, E. Leçons sur l'électricité et le magnétisme. 2. éd. 2 Vol. Paris, Masson et Cie., Gauthier-Villars, 1896, 1897.
- Masche, Walther. Physikalische Übungen. Ein Leitfaden für die Hand des Schülers. 2 Teile. Leipzig, B. G. Teubner, 1911.
- Matthias, Adolf. Praktische Pädagogik für höhere Lehranstalten. 3. Aufl. München, C. H. Beck, 1908.
- Maxim, James L. Experimental Applied Mechanics for Technical Students. London, Longmans, Green and Co., 1910.
- Mergier, G.-E. Traité pratique de manipulations de physique. Optique. Paris, Alexandre Coccoz, 1888.
- Miller, Dayton Clarence. Laboratory Physics. Boston, Ginn & Company, 1903.
- Millikan, Robert Andrews. Mechanics, Molecular Physics, and Heat. Boston, Ginn & Company, 1903.
- Millikan, Robert Andrews, and Gale, Henry Gordon. A Laboratory Course in Physics. Boston, Ginn & Company, o. J. (1906).
- Millikan, Robert Andrews, and Mills, John. A Short University Course in Electricity, Sound and Light. Boston, Ginn & Company, 1908.
- Morin, Pierre. Exercices pratiques de physique. 2. Vol. Paris, Henry Paulin et Cie., 1905, 1906.
- Müller, Friedrich C. G. Technik des physikalischen Unterrichts nebst Einführung in die Chemie. Berlin W., Otto Salle, 1906.

- Müller, Sigmund. Technische Hochschulen in Nordamerika. Aus Natur und Geisteswelt. 190. Bändchen. Leipzig, B. G. Teubner, 1908.
- Munby, A. E. A Course of Simple Experiments in Magnetism and Electricity. London, Macmillan and Co., Ltd., 1903.
- Nichols, Edward L. A Laboratory Manual of Physics and Applied Electricity. 2 Vol. New York, Macmillan and Co., 1894.
- Nichols, Edward L. The Outlines of Physics. New York, The Macmillan Company, 1904.
- Nichols, Fred R., Smith, Charles H., and Turton, Charles M. Manual of Experimental Physics. Boston, Ginn & Company, 1899.
- Niemöller, Friedrich. Apparate und Versuche für physikalische Schülerübungen. Osnabrück, G. E. Lückerd, 1894.
- Noack, Karl. Aufgaben für physikalische Schülerübungen. 2. Aufl. Berlin, Julius Springer, 1911.
- Noack, Karl. Elementare Messungen aus der Elektrostatik. Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft. Band II. Heft 1. Berlin, Julius Springer, 1906.
- Noack, Karl. Leitfaden für physikalische Schülerübungen. Berlin, Julius Springer, 1892.
- Nunn, T. Percy. The Aim and Achievements of Scientific Method. London, Macmillan and Co., Ltd., 1907.
- Ostwald, Wilhelm. Erfinder und Entdecker. Frankfurt a. M., Rütten & Loening, o. J.
- Ostwald, Wilhelm. Große Männer. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft, 1909.
- Ostwald, W., Luther, R., und Drucker, K. Hand- und Hilfsbuch zur Ausführung Physiko-chemischer Messungen. 3. Aufl. Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1910.
- Pabst, Alwin. Die Knabenhandarbeit. Aus Natur und Geisteswelt. 140. Bändchen. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.
- Pabst, Alwin. Praktische Erziehung. Wissenschaft und Bildung Nr. 28. Leipzig. Quelle & Meyer, 1908.
- Perry, John. Applied Mechanics. London, Cassell and Company, 1897. Deutsche Übersetzung von Rudolf Schick. Leipzig, B. G. Teubner, 1908.
- Perry, John. Discussion at Johannesburg on the Teaching of Elementary Mechanics. British Association Meeting in South Africa 1905. London, Macmillan and Co., Ltd., 1906.
- Perry, John. England's Neglect of Science. London, T. Fisher Unwin, 1900.
- Perry, John. The Steam Engine and Gas and Oil Engines. London, Macmillan and Co., 1900.
- Pfeiffer, Emanuel. Physikalisches Praktikum für Anfänger. Leipzig, B. G. Teubner, 1903.
- Plan d'études et programmes d'enseignement dans les lycées et collèges de garçons. [Arrêtés du 31 mai 1902.] Paris, Delalain Frères, o. J.
- Report of the Mosely Educational Commission to the United States of America, October-December, 1903. London, Co-operative Printing Society Ltd., 1904.
- Riecke, E. Beiträge zur Frage des Unterrichts in Physik und Astronomie an den höheren Schulen. Leipzig, B. G. Teubner, 1904.
- Rimbach, E. Übungen in den wichtigeren physikalisch-chemischen Meßmethoden. Für den Gebrauch im chemischen Institut der Universität Bonn. Als Manuskript gedruckt. Bonn 1904.
- Rintoul, D. An Introduction to Practical Physics. London, Macmillan and Co., Ltd., 1898.
- Robson, E. S. A. Practical Exercises in Heat. London, Macmillan and Co., Ltd., 1902.
- Roth, W. A. Physikalisch-chemische Übungen. Hamburg, Leopold Voss, 1907.

- Röttgers, B. Das englische Schul- und Erziehungswesen. Halle a. S., Gebauer-Schwetschke, 1906.
- Rudolphi, Max. Einführung in das physikalische Praktikum. Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht, 1901.
- Russell, T. H. The Planning and Fitting-Up of Chemical and Physical Laboratories. London, B. T. Batsford, 1903.
- Russell, Waterman S. C., and Kelly, Howard Clinton. Laboratory Manual of First Year Science. New York, H. Holt and Company, 1909.
- Sabine, Wallace Clement. A Students Manual of a Laboratory Course in Physical Measurements. Boston, Ginn & Company, 1900.
- Sanford, Fernando. Elements of Physics. New York, Henry Holt and Company, 1904.
- Schapper, H. A Laboratory Guide for Students in Physical Sciences. New York, J. Wiley & Sons, 1908.
- Scheel, Karl. Grundlagen der praktischen Metronomie. Braunschweig, F. Vieweg und Sohn, 1911.
- Schmidt, Bastian. Der naturwissenschaftliche Unterricht und die wissenschaftliche Ausbildung der Lehramtskandidaten der Naturwissenschaften. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.
- Schoenichen, Walther. Natur und Schule in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Leipzig, Quelle & Meyer, 1908.
- Schreiber, K., und Springmann, P. Experimentierende Physik. Zugleich vollständig umgearbeitete deutsche Ausgabe von Henri Abraham's Recueil d'expériences élémentaires de physique. 2 Bde. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1905 u. 1906.
- Schuster, Arthur, and Lees, Charles H. Advanced Exercises in Practical Physics. Cambridge, University Press, 1901.
- Schuster, Arthur, and Lees, Charles H. An Intermediate Course of Practical Physics. London, Macmillan and Co., Ltd., 1896.
- Schwarz, H. Schule und Leben. Zürich, Schulthess & Co., 1910.
- Searle, G. F. C. Experimental Elasticity. Cambridge, University Press, 1908.
- Sella, Alfonso. Introduzioni teoriche ad alcuni esercizi pratici di fisica. Firenze, Succesori le Monnier, 1909.
- Shaw, W. N. Practical Work at the Cavendish Laboratory. Heat. Cambridge, University Press, 1886.
- Siddons, A. W., and Vasall, A. Practical Measurements. Cambridge, University Press, 1911.
- Sieveking, Hermann. Anleitung zu den Übungen im Physikalischen Institut der Technischen Hochschule zu Karlsruhe. Karlsruhe, Wilhelm Jahraus, 1903.
- Sinclair, James. A First Year's Course in Practical Physics. 2. Ed. London, George Bell & Sons, 1906. — — A Second Year's Course in Practical Physics. Ebd. 1907. — — A Third Year's Course in Practical Physics. Ebd. 1908.
- Slate, Frederick. Physics. New York, The Macmillan Company, 1902.
- Smith, Alexander, and Hall, Edwin H. The Teaching of Chemistry and Physics in the Secondary School. New York, Longmans, Green and Co., 1902.
- Smith, Edgar F. Quantitative Elektroanalyse. Deutsch bearbeitet von Arthur Stähler. Leipzig, Veit & Co., 1908.
- Steel, R. Elliot. Practical Electricity and Magnetism, a First Year's Course. London, G. Bell and Sons, Ltd., 1910.
- Stewart, Balfour, and Gee, W. W. Haldane. Lessons in Elementary Practical Physics. Vol. I. (2. Ed.) Vol. II. Vol. III. Part I (C. L. Barnes). London, Macmillan and Co., 1893, 1896, 1897.
- Stewart, Balfour, and Gee, Haldane. Praktische Physik für Schulen und jüngere Studierende. Autorisierte Übersetzung von Karl Noack. I. T. Elektrizität und Magnetismus. Berlin, Julius Springer, 1889.
- Stone, William Abbott. Experimental Physics. Boston, Ginn & Co., 1899.

- Strecker, Karl.** Hilfsbuch für die Elektrotechnik. 7. Aufl. Berlin, Julius Springer, 1907.
- Stroud, Henry.** Elementary Practical Physics. London, Methuen & Co., 1899.
- Terquem, A., et Damien, B.-C.** Introduction à la physique expérimentale. Paris, A. Hermann, 1888.
- The Incorporated Association of Headmasters.** Syllabus of an Elementary Course in Physics and Chemistry. London, Whittaker & Co., 1902.
- The Incorporated Association of Headmasters Committee on Science Teaching.** Syllabus of an Advanced School Course in Physics and Chemistry. London, Whittaker & Co., 1899.
- Thieme, Bruno.** Das physikalische Laboratorium. Ravensburg, O. Maier, o. J. (1913).
- Tory, H. M. and Pitcher, F. H.** A Manual of Laboratory Physics. New York, J. Wiley & Sons, 1908.
- Travers, Morris W.** Experimentelle Untersuchung von Gasen. Deutsch von Tadeusz Estreicher. Braunschweig, Friedrig Vieweg & Sohn, 1905.
- Tristram, J. F.** A First Year's Course of Practical Physics. 2. Ed. London, Rivingtons, 1900.
- Trowbridge, John.** The New Physics. New York, American Book Company, o. J. (1884).
- Turner, G. C.** Graphics Applied to Arithmetic. Mensuration and Statics. London, Macmillan and Co., Ltd., 1908.
- Turner, George M., and Hersey, C. Brooks.** National Note-Book Sheets for Laboratory Work in Physics. Boston, L. E. Knott Apparatus Company, 1907.
- Turpain, Albert.** Recueil de manipulations élémentaires de physique. Paris, Vuibert et Nony, 1908.
- Twiss, George R.** Laboratory Exercises in Physics. Rev. Ed. Chicago, Scott, Foresman and Company, 1907.
- Uppenborn, Friedrich and Monasch, Berthold.** Lehrbuch der Photometrie. München, R. Oldenbourg, 1912.
- Verhandlungen der XI. Rheinischen Direktoren-Versammlung.** Berlin, Weidmannsche Buchhandlung, 1907.
- Volkmann, Wilhelm.** Anleitung zu den wichtigsten physikalischen Schulversuchen. Berlin, R. Mückenberger, 1912.
- Wagstaff, C. J. L., and Bloomer, G. C.** Practical Physics for Schools. 2 Parts. 2. Ed. Cambridge, W. Heffer and Sons, 1906.
- Ward, Robert DeCourcy.** Practical Exercises in Elementary Meteorology, Boston, Ginn & Company, 1899.
- Watson, William.** A Text-Book of Practical Physics. London, Longmans, Green and Co., 1906.
- Watson, William.** Elementary Practical Physics. London, Longmans, Green & Co., 1896.
- Wead, Charles K.** Aims and Methods of the Teaching of Physics. Circulars of Information of the Bureau of Education. No. 7. 1884. Washington, Government Printing Office, 1884.
- Wedding, W.** Anleitung zu den Arbeiten. Einführung in die Elektrotechnik. Nicht im Buchhandel. Druck von Leonhard Simion, Berlin, o. J.
- Wedding, W.** Anleitung zu den Arbeiten im Elektrotechnischen Laboratorium der Technischen Hochschule Berlin. Nicht im Buchhandel. Druck von Leonhard Simion, Berlin, o. J.
- Weinberg, Boris.** L'enseignement pratique de la physique dans 206 laboratoires de l'Europe, de l'Amérique et de l'Australie. Odessa, Imprimerie „Economique“, 1902.
- Wells, Sidney H.** Practical Mechanics. London, Methuen & Co., 1898.
- Wentworth, G. A., and Hill, G. A.** Laboratory Exercises in Elementary Physics. Boston, Ginn & Company, 1901.

- Whiting, Harold. A Course of Experiments in Physical Measurement. 4 Parts. Boston, D. C. Heath and Co., 1891.
- Wiedemann, Eilhard, und Ebert, Hermann. Physikalisches Praktikum. 5. Aufl. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn, 1904.
- Wilberforce, L. R., and Fitzpatrick, T. C. Laboratory Note-Book. 3 Parts. Cambridge 1896.
- Witz, Aimé. Cours de manipulations de physique. Paris, Gauthier-Villars, 1883.
- Woodhull, John F. First Course in Science. 2 Vol. New York, Henry Holt and Company, 1893.
- Woolcombe, W. G. Practical Work in Physics. 4 Parts. Oxford, Clarendon Press' 1893, 1894, 1896, 1899.
- Worthington, A. M. A First Course of Physical Laboratory Practice. 5. Ed. London, Longmans, Green and Co., 1896.
- Worthington, A. M. Dynamics of Rotation. London, Longmans, Green and Co., 1904.
- Wyatt, G. H. Handbooks of Practical Science. 3 Vol. London, Rivingtons, 1898.
- Ziehen, J. Handbuch für Lehrer höherer Schulen. Leipzig, B. G. Teubner, 1906.
-

# Sachverzeichnis.

Die Zahlen verweisen auf die Seiten.

- Abbe, Verfahren von — 284.  
Abgekürztes Rechnen 482.  
Abgleichen 20.  
Ableitungselektrode 356.  
Ablenkung, kleinste 270, 293.  
Ablenkungsmagnete 327.  
Ablenkungsmagnetometer 307, 327.  
Ablenkungsverfahren 442, 445, 450.  
Ablenkungswinkel 65, 269.  
— Ableseklemme 29.  
Ablesung, objektive 348.  
— subjektive 347.  
Abrunden der Zahlen 482.  
Absorptionsspektrum 297.  
Abweichungsverfahren 257.  
Achsenreibung 168, 171.  
Addition, geometrische 55.  
Akkumulatoren 330, 367.  
Allseitiger Angriff, Verfahren des —  $n$  —  $s$  472.  
Aluminiumrollen 53.  
Amalgamieren 328, 354.  
— von Kupferdrähten 334.  
Ampere 374.  
Amperemeter 343, 350, 352.  
Amperesekunde 374.  
Amperewindungszahl 457.  
Annahmen 473.  
Angelschnur 71.  
Anion 370.  
Anode 356, 369, 375.  
Anschaffung der Geräte 484.  
Anstoß und Bewegungsgröße 159.  
Äquipotentialpunkte 421.  
Äquivalentgewicht 374.  
Arbeit 118, 320.  
Arbeit, Gesetz der Erhaltung der — 122, 126.  
— negative 75.  
— positive 75.  
— und Wärme 252, 391.  
— und Wucht 165.  
Arbeiten in gleicher Front 467, 470.  
Arbeitsgeschwindigkeit der Schüler 471.  
Arbeitsordnung 476.  
Arbeitsplan 471.  
Arbeitsräume 475.  
Arbeitsvorrat, vgl. Macht 171.  
Arbeitswert der Grammkalorie 252, 391.  
Archimedes, Gesetz des — 179.  
Arretieren, vgl. bremsen.  
Asymptoten 184.  
Aufdruckkraft 77, 80.  
Aufhängebrett 163.  
Auflagerdruck 88.  
Aufnahmevermögen 457, 459.  
Aufstellung der Probleme 472.  
Auftrieb 179.  
Augenlinse 288, 289, 290.  
Ausbreitung der Wärme 225.  
Ausdehnung der Körper 234.  
Ausdehnungskoeffizient, vgl. Ausdehnungsmaß.  
Ausdehnungsmaß 234, 237.  
Ausfallstrahl 255.  
Ausfallswinkel 256.  
Auslöser 143.  
Ausreckung, größte zulässige — der Spulfeder 38.  
Ausschalter 333.  
Aussendung des Lichts 296.  
Ausweichung 67.  
Auswertung der Beobachtungen 479.  
Bank, optische 279.  
Beanspruchung 46.  
Beharrungsgesetz 148.  
Belastung 46.  
— größte zulässige, einer Feder 36, 38.  
Benutzung des Geräteverzeichnisses 486.  
Beobachtungen, Auswertung der — 479.  
Berußen 213.  
Beschleunigung 132.  
— des freien Falls 135.  
Beschleunigungskurve 140, 142.  
Bestimmung von  $g$  mit der Fallrinne 144.  
— — — — Whittings Pendel 147.  
— —  $\tau$  mit der Wage 32.  
Betrieb der Schülerübungen 476.  
Beugung 299, 300.  
Beugungsgitter 302.  
Beutelketten 330.  
Bewegung der festen Körper 132.  
Bewegungen, fortschreitende und drehende — 207.  
Bewegungsgröße 160.  
Bezugsquellen 485.  
Bild, wirkliches 257, 258.  
Bildfeldwölbung 286.  
Bildkrümmung 285.  
Bildliche Darstellung 479.  
Bildweite 273, 276.  
Biot und Savart, Gesetz von — — — 442.

- Bleisammler 330, 367.  
 Blende 291.  
 Boyle, Gesetz von — 185.  
 Brechung in einer Ebene 259.  
 Brechungsverhältnis 261.  
 Brechungswinkel 260, 261.  
 Bremsen 20, 21.  
 Brennpunkt 272.  
 Brennweite 273, 277, 283, 295.  
 Bruchbelastung 45, 46.  
 Bruchohm 340.  
 Bücherverzeichnis 494.
- Chemikalien und Drogen** 486.  
 Chemische Wirkungen des elektr. Stroms 369.  
 Coulomb 370, 374.  
 Coulombmeter 375, 381.  
 Coulombs Gesetz 303, 319.  
 Cuprisulfatlösung 329, 376.  
 Cupronketten 330.
- Dachstuhl 71.  
 Dampfwärme 249.  
 Dämpfungsschüssel 332.  
 Daniellsche Kette 330, 363.  
 Daumenregel der rechten Hand 430.  
 Dehnung 46.  
 Dehnungskoeffizient, vgl. Dehnzahl.  
 Dehnzahl 48, 50.  
 Diakaustik 267.  
 Dichte, Bestimmung der — von Flüssigkeiten 27.  
 — — — — — mit der U-Röhre 174, 177.  
 — — — — — Wasser 25.  
 — magnetische 457, 459.  
 Dichtebestimmung 23, 24, 27, 29, 30, 174, 177, 179, 181, 182, 186.  
 — von Flüssigkeiten nach James Watt 186.  
 Dichtefläschchen 30.  
 Dickenmessung mit der Wage 33, 34, 180.  
 Differentialflaschenzug 129.  
 Doppelschleife nach Watson 106.  
 Drahtspule 434, 464, 465.  
 — magnetisches Feld einer — 451, 454, 455.
- Drehachse 94.  
 Drehantrieb 94, 171.  
 — Einheit des —s 94.  
 — und Drehmasse 207.  
 Drehhalbmesser 170, 171.  
 Drehmaß, vgl. Drehantrieb.  
 Drehmasse 170, 171, 203, 204.  
 Drehmoment, vgl. Drehantrieb.  
 Drehsinn 94.  
 Drehspule 454.  
 Drehspulengalvanometer 346, 453.  
 Dreifingerregel der rechten Hand 461.  
 Dreiwegestück 188.  
 Drillpendel 206.  
 Drillring 158.  
 Drillscheibe 202.  
 Drillstab 206.  
 Druckknopf 332.  
 Dünne 235.  
 Düntheit 235.  
 Durchlässigkeit 457, 459.  
 Durchmesser, Messen eines —s 7, 10, 13, 14, 17, 21.  
 Dynamometer 36, 39.
- Ebene, brechende** 259.  
 — schiefe 72, 76.  
 Eichung einer Federwage 41.  
 Einfallslot 256, 260, 261.  
 Einfallspunkt 255, 259, 261.  
 Einfallstrahl 255, 259, 261.  
 Einfallswinkel 256, 260, 261.  
 Eis, Zerkleinern des —es 231.  
 Eisenkern 451.  
 Eispunkt 230.  
 Elastisch 46.  
 Elastizität 44.  
 Elastizitätsgrenze 46.  
 Elastizitätsmodul, vgl. Federmaß 46, 48, 50, 193, 223.  
 Elektrischer Strom, chemische Wirkungen des —n —es 369.  
 — — Erzeugung auf chem. Wege 354.  
 — — — durch benachbarte Ströme 464.
- Elektrischer Strom, Erzeugung mit einem Magnet 460.  
 — — magnetisches Feld des —n —es 429.  
 — — Quellen des —n —es 353.  
 — — Schwächung des —n —es 395.  
 — — und Wärme 391.  
 — — Wärmewirkungen des —n —es 384.  
 Elektrizitätsmenge 356, 370, 374.  
 Elektrochemisches Äquivalent 375, 376, 382.  
 Elektroden 356.  
 Elektrokolorimeter 387.  
 Elektrolyse 370.  
 Elektrolyt 356, 369.  
 Elektromotorische Gegenkraft 361.  
 Elektromotorische Kraft 356, 367, 403—408.  
 — — Messung der —n — 428.  
 Element 356.  
 Energievergeudung 460.  
 Erdfeld 440.  
 Erhaltung der Arbeit, Gesetz der — 122, 126, 128.  
 Erhaltungsgeschwindigkeit 226.  
 Ersatzkraft 74, 84.
- Fall auf der schiefen Ebene 132.  
 Fallbeschleunigung 146.  
 Fallmaschinen 159.  
 Fallrinne 143.  
 — von Frey 144.  
 — von Packard 151.  
 Faradaysche Zahl 374.  
 Farbenband 292.  
 Farbenvereinigung 294.  
 Farbenzerstreuung 291.  
 Feder, schwingende 144.  
 Federgrenze 46.  
 Federkonstante 36, 37.  
 Federmaß 46, 48, 50, 223.  
 — einer Kautschukschnur 193.  
 Federnd 46.  
 Federwage 40, 41.  
 — Belastungsart 39.  
 — Eichkurve einer — 43.  
 — Fehlerkurve einer — 42.  
 — Gebrauch einer — 44.

- Federwagen, Schlitten für — 60.  
 Federwert 36.  
 Fehleruntersuchung 480.  
 Feinschraubenlehre 17.  
 Feldstärke 315.  
 — einer Drahtspule 455.  
 — eines geraden Stromleiters 439.  
 — einer Stromschleife 443.  
 Ferienkurse, Naturwissenschaftliche — 475.  
 Fernrohr 288, 289.  
 Flächenmessung durch Wägen 31, 32.  
 Flaschenzug 125, 127, 129.  
 Flüssigkeiten, Eigenschaften der — 174.  
 — schwingende 194.  
 Flüssigkeitswiderstände 338.  
 Fortbildungsinstitut, Naturwissenschaftliches — für Lehrer höherer Schulen 474.  
 Fortpflanzungsgeschwindigkeit 208.  
 Fraunhofersche Linien 297.  
 Freier Fall 145.  
 Galvanisches Arbeiten 328.  
 Galvanismus 328.  
 Galvanometer 342.  
 — Wahl der — 342.  
 Galvanoskop 344, 362.  
 Ganghöhe 17.  
 Gase, Eigenschaften der — 183.  
 Gefälldraht 413.  
 Gefrierpunktserniedrigung 231.  
 Gegenkraft 55.  
 Gegenstand 279, 285.  
 Gegenstandsweite 273, 276.  
 Genauigkeit der Messungen 481.  
 Geräte 471.  
 — Anschaffung der — 484.  
 — Bezugsquellen der — 485.  
 — Prüfung der — 484.  
 — Verwertungsbereich der — 484.  
 Geräteverzeichnis 483.  
 Gesamtkraft 52, 55.  
 Geschwindigkeit 159.  
 — des Erkaltens 226.  
 Geschwindigkeitskurve 140, 142.  
 Gestalt 1.  
 Gestaltänderung belasteter fester Körper 44.  
 Gestell für Magnete 310.  
 Gewicht, Unterschied zwischen Masse und — 207.  
 Gewichtsatz 22.  
 Gewichtsscheiben 41.  
 Gewichtstücke mit Ringgriff 41.  
 — mit Stabgriff 41.  
 Gewichtsverlust der Körper in Flüssigkeiten 177.  
 Gewinde 17.  
 Gitterbreite (Gitterkonstante) 302.  
 Gleichgewicht der festen Körper 35.  
 — sicheres, allseitiges und unsicheres 111.  
 Gleichmäßigkeitsgrenze 46.  
 Gleiten von Flächen 82.  
 Gleitreibung 79, 80.  
 — Zahl (Koeffizient) der — 81, 83.  
 — zwischen Holz und Holz 80, 81.  
 Gleitschneiden 413.  
 Gleitwiderstände 337.  
 Glimmerplatten-Widerstände 342.  
 Glühlampenwiderstand 372.  
 Gnomelement 330.  
 Grammäquivalent 374.  
 Grammkalorie 241.  
 — Arbeitswert der — 252, 391.  
 Graphische Darstellungen 479.  
 Grenzwinkel 260, 263.  
 Größenänderung belasteter fester Körper 44.  
 Grundbrett 163.  
 Haftreibung 79.  
 — Zahl der — 84.  
 Halls Scheibe 103, 106.  
 Hartgummirolle 67.  
 Haubenteilung 18.  
 Hauptlage, erste 304, 323.  
 — zweite 325.  
 Hauptspule 464.  
 Hauptübungen 473.  
 Hebel 93, 113, 116, 118.  
 Himmelsfernrohr 287.  
 Holzrollen 53.  
 Hohlspiegel 272, 274.  
 Hookisches Gesetz 46, 48, 50.  
 Horizontal-Intensität des Erdfeldes 313, 321, 378, 383.  
 Hubteilung 18.  
 Hyperbel 184.  
 Hysteresiskurve 460.  
 Induktion 457, 459.  
 Induktionsströme 460.  
 Insektennadeln 263.  
 Instrumente, optische 287.  
 Interferenz 299, 300.  
 Ionentheorie 353, 369.  
 Joule 391.  
 Kalorimeter 245, 387.  
 Kante, brechende 269.  
 Kapillar-Barometer 185.  
 Kathode 356, 369, 375.  
 Kation 369, 370.  
 Keilausschnitt 14.  
 Kette, offene und geschlossene 356.  
 —n, galvanische 329, 362.  
 Klavierhammer 214.  
 Klemmen für Reißbrett 99.  
 Klemmenspannung 404, 411.  
 Klemmschrauben 332.  
 Knallgasoulombmeter 381.  
 Knetbare Körper 163.  
 Koerzitivkraft 458.  
 Kohlenwiderstände 339.  
 Kohlepapier 151.  
 Kokonfäden 315.  
 Komponenten 52, 55.  
 Körper, der um eine Achse drehbare 94, 95.  
 — knetbare 163.  
 Kraft 35.  
 — ablenkende 65.  
 — spannende 216.  
 — wirksame 67.  
 — und Masse 155, 207.  
 Kraftarm 94.  
 Kräfte, die an einem Körper angreifen 84.  
 — die an einer Stelle angreifen 51, 53.  
 — parallele 91, 100.  
 Kraftreck 55.

- Kräfte dreieck 55.  
 Kräftemaßstab 61.  
 Kräftepaar 107, 109.  
 — Arm des —s 107, 109.  
 — Drehantrieb des —s 107, 109.  
 — Drehsinn des —s 107, 109.  
 — Moment des —s, vgl. Drehantrieb des —s,  
 Kräfteparallelogramm 55.  
 Kräfteplan 87.  
 Kraftfeld einer Spule 436.  
 — der Erde 435.  
 — magnetisches — der Tangentenbussole 434.  
 Kraftkonstante einer Feder, vgl. Kraftwert.  
 Kraftkurve 123, 126, 129.  
 Kraftlinien 309, 311.  
 — des Erdfeldes 308.  
 — positive Richtung der — 309.  
 Kraftmesser 36, 39.  
 Kraftpfeil 52, 55, 57.  
 Kraftübertragung 51.  
 Kraftwert der Spulfeder 36, 37, 190.  
 Kraftzerlegung 61, 63, 68.  
 Kran 68.  
 Krümmungsmittelpunkt 272.  
 Kugellinsen 272.  
 Kugelspiegel 272.  
 Kundtsche Röhre 224.  
 Kupfercoulombmeter 375.  
 Kupferdraht 331.  
 Kurzschluß 354.  
  
 Laboratorium 475.  
 Ladung, elektrische 374.  
 Lagebild 55.  
 Längenänderung 46.  
 Längenmessungen 1.  
 Längswellen in Spulfedern 208.  
 Läufer 10, 47.  
 Lastlinie 90.  
 Leclanché-Kette 366.  
 Leitfähigkeit 420.  
 Leitungen 331.  
 Leitungsdrähte 331.  
 Leitungsschnüre 331.  
 Leitwert 419, 420, 425.  
 — spezifischer 420.  
 Leseweite, bequeme 285.  
 Licht 255.  
 — weißes 294.  
 Lichtquelle 348.  
  
 Linsenformel 277.  
 Lochlehre 14.  
 Lösung der Probleme 472.  
 Lösungsselektrode 356.  
 Luftsäulen, schwingende 218.  
 Lupe 284.  
  
**Macht** 171.  
 Machtgleiche 313.  
 Magnete 306, 310, 320, 327.  
 Magnetische Felder 308, 309, 311, 312, 315.  
 — Horizontalintensität 378, 383.  
 — Scheibe 433.  
 —s Feld der Erde 308, 321.  
 — — — Tangentenbussole 434.  
 — — des elektrischen Stroms 429, 439.  
 — — einer Drahtspule 451, 454, 459.  
 — Moment 313, 321.  
 Magnetisierung 459.  
 Magnetismus 303.  
 Magnetometer 307, 314, 327.  
 Manganin, 337.  
 Mariottesche Flasche 144.  
 Maß und Messen 1.  
 Masse 155.  
 — Bestimmung mit dem Drillstab 206.  
 — — mit der Stoßwage 164.  
 — — mit der Wage 23, 29, 30.  
 — — mit einem schwingenden Stahlstab 207.  
 — — mit einer schwingenden Spulfeder 193.  
 — dynamische Begriffsbestimmung 164.  
 — Kraft und — 155, 207.  
 — und Dichte 19.  
 — Unterschied zwischen — und Gewicht 207.  
 Massensatz 22.  
 Massenwert des Coulomb 375, 376, 382.  
 Messen 1.  
 Meterstab 3.  
 Mikrometerschraubenlehre 17.  
 Mikroskop 290.  
 Milligrammwert des Coulomb 375, 376, 382.  
  
 Mischungswarmheit 239, 240.  
 Mittelkraft 55.  
 Mittelwert 481.  
 Mittörende Röhre 221.  
 Monochord 215.  
  
 Nachübungen 473.  
 Nadelgalvanometer 345.  
 Nadelhalter 281.  
 Nahepunktsentfernung, mittlere 285.  
 Nase 11.  
 Nebenspule 464.  
 Neigungswinkel 72.  
 Niveauflächen 312, 320.  
 Nonius, vgl. Läufer.  
 Nullfehler 11, 18, 39.  
 Nullpunkt, absoluter 239.  
 Nutzleistung 76.  
  
 Objektiv 288, 289, 290.  
 Ohm 395, 399.  
 Ohmsches Gesetz 391, 393, 404.  
 Okular 288, 289, 290.  
 Optische Bank 279.  
 — Instrumente 287.  
 Ortswirkung 354.  
  
 Packards Fallrinne 151.  
 Parabel 148.  
 Parallaxe 1.  
 Parallelogramm der Kräfte 55.  
 Pendel 67, 151.  
 Pendelaufhängung 153.  
 Pendellänge 152.  
 Permeabilität 459.  
 Pipette 25.  
 Planparallele Gläser 263, 264, 265.  
 Plattenwiderstände 342.  
 Pol, negativer 356.  
 — positiver 356.  
 Polarisation 359, 360, 366, 404.  
 Polprüfer 371.  
 Polstrahlen 87.  
 Potentialdifferenz 356.  
 Prisma 268, 270, 291, 294, 296.  
 Probleme, Umformung des Lehrstoffs in — 472.  
 Proportionalitätsgrenze 46.  
 Prüfung der Geräte 484.  
 Punkt, leuchtender 299.  
 Pyknometer, vgl. Dichtefläschchen.

- Quellen des elektrischen Stroms** 353.  
**Quecksilberbrett** 176.  
**Quecksilbertropfgefäße** 334.  
**Quecksilberzange** 335.
- Ratschläge**, allgemeine 477.  
**Raum der Luft** 183.  
 — der **Walze** 7.  
 — eines **Quaders** 1.  
 — **spezifischer** 235.  
 — und **Gestalt** 1.  
**Raumbestimmung** mit der **Meßröhre** 29.  
**Räumlichkeit** 235.  
**Raummessung** durch **Wägen** 26, 30, 179.  
 — durch **Wasserverdrängung** 29.  
**Rechenstab** 3.  
**Rechnen**, **abgekürztes** 3.  
**Reduktionsfaktor der Tangentenbussole** 378, 383, 447.  
**Regel der rechten Faust** 432.  
 — — — — **erweiterte** 433, 452.  
 — **Richmannsche** 241.  
**Reibung** 75, 77, 123, 125, 127, 129, 130.  
 — der **Bewegung** 79.  
 — der **Ruhe** 79.  
 — **Grenzwert** 78.  
 — **kinetische** 79.  
 — **stationäre** 79.  
 — **Zahl der gleitenden** — 81.  
**Reibkraft** 78.  
**Reibkurve** 123, 126, 129.  
**Reibschlitten** 79.  
**Reibungsbrett** 76.  
**Remanenz** 458.  
**Resultante**, **Resultierende** 52, 55.  
**Richmannsche Regel** 241.  
**Richtkraft der Erde** 431.  
 — eines **Drahts** 200, 203.  
**Ringgewichte** 41.  
**Robisonische Magnete** 306, 320.  
**Röhre**, **Kundtsche** 224.  
 — **mittönende** 221.  
 — **Whitingsche** 254.  
**Rollen** 53, 67.  
**Rolle**, **feste** 120, 124.  
**Rollkörper** 143.
- Rotglühender fester Körper** 296.  
**Rückstand** 36.  
 — **dauernder** 46.  
 — **magnetischer** 458.
- Saiten**, **schwingende** 214.  
**Sammellinse** 275, 280, 282, 285, 295.  
**Schall** 211.  
**Schallgeschwindigkeit** 218, 221.  
**Schalter** 333.  
**Schaltung der Ketten** 409.  
**Scheibe**, **Halls** 106.  
**Scheibengewichte** 41.  
**Scheinbild** 257, 258, 280, 282, 284.  
**Schenkel** 11.  
**Schiefe Ebene**, **Fall auf der** —n — 132.  
**Schirm** 279, 298.  
**Schließungsbogen** 356.  
**Schlitten für Federwage** 60.  
**Schlußseite** 87.  
**Schmelzpunkt** 245, 247.  
**Schmelzwärme** 248.  
**Schnabel** 11.  
**Schneide** 422.  
**Schnittbrenner** 279.  
**Schraube und Mutter** 15.  
**Schraubenbewegung** 16.  
**Schraubenlinie** 16.  
**Schraubenwinde** 130, 132.  
**Schreibstifte** 213.  
**Schreibvorrichtung** 213.  
**Schublehre** 9, 10.  
**Schülerübungen**, **Betrieb der** — 476.  
**Schustermaß** 9.  
**Schwefelsäure** 329, 354.  
**Schwerlinie** 110.  
**Schwerpunkt einer Scheibe** 102, 110, 112.  
 — eines **rechtwinklig umgebogenen Drahts** 112.  
**Schwimmer** 29.  
**Schwingende Flüssigkeiten** 194.  
 — **Luftsäulen** 218.  
 — **Saiten** 214.  
**Schwingung**, **volle** 152.  
**Schwingungen** 189.  
 — einer **Spulfeder** 189, 209.  
 — eines **Stabes** 196, 198, 207.  
 — einer **Stimmgabel** 211.
- Schwingungsbewegung** 152.  
**Schwingungsdauer** 152, 153, 154, 202.  
**Schwingungsmagnetometer** 314.  
**Schwingungsverfahren** 439, 443, 448.  
**Schwingungsweite** 152.  
**Schwingungsmasse**, **vgl. Drehmasse**.  
**Schwingegrad** 167.  
**Sehrohr** 159.  
**Sehweite**, **vereinbarte** 285.  
**Seileck** 87.  
**Seilreibung** 118.  
**Seilwellen** 208.  
**Seitenkräfte** 55.  
**Siedepunkt** 232.  
**Siedepunkterhöhung** 233.  
**Siemens** 420.  
**Sinusetz** 68.  
**Solenoid** 434.  
**Spannung**, **federnde** 46, 47, 49.  
 — **galvanische** 356.  
 — der **Luft** 183.  
 — **zwischen zwei Punkten eines Drahts** 411.  
**Spannungsgleichen** 421.  
**Spannungskurve** 46, 48, 50.  
**Spannungsmesser** 343, 351, 352.  
**Spannungsreihe** 362.  
**Spektralanalyse** 297.  
**Spektroskop** 298.  
**Spektrum** 292.  
 — **kontinuierliches** 297.  
**Spiegel**, **erhabener** 275.  
**Spiegelachse** 272.  
**Spiegelgalvanometer** 345.  
**Spiegelglasscheibe** 213.  
**Spiegelformel** 273.  
**Spiegelot** 256.  
**Spiegelmagnetometer** 327.  
**Spiegelmaßstab** 38.  
**Spiegelscheitel** 272.  
**Spiegelung an einer Ebene** 255.  
**Spiralfeder**, **vgl. Spulfeder**.  
**Spulfeder** 37, 190.  
 — **größte zulässige Ausreckung der** — 38.  
 — **Schwingungen einer** — 189.  
 — **Verlängerung einer** — 35.  
**Spulenkern** 455, 457.

- Stab, schwingender — 196, 198, 207.  
 Stabgewichte 41.  
 Stabthermometer 231.  
 Statik, graphische 72.  
 Stimmgabel 144, 211, 214, 218.  
 Stoß 159.  
 Stoßwage 164, 165.  
 Strahl, gebrochener 259, 261.  
 Strahlung 225.  
 Strom, elektrischer 356.  
 Stromarbeit 391.  
 Stromfeld 440, 443.  
 Stromkreis 356.  
 Stromleistung 391.  
 Strommesser 343, 350, 352.  
 Stromprüfer 342, 344, 358, 362.  
 Stromquellen 328, 353.  
 Stromschwächer 337.  
 Stromschleife 448.  
 — Feldstärke einer — 443, 448.  
 Stromstärke 356, 393, 400, 401, 406, 408, 409, 411, 439, 443, 447, 454.  
 Stromstärkemessung mit dem Spannungsmesser 351.  
 Strom- und Spannungsmesser 352.  
 Stromverbindungen 331.  
 Stromverzweigung 416, 419, 420, 425.  
 Stromwärme 384, 391.  
 Stromwender 335.  
 Stromwert der Ablenkung  $45^\circ$  bei der Tangentenbussole 447.  
 Stromzeiger 350.  
 Stromzweige 416.  
 Suszeptibilität 459.  
 Tangentenbussole 344, 447.  
 — Aufstellung der — 436.  
 — magnetisches Kraftfeld einer — 434.  
 Tangentengesetz 63, 65, 67.  
 Taringen, vgl. abgleichen.  
 Taster 332.  
 Teilkräfte 52, 55.  
 Temperatur, absolute 239.  
 Temperaturspule 428.  
 Thermometer 231.  
 — Ablesen des —s 233.  
 — Eispunkt des —s 230.  
 Thermometer, Siedepunkt des —s 232.  
 Ton, Bestimmung eines —es mit Maßstab und Wage 218.  
 Tonzellen 329.  
 Trägheit 207.  
 Trägheitshalbmesser, vgl. Drehhalbmesser 170.  
 Trägheitsmoment, vgl. Drehmasse 171, 203, 204, 207.  
 Überholen einer Maschine 127.  
 Übersetzungsverhältnis 75, 120, 122, 125, 129, 130.  
 — verbessertes 122.  
 — wirkliches 122.  
 Übraum 475.  
 Übungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium 466.  
 — Beginn der — 467 ff.  
 — verwebte 472.  
 — Vorübungen, Hauptübungen und Nachübungen 473.  
 — wahlfreie 466, 468.  
 Übungsberichte 482.  
 Übungsheft 482.  
 Umformung des Lehrstoffs 472.  
 Umkehrbarkeit, Gesetz der — 255, 259.  
 Umrechnungszahl der Tangentenbussole 378, 383, 447.  
 Unabhängigkeitsgesetz 148.  
 Universalrolle 53.  
 Unterlegklötze 143.  
 Unterricht, fortschreitender 472.  
 Untersatzkeil 143.  
 U-Röhren 176, 177, 195.  
 Vektor 52, 55, 57.  
 Vektorensomme 55.  
 Vergrößerung einer Sammellinse 282.  
 Vergrößerungszahl 285, 287, 289, 290, 291.  
 Verlängerung, größte zulässige, einer Feder 36, 38.  
 Verquicken 328, 334, 354.  
 Verschlucken des Lichts 296.  
 Verweben der Übungen und des Klassenunterrichts 472.  
 Verwertungsbereich der Geräte 483, 486.  
 Verzerrung 47, 49.  
 — bleibende 36, 46.  
 Volt, gesetzliche Bestimmung des —s 404.  
 Voltischer Becher 356, 357, 359.  
 Voltmeter 343, 351, 352.  
 Vorderlinse 288, 289, 290.  
 Vorschaltwiderstand 343.  
 Vorübungen 473.  
 Wage 21.  
 — Bestimmung von  $\pi$  mit der — 32.  
 — Dickenmessung mit der — 33.  
 Wagearme, Verhältnis der — 117.  
 Wagen für schiefe Ebene 76.  
 Wägen, Regeln für das — 19.  
 Wagflächen 312, 320.  
 Wahlfreie Übungen 466, 468.  
 Walze aus Kupfer 7.  
 Wärme 225.  
 — und Arbeit 252, 391.  
 — Ausbreitung der — 225.  
 — Ausdehnung der Körper durch — 234.  
 — bleibender Zustand 225.  
 — Mitführung der — 226.  
 — spezifische 244.  
 — und elektrischer Strom 391.  
 Wärmeabgabe durch Strahlung 225, 229.  
 — durch Mitteilung 225.  
 Wärmeäquivalent, mechanisches 252, 391.  
 Wärmeeinheit 241.  
 Wärmeleitung 225.  
 Wärmemenge 239, 241.  
 Wärmespule 428.  
 Wärmestoff 241.  
 Wärmestrahlung 225, 228, 229.  
 Wärmestufe, absolute 239.  
 Wärmeverlust 228.

- Wärmewert des Joule 391.  
 Wärmewirkungen des elektr. Stroms 384.  
 Wärmezufuhr durch Leitung 225.  
 Warmheit 226, 230.  
 Warmheitsüberschuß 227.  
 Wasser, Beschaffung von heißem — 229.  
 — — — kaltem — 240.  
 Wassersack 251.  
 Wasserwert 244.  
 Watsons Schleife 106.  
 Watt 391.  
 Weber 447.  
 Weg-Zeit-Gesetz 133, 146.  
 Weg-Zeit-Kurve 139, 142.  
 Wegverhältnis 120, 121, 125, 128, 129, 130.  
 Wellen, Fortpflanzungsgeschwindigkeit von → 208.  
 Wellenbewegungen 189, 208.  
 Wellenlänge des Natriumlichts 300.  
 Wellenlehre 300.  
 Werkzeuge 486.  
 Wertung der Probleme 472.
- Wheatstonesche Brücke 421.  
 Whittings Pendel 147.  
 — Röhre 254.  
 Widerstand, äußerer 356, 400, 408, 409.  
 — eines Drahts 414, 415, 424.  
 — — — Abhängigkeit von der Warmheit 426.  
 — galvanischer 395, 397.  
 — innerer 356, 399, 400, 401, 405.  
 — spezifischer 397, 399, 416, 425.  
 Widerstände 337.  
 — große 339.  
 Widerstandsätze 339.  
 Widerstandsbestimmung durch Vertauschen 398.  
 Widerstandsmessung mit der Wheatstoneschen Brücke 423.  
 Widerstandspulen 342, 396.  
 Windungszahl 455.  
 Winkel, brechender 269.  
 Winkelgeschwindigkeit 170.  
 Wippe 336.
- Wirkungsgerade 85.  
 Wirkungsgrad 76, 120, 124, 127, 129, 130.  
 Wirkungsgradkurve 124, 127, 129.  
 Wucht 165, 170.  
 Wurfbewegung 148.
- Zahlenrechnen 480.  
 Zähne 18.  
 Zeichenausrüstung 60, 486.  
 Zeichenbussole 309.  
 Zeigermagnetometer 307.  
 Zeitmessung 144, 153.  
 Zerlegung der Kräfte 61, 63, 68.  
 Zerreißfestigkeit 46.  
 Zerstreuungslinse 282.  
 Zielbügel 144.  
 Zielvorrichtung 315.  
 Ziffern, geltende 481.  
 Zugfestigkeit 46.  
 Zustand, bleibender (stationärer) — 225.  
 Zustandsänderungen 245.  
 Zwangskraft 458.  
 Zwangströme 416.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

---

---

## Zeitschrift für den Physikalischen und Chemischen Unterricht.

Begründet unter Mitwirkung von Ernst Mach und Bernhard Schwalbe.  
In Verbindung mit A. Höfler in Wien, O. Ohmann und H. Hahn in Berlin  
herausgegeben von F. Poske.

Preis für den Jahrgang von 6 Heften M. 12,—.  
Die Zeitschrift erscheint seit 1887.

Als Sonderhefte der Zeitschrift erscheinen:

### Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft.

Herausgegeben von

F. Poske in Berlin, A. Höfler in Prag und E. Grimsehl in Hamburg.

Die „Sonderhefte“ werden zwanglos ausgegeben, sowohl ihrem Umfange, wie der Zeit ihres Erscheinens nach. Jedes Heft ist einzeln käuflich, der Preis richtet sich nach dem Umfange. Eine größere Zahl von Heften im Gesamtumfange von ca. 40 Bogen wird zu je einem Bande (M. 12—16) vereinigt.

#### I. Band (Heft 1—6) Preis M. 14.20.

Inhalt:

- Heft 1: **Die elektrische Glühlampe im Dienste des physikalischen Unterrichts.** Von E. Grimsehl, Professor an der Oberrealschule auf der Uhlenhorst in Hamburg. Preis M. 2,—.
- Heft 2: **Zur gegenwärtigen Naturphilosophie.** Von Dr. Alois Höfler, a. o. Professor an der deutschen Universität Prag. Preis M. 3.60.
- Heft 3: **Der naturwissenschaftliche Unterricht — insbesondere in Physik und Chemie — bei uns und im Auslande.** Von Dr. Karl T. Fischer, a. o. Professor an der Kgl. Technischen Hochschule in München. Preis M. 2,—.
- Heft 4: **Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten?** Von Hermann Hahn, Oberlehrer am Dorotheenstädtischen Realgymnasium zu Berlin. Preis M. 2,—.
- Heft 5: **Strahlengang und Vergrößerung in optischen Instrumenten.** Eine Einführung in die neueren optischen Theorien. Von Dr. Hans Keferstein, Professor an der Oberrealschule auf der Uhlenhorst in Hamburg. Preis M. 1.60.
- Heft 6: **Über die Erfahrungsgrundlagen unseres Wissens.** Von Dr. A. Meinong, o. ö. Professor an der Universität Graz. Preis M. 3,—.

#### II. Band.

- Heft 1: **Elementare Messungen aus der Elektrostatik.** Von Professor Dr. Karl Noack, Oberlehrer a. D. Preis M. 2,—.
- Heft 2: **Experimentelle Einführung der elektromagnetischen Einheiten.** Von E. Grimsehl, Professor an der Oberrealschule auf der Uhlenhorst in Hamburg. Preis M. 1.60.
- Heft 3: **Die Zentrifugalkraft.** Von Professor Dr. F. Poske. Preis M. 3,—.
- Heft 4: **Magnetische und magnetisch-elektrische Messungen im Unterricht.** Von Dr. W. Bahr dt. Preis M. 2.40.
- Heft 5: **Beiträge zur Behandlung der elektromagnetischen Lichttheorie und der Lehre von den elektrischen Schwingungen.** Nebst einem Anhang über die Geschwindigkeit der Elektrizität. Von Professor Dr. Lütke, Altona. Preis M. 4,—.

---

---

## Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Organ für Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftl. Technik.

Herausgegeben unter Mitwirkung der Physik-Techn. Reichsanstalt.

REDAKTION: Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

Erscheint in monatlichen Heften.

Preis für den Jahrgang M. 24,—; für das Ausland zuzüglich Porto.

Als Beiblatt wird ausgegeben:

### Deutsche Mechaniker-Zeitung.

Vereinsblatt der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik.

Herausgegeben vom Vorstand der Gesellschaft.

REDAKTION: A. Blaschke, Berlin-Halensee.

Erscheint monatlich zweimal und ist auch apart zum Preise von M. 6,— für den Jahrgang zu beziehen.