

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw.

369

371

Geisteswelt

verständlicher Darstellungen

R. Börnstein

Einleitung in die
Experimentalphysik



Verlag von B. G. Teubner in Leipzig



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296030

Ein vollf
und Geif

lus Natur
s Bandes.

Die Sammlung

„Aus Natur und Geisteswelt“

verdankt ihr Entstehen dem Wunsche, an der Erfüllung einer bedeutsamen sozialen Aufgabe mitzuwirken. Sie soll an ihrem Teil der unserer Kultur aus der Scheidung in Kasten drohenden Gefahr begegnen helfen, soll dem Gelehrten es ermöglichen, sich an weitere Kreise zu wenden, und dem materiell arbeitenden Menschen Gelegenheit bieten, mit den geistigen Errungenschaften in Fühlung zu bleiben. Der Gefahr, der Halbbildung zu dienen, begegnet sie, indem sie nicht in der Vorführung einer Fülle von Lehrstoff und Lehrfäßen oder etwa gar unerwiesenen Hypothesen ihre Aufgabe sucht, sondern darin, dem Leser Verständnis dafür zu vermitteln, wie die moderne Wissenschaft es erreicht hat, über wichtige Fragen von allgemeinstem Interesse Licht zu verbreiten, und ihn dadurch zu einem selbständigen Urteil über den Grad der Zuverlässigkeit jener Antworten zu befähigen.

Es ist gewiß durchaus unmöglich und unnötig, daß alle Welt sich mit geschichtlichen, naturwissenschaftlichen und philosophischen Studien befaße. Es kommt nur darauf an, daß jeder an einem Punkte die Freiheit und Selbständigkeit des geistigen Lebens gewinnt. In diesem Sinne bieten die einzelnen, in sich abgeschlossenen Schriften eine Einführung in die einzelnen Gebiete in voller Anschaulichkeit und lebendiger Frische.

In den Dienst dieser mit der Sammlung verfolgten Aufgaben haben sich denn auch in dankenswertester Weise von Anfang an die besten Namen gestellt. Andererseits hat dem der Erfolg entsprochen, so daß viele der Bändchen bereits in neuen Auflagen vorliegen. Damit sie stets auf die Höhe der Forschung gebracht werden können, sind die Bändchen nicht wie die anderer Sammlungen stereotypiert, sondern werden — was freilich die Aufwendungen sehr wesentlich erhöht — bei jeder Auflage durchaus neu bearbeitet und völlig neu gesetzt.

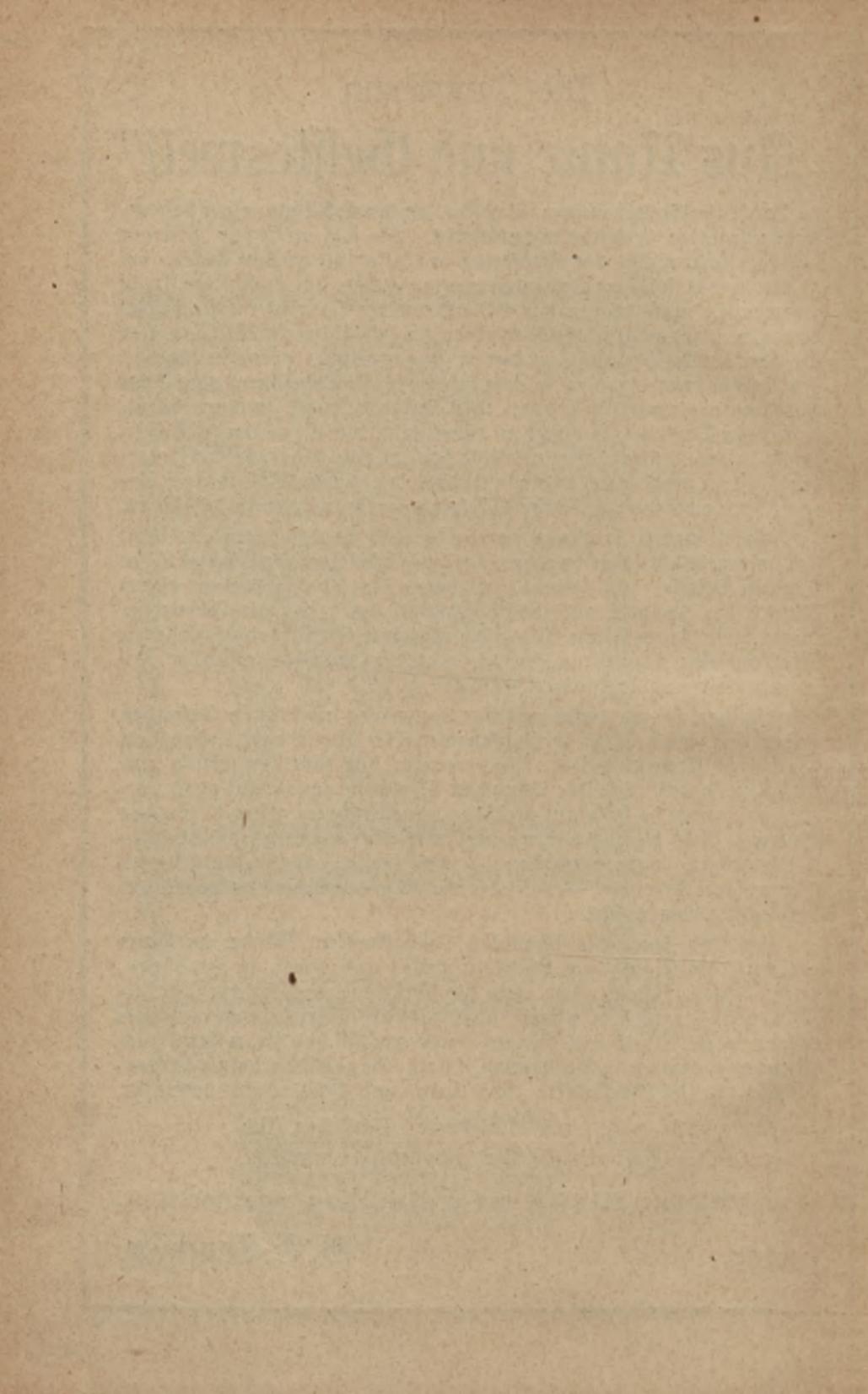
So sind denn die schmalen, gehaltvollen Bände durchaus geeignet, die Freude am Buche zu wecken und daran zu gewöhnen, einen kleinen Betrag, den man für Erfüllung körperlicher Bedürfnisse nicht anzusehen pflegt, auch für die Befriedigung geistiger anzuwenden. Durch den billigen Preis ermöglichen sie es tatsächlich jedem, auch dem wenig Begüterten, sich eine kleine Bibliothek zu schaffen, die das für ihn Wertvollste „Aus Natur und Geisteswelt“ vereinigt.

Die meist reich illustrierten Bändchen sind
in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

Ausführlicher illustrierter Katalog unentgeltlich.

Leipzig.

B. G. Teubner.



1369

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

371. Bändchen

Einleitung in die Experimentalphysik Gleichgewicht und Bewegung

Gemeinverständlich dargestellt von

R. Börnstein

Mit 90 Abbildungen



Prüf. IV A 7/113

Druck und Verlag von B. G. Teubner in Leipzig 1912

Wt/25

— Auf Veranlassung des „Vereins für vollstümliche Kurse von Berliner Hochschullehrern“ wurden die sechs Vorträge gehalten, deren nachträgliche Niederschrift hier vorliegt. In dem Streben, den Hörern klares Verständnis und stete Wechselwirkung mit dem Vortragenden zu schaffen, schien es mir wesentlich, die vorgetragenen Erfahrungstatsachen und theoretischen Erwägungen durch möglichst viele Versuche zu veranschaulichen und außerdem diese Versuche so einfach zu gestalten, als es sich irgend tun ließ. Denn die Mechaniker, Uhrmacher, Schlosser usw., welche einen erheblichen Teil meiner aufmerksamen Hörer bildeten, verfolgen offenbar lieber und leichter den Verlauf eines Versuchs, zu dem sie die erforderlichen Apparate nötigenfalls selbst herstellen könnten, als die Vorführung von Erscheinungen, deren verwickelte experimentelle Vorbedingungen eine langatmige Erklärung des Vortragenden und entsprechende Gedankenarbeit der Hörer erfordern, bevor man überhaupt zu der eigentlichen Bedeutung des augenblicklichen Versuchs gelangen kann. Und ich wage zu meinen, daß das gleiche Streben nach Einfachheit einem jeden Experimentalvortrag nur vorteilhaft sei, welches auch die Art und Vorbildung der Hörer ist. Ich habe mich deshalb ausdrücklich bemüht, die Ausführung und Beschreibung der Versuche recht durchsichtig zu gestalten, und hoffe namentlich den Lehrern, in deren Hände dies Büchlein gelangt, manchen nützlichen Fingerzeig zu bieten. Die hauptsächlichsten Unterrichtsversuche, welche im Text beschrieben wurden, sind am Schluß in einem kurzen Verzeichnis zusammengestellt, ebenso einige aus dem besten vorhandenen Material entnommene Zahlentabellen.

Die Form des mündlichen Vortrags auch in der schriftlichen Ausarbeitung beizubehalten, schien mir im Sinne vereinfachter Darstellung zweckmäßig.

Berlin, April 1912.

R. Börnstein.

I 301559

Akc. Nr.

262 150

BPK-B-99/2017

Copyright 1912 by B. G. Teubner in Leipzig.

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

Inhalt.

	Seite.
I. Die Kräfte. Maßeinheiten und Messen. Trägheit. Wirkungsdauer. Zentrifugalkraft. Erhaltung der Drehachsenrichtung. Parallelogramm der Kräfte. Schiefe Ebene. Keil. Schraube. Rolle. Flaschenzug. Hebel. Wage.	1—25
II. Die Schwerkraft. Masse und Gewicht. Schwerpunkt. Gleichgewicht. Fall im lusterfüllten und im leeren Raum. Fall auf schiefer Ebene. Pendel. Uhr. Örtliche Verschiedenheiten der Schwerkraftsbeschleunigung. Mittlere Erddichte.	26—39
III. Gravitation. Energiegesetz. Allgemeine Massenanziehung. Keplersche Gesetze. Flut und Ebbe. Beschleunigung, Kraft, Arbeit, Lebendige Kraft. Energiegesetz. <i>C-g-s</i> -System.	39—53
IV. Tropfbare Flüssigkeiten. Leichte Verschiebbarkeit der Teilchen. Druck senkrecht zur Grenz wand. Freie Oberfläche senkrecht zur wirkenden Kraft. Kommunizierende Gefäße. Heber. Bodendruck. Auftrieb. Spezifisches Gewicht. Schwimmen. Bewegungsercheinungen.	53—73
V. Gase. Luftgewicht. Leichte Verschiebbarkeit der Teilchen. Druck senkrecht zur Grenzfläche. Wirkungen des Luftdrucks. Auftrieb. Barometer. Expansivkraft. Mariottesches Gesetz. Wasser- und Luftpumpe. Luftwiderstand. Druckverteilung. Wind.	73—96
VI. Molekularerscheinungen. Kohäsion. Elastizität. Härte. Adhäsion. Kapillarität. Oberflächenspannung. Reibung. Zähigkeit. Diffusion.	96—116

Verzeichniss der im Text beschriebenen Unterrichtsversuche.

	Seite		Seite
Verseuche über Trägheit	7	Toricellis Satz über Ausfluß- geschwindigkeit	71
Zentrifugalversuche an festen, flüssigen und gasförmigen Körpern	9	Abwiegen von Luft	73
Foucault'scher Pendelversuch	12	Aufwärts gerichteter Luftdruck	74
Schiefe Ebene	15	Rückstoß ausfließender Luft	74
Herstellung eines Schrauben- modells	17	Versuche über Luftdruck	75
Hebelversuche	21	Versuche über Expansivkraft, Heron'sball und =Brunnen	87
Schwerpunktsbestimmung	27	Luftwiderstand	91
Stabiles, labiles, indifferentes Gleichgewicht	27—28	Vettinische Rauchversuche über Luftbewegung	94
Atwood'sche Fallmaschine	29	Zusammendrücken von Wasser im Piezometer	98
Anderer Fallversuche	31	Dehnung eines Kautschukstabes	100
Darstellung von Flut u. Ebbe	43	Adhäsionsversuche	102
Fortschreiten von Energie an der Stoßmaschine	48	Kapillares Steigen und Sin- ken	103
Aufwärts gerichteter Flüssig- keitsdruck	55	Oberflächenfestigkeit (Glas- schneiden)	106
Hydraulische Presse	56	Versuche mit dünnen Seifen- schichten	107
Rückstoß ausfließenden Wassers	57	Ausbreiten von Öl auf Wasser	108
Segner'sches Rad	58	Bewegung eines Wagens mit Reibung und deren Abhän- gigkeit v. d. Geschwindigkeit	109
Flüssigkeitsgestalt unter Ein- fluß der Zentrifugalkraft	59	Innere Reibung des Wassers	111
Kommunizierende Gefäße	60	Reibungswärme	112
Heber	62	Diffusion zwischen Flüssigkeiten (Traubesehe Zellen)	113
Bodendruck nur von der Flüssig- keitshöhe abhängig	64	Diffusion zwischen Gasen	115
Bestimmung des spezifischen Gewichts	67		

Verzeichniss der in Tabellenform mitgetheilten Zahlenangaben.

Geographische Verteilung der Schwerkraft	38	Änderung des Luftdrucks mit der Höhe	85
Spezifisches Gewicht	70	Elastizitätsmoduln	100
Reduktion des Barometerstan- des auf 0°.	83	Härteskala	101

Erstes Kapitel.

Die Kräfte.

Maßeinheiten und Messen. Trägheit. Wirkungsdauer. Zentrifugalkraft. Erhaltung der Drehachsenrichtung. Parallelogramm der Kräfte. Schiefe Ebene. Keil. Schraube. Rolle. Flaschenzug. Hebel. Wage.

Die Physik hat, wie jede Naturwissenschaft, zur Grundlage die Erfahrung. Wir beobachten, was die Natur uns freiwillig an Erscheinungen vor Augen führt, oder wir experimentieren, d. h. wir beobachten, was wir selbst an Erscheinungen künstlich und absichtlich herbeigeführt haben, und ziehen aus dem, was wir so beobachten, also was uns die Erfahrung gegeben hat, Schlüsse. Diese fassen wir in Form von Regeln zusammen und sehen sie als Naturgesetze an. Freilich dürfen wir dies nur so lange, bis irgendeine neue Erfahrung uns zwingt, das, was wir für ein Naturgesetz hielten, als nicht zutreffend zu erkennen, denn die Gesetze der Natur unterscheiden sich von denen der Menschen dadurch, daß sie niemals irgendeine Ausnahme gestatten, und wenn eine Abweichung von dem, was wir für ein Naturgesetz hielten, uns einmal begegnet, dann ist es eben kein Naturgesetz gewesen, und wir müssen unsere Meinung über die Vorgänge, die wir nicht richtig gedeutet haben, der neuen Erfahrung gemäß verbessern. Um nun also zu beobachten, was sich uns von selbst bietet, oder was wir in Form des Experiments herbeigeführt haben, müssen wir uns daran gewöhnen, sowohl die Frage: was geschieht? als auch diejenigen: wie geschieht es? und: wie groß ist das Geschehen? zu beantworten. Und namentlich, um zu erkennen, wie groß die einzelnen Erscheinungen sind, wie weit sie sich erstrecken, muß man messend die Erscheinungen verfolgen; messen aber heißt: das noch Unbekannte mit Bekanntem vergleichen. Unbekannt ist das, was wir messen wollen, das Bekannte ist die Maßeinheit. Wir messen also z. B. eine Länge, die wir bisher nicht kannten, indem wir sie mit einem Meter, einem Fuß, Zoll usw. vergleichen. Die Maßeinheiten sind ursprünglich wohl nicht genauer gewesen, als es der äußerlichen, oberflächlichen Betrachtung genügte. Man benutzte solche Größen, die öfters in der Natur vorkommen und leicht zu vergleichen sind, und so ent-

standen die bekannten Maße, die man mit Spanne, Wegstunde, Tagewerk u. dgl. bezeichnet. Einige solcher Ausdrücke haben sich auch später noch als Bezeichnung für wirkliche und genaue Maße erhalten: z. B. Fuß, Elle. Je mehr man dann lernte, Genauigkeit zu schätzen und anzuwenden, um so mehr mußte man sich von diesen einfachen Maßbegriffen und Maßgrößen abwenden und genauer bestimmte Einheiten in Gebrauch nehmen.

Lange hat man danach gestrebt, aus der Natur sog. Urmaße zu gewinnen. Ohne auf die vielen Einzelheiten, durch welche dieses Streben hindurchführte, hier eingehen zu können, sei doch erwähnt, daß unser heutiges, von den meisten Kulturvölkern angenommenes sog. metrisches Maßsystem eigentlich auch einen solchen Ursprung hat. Die erste französische Republik setzte gegen Ende des 18. Jahrhunderts fest, daß man als Grundlage für die Längeneinheit die Größe unseres Erdballs benutzen solle, nämlich daß ein Erdquadrant, d. h. der auf der Erdoberfläche gemessene kürzeste Abstand zwischen Nordpol und Äquator, gleich 10 Millionen Meter, oder daß die neueingeführte Längeneinheit, das Meter, gleich einem Zehnmilliontel des Erdquadranten sein solle. Glaubte man so aus der unveränderlichen Größe des Erdballs eine gleichfalls unveränderliche Maßeinheit gewonnen zu haben, so erwies sich dies bald als irrig, denn wenn auch der Erdball sich nicht änderte, so war doch die Genauigkeit dem Wechsel unterworfen, mit welcher man die erforderlichen Messungen anstellen kann, und nachdem s. B. das Meter im Betrage von einem Zehnmilliontel Erdquadrant angenommen und ein Stab, der diese Länge hatte, als Normalmaß hergestellt war, erwies sich, als man nach einiger Zeit mit verbesserten Apparaten und Methoden die Messung am Erdball wiederholte, daß jenes ursprünglich für richtig gehaltene Meter etwas zu kurz war, und daß man also nun entweder immer von neuem, sobald genauere Messungsergebnisse vorlagen, auch ein neues Meter annehmen, oder auf diese Verbesserungen der Messung verzichten und das einmal eingeführte Längenmaß beibehalten mußte. Im letzteren Falle hatte man freilich kein eigentliches Urmaß mehr, dennoch aber erkannte man dies letztere Verfahren als das kleinere Übel und einigte sich dahin: diejenige Länge als Meter beizubehalten, welche einmal aus den damals vorhandenen Messungen hergeleitet war, und welche dargestellt ist durch den in Meudon bei Paris seitens des Bureau international des Poids et Mesures aufbewahrten Maßstab.

Nicht viel anders ging es mit den damals gleichfalls festgestellten Einheiten für Gewicht und Raummaß. Man hatte bestimmt, daß das Einheitsgewicht ein Kilogramm sein sollte, nämlich das Gewicht eines Kubikdezimeters reinen Wassers von 4 Grad C, und daß der Rauminhalt dieser Wassermenge, ein Liter, die Einheit des Raummaßes bilden sollte. Es beruhten also diese Maßeinheiten auf der Schwere des Wassers und dem vorher genannten Längenmaß. Auch hier erwies sich, daß mit wachsender Genauigkeit der Messungen allmählich etwas verschiedene Werte für diese Einheiten gewonnen wurden, und auch hier hat man, um Veränderungen des Einheitsmaßes zu vermeiden, von der Forderung eines wirklichen Urmaßes Abstand genommen und hat dasjenige Kilogramm, welches gleichfalls von dem genannten Bureau international des Poids et Mesures aufbewahrt wird, als Normalgewicht anerkannt, und als Raummaß das Liter, nämlich das Volumen eines Kilogramm Wassers bestimmt, wobei das Kilogramm die eben genannte Gewichtseinheit ist.

Zu diesen Maßeinheiten für Länge, Gewicht und Raum ist dasjenige für Zeit hinzuzufügen, und da haben wir in der That ein wirkliches Urmaß, das auf die Bewegung der Erde um die Sonne und um die eigene Achse gegründet ist, und das auf bekannte Art in Tage, Stunden, Minuten, Sekunden geteilt wird. Dabei sind als Zeiteinheit das tropische Jahr und der mittlere Sonnentag in Gebrauch. Als tropisches Jahr wird die Zeit zwischen zwei Frühlingsnachtgleichen bezeichnet, also zwischen solchen Augenblicken, in welchen die Sonne in der erweiterten Ebene des Erdäquators steht, wie es jährlich zweimal, im Frühjahr und im Herbst, geschieht. Weil die Punkte, in welchen dies zutrifft, in einer langsamen Wanderung auf der Erdbahn begriffen sind, ist das tropische Jahr etwas verschieden von dem siderischen oder Sternjahr, nämlich der wahren Umlaufszeit der Erde oder der Zeit zwischen zwei gleichen scheinbaren Stellungen der Sonne unter den Fixsternen. Das tropische Jahr ist gleich 365,2422 mittleren Sonnentagen oder 365 Tagen 5 Stunden 48 Minuten 46 Sekunden, das siderische gleich 365,2564 mittleren Sonnentagen oder 365 Tagen 6 Stunden 9 Minuten 10 Sekunden. Ferner bedeutet der mittlere Sonnentag den Zeitabstand zweier Höchststände (Kulminationen) einer gedachten „mittleren“ Sonne, nämlich einer solchen, die sich gleichförmig während des tropischen Jahres um den Äquator bewegen würde, während der wahre Sonnentag bekanntlich wech-

selnde Länge hat, nämlich gleich der zwischen zwei Höchstständen der wirklichen Sonne liegenden Zeit ist. Als Sterntag endlich bezeichnet man die zwischen zwei Höchstständen irgendeines Fixsterns liegende Zeit. Sie ist nur von der täglichen Erddrehung, nicht von der jährlichen Erdbewegung abhängig, und es besteht die Beziehung, daß ein Sterntag gleich 0,997 270 mittleren Sonnentagen, also um 3,932 Minuten kürzer als ein mittlerer Sonnentag ist, und umgekehrt ein mittlerer Sonnentag gleich 1,002738 Sterntagen oder um 3,943 Minuten länger als ein Sterntag.

Soll nun mit Anwendung der vorgenannten Maßeinheiten eine wirkliche Messung ausgeführt werden, so hat man den zu messen-

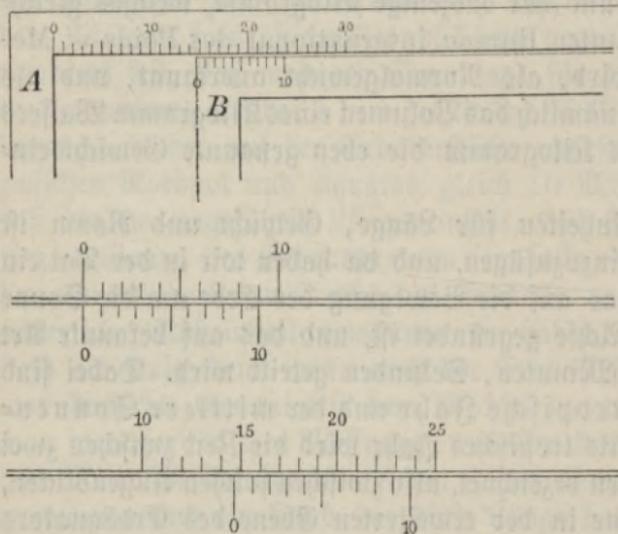


Fig. 1. Nonius.

den Gegenstand mit der Maßeinheit oder ihrem Vielfachen zu vergleichen. Dazu dient oftmals eine aus einer Reihe von Strichen bestehende Teilung, und in diesem Fall benutzt man zur Erhöhung der Genauigkeit den Nonius. Seine Einrichtung ist in Fig. 1 ersichtlich gemacht, wobei angenommen ist, daß mittels der im oberen Teil der Figur dargestellten Schubleere die Dicke eines Gegenstandes, z. B. eines Stabes, gemessen werden sollte. In bekannter Art sei der bewegliche Teil der Schubleere so gestellt, daß von seiner Kante B bis zur festen Kante A, an welcher der Nullstrich steht, sich die zu messende Länge erstreckt, und daß also jetzt nur noch der Abstand AB zu bestimmen ist. Hätten wir lediglich die Stellung der Kante B an der Millimeterteilung abzulesen, so würden wir sagen, daß die fragliche Länge zwischen 14 und 15 mm liegt, und könnten je nach unserer Übung und Befähigung den Betrag, um welchen jene Länge die von 14 mm übertrifft, mit größerer oder geringerer Genauigkeit schätzen. Nun trägt aber der bewegliche Teil der Schubleere noch eine besondere kleine Teilung, die

den Gegenstand mit der Maßeinheit oder ihrem Vielfachen zu vergleichen. Dazu dient oftmals eine aus einer Reihe von Strichen bestehende Teilung, und in diesem Fall benutzt man zur Erhöhung der Genauigkeit den Nonius. Seine Einrichtung ist in Fig. 1 ersichtlich gemacht, wobei angenommen ist, daß mittels der im oberen

sich von *B* aus nach rechts erstreckt. Diese heißt Nonius und ist im mittleren Teil der Figur in der Nullstellung abgebildet, d. h. so, daß der Nullstrich des Nonius mit dem Nullstrich der Teilung zusammenfällt und zwischen ihnen sich kein zu messender Gegenstand befindet. Dabei sehen wir den 10. Strich des Nonius auf den neunten Millimeterstrich fallen, es sind also 10 Noniusteile gleich 9 mm, und jeder Noniusteil ist gleich 0,9 mm oder um 0,1 mm kleiner als ein Millimeter. Demnach ist der erste oder 5te oder *n*te Noniusstrich von dem nächsten rechts davon gelegenen Millimeterstrich um 1 oder 5 oder *n* Zehntelmillimeter entfernt. Bei der dargestellten Stellung unserer Schubleere, die im unteren Teil der Figur nochmals vergrößert abgebildet ist, fällt der siebente Noniusstrich mit einem Millimeterstrich zusammen; demnach ist der sechste Noniusstrich von dem nächsten links gelegenen Millimeterstrich um 1 Zehntelmillimeter, der 5., 4. usw. Noniusstrich um 0,5; 0,4 usw. mm, und der Nullstrich des Nonius um 0,7 mm von dem nächsten linken Millimeterstrich entfernt, d. h. die zu messende Länge beträgt genau 14,7 mm. Die Benutzung des Nonius beruht also auf der Lage der „Koinzidenz“, d. h. der Stelle, an welcher zwei Teilstriche zusammenfallen. Die Nummer des Noniusstriches, an welchem dies zutrifft, gibt dann die abzulesenden Zehntelmillimeter an. Nicht immer ist aber eine solche glatte Koinzidenz vorhanden, sondern es kann auch geschehen, daß zwei benachbarte Noniusstriche zwischen zwei Millimeterstrichen liegen; dann gibt der niedrigere Noniusstrich die Zahl der abzulesenden Zehntelmillimeter an, und die außerdem noch in Betracht kommenden Hundertelmillimeter muß man aus der gegenseitigen Stellung der Teilstriche schätzungsweise entnehmen. Der Vorteil, welchen uns der Nonius gewährt, besteht also darin, daß wir ohne ihn ganze Millimeter (oder sonstige Skalenteile) ablesen und Zehntel schätzen, mit Anwendung des Nonius aber noch die Zehntel ablesen und Hundertel schätzen, d. h. die Genauigkeit der Messung auf eine Dezimalstelle mehr erstrecken können.

Man pflegt die Betrachtung der physikalischen Erscheinungen mit Zusammenstellung der allgemeinen Körpereigenschaften zu beginnen und dabei zu erwähnen: die Raumerfüllung, die Teilbarkeit, die Fähigkeit, in verschiedenen Aggregatzuständen aufzutreten usw. Hierauf näher einzugehen, erscheint aber kaum erforderlich, weil uns diese Begriffe aus der Erfahrung des täglichen Lebens geläufig genug sind und jeder Leser sich bei diesen Worten ohne

hin das nämliche denkt. Eine wichtige Eigenschaft aller Körper, nämlich die gegenseitige Anziehung der Massen, wird später ausführliche Besprechung finden.

Dagegen sei eine allgemeine Körpereigenschaft schon hier ein wenig genauer dargestellt, nämlich die Trägheit oder das Beharrungsvermögen. Wir verstehen darunter die Eigenschaft der Körper, einen Bewegungszustand, den sie einmal haben, unbegrenzt und so lange beizubehalten, bis durch irgendeine äußere Ursache, z. B. die Einwirkung einer Kraft, eine Änderung herbeigeführt wird. Auch dafür bietet uns das tägliche Leben fortwährend Beispiele. Wenn wir einen Körper, eine Kugelfugel z. B., auf glatter Bahn fortschleudern, so bewegt er sich mit sehr wenig verringerter Geschwindigkeit so lange, bis am Ende der Bahn ein Hindernis ihn aufhält. Die Kugel hat eine gewisse Bewegung empfangen, und nur so viel davon, als ihr durch die Reibung am Boden entzogen wird, sehen wir verschwinden. Würde ihre Bewegung durch Reibung gar nicht gehindert und würde sie nicht am Ende der Bahn auf eine Wand oder auf die Kugel oder sonstige Gegenstände stoßen, so müßte sie vermöge ihrer Trägheit unbegrenzt, d. h. mit unveränderter Richtung und Geschwindigkeit fortfliegen. In der Großstadt kann man zuweilen beobachten, daß jemand, der auf dem Perron der Straßenbahn stehend die Bewegung des Wagens selbst mitmachte und während der Fahrt unvorsichtig absteigt, dabei allerlei Unliebsames erfährt; wenn er nicht geeignete Schutzmaßregeln ergreift, wird er vermöge der Trägheit, die seinen Körper in der bisherigen Geschwindigkeit und Richtung weiter treibt, leicht zu Boden geworfen.

Nun gilt aber die Trägheit in dem Sinne, daß sie jeden Bewegungszustand fortzusetzen sucht, auch für den Ruhezustand, den wir gleichfalls als eine Art von Bewegung, als Bewegung „Null“ ansehen dürfen, d. h., wenn ein Körper in Ruhe ist, so wird die Trägheit, ihn in Ruhe erhalten, es sei denn, daß besondere Kräfte neu auftreten, welche ihn aus der Ruhe herauszubringen suchen. Wenn wir einem Körper Bewegung erteilen wollen, so müssen wir demnach eine gewisse Mühe aufwenden, um seine Trägheit zu überwinden und um den Zustand der anfänglichen Bewegung, in diesem Falle die Bewegungslosigkeit, in eine wirklich fortschreitende Ortsveränderung umzuwandeln.

In diesem Sinne ist also als eine Erscheinung der Trägheit dasjenige anzusehen, was man auch als Wirkungsdauer bezeichnen

kann. Eine Masse, die in Ruhe ist, kann durch eine Kraft in Bewegung geraten, wenn diese Kraft stark und lange genug wirkt, um die Trägheit der Masse zu überwinden, und es gehört je nach Größe der Masse und nach Größe der Kraft eine gewisse Zeitdauer dazu, um dies zu vollenden, eine Zeit, die wir eben als Wirkungs-
dauer bezeichnen. Dahin gehört z. B. die Erscheinung, daß jemand eine dünne Eisdecke in raschem Gange wohl noch überschreiten kann, während er beim ruhigen Stehen einbrechen würde, denn wenn er jedesmal den Fuß rasch wieder aufhebt, bevor dieser noch lange genug auf der dünnen Eisdecke gelastet hat, um sie zu zerbrechen, dann wird das Eis halten, weil die Wirkungsdauer größer wäre, als in diesem Falle die Last an der einzelnen Stelle wirkt. Wenn ein Stein gegen eine Fensterscheibe geworfen wird, und zwar mit mäßiger Kraft, dann pflegen von der getroffenen Stelle aus Sprünge das Glas nach allen Seiten zu durchsetzen. Der Stein ist mit nur geringer Geschwindigkeit geworfen und angekommen und hat also die getroffene Stelle der Scheibe zwar eingedrückt und bewegt, jedoch immerhin noch langsam genug, so daß sich von hier nach der Umgebung die Kraft des fliegenden Steines übertragen konnte, und daß auch in der Umgebung vermöge der als Wirkungsdauer ausreichenden Bewegungszeit die Sprünge auftraten. Wenn man dagegen denselben Stein sehr stark gegen die Fensterscheibe wirft, oder wenn man eine Flintenkugel gegen die Scheibe abschießt, dann gibt es ein kleines, der Kugelgröße genau entsprechendes und von scharfen Rändern begrenztes Loch, denn es sind in diesem Falle die getroffenen Glasteilchen so rasch fortgeführt worden, daß von ihnen auf die Umgebung eine Einwirkung mangels genügender Wirkungsdauer nicht mehr übergehen konnte.

Von der Bedeutung der Wirkungsdauer überzeugen wir uns durch einige Versuche.

Über die Öffnung eines Glaszylinders lege ich ein Stück steifes Papier und auf dieses eine Münze. Bewege ich das Papier langsam zur Seite, so bleibt die Münze auf ihm liegen; werfe ich dagegen das Papier durch einen gegen seine Kante geführten Schlag rasch herunter, so nimmt es die Münze nicht mit, sondern diese verbleibt zunächst an ihrer Stelle und fällt dann in das Glas hinab; denn das Papier wurde zu rasch fortgezogen im Vergleich zu derjenigen Wirkungsdauer, die zum Übergang der Bewegung auf die Münze nötig gewesen wäre.

An einem festen Gestell hänge ich einen feinen Faden (Kofon)

auf, der an seinem unteren Ende ein Gewicht (20 g) trägt, und befestige einen zweiten Faden gleicher Art an der Unterseite des Gewichtes. Wenn ich nun den Unterfaden durch langsames Abwärtsziehen seines herabhängenden Endes spanne, reißt schließlich der Oberfaden, denn er ist stärker als der Unterfaden belastet, näm-

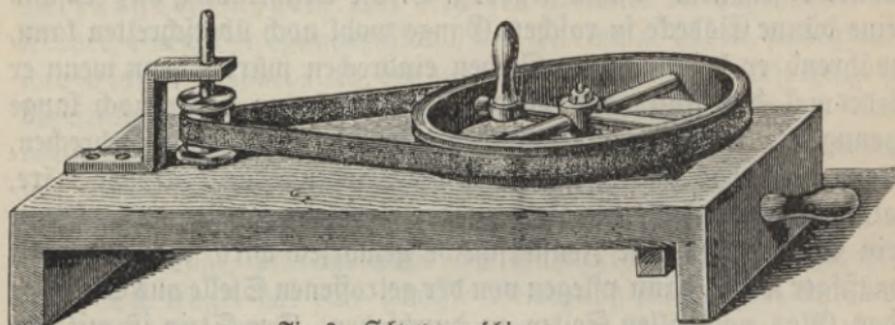


Fig. 2. Schwingmaschine.

lich nicht bloß durch den Zug meiner Hand, sondern außerdem auch noch durch das daranhängende Gewicht. Spanne ich dagegen den Unterfaden durch rasches Abwärtsziehen seines Endes, so reißt er selbst entzwei, weil der kurze Ruck meiner Hand dies herbeiführt, ehe noch durch den Zug das Gewicht in Bewegung gesetzt sein und den Oberfaden dehnen kann.

Eine fernere Wirkung der Trägheit zeigt sich in der Zentrifugalkraft. Wird ein Körper auf gekrümmter Bahn bewegt, z. B. ein Stein an eine Schnur befestigt und um das andere, festgehaltene Schnurende herumgewirbelt, so erteilt die Trägheit ihm das Streben, an jeder einzelnen Stelle seiner Bahn die augenblickliche Bewegung fortzusetzen.

Diese aber hat die Richtung desjenigen kleinen Bogenstückchens, auf welchem der bewegte

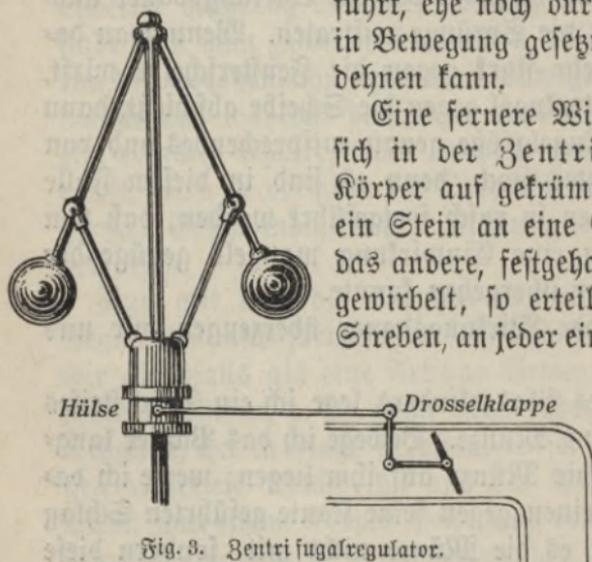


Fig. 3. Zentrifugalregulator.

Körper sich gerade befindet, und seine Fortsetzung ist die nach der äußeren Seite gerichtete Berührungslinie (Tangente) der Bahn. So tritt also infolge der krummlinigen Bewegung und als Äußerung der Trägheit eine nach außen, nämlich von der Mitte der Drehung fortgerichtete Kraft auf, die Zentrifugal- oder Fliehkraft, deren

Größe, wie leicht einzusehen, der Drehungs- und Bewegungsgeschwindigkeit sowie der bewegten Masse entspricht.

Zur Erzeugung und Betrachtung dieser Kraft dient uns eine Vorrichtung (Fig. 2), durch welche wir bewegliche Körper in Drehung versetzen können. Zunächst bringe ich ein schräg stehendes, beiderseits geschlossenes Glasrohr so auf der Drehvorrichtung an, daß sein unteres Ende nahe an der Drehachse steht, das obere von dieser abgewendet ist. Beim Drehen sehen wir eine innen befindliche Korkkugel trotz ihres geringen Gewichts alsbald in den obersten Teil des Rohres gleiten und nach Aufhören des Drehens wieder herabfallen. Ein Paar Pendel (Fig. 3), die beiderseits neben der Drehachse aufgehängt sind, weichen beim Drehen nach außen aus ihrer senkrechten Lage ab, und zwar um so mehr, je rascher die Drehung erfolgt, und zeigen uns die Möglichkeit, wie man mittels einer solchen, zum Zentrifugalregulator ausgebildeten Vorrichtung den Dampfzufluß einer Dampfmaschine regeln und diese in gleichmäßiger Geschwindigkeit halten kann. Nützlich dürfte es auch sein, durch die folgenden Versuche zu zeigen, daß Flüssigkeiten und Gase ebenso wie feste Körper als träge Massen der Zentrifugalkraft unterworfen sind. Ein zylindrisches Glas mit gefärbtem Wasser setze ich in Drehung, und die Flüssigkeit wird nach außen getrieben, steigt am Rande und sinkt in der Mitte des Gefäßes. Eine hohle Glaskugel, in welcher sich Wasser und Quecksilber befinden, zeigt beim Drehen nicht bloß, daß die Flüssigkeiten sich tunlichst weit von der Drehachse entfernen und sich also am „Äquator“ der Kugel sammeln, sondern das Quecksilber erleidet vermöge seiner größeren Schwere eine stärkere Einwirkung und bildet einen äußeren Gürtel, auf dessen Innenseite das Wasser sich sammelt. Endlich bringe ich auf den Drehapparat eine kleine Pfeife in solcher Lage, daß beim Drehen die Luft durch Zentrifugalkraft von dem innen befindlichen Mundstück durch die Röhre der Pfeife getrieben wird, und wir hören sie deutlich tönen.

Übrigens bedarf es eigentlich kaum der künstlichen Versuche zur Veranschaulichung der Zentrifugalkraft, denn sie begegnet uns oft genug in der Wirklichkeit. Wenn ein Pferd im Kreise bewegt wird, neigt es unwillkürlich seinen Körper nach der inneren Seite, um der nach draußen wirkenden Zentrifugalkraft durch die abwärts und bei der Schrägstellung des Körpers also jetzt nach innen gerichtete Schwerkraft entgegenzuwirken. Aus demselben Grunde wird beim Bahnbau in Kurven die äußere Schiene höher gelegt. Der

Radfahrer erhält sein Gleichgewicht unter Ausnutzung der Zentrifugalkraft: wenn er nach rechts zu fallen fürchtet, lenkt er das Rad im Bogen nach derselben rechten Seite und wird durch die nunmehr auftretende und nach links wirkende Zentrifugalkraft ausgerichtet.

Über die Größe der Zentrifugalkraft gibt der folgende Versuch uns eine Auskunft. Ein glatter, runder Stahlstab ist horizontal auf der vorher von uns benutzten Drehvorrichtung angebracht, daraufgesteckt sind zwei verschieden große Metallkugeln so, daß sie auf dem Stab gleiten können und beim Drehen durch Zentrifugalkraft nach den Stabenden, nämlich nach außen, geführt werden. Ich habe sie miteinander durch eine Schnur verbunden, und wenn ich beide Kugeln in gleichen Abstand von der Drehachse bringe, so wird beim Drehen die schwerere Kugel durch ihre überwiegende Wirkung nach außen gleiten und mittels der Schnur die leichtere Kugel nach der Mitte ziehen. Bringe ich aber die Kugeln in solche Lage, daß bei gespannter Schnur die große Kugel nahe an der Achse, die kleine erheblich weiter außen steht, so überwiegt beim Drehen die Zentrifugalkraft der kleineren und zieht die große vollends zur Mitte. Gleichgewicht herrscht dann, wenn sich die Abstände der Kugeln von der Achse zueinander umgekehrt verhalten, wie die Kugelmassen. Wenn wir den Versuch mit verschiedenen Kugelpaaren wiederholen, ergibt sich, daß die Zentrifugalkraft proportional mit der Masse des Körpers und mit seinem Abstand von der Drehachse ist; außerdem ist sie umgekehrt proportional mit dem Quadrate der Umdrehungsdauer.

Eine mit der Zentrifugalkraft nahe zusammenhängende Trägheitserscheinung ist das Streben gedrehter Massen nach Erhaltung der Drehachsenrichtung. Ein Kreisel, der ohne sonstige Bewegung auf seine Spitze gestellt wird, fällt sogleich um; ist er aber in genügend rascher Drehung versetzt, so bleibt er aufrecht, bis die Drehungsgeschwindigkeit nicht mehr ausreicht, um unter Überwindung der Schwerkraft die senkrechte Achsenrichtung zu erhalten. Ich kann sogar auf einen Kreisel, der freilich für diesen Versuch besonders zweckmäßig gestaltet ist, einen zweiten und auf diesen einen dritten setzen, und alle drei behalten ihre aufrechte Stellung so lange, als die Geschwindigkeit ihrer Drehung groß genug ist. Neuerdings hat man versucht, durch große Kreisel die Schwankungen der Schiffe zu verringern, auch die „Einschienebahn“ beruht auf der Verwendung gedrehter Massen zur Erhaltung

eines Gleichgewichts, das sonst nur labil und also nicht innezuhalten wäre. Ein in mehreren Ringen mit beliebig drehbarer Achse angebrachter Kreisel behält beim Drehen seine Achsenrichtung im Raume unverändert bei, auch wenn man den äußeren Ring in irgendwelche veränderte Stellung oder Richtung bringt (Fig. 4).

Ebendahin gehört die Verwendung der gezogenen Läufe an den Geschützen und Gewehren. Die Züge sind bekanntlich vertiefte Rinnen, welche die Innenfläche des Laufes auf dessen ganzer Länge spiralförmig durchziehen; die zwischen ihnen stehengebliebenen gleichfalls spiralförmigen Streifen heißen Felder. Indem das Geschloß durch den Lauf getrieben wird, preßt es seine oberflächliche Bleischicht in die Züge und empfängt durch deren Spiralform eine Drehung, die es nachher beibehält. Es dreht sich also während des Fluges um eine Achse, welche mit der gerade eingenommenen Stelle der Flugbahn zusammenfällt, und sucht die Richtung dieser Drehachse entgegen der Schwerkraftswirkung zu erhalten. Ohne Drehung würde die Geschloßbahn stärker gegen den Boden gekrümmt sein, während sie durch die geschilderte Trägheitswirkung weniger stark von der Geraden abweicht. Die Bedeutung der Züge liegt also darin, daß sie im Vergleich zum glatten Lauf die Krümmung der Geschloßbahn verringern, sowie die Schußweite und die Treffsicherheit (wegen der kleineren Bahnkrümmung) erhöhen.

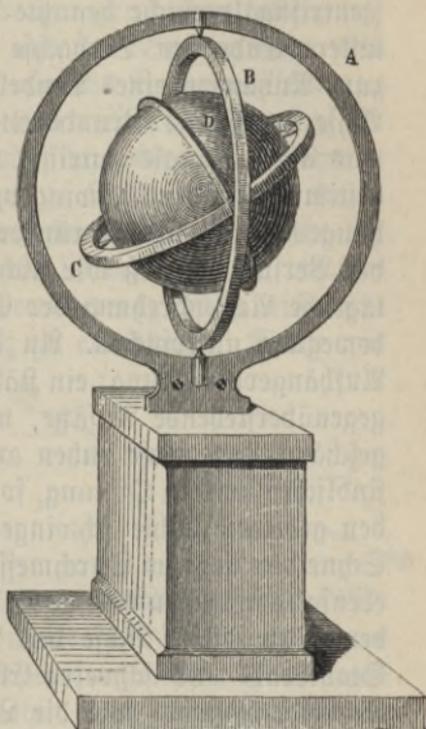


Fig. 4. Kreisel.

Eine andere Äußerung des Strebens nach Erhaltung der Drehachsenrichtung zeigt uns der Foucault'sche Pendelversuch. Ein Pendel ist ja ein Körper, der sich in beständig wechselnder Richtung um eine Achse hin und her dreht. Bezeichnen wir die Ebene, in welcher die Bewegungen des Pendelfadens verlaufen, als Schwingungsebene und legen zu ihr senkrecht durch den Aufhängepunkt des Pendels eine gerade Linie, so ist dies die Drehachse, um welche das Pendel seine Bewegungen ausführt. Nach dem Vorstehenden

muß erwartet werden, daß ein Pendel die Richtung dieser Achse und also auch die Richtung der Schwingungsebene beizubehalten sucht, wenn die Aufhängevorrichtung gedreht wird. Im kleinen können wir uns davon überzeugen, indem wir die vorher für die Zentrifugalversuche benutzte Drehvorrichtung so aufstellen, daß das untere Ende der Drehachse über die Tischplatte hinausragt und zum Anhängen eines Pendels dienen kann. Dazu muß freilich die Achse durch das Grundbrett des Apparates hindurchgeführt sein, was aber oftmals zutrifft. Lassen wir nun das Pendel in einer bestimmten Ebene schwingen, so bleibt diese beim Drehen der Aufhängevorrichtung unverändert. In größerer Ausführung verläuft der Versuch so, daß wir nicht eine künstliche Drehung sondern die tägliche Achsendrehung der Erde auf ihre Beziehung zur Pendelbewegung untersuchen. An der Decke des Saales befestigt ist die Aufhängevorrichtung: ein stählerner Ring hat außen zwei einander gegenüberstehende Ansätze, welche nach unten schneidensförmig zugespitzt sind; diese ruhen auf dem Rande einer in der Decke befindlichen runden Öffnung, so daß der Ring um die von den Schneiden gebildete Achse schwingen kann. Senkrecht zur Richtung der Schneiden liegt im Durchmesser des Ringes eine zweite Achse, deren ebenfalls schneidensförmige Enden auf dem Ring ruhen, während von der Mitte dieser Achse das Pendel, bestehend aus einem dünnen Stahldraht und schwerer Eisenkugel, herabhängt. Die sämtlichen Schneiden sowohl wie die Lager, auf denen sie ruhen, sind aus hartem Stahl gefertigt und behufs allseitig gleichmäßiger Bewegung so geformt, daß die beiden Drehachsen in einer Ebene (gleich hoch) liegen. Die Pendelkugel trägt unten einen mit Tinte benetzten Pinsel, und darunter ist am Boden oder auf einem Tisch ein Papierblatt so angebracht, daß man es durch geringes Heben an den Pinsel bringen und durch diesen die jeweilige Richtung der Schwingungsebene aufzeichnen lassen kann. Wenn wir das Pendel in Schwingung versetzen und es im Anfang sowie im Verlauf seiner Bewegung die Richtung der Schwingungsebene aufzeichnen lassen, findet sich, daß in der That dies Pendel die Richtung seiner Drehachse und seiner Schwingungsebene im Raum beibehält und die Erddrehung nicht mitmacht. Da wir diese letztere nicht empfinden, bemerken wir die Besonderheit des Foucault'schen Pendels daran, daß es scheinbar seinerseits eine Drehung gegen Aufhängevorrichtung und Zimmer um eine senkrechte Achse ausführt, und zwar im gleichen Sinne wie die Sonne, deren Bewegung ja auch nur schein-

bar und ebenfalls auf die Erddrehung zurückzuführen ist. Die Drehung der Pendelebene beträgt für Norddeutschland etwa 12° in der Stunde.

Wir wenden uns nun denjenigen Erscheinungen zu, die den eigentlichen Inhalt der folgenden Betrachtungen bilden sollen, den Erscheinungen des Gleichgewichts und der Bewegung. Als Ursache einer jeden Bewegung haben wir das Vorhandensein von Kräften anzusehen und zwar in den allermeisten Fällen nicht sowohl einer einzigen Kraft, sondern gewöhnlich sind es deren mehrere, deren gleichzeitige Wirkung wir erkennen. Daß eine Kraft durch ihre Richtung und ihre Größe bezeichnet wird, und die Größe der Kraft wiederum durch die Masse, welche sie bewegt, und die Geschwindigkeit, welche sie dieser zuzuführen vermag, ist ja leicht verständlich und aus unserer Anschauung zu entnehmen. Wenn wir nun also eine jede Kraft durch ihre Richtung und Größe beschreiben können, so wird es auch nicht schwer sein, die gemeinsame Wirkung mehrerer Kräfte zu finden. Es führt uns das zu dem Gesetz von dem Parallelogramm der Kräfte, nämlich dem

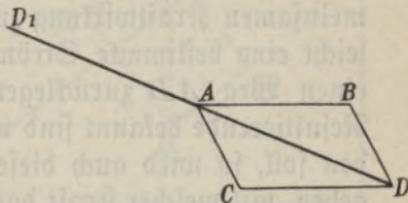


Fig. 5. Parallelogramm der Kräfte.

einfachen, aus unserer Erfahrung gewonnenen und durch diese immer wieder bestätigten Sage: Wenn mehrere Kräfte gleichzeitig auf einen Körper wirken, bringen sie ihn ebendahin, wie es geschähe, wenn sie nacheinander gewirkt hätten. Wenn also beispielsweise in Fig. 5 ein in A befindlicher Körper gleichzeitig den beiden Kräften ausgesetzt ist, welche nach Richtung und Größe durch die beiden Linien AB und AC bezeichnet sind, dann führt uns jener Satz zu der Erkenntnis: Zuerst wirkt die eine Kraft AB und bringt den Körper nach B , darnach übt die zweite Kraft, in B ansetzend, auf den Körper ihre Wirkung aus und führt ihn von B nach einem Punkt D derartig, daß BD gleiche Länge und Richtung mit AC hat. Dann ist also der bewegte Körper durch die nacheinander wirkenden Kräfte nach D gelangt und muß, falls sie gleichzeitig wirken, ebendahin kommen. Die Bewegung von A nach D , auf der Linie AD , ist das Ergebnis der gleichzeitigen Wirkung beider Kräfte. Man pflegt die Einzelkräfte auch als Seitenkräfte oder Komponenten zu bezeichnen, und die aus ihnen entstehende gemeinsame Wirkung als Mittelkraft oder Resultierende. Ebenso gut, wie wir hier die beiden Komponenten als gegeben ansahen

und aus ihnen dann die Resultierende herleiteten, kann auch sonst jede der drei Kräfte gefunden werden, wenn die beiden anderen gegeben sind; vielleicht eine Seitenkraft, wenn die andere und die Resultierende bekannt sind. Oder es können auch von den verschiedenen Kräften einige Richtungen und Größen gegeben, die anderen gesucht sein. Immer aber muß, wenn die Bewegung dargestellt werden soll, so viel bekannt sein, daß es möglich ist, das von den Komponenten gebildete Parallelogramm $ABCD$ und seine Diagonale, die Resultierende AD , zu finden.

Ein oft angeführter Fall vom Parallelogramm der Kräfte ist die Bewegung eines Schiffes unter gleichzeitiger Einwirkung von Wind und Strömung. Wenn AB in Fig. 5 die Windkraft und AC die Kraft des strömenden Wassers bedeutet, so ist AD derjenige Weg, der unter Einfluß beider oder als Ausdruck ihrer gemeinsamen Kraftwirkung zustande kommt. Wenn andererseits vielleicht eine bestimmte Strömung AC vorhanden ist und das Schiff einen Weg AD zurücklegen soll, also eine Komponente und die Resultierende bekannt sind und die andere Komponente gesucht werden soll, so wird auch diese leicht zu finden sein, z. B. um anzugeben, mit welcher Kraft das Schiff durch Ruder oder durch Dampfkraft bewegt werden muß, um unter Einfluß der Strömung und dieser künstlichen Fortbewegung einen vorgeschriebenen Weg zurückzulegen.

Durch Zusammensetzung von Kräften entsteht nicht immer bloß eine wirkliche Bewegung, eine Ortsveränderung, es kann auch Bewegungslosigkeit zustande kommen, nämlich dann, wenn die beiden Komponenten in entgegengesetzter Richtung und mit gleicher Stärke wirken, so daß sie sich gegenseitig vernichten. Das ganze Parallelogramm der Kräfte fällt dann in eine einzige Linie, Punkt D liegt mit Punkt A zusammen, und die Diagonale hat die Länge Null, es findet also gar keine Bewegung statt. Das Gleiche gilt, wenn wir bei Fig. 5 die Resultierende AD um ihre eigene Länge über A hinaus nach D_1 verlängern und uns außer der Kraft AD eine solche AD_1 denken, die mit AD gleich groß und ihr entgegengesetzt ist; dann würde diese Kraft der Kraft AD das Gleichgewicht halten. Da AD aber in Rücksicht auf die erzeugte Bewegung gleichwertig mit AB und AC zusammen ist, so würde AD_1 auch den beiden Kräften AB und AC zusammen das Gleichgewicht halten, und wir können sagen: wenn wir drei Kräfte haben, die auf den Punkt A wirken und die nach Größe und Richtung durch AB ,

AC , AD_1 dargestellt sind, so bewirken diese alle zusammen Bewegungslosigkeit, sie stehen miteinander im Gleichgewicht.

Ich will nun durch ein paar Versuche diese Sätze anschaulicher gestalten und zugleich auch einige ihrer häufigsten Anwendungen vorführen. Zunächst sei unsere Aufmerksamkeit auf die schiefe Ebene gelenkt. Es sei auf einer schrägstehenden ebenen Fläche AB (Fig. 6) im Punkte S eine gewisse Last angebracht. Wäre sie sich selbst und der Schwere überlassen und nicht in ihrer Bewegung durch die Fläche der schiefen Ebene beeinflusst, dann würde sie sich einfach von S nach unten bewegen.

Wir wollen die Schwerkraft, die auf sie wirkt, nach Größe und Richtung durch eine senkrecht abwärts gerichtete Linie SD darstellen, und bedenken nun, daß, weil die schiefe Ebene da ist, die Last nicht der Schwere folgen kann; sie kann sich lediglich in derjenigen Richtung bewegen, die durch die schiefe Ebene angegeben ist, und sie kann sich garnicht in der Richtung bewegen, die auf der schiefen Ebene senkrecht

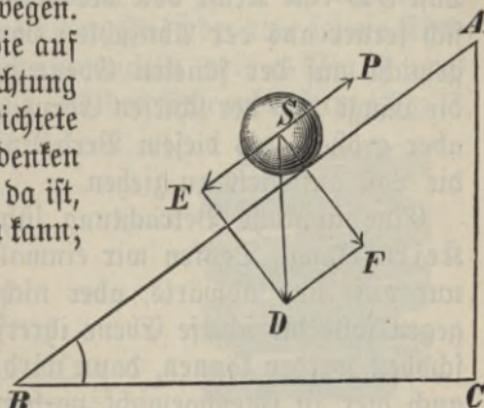


Fig. 6. Schiefe Ebene.

steht. Das können wir auch so ausdrücken: Die Schwerkraft SD kann auf die Last nur in der Richtung der schiefen Ebene wirken. Wenn wir die Schwerkraft als eine Resultierende ansehen und in zwei Komponenten zerlegen, dann ist es einfach, diesen beiden Komponenten diejenigen Richtungen zu geben, in welchen sich die Last gerade fortbewegen kann (das ist die Richtung der schiefen Ebene), und in welcher sich die Last garnicht bewegen kann (das ist senkrecht zur schiefen Ebene). Ich ziehe von S aus eine Linie in der Richtung der schiefen Ebene, eine zweite zu ihr senkrecht und stehe vor der Aufgabe, das Parallelogramm der Kräfte zu konstruieren, wenn mir eine Diagonale SD sowie die Richtung jeder der Seiten gegeben ist. Es ist nicht schwer, dies zu vervollständigen; das Parallelogramm wird diesmal ein Rechteck, und indem wir von D zu den beiden Seiten Parallelen ziehen, gewinnen wir die eine Komponente SE in Richtung der schiefen Ebene, die andere SF senkrecht dazu, und können sagen: zerlegen wir die Schwerkraft SD , die wir als eine Resultierende betrachten, in zwei Seitenkräfte SE und SF , so stellt uns SE diejenige Kraft dar, mit welcher durch

die Schwerkraft auf der schiefen Ebene und in deren Richtung die Last bewegt wird, während die andere Seitenkraft SE nicht zu wirken vermag. Und ebenso groß wie SE müßte in entgegengesetzter Richtung an der schiefen Ebene aufwärts nach P wirkend diejenige Kraft sein, welche der Kraft SE das Gleichgewicht zu halten erforderlich und ausreichend wäre. Wenn wir etwa durch eine Schnur, die von S aufwärts über eine Rolle geführt ist und ein Gewicht trägt, diese Kraft darstellen, und die Schwere, welche nach unten hin in S wirkt, als Last bezeichnen, so finden wir, daß der Last SD eine Kraft von der Größe SE entspricht, und es ergibt sich ferner aus der Ähnlichkeit von Dreiecken, daß sich bei Gleichgewicht auf der schiefen Ebene die Last zur Kraft verhält, wie die Länge AB der schiefen Ebene zu ihrer Höhe AC . Ist die Kraft aber größer, als diesem Verhältnis entspricht, so vermag sie also die Last aufwärts zu ziehen.

Eine ähnliche Betrachtung führt uns zu der Erkenntnis der Keilwirkung. Denken wir einmal, die in S befindliche Last könne nur auf- und abwärts, aber nicht seitwärts bewegt werden, dagegen solle die schiefe Ebene ihrerseits nach rechts oder links verschoben werden können, dann wird die schiefe Ebene zum Keil, und auch hier ist Gleichgewicht vorhanden, wenn Kraft und Last sich zueinander verhalten wie Höhe und Länge des Keils, wobei Last dieselbe Bedeutung wie vorher hat, nämlich das zu hebende Gewicht darstellt, und als Kraft diejenige zu denken ist, mit welcher der seitwärts geschobene Keil gegen den lastenden Körper drückt. Wird er mit der schmalen Seite voran bewegt, so hebt er die Last, und wir haben auch hier wieder die Möglichkeit, daß die Last größer ist als die Kraft, daß wir also an Kraft sparen, wenn wir eine größere Last heben wollen.

Freilich kommt nun auch noch in Betracht, daß die Wege der beiden verschieden sind, daß nämlich bei der schiefen Ebene derjenige Weg, um welchen ich die Last auf der schrägen Fläche zu verschieben habe, größer ist als diejenige Höhe, um welche sie dabei hinaufsteigt, so daß also, wenn ich mit kleinerer Kraft eine größere Last emporheben kann, der Weg ein entsprechend längerer ist, d. h. was wir an Kraft gewinnen, müssen wir an Weg verlieren.

In Anwendung dieser Tatsachen benutzt man schräge Rampen zum Emporführen schwerer Lasten und ermäßigt die Steilheit von Gebirgsstraßen, indem man sie, freilich in vermehrter Länge aber mit verringerter Steigung, um den Berg herumführt.

Das Modell der schiefen Ebene zeigt uns die geschilderte Beziehung zwischen Kraft und Last. Je steiler ich den Apparat stelle, je größer also die Höhe bei gleichbleibender Länge wird, um so größer muß auch die Kraft sein, welche eine bestimmte Last im Gleichgewicht hält.

Denken wir ferner, ein Keil sei nicht gerade geformt, sondern biegsam und um eine Achse herumgewickelt, so kommen wir zum Begriff der Schraube. Das können wir uns z. B. auf diese Art vorstellen, indem wir ein dreieckiges Blatt Papier schneiden, uns dessen Dicke sehr viel stärker vorstellen, als sie in Wirklichkeit ist, und dann dieses Dreieck, welches einen Keil oder eine schiefe Ebene darstellen soll, um einen Stab herumwickeln, wie es Fig. 7 zeigt; wir gewinnen damit eine Gestalt, die der Schraubenform (Fig. 8)

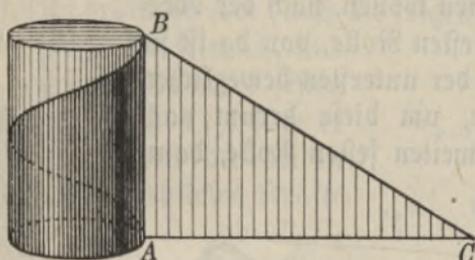


Fig. 7.

Schraube.

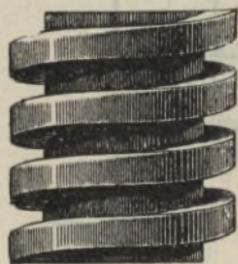


Fig. 8.

völlig entspricht. Ein Verschieben des Keils mit seinem schmalen Ende voran kommt zustande, wenn wir in der entsprechenden Richtung den Stab mit dem darum gewickelten Keil drehen. Und so verstehen wir auch, daß, was für die schiefe Ebene und den Keil das Verhältnis von Länge und Höhe ist, bei der Schraube dem Verhältnis von Umfang und Höhe des einzelnen Schraubenganges entspricht.

Haben wir hier, zunächst in Anlehnung an das Parallelogramm der Kräfte, eine Vorrichtung kennen gelernt, die es uns ermöglicht, Kraft zu sparen, freilich mit Aufopferung von Weg oder Zeit, so wollen wir gleich noch einige ähnliche Vorrichtungen hinzufügen.

Es sei zuerst die Rolle erwähnt. Das ist ein drehbarer Körper, um den wir eine Schnur mit der Wirkung herumlegen, daß wir die Kraft, welche an dem einen Ende der Schnur zieht und sie spannt, durch entsprechende Stellung der Rolle in jede beliebige andere Richtung leiten können (Fig. 9 folgende S.). Hierbei ist nun freilich keine Änderung in der Kraftgröße vorhanden, eine solche aber, und zwar eine vorteilhafte Änderung, wobei man mit ge-

ringer Kraft größere Lasten heben kann, gibt es, sobald wir mehrere Rollen zum Flaschenzug vereinigen. In Fig. 10 ist ein solcher dargestellt; er besteht aus zwei Gruppen von in diesem Fall je 3 Rollen, jede Gruppe ist für sich in einem Rahmen befestigt und

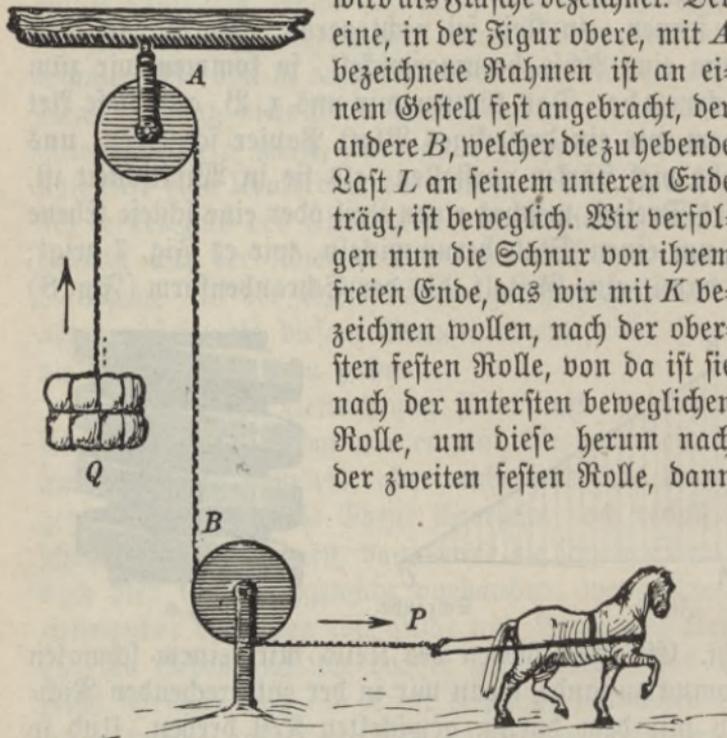


Fig. 9. Rolle.

wird als Flasche bezeichnet. Der eine, in der Figur obere, mit A bezeichnete Rahmen ist an einem Gestell fest angebracht, der andere B, welcher die zu hebende Last L an seinem unteren Ende trägt, ist beweglich. Wir verfolgen nun die Schnur von ihrem freien Ende, das wir mit K bezeichnen wollen, nach der obersten festen Rolle, von da ist sie nach der untersten beweglichen Rolle, um diese herum nach der zweiten festen Rolle, dann

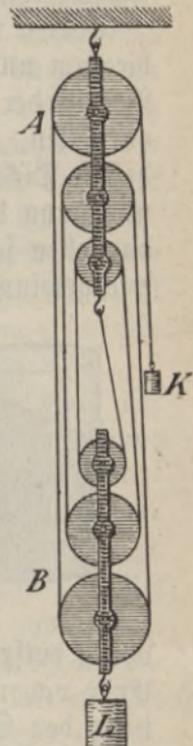


Fig. 10. Flaschenzug.

um die zweite bewegliche Rolle, von da wieder um die dritte feste Rolle, um die dritte bewegliche Rolle, und schließlich herauf nach dem festen Rahmen geführt und dort befestigt. Wir haben insgesamt 7 Stücke Schnur, die zwischen den verschiedenen Rollen sich bewegen können, die aber sämtlich, weil die Rollen drehbar sind, miteinander derartig im Gleichgewicht stehen, daß auf der ganzen Länge der Schnur überall die gleiche Spannung herrscht. Wenn wir nun annehmen, daß in K eine Kraft wirke, die gerade ausreicht, um die bewegliche Rolle mit ihrer Belastung L im Gleichgewicht zu halten, und daß also diese Kraft das eine Schnurende von K bis zur obersten festen Rolle ebenso stark spannt, wie die 6 übrigen zwischen den Flaschen A und B liegenden Schnurende durch die Einwirkung der Last gespannt sind, so muß die Last L an 6 Stellen gleichzeitig diejenige Spannung hervorrufen, die die Kraft K nur an einer Stelle erzeugt

und es ist leicht daraus ersichtlich, daß das Verhältnis von K zu L durch die Zahl der Schnüre ausgedrückt wird, in unserem Falle also gleich $1 : 6$ ist. Wird auf diese Weise mit kleinerer Kraft eine größere Last gehoben, so ist doch ebenso leicht ersichtlich, daß auch hier wiederum an Weg oder Zeit verloren, was an Kraft gewonnen wird, denn um die Last einen Meter zu heben, müssen alle 6 Schnüre, an denen sie hängt, um diese Länge kürzer gemacht werden, und muß also um so viel, als dies insgesamt beträgt, in diesem Falle 6 Meter, die Kraft K an der einen Schnur wirken.

Ähnliche Erwägungen lassen sich ferner auch an den Begriff des Hebels knüpfen. Zu diesem und der Erkenntnis seiner Bedeutung gelangen wir durch die folgende Betrachtung. Es seien A_1 und A_2 zwei Punkte eines festen Körpers (Fig. 11), und es seien in ihnen die beiden unter sich parallelen Kräfte A_1B_1 gleich P und A_2B_2 gleich Q wirksam; in der Ver-

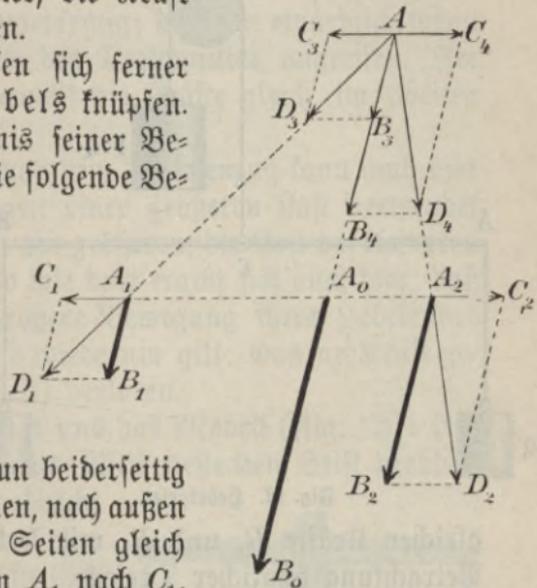


Fig. 11. Hebelgesetz.

längerung von A_1A_2 wird nun beiderseitig je eine weitere Kraft angenommen, nach außen hin gerichtet und auf beiden Seiten gleich groß; wir nennen sie R_1 , von A_1 nach C_1 , und R_2 , von A_2 nach C_2 gerichtet. Wenn wir zu den vorhandenen P und Q noch diese beiden gleichen und entgegengesetzten Kräfte R_1 und R_2 hinzufügen, wird offenbar nichts geändert. Jetzt setzen wir aber P mit R_1 zusammen und erhalten dafür als Resultierende eine Kraft $U = A_1D_1$, und auf der anderen Seite aus den beiden Komponenten Q und R_2 die Resultierende $V = A_2D_2$. Diese beiden Diagonalen verlängern wir rückwärts über A_1 und A_2 , bis sie sich in A schneiden, und verlegen die beiden Kräfte U und V jede in ihrer eigenen Richtung bis nach A , so daß die beiden Kräfte $AD_3 = U$ und $AD_4 = V$ zusammen dieselbe Wirkung haben, wie die beiden Anfangskräfte P und Q . Dann zeichnen wir bei A nochmals die beiden Kräfte R_1 und R_2 in derselben Richtung wie früher und bringen sie von den Kräften U und V derartig in Abzug, daß diese als Resultierende, die Kräfte R als Komponenten betrachtet werden, und die beiden

Parallelogramme $AC_3D_3B_3$ und $AC_4D_4B_4$ entstehen. Durch Weglassen der beiden gleichen und entgegengesetzten Kräfte R_1 und R_2 wird wieder nichts geändert, es bleiben als gleichwirkend mit den ursprünglichen Kräften P und Q , die in A_1 und A_2 angreifen, jetzt die beiden in A angreifenden und gleichgerichteten Kräfte $AB_3 = P$ und $AB_4 = Q$, und diese endlich ersetzen wir, indem

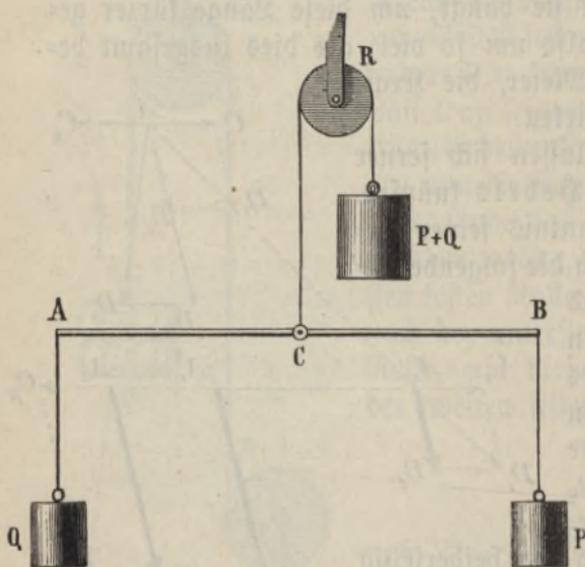


Fig. 12. Hebelgesetz.

gleichen Kräfte R_1 und R_2 mit R bezeichnet, dann folgt aus der Betrachtung ähnlicher Dreiecke

$$\frac{P}{R} = \frac{AA_0}{l}$$

und

$$\frac{Q}{R} = \frac{AA_0}{r},$$

woraus sich endlich ergibt $\frac{P}{Q} = \frac{r}{l}$, oder $Pl = Qr$.

Diese Betrachtung liefert uns ein zweifaches Ergebnis. Erstens lehrt sie die Zusammensetzung paralleler Kräfte zu einer Resultierenden, was mit Hilfe des Parallelogramms nicht möglich wäre. Die beiden unter sich parallelen Kräfte P und Q können durch die ihnen parallele Resultierende A_0B_0 ersetzt werden, deren Abstände l und r von den Komponenten sich umgekehrt wie diese verhalten. Und zweitens stellt die letzte Gleichung das Hebelgesetz dar, welches in Worten lautet: Wenn A_1A_2 ein im Punkt A_0 festgehaltener

wir AB_4 bis zum Schnitt A_0 mit A_1A_2 verlängern, durch die in A_0 angreifende und mit P und Q parallele Kraft $A_0B_0 = P + Q$. Wenn diese Kraft A_0B_0 gleichwertig und gleich wirksam mit den Kräften P und Q ist, können diese durch eine mit A_0B_0 gleiche und entgegengesetzt (in Fig. 12 aufwärts) gerichtete Kraft $P + Q$ im Gleichgewicht gehalten werden. Endlich seien noch die Längen A_0A_1 und A_0A_2 mit l und r so

und um diesen Punkt drehbarer Stab ist, an dessen Enden parallele Kräfte wirken, so ist er im Gleichgewicht, wenn diese Kräfte sich umgekehrt zueinander verhalten wie die Hebelarme, d. h. wie die Abstände ihrer Angriffspunkte vom Drehpunkt. Man kann auch sagen, es fände Gleichgewicht statt, wenn an beiden Seiten das Produkt aus Hebelarm und Kraft (das statische Moment) gleich groß ist. Ein solcher Stab, der um einen Punkt drehbar ist und an den Enden von Kräften angegriffen wird, heißt Hebel. Liegt der Drehpunkt, wie in Fig. 11 und 12, zwischen den Angriffspunkten der Kräfte, so heißt der Hebel zweiarinig; dagegen einarinig, wenn beide Kräfte auf derselben Seite des Drehpunktes angreifen. Im ersteren Falle sind bei Gleichgewicht die Kräfte gleich, im zweiten entgegengesetzt gerichtet.

Wie bei der schiefen Ebene und dem Flaschenzug kann auch hier eine kleinere Kraft zum Bewegen einer größeren Last verwendet werden, wenn nämlich die Kraft am größeren, die Last am kleineren Hebelarme angreift; und ebenso wie dort ergibt sich auch hier, daß die kleinere Kraft dann eine größere Bewegung ihres Hebelendes herbeiführen muß, und daß also wiederum gilt: was an Kraft gewonnen, geht an Weg (oder Zeit) verloren.

Die Wirkung des Hebels zeigt uns das Modell (Fig. 13): Ein Holzstab ist um einen durch seine Mitte gesteckten Stift drehbar auf einem passenden Gestell angebracht und trägt in gleichen Abständen eine Anzahl kleiner Knöpfe, an welche Gewichte gehängt werden können. Durch verschiedene Belastungen überzeugen wir uns leicht von den Gleichgewichtsverhältnissen des zweiarinigen Hebels. Soll er auch einarinig erprobt werden, so benutzen wir eine Rolle, welche über der einen Hälfte des Hebels auf dem Gestell verschiebbar angebracht werden kann, und legen über diese Rolle eine an beiden Enden mit Haken versehene Schnur; der eine Haken kann an den Knöpfen des Hebels eine aufwärts gerichtete Kraft ausüben, wenn das andere Schnurende durch ein Gewicht belastet ist, und ein zweites Gewicht an demselben Hebelarme dient dann zum Herstellen des Gleichgewichts.

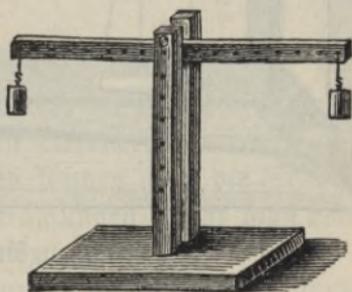


Fig. 13. Hebelmodell.

Anwendungen des Hebels können wir täglich sehen: als Hebe- oder Brechstange, bei der Zange, der Schere, dem Nuß-

knacker, bei Zahnrädern, Kurbeln, bei den Wirbeln der Streichinstrumente usw.

Namentlich ist die Anwendung des Hebelgesetzes bei der Wage hervorzuheben. Diese stellt in ihrer einfachsten Gestalt einen zweiarmigen Hebel dar, an dessen beiden gleich langen Armen der zu wägende Körper und die Gewichtsstücke wirken. Sind beide gleich

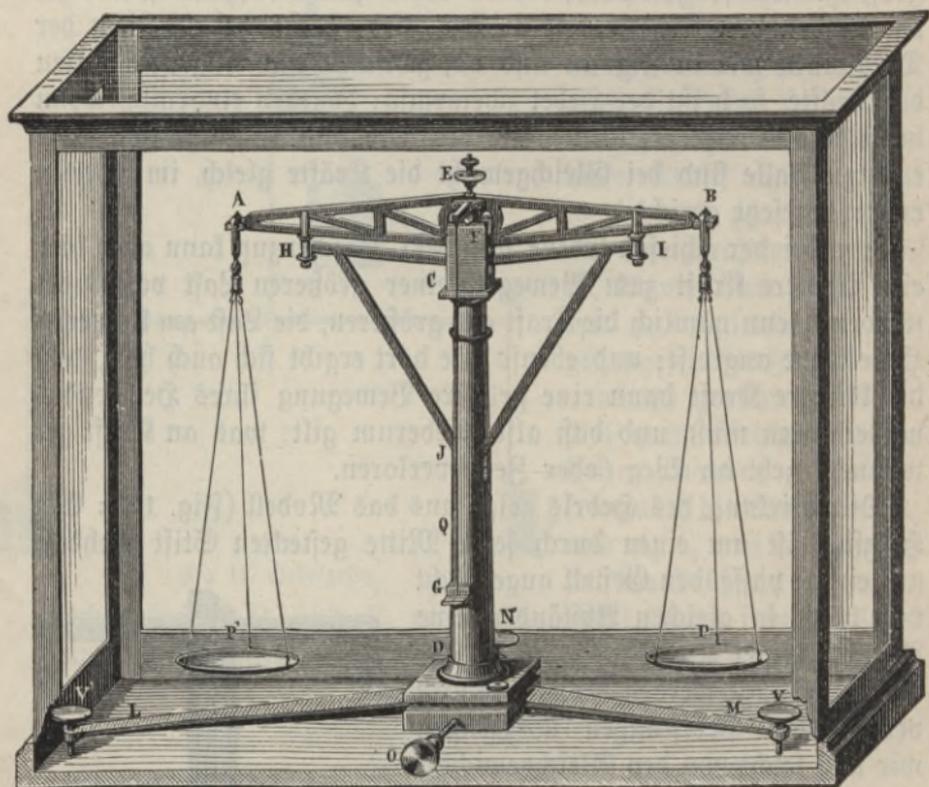


Fig. 14. Feine Wage.

schwer, so wirken gleiche Kräfte an gleichen Hebelarmen, und es findet Gleichgewicht statt. Der Hebel heißt hierbei Wagebalken, und um ihn recht leicht beweglich zu machen, steckt man bei empfindlichen Wagen durch seine Mitte ein hartes Stahlstäbchen mit einer abwärts gerichteten, sehr scharfen Kante, der Schneide, deren beide herausragende Enden auf Achatplatten ruhen, so daß der Balken sich um diese Schneide drehen kann. Auch die an den Enden des Balkens befindlichen Schalen sind mit ihrer Aufhängevorrichtung meist auf Schneiden gelagert, damit ihr senkrechtcs Herabhängen gesichert ist. In Fig. 14 ist eine solche „chemische Wage“ darge-

stellt, außerdem der Wagebalken mit seinen Teilen in Fig. 15; *F* ist die Mittelschneide, *A* und *B* die Seitenschneiden, ein von der Mitte des Wagebalkens herabreichender Zeiger *Q* bewegt sich mit seinem unteren Ende vor der Teilung *G*, so daß man hier die Schwingungen genau verfolgen kann. Durch Drehen des Knopfes *O* kann mittels einer in der Säule befindlichen Zahnstange der Rahmen *HIJ* aufwärts geschoben und dadurch der Wagebalken gehoben werden, so daß die Mittelschneide nicht ausliegt, sondern frei schwebt.

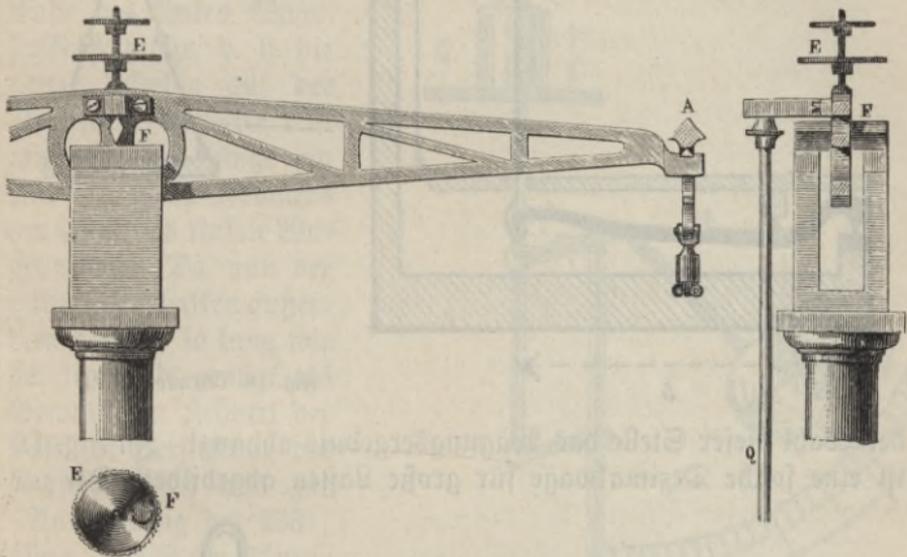


Fig. 15. Wagebalken.

Dies geschieht zur Schonung der Schneide für die Dauer des Nichtgebrauchs, und man nennt diese Teile die Arretierungsvorrichtung der Wage. Durch ähnliche Vorrichtungen können auch die Seitenschneiden entlastet werden. Gegen Luftströmungen pflegt man empfindliche Wagen durch einen Glaskasten zu schützen.

Um möglichst genaue und sichere Wägungen zu ermöglichen, muß die Wage gleicharmig sein. Man prüft sie daraufhin, indem man eine Wägung ausführt und dann die Belastung der beiden Schalen vertauscht; wenn hierauf eine erneute Wägung das gleiche ergibt, wie die vorige, ist Gleicharmigkeit vorhanden, anderenfalls kann Dasein und Größe eines Fehlers aus dem Unterschied der beiden Wägungen berechnet werden.

Für besondere Zwecke dienen ungleicharmige Wagen; so ist bei der Brückenwage der Hebelarm für den zu wägenden Körper kleiner, damit schwere Lasten gewogen werden können, und außer-

dem eine Vorrichtung vorhanden, um die Last an beliebiger Stelle der als „Brücke“ dienenden Plattform anzubringen, ohne daß von

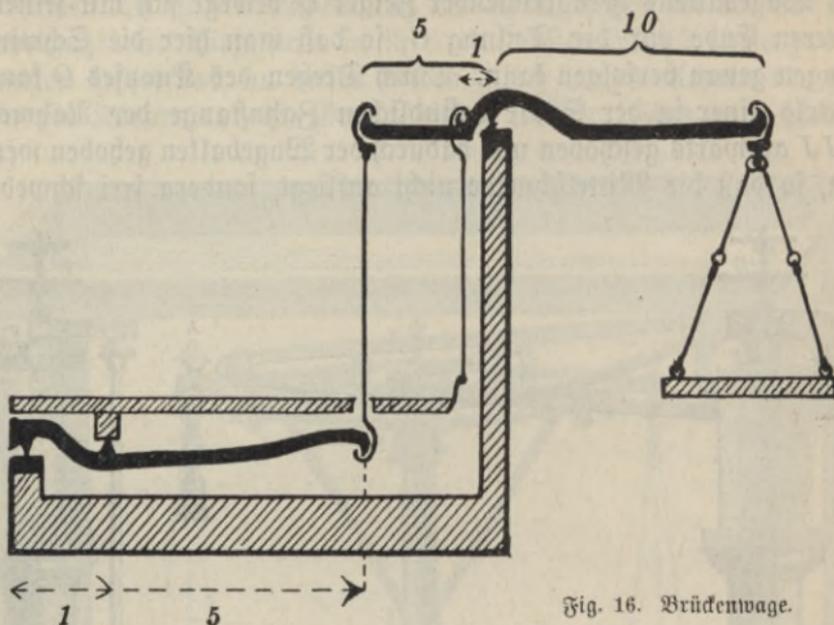


Fig. 16. Brückenwage.

der Wahl dieser Stelle das Wägungsergebnis abhängt. In Fig. 16 ist eine solche Dezimalwage für große Lasten abgebildet. Die zur

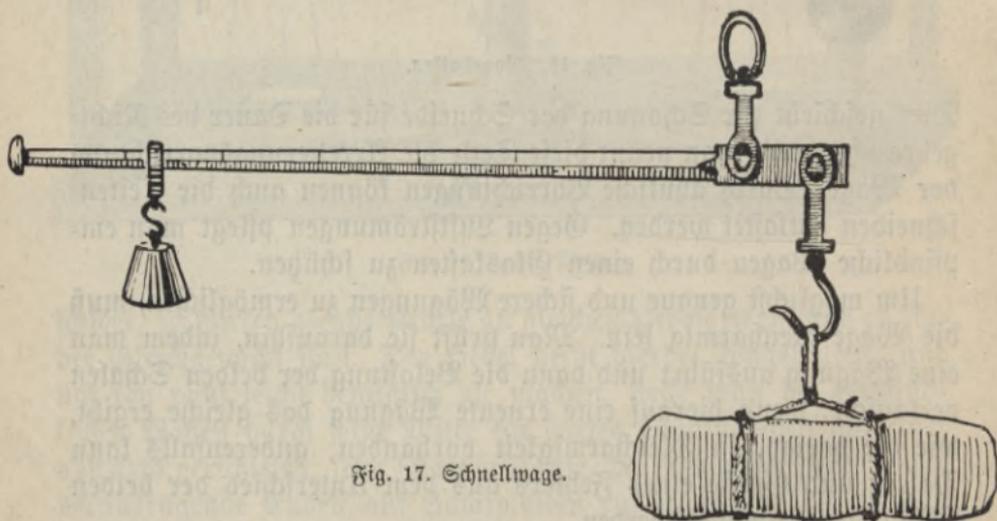


Fig. 17. Schnellwage.

Aufnahme der zu wägenden Last bestimmte Plattform hängt mit ihrem rechten Ende von einer Stelle des linken Wagebalkens herab, die um $\frac{1}{5}$ seiner Länge vom Drehpunkt entfernt ist, und wirkt

also ebenso, als wenn $\frac{1}{5}$ dieser Belastung am linken Ende des Wagebalkens hinge. Ferner wirkt auf das linke Ende des Wagebalkens das rechte Ende eines unter der Plattform befindlichen (schwarz gezeichneten) Hebels, während die Plattform selbst links auf einen Punkt dieses Hebels wirkt, der um $\frac{1}{5}$ seiner Länge von dessen Drehpunkt (links) entfernt ist und also die gleiche Wirkung ausübt, als wenn $\frac{1}{5}$ dieser Belastung am rechten Ende des unteren Hebels und am linken

Ende des linken Wagebalkens hinge, d. h. die ganze beliebig auf der Plattform verteilte Last wirkt so, als hinge ein Fünftel ihres Gewichts am Ende des linken Wagebalkens. Da nun der rechte Wagebalken außerdem doppelt so lang wie der linke ist, genügt als Gewicht ein Zehntel der Last zur Herstellung des Gleichgewichts und zur

Ausführung der Wägung. Die Schnellwaage (Fig. 17) vermeidet das Verwenden verschiedener Gewichtsstücke und gestattet ein Wägen mit-

tels Verschiebens eines unveränderlichen Gewichts an dem Wagebalken, so daß die Stellung dieses Laufgewichtes die gesuchte Schwere anzeigt. Auch die Mühe des Verschiebens ist vermieden bei der Zeiger- oder Briefwage (Fig. 18), welche mittels eines aus mehreren Stäben gebildeten Hebelwerkes selbsttätig nach Auflegen des zu wägenden Gegenstandes ein Laufgewicht in die Gleichgewichtslage bringt und aus dessen Stellung das gesuchte Gewicht ablesen läßt.

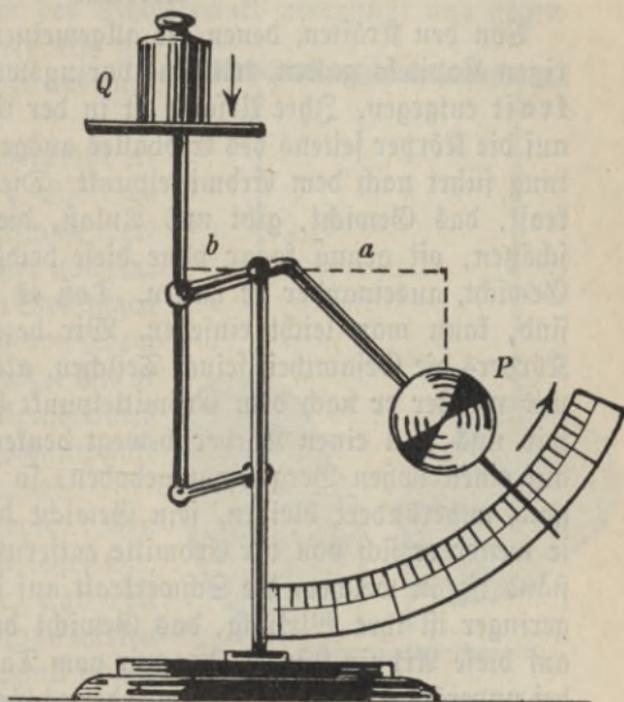


Fig. 18. Zeigerwage.

Zweites Kapitel.

Die Schwerkraft.

Masse und Gewicht. Schwerkraft. Schwerpunkt. Gleichgewicht. Fall im lusterfüllten und im leeren Raum. Fall auf schiefer Ebene. Pendel. Uhr. Örtliche Verschiedenheiten der Schwerkraftsbeschleunigung. Mittlere Erddichte.

Von den Kräften, denen die allgemeinen Betrachtungen des vorigen Kapitels galten, tritt uns vorzugsweise häufig die Schwerkraft entgegen. Ihre Ursache ist in der Anziehung zu suchen, die auf die Körper seitens des Erdballes ausgeübt wird, und ihre Richtung führt nach dem Erdmittelpunkt. Die Äußerung der Schwerkraft, das Gewicht, gibt uns Anlaß, die Masse der Körper zu schätzen, oft genug sogar ohne diese beiden Begriffe, Masse und Gewicht, auseinander zu halten. Daß es aber verschiedene Dinge sind, kann man leicht einsehen. Wir bezeichnen als Masse eines Körpers die Gesamtheit seiner Theilchen, als sein Gewicht die Kraft, mit welcher er nach dem Erdmittelpunkt hingezogen wird. Wenn wir uns nun einen Körper bewegt denken, z. B. aus einem Thal auf einen hohen Berg hinaufgehoben, so wird seine Masse dabei ganz unverändert bleiben, sein Gewicht dagegen abnehmen, denn je weiter er sich von der Erdmitte entfernt, je größer also der Abstand ist, in welchem die Schwerkraft auf ihn wirken kann, um so geringer ist ihre Wirkung, das Gewicht des Körpers. Und wenn auf diese Art ein Körper, den wir vom Thal auf den Berg bringen, bei unveränderter Masse ein verändertes Gewicht erlangt, so können diese beiden Dinge unmöglich gleich sein.

Das Gewicht oder die Schwerkraft sind gebunden an jedes kleinste Theilchen eines Körpers, und wir müssen uns vorstellen, daß die Anziehung der Erde auf jedes solche Theilchen wirkt und daß die Gesamtheit dieser Einzelanziehungen die Schwere des Körpers ausmacht. Aber wir können auch alle diese Einzelkräfte, die von der Schwerkraft auf die Theilchen geübt werden, als Komponenten zu einer gemeinsamen Resultierenden vereinigen und auf diese Art eine einzige Kraft gewinnen, die an einer Stelle durch den Körper geht und seine Schwere darstellt. Wenn wir dies mehrmals ausführen, jedesmal den Körper dabei in anderer Stellung uns denkend, so werden wir also ebenso viele verschiedene durch ihn hindurchgehende Linien gewinnen, deren jede die Lage der Schwer-

kraft in der betreffenden Stellung des Körpers anzeigt. Alle diese Linien aber gehen durch einen einzigen, ihnen gemeinsamen Punkt, welchen wir als Schwerpunkt oder Massenmittelpunkt des Körpers bezeichnen, und von dem wir sagen können, daß er in Rücksicht auf Schwere und deren Äußerungen den ganzen Körper vertritt, oder daß eine jede Kraft, die auf den Körper wirkt, so angesehen werden kann, als wirkte sie nur auf den Schwerpunkt, und daß umgekehrt, wenn der Schwerpunkt unterstützt und gegen die Wirkungen der Schwere also gesichert ist, der ganze Körper am Herabfallen gehindert wird.

Danach kann der Schwerpunkt eines beliebigen Körpers z. B. eines Blattes Papier leicht bestimmt werden, indem man den Körper nacheinander in zwei verschiedenen Stellungen an eine Schnur hängt und von jedem der beiden Aufhängepunkte (*A* und *B* in Fig. 19) eine senkrechte Gerade durch den Körper zieht. Deren Schnittpunkt (*S*) ist dann der Schwerpunkt.

Von einem solchen Körper, dessen Schwerpunkt unterstützt ist, sagen wir, er sei im Gleichgewicht. Und weil nun die Schwere auf ihn so zu wirken sucht, daß sie den Schwerpunkt soweit als möglich abwärts bewegt, so können wir leicht verstehen, welche verschiedenen Arten von Gleichgewicht aus der Lage des Schwerpunktes zu demjenigen Punkte sich ergeben, an dem der Körper unterstützt wird. Entweder der Schwerpunkt selbst ist unterstützt, Schwerpunkt und Unterstützungspunkt liegen also zusammen, dann kann, weil der Schwerpunkt auf keine Art sich abwärts zu bewegen vermag, im übrigen dem Körper jede beliebige, ohne Veränderung des Schwerpunktes mögliche Stellung gegeben werden, und er bleibt doch stets im Gleichgewicht.

Hier habe ich z. B. ein kreisförmiges und zweitens ein länglich viereckiges Brettchen. Beide tragen in der Mitte eine Öffnung, durch die ich einen Glasstab schieben kann, und dann sind sie beide in dem Schwerpunkt durch den Stab unterstützt, und ich kann sie drehen und in jede beliebige Stellung bringen, immer

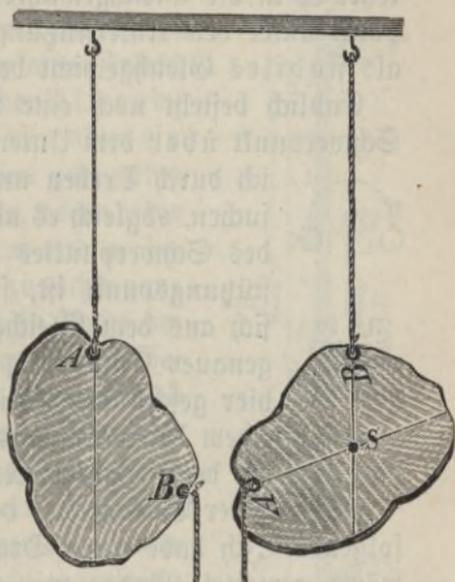


Fig. 19. Schwerpunktsbestimmung.

bleiben sie im Gleichgewicht. Ein solches Gleichgewicht nennen wir indifferent.

Ein zweiter Fall besteht darin, daß der Schwerpunkt unter dem Unterstützungspunkt liegt. Ich stecke den Glasstab durch eine andere Öffnung in jedem der Brettchen und lasse es herabhängen, so daß der Schwerpunkt tiefer liegt. Dann kann offenbar durch Drehen der Schwerpunkt nicht tiefer, sondern nur höher gelangen, und wenn wir einen der Körper aus der jetzigen Lage herumdrehen und loslassen, kehrt er in die Gleichgewichtslage zurück, bei welcher der Schwerpunkt unter dem Unterstützungspunkt liegt und die wir demgemäß als stabiles Gleichgewicht bezeichnen.

Endlich besteht noch eine weitere Möglichkeit darin, daß der Schwerpunkt über dem Unterstützungspunkt liegt. Auch das kann ich durch Drehen unserer Holzkörper herbeizuführen versuchen, obgleich es nicht leicht gelingt, denn wenn die Lage des Schwerpunktes nicht ganz genau über dem Unterstützungspunkt ist, so wird er alsbald herabsinken und sich aus dem Gleichgewicht, welches man wohl bei ganz genauer Einstellung gewinnen kann, entfernen. Dieses hier geschilderte Gleichgewicht, bei dem also der Schwerpunkt über dem Unterstützungspunkt liegt, nennen wir das labile, wie es z. B. beim Balancieren künstlich eingehalten wird.

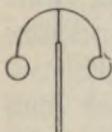


Fig. 20.
Stabiles
Gleich-
gewicht.

Ein anderer Versuch, der das stabile Gleichgewicht zeigt, ist der folgende. Ich habe einen Drahtbügel (Fig. 20), dessen beide abwärts gerichtete Enden mit eisernen Kugeln beschwert sind. In der oben befindlichen Mitte des Bügels ist ein abwärts gerichtetes Stäbchen angebracht, und dessen unteres Ende setze ich auf einen aufrechten festen Stab. Obgleich die Vorrichtung nun bloß mit der Spitze des Stiftes, also eigentlich nur mit einem Punkte auf dem unteren Lager ruht, fällt sie doch nicht herab, auch nicht, wenn ich sie zur Seite drücke und erschüttere, denn der Schwerpunkt, welcher fast genau inmitten der beiden Kugeln liegt, befindet sich tiefer als der Unterstützungspunkt, und das Gleichgewicht ist darum ein stabiles.

Haben wir hier die Wirkung der Schwere an ruhenden Körpern betrachtet, so soll sie nun in der Bewegung gezeigt werden. Wenn wir einen Körper loslassen, so daß er der Schwere folgen kann, dann sehen wir ihn bekanntlich herabfallen. Die Gesetze dieser Fallbewegungen können wir aus der einfachen Voraussetzung herleiten, daß der Körper stets und gleichmäßig der Schwerkraft unterworfen

ist und von ihr in jedem kleinen Zeiteilchen eine bestimmte Geschwindigkeit zu derjenigen, die er vorher schon hat, empfängt, oder, wie wir es gewöhnlich nennen, daß er von der Schwerkraft in jeder Zeiteinheit eine gewisse Beschleunigung erhält.

Die wirkliche Fallbeschleunigung auf der Erdoberfläche beträgt gegen 10 m. Weil es nun schwierig ist, einen Körper, der mit der wirklich im Fallen stattfindenden Geschwindigkeit sich bewegt, zu verfolgen und messend seine Geschwindigkeit festzustellen, so hat man in dem Apparat, den ich sogleich vorführen will, einen Kunstgriff angewendet, um gewissermaßen ein langsames Fallen herbeizuführen. An diesem Apparat, der Atwoodschen Fallmaschine, (Fig. 21) sehen wir oben ein sehr leicht drehbares, zwischen Spitzen gelagertes Rad r und darüber gelegt eine Schnur, deren beide herabhängende Enden mit Gewichten m und m' belastet sind. Die beiden Gewichte sind zunächst ganz gleich schwer, so daß die Schnur sich in Ruhe befindet. Wenn ich dann auf eines der beiden Gewichte noch ein kleines Übergewicht u lege, so wird auf dieser Seite die Schnur herabgezogen. Es wirkt dann die Schwerkraft aber nur auf das Übergewicht und muß doch nicht bloß dies, sondern außerdem auch die beiden großen Gewichte bewegen. Die Masse dieser letzteren ist, weil sie sich gegenseitig im Gleichgewicht halten, der Schwerkraft und ihrer Einwirkung entzogen, und nur mit demjenigen Betrage von Kraft, welcher dem kleinen Übergewicht

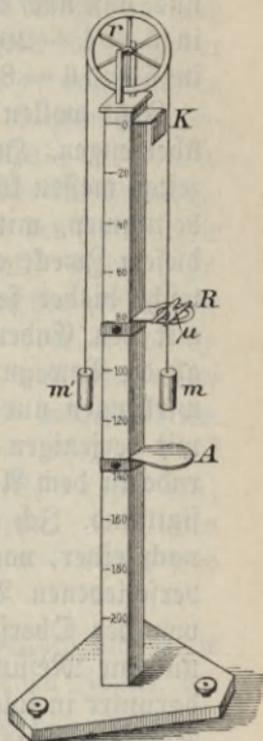


Fig. 21. Fallmaschine.

entspricht, kann die Schwere bewegend auf das Ganze wirken. Je größer aber die Masse ist, welche diese Kraft, nämlich die Schwere des Übergewichts, bewegen muß, um so geringer fällt die Beschleunigung und die Geschwindigkeit aus, welche dabei den drei Stücken erteilt wird. Und auf diese Art gelingt es, wie gesagt, ein langsames Fallen zu erzeugen, d. h. wir sehen diejenige Bewegung, welche sich aus der steten Einwirkung der Schwerkraft auf das Übergewicht ergibt, verlangsamt durch die Notwendigkeit der Mitnahme jener beiden großen Gewichte, im übrigen aber nicht in ihrer Art verändert.

Ich habe nun das Übergewicht im Verhältnis zu den größeren Gewichten hier in solcher Schwere gewählt, daß die Beschleunigung

in der Sekunde 10 cm beträgt. An den Sekundenschlägen einer Uhr, die ich jetzt in Gang setze, können wir die Zeit messen, und nun werde ich zunächst eine, dann zwei und drei Sekunden lang die Fallbewegungen geschehen lassen und werde das herabsinkende Gewicht jedesmal an der vorher berechneten Stelle durch eine Messingplatte *A*, die ich daselbst anschraube, auffangen. Wir überzeugen uns, daß nach einer Sekunde bereits in 5 cm Fallhöhe, nach 2 Sek. in $5 \times 4 = 20$ cm, nach 3 Sek. in $5 \times 9 = 45$ cm, nach 4 Sek. in $5 \times 16 = 80$ cm Fallhöhe das Gewicht aufsteht.

Jetzt wollen wir uns noch von einer anderen Gesetzmäßigkeit überzeugen. Haben wir bisher die Fallhöhe für verschiedene Fallzeiten messen können, so werden wir jetzt die Endgeschwindigkeit bestimmen, mit welcher der fallende Körper unten anlangt. Zu diesem Zwecke ersetze ich die Messingplatte *A*, auf welcher das Gewicht bisher seinen Fall beendete, durch einen Ring *R*, der das mit den Enden überstehende Übergewicht abhebt, so daß von da ab die Bewegung ohne das Übergewicht und ohne dessen Schwerkraftwirkungen nur noch aus Trägheit weiter geht und demgemäß nur mit derjenigen nicht mehr veränderten Geschwindigkeit, welche gerade in dem Augenblick, wo das Übergewicht abgenommen wurde, stattfand. Ich setze den Ring in solcher Höhe an das Gestell, daß nach einer, nach zwei, nach drei und nach vier Sekunden in den verschiedenen Versuchen, die wir jetzt anstellen, das Übergewicht von der Oberseite des sinkenden Gewichtes *m* abgehoben wird, und die Messingplatte *A*, welche wir vorher benutzten, bringe ich darunter in solcher Höhe an, daß wir nacheinander 1, 2, oder mehr Sekunden lang die fortgesetzte Bewegung noch verfolgen können. Der Versuch ergibt übereinstimmend mit der gleich auszuführenden Rechnung, daß nach einer Fallzeit von einer Sekunde und unter Einfluß der Beschleunigung, die bei unserem Apparat 10 cm beträgt, die Geschwindigkeit eine gleichförmige im Betrage von 10 cm in der Sekunde geworden ist, nach zwei Sekunden 20, nach drei Sekunden 30, nach vier Sekunden 40 cm usw. Die Bewegung ist nicht mehr, wie vorher während des Falles mit Übergewicht, eine beschleunigte, in jeder Sekunde an Geschwindigkeit wachsende, sondern nach Fortnehmen des Übergewichts ist sie ganz gleichmäßig geworden.

Und nun wollen wir uns klarmachen, weshalb wir diese Einzelheiten von vornherein erwarten durften und berechnen konnten. Diejenige Beschleunigung, welche ohne solche künstliche Vorrich-

tung, wie wir sie hier hatten, ein frei fallender Körper unter Einfluß der Schwerkraft gewinnt, pflegt man mit dem Buchstaben g (gravitas) zu bezeichnen. Der Körper beginnt seinen Fall mit der Geschwindigkeit Null, denn er war vorher in Ruhe, und er empfängt in jeder Sekunde die Beschleunigung g , d. h. zu der am Schluß einer Sekunde vorhandenen Geschwindigkeit tritt in der nächsten Sekunde die Geschwindigkeit g hinzu. So muß also nach 1, 2, 3 oder t Sekunden die gesamte Geschwindigkeit der Zahl der verfloßenen Sekunden gemäß auf g , $2g$, $3g$ oder gt angewachsen sein. Nennen wir die Endgeschwindigkeit nach t Sekunden v (velocitas), so ist also $v = gt$. Ferner: wenn der fallende Körper in seiner gleichförmig beschleunigten Bewegung mit der Geschwindigkeit Null anfängt und mit gt endet, so ist inmitten der Fallzeit die Geschwindigkeit halb so groß wie am Schluß, also gleich $\frac{1}{2}gt$. Um ebensoviel, wie sie vorher geringer, ist sie nachher größer als dieser Betrag. Es ist also $\frac{1}{2}gt$ auch die mittlere oder die durchschnittliche Geschwindigkeit, mit welcher der Körper, und zwar t Sekunden lang herabfällt. Daraus ergibt sich, daß er insgesamt um den t -fachen Betrag dieser mittleren Geschwindigkeit, also um $\frac{1}{2}gt^2$ herabfällt und daß demgemäß die ganze Fallstrecke s (spatium) in t Sekunden sein muß $s = \frac{1}{2}gt^2$. Diese Formel, verglichen mit der vorigen, liefert uns ferner die Ausdrücke $s = v^2/2g$ und $v = \sqrt{2gs}$.

Danach haben wir an unserem Apparat, für welchen statt g die Beschleunigung 10 cm betrug, die vorher gefundenen Zahlen berechnen können. Nun ist freilich diese ganze Betrachtung beschränkt auf einen Körper, der nur der Schwerkraft unterworfen ist, und die Körper, deren Fall wir betrachten können, erleiden noch andere Einflüsse; insbesondere ist der Luftwiderstand zu nennen, der dem fallenden Körper einen Teil seiner Geschwindigkeit nimmt, und die Fallgesetze, welche wir eben kennen lernten, gelten also, genau gesprochen, nur für eine Bewegung im leeren Raum. Außerdem wurde bei diesen Fallgesetzen aber auch die besondere Art des fallenden Körpers gar nicht erwähnt, und danach muß erwartet werden, daß z. B. Form und Gewicht des fallenden Körpers nicht für die Fallgeschwindigkeit in Betracht kommen, sofern nur die Voraussetzung des Fallens im leeren Raum erfüllt ist.

Auch davon kann uns ein Versuch überzeugen. Ich werde jetzt nicht künstlich verlangsamt, sondern in natürlicher Geschwindigkeit einige Körper fallen lassen, und zwar in dieser Glasröhre (Fig. 22),

die ich vorher mit der Luftpumpe nahezu luftleer gemacht habe. Es befinden sich darin einige Metallstückchen, die wir im Herabfallen klappen hören, sowie ein paar kleine Papierstücke, die wir herabfallen sehen. Wenn ich die Röhre rasch umkehre, so daß die darin befindlichen Körperchen durch die ganze Rohrlänge fallen, dann bemerken wir in der That keinen Unterschied in der Geschwindigkeit der fallenden Metall- oder Papierstücke. Jetzt öffne ich den Hahn der Röhre für kurze Zeit und lasse ein wenig Luft eintreten. Der Fall ist nun derartig verschieden geworden, daß die Papierstückchen sich bereits deutlich langsamer bewegen. Wenn ich mehr Luft eintreten lasse und schließlich drinnen Atmosphärendruck herstelle, dann wird der Unterschied immer größer, bis zuletzt die Metallstücke mit kaum gegen vorher verminderter Geschwindigkeit fallen, die Papierstückchen dagegen langsam flatternd sich abwärts bewegen.

Wenden wir die Fallgesetze auf die Bewegung eines Körpers an, der auf einer schiefen Ebene herabgleitet, so ergeben sich ähnliche Betrachtungen. An Stelle der Schwerkraft g , die den Körper senkrecht nach unten zu führen sucht, tritt diejenige Komponente der Schwerkraft, welche die Richtung der schiefen Ebene hat. Aus der vorausgegangenen Darstellung des Gleichgewichts auf schiefer Ebene ergibt sich, daß jene Komponente sich zur vollen Schwerkraft g verhält, wie eine Kraft zu derjenigen Last, der sie auf der schiefen Ebene das Gleichgewicht hält, oder wie die Höhe zur Länge der schiefen Ebene. Nennen wir diese beiden Größen h und l , so ist also die auf der schiefen Ebene wirkende Beschleunigung gleich gh/l , und wenn der Körper ohne Reibung in der Zeit t um die ganze Länge l herabgleitet und dabei eine Geschwindigkeit v erlangt, so sind die Gesetze des freien Falls für diese Bewegung anwendbar, sofern an Stelle von g und s die Größen gh/l und l treten. Die Endgeschwindigkeit ergibt sich alsdann zu

$$v = g \frac{h}{l} t = \sqrt{2g \frac{h}{l} l} = \sqrt{2gh}.$$

Fig. 22.
Fall im
luftleeren
Raum.

Da diese letztere Größe von l nicht abhängt und nach den Fallgesetzen zugleich die Geschwindigkeit angibt, welche bei freiem Fall nach Durchlaufen der Höhe h entsteht, so ist in der vorstehenden Gleichung die Tatsache ausgesprochen, daß ein ohne Reibung

auf schiefer Ebene herabgleitender Körper eine Geschwindigkeit erlangt, die nur von dem durchlaufenen senkrechten Höhenunterschied abhängt, nicht von Neigung und Länge der Bahn. Es ist also die Geschwindigkeit, mit welcher der Körper unten ankommt, die nämliche auch dann, wenn er nicht auf einer geradlinigen Bahn gleitet, sondern über einen irgendwie gekrümmten Weg, der aus vielen einzelnen kurzen Stücken schiefer Ebenen zusammengesetzt ist, sofern nur der Höhenunterschied zwischen Anfang und Ende der Bahn der nämliche bleibt.

Verschieden aber gestaltet sich in solchen Fällen die Dauer des Herabgleitens, und merkwürdigerweise ist der kürzeste Fall nicht der frei und senkrecht stattfindende, sondern ein auf kreisförmiger Bahn um dieselbe Höhe herabgleitender Körper kommt früher unten an, als ein frei fallender, und die geringste Zeit wird bei einer Bahn erfordert, welche in Form einer Zykloide gekrümmt ist, nämlich einer solchen Linie, wie sie bei einem rollenden Rad ein Punkt des Umfanges beschreibt. Es verdient aber hervorgehoben zu werden, daß diese Betrachtungen nur für völlig reibungslose Bewegungen zutreffen.

Ein jeder in freier Bewegung befindliche Körper ist der Schwere ausgesetzt und muß den Fallgesetzen folgen. Wenn wir einen Körper werfen, so bewegt er sich nach dem Parabellogarithm der Kräfte unter gleichzeitiger Einwirkung der Wurfkraft, die ihm eine gewisse Geschwindigkeit einmal gab, und der Schwerkraft, die ihm dauernd die abwärts gerichtete Beschleunigung erteilt. Durch Zusammensetzung dieser beiden Bewegungen ergibt sich eine Resultierende, die man von Sekunde zu Sekunde oder für kleinere Zeiträume darstellen kann, und von der ein Modell in diesem Apparat

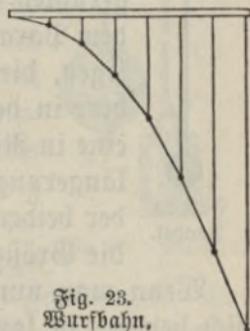


Fig. 23.
Wurfbahn.

(Fig. 23) ausgeführt ist. Er besteht aus einem Stab, an welchem in gleichen Abständen Fäden mit je einem Ende befestigt sind, während die herabhängenden anderen Enden kleine Bleigewichte tragen und die Länge der Fäden, so wie sie nebeneinander hängen, den Weglängen eines fallenden Körpers nach 1, 2, 3 usw. Sekunden unter Voraussetzung einer Beschleunigung von 1 cm in der Sekunde entspricht. Den Stab stelle ich schräg auf und bezeichne durch seine Richtung diejenige des Wurfs. Dann stellt der Abstand je zweier Fadenaufhängepunkte diejenige Geschwindigkeit dar, welche der

Wurfkraft entstammt, und es würde ohne Schwerkraft und ohne Herabfallen der geworfene Körper sich einfach an dem Stab entlang bewegen. Die abwärts hängenden Fäden geben durch ihre Länge an, um wieviel in jeder einzelnen Sekunde der Körper durch Schwere herabgesunken ist, und die Reihe der Bleikugeln bezeichnet also die Bahn, auf welcher der geworfene Körper sich bewegt. Ich kann durch die Richtung, welche ich dem Stab gebe, flachen oder steilen Wurf darstellen, und wir sehen, wie sich immer eine krummlinige Bahn findet, und zwar ist es eine Parabel, welche von der Wurflinie gebildet wird. Auch hierbei haben wir allerdings vorausgesetzt, daß weder Luftwiderstand, noch sonst irgendeine Hinderung der Bewegung stattfindet.

Eine weitere Äußerung der Schwerkraft zeigt uns das Pendel. Wir verstehen darunter einen an einem leichten Faden aufgehängten schweren Körper. Wenn wir ein solches Pendel, wie ich es hier z. B. habe (Fig. 24), aus seiner senkrechten Ruhelage herausbringen und loslassen, so würde, falls der Faden nicht da wäre, die Pendelkugel senkrecht herabfallen. Sie kann sich aber wegen des Fadens nur auf einem Kreisbogen bewegen, dessen Mittelpunkt der Aufhängepunkt und dessen Radius die Fadenlänge ist, und so wird also die abwärts gerichtete Schwerkraft eine Resultierende sein, die wir nach dem Parallelogramm der Kräfte in zwei Komponenten zerlegen, die eine in der Richtung der möglichen und die andere in der Richtung der gehinderten Bewegung, also die eine in Richtung des Kreisbogens, die andere in der Verlängerung des Fadens. Die Diagonale und die Richtungen der beiden Komponenten sind gegeben; daraus können wir die Größe der letzteren bestimmen.

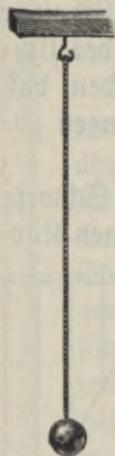


Fig. 24.
Pendel.

Wenn man nun die kreisförmige Bahn, auf der die Pendelkugel sich bewegt, in lauter einzelne kurze Stückchen zerlegt denkt, jedes klein genug, um als geradlinig gelten zu dürfen, und jedes von ihnen als eine schiefe Ebene ansieht, und wenn man das Gesetz des Falles auf schiefer Ebene für diese Bewegung anwendet, dann ergibt sich für die Bewegung des Pendels ein Gesetz, welches die Formel

hat $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ und in Worten lautet: Die Schwingungsdauer des Pendels ist mit der Quadratwurzel aus der Pendellänge direkt und mit der Quadratwurzel aus der Schwerkraft umgekehrt proportional.

Es schwingt also das Pendel um so langsamer, je länger es ist, und andererseits um so rascher, je stärker die Schwerkraft an seinem Orte ist. Nicht von Einfluß auf die Geschwindigkeit der Pendelschwingung ist dagegen die Art, Größe und Schwere der Pendelkugel, vorausgesetzt allerdings auch hier, daß durch keinen Luftwiderstand, keine Achsenreibung, überhaupt keinerlei Bewegungshindernis der Einfluß der Schwerkraft auf das Pendel gehemmt wird.

Von den Anwendungen des Pendels am bekanntesten ist diejenige zur Zeitmessung in unseren Uhren. Wir lassen bei der einfachsten Form der Uhr, wie es dieses Modell (Fig. 25) hier zeigt, die Schwerkraft an zwei Stellen wirksam werden. Erstens ist ein Gewicht *P* angebracht, welches eine um eine Achse gewickelte Schnur belastet und ein Zahnrad, das Steigrad *H*, zu drehen sucht. Und dann ist zweitens ein der Schwerkraft unterworfenenes Pendel *AB* vorhanden, welches durch den Stab *CD* und dessen Achse *DR* die Hemmung *GE* (das sogenannte Schappement) derartig hin und her bewegt, daß dessen Haken beim Schwingen des Pendels abwechselnd links und rechts in das Steigrad eingreifen und dieses zwingen, jedesmal nur um eine Zahnbreite fortzuschreiten, wenn das Pendel einen Hin- oder Hergang vollendet. Zugleich empfängt dabei das Pendel jedesmal von den Radzähnen einen kleinen Anstoß, so daß es in Bewegung bleibt. Es wird also das Rad *H* von seinem Gewichte *P* in Drehung versetzt und von dem Pendel zu

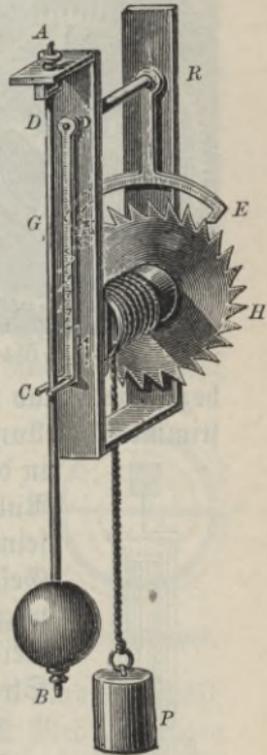


Fig. 25. Pendeluhr.

einer ganz bestimmten Drehungsgeschwindigkeit gezwungen. Daraus ergibt sich durch Zahnradübertragung auf die Zeiger die regelmäßige Bewegung der Uhr, abhängig von der Schwingungsdauer des Pendels. Wird das Pendel durch irgendwelche Einflüsse länger oder kürzer, z. B. bei Temperaturänderungen, dann geht die Uhr langsamer oder rascher, und dementsprechend kann man bekanntlich eine Pendeluhr, die zu rasch oder zu langsam geht, in richtigen Gang bringen, indem man das Pendel verlängert oder verkürzt.

Wenn die Uhr beweglich sein soll, wie es z. B. bei unseren Taschenuhren erforderlich ist, dann können wir freilich diese einfache Gestalt nicht mehr benutzen, denn die Schwerkraft wirkt ja

nur in einer Richtung, und unsere Taschenuhren sollen in allen möglichen Stellungen ihren Gang behalten. Darum ersetzt man in

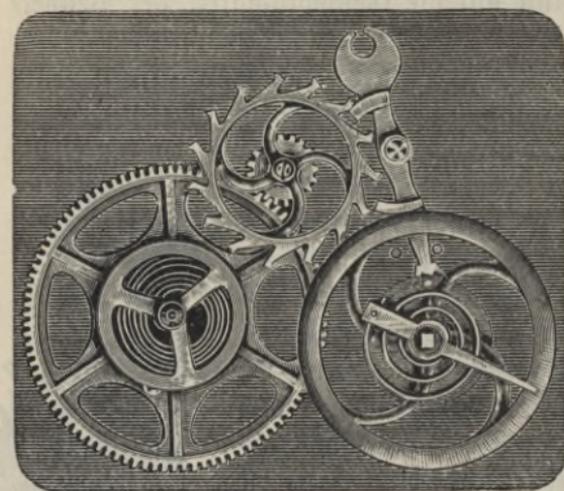


Fig. 26. Ankeruhr.

ihnen die Schwerkraft an beiden Stellen durch die Federkraft stählerner Spiralen. Dem Gewichte der Pendeluhr entspricht die Triebfeder, eine Spirale, welche wir beim Aufziehen spannen, damit die ihr so erteilte Federkraft allmählich bis zum nächsten Aufziehen das Steigrad dreht, und das Pendel wird ersetzt

bezeichnete Rad und die Unruhesfeder, welche das Rad in einer bestimmten Stellung zu halten sucht und nach jeder Bewegung wieder in diese Stellung zurückführt, so daß es um diese seine Ruhelage hin- und herschwingt. Wie das Pendel durch seine Länge, so gibt die Unruhe durch ihre Größe die Geschwindigkeit des Ganges an und reguliert die Bewegung des Steigrades. Fig. 26 zeigt die bewegenden Teile: Triebfeder, Triebgrad, Unruhe mit Unruhesfeder, Steigrad und Hemmung einer Ankeruhr.

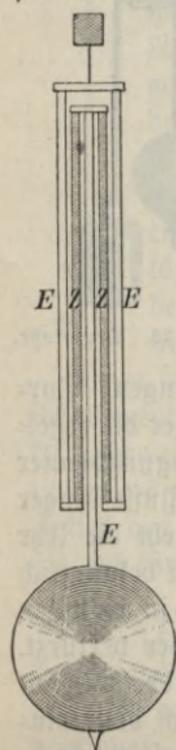


Fig. 27. Rostpendel. gewicht hebt und das ganze Pendel verkürzt. Nun dehnt

Damit aber diese Ganggeschwindigkeit so gleichmäßig und unveränderlich ist, wie es bei einer zuverlässigen Uhr verlangt werden muß, hat man besondere Vorrichtungen erdacht, durch welche die Länge des Pendels vor Änderungen bewahrt wird. Namentlich die mit Erwärmen und Abkühlen verbundene Verlängerung und Verkürzung des Pendels war hier zu bekämpfen, und dies ist z. B. mittels der durch Fig. 27 dargestellten Anwendung des Rostpendels gelungen. Sein Stab ist aus zwei Metallen, Eisen (E) und Zink (Z) derartig zusammengesetzt, daß eine Verlängerung der Eisenstäbe das ganze Pendel länger macht, während eine Verlängerung der Zinkstäbe das unten hängende Pendel-

sich bei gleicher Erwärmung das Zink um etwa $2\frac{1}{2}$ mal so viel aus, wie das Eisen, und es ist andererseits die Länge der Eisenstäbe (der mittlere und das Paar der äußeren Stäbe) zusammen etwa $2\frac{1}{2}$ mal so lang als das Paar der Zinkstäbe. Bei einer Erwärmung wird also durch Ausdehnen des Eisens das Pendel um ebensoviel verlängert, wie es durch Ausdehnen des Zinks verkürzt wird, und kann auf diese Weise gegen Temperaturänderungen unempfindlich gemacht werden.

In etwas anderer Weise sucht man das gleiche für die Unruhe der Taschenuhren zu erreichen. Dies Rädchen, welches in beweglichen Uhren das Pendel ersetzt, kann einer Schar von Pendeln gleichgeachtet werden, deren gemeinsamer Drehpunkt in der Radmitte liegt, während als Pendelstäbe die Radien zu denken sind, und die Pendelgewichte den Radkranz bilden. Erwärmung und Ausdehnung des Rades ist mit Vergrößerung der Radien, also mit Verlängerung der Pendel und langsamerem Gange der Uhr verbunden. Um dies zu hindern, stellt man den Radkranz in der durch Fig. 28 angegebenen Form her und setzt ihn aus zwei der Länge nach aneinander genieteten Streifen verschiedenen Metalls zusammen. Die beiden Metalle sind so gewählt, daß der äußere stärker als der innere Streifen durch die Temperatur beeinflusst wird, und demnach hat z. B. eine Erwärmung die Wirkung, daß wegen stärkerer Verlängerung des äußeren Metalls der ganze Bogen eine größere Krümmung und damit einen kleineren Radius erhält, während andererseits durch die Ausdehnung beider Metalle Bogen und Radius wachsen. Die Gesamtwirkung besteht bei geeigneter Wahl der verwendeten Metalle im Gleichbleiben von Radius und Krümmung, und nur eine Verlängerung des Bogens tritt ein, zu deren Aufnahme kleine Lücken bei *a* und *b* angebracht sind.



Fig. 28. Unruhe.

Andererseits hat man versucht, für Pendelstäbe Material zu finden, das sich nur wenig mit der Temperatur ändert, und namentlich im Nickelstahl bei einem Nickelgehalt von 36,1 Prozent eine Legierung gefunden, deren Längenausdehnung beim Erwärmen weniger als ein Zwölftel von derjenigen des Eisens beträgt.

Eine wissenschaftliche Anwendung des Pendels besteht in der Untersuchung der Schwerkraft und ihrer örtlichen Verschiedenheiten. Wenn, wie vorher erwähnt, seine Schwingungsdauer von seiner Länge und der am Orte seiner Aufhängung herrschenden Schwer-

kraft abhängt, so muß ein Pendel, das man mit unveränderter Länge in verschiedenen Gegenden schwingen läßt, Unterschiede in der Schwingungsdauer zeigen, falls die Schwerkraft nicht überall gleich groß ist. Und genaue Messungen dieser Art haben in der That gelehrt, daß die Größe der Schwerkraft auf der Erde in ganz bestimmter und leicht erklärbarer Art verteilt ist. Bedenken wir, daß sie ihren Sitz im Schwerpunkt der Erde, also etwa in der Erdmitte hat, und daß ihre Stärke mit wachsendem Abstand von diesem Punkt abnimmt, so ergibt sich daraus, daß auf Bergen die Schwerkraft geringer sein muß als im Thal. Und ebenso folgt aus der abgeplatteten Form des Erdballs, daß die Pole der Erdmitte näher sind und daher größere Schwerkraft haben müssen als der Äquator, und daß allgemein mit wachsender (nördlicher wie südlicher) geographischer Breite die Schwerkraft wachsen muß. Man pflegt die Größe der Schwerkraft zahlenmäßig durch die Beschleunigung auszudrücken, welche ein frei im luftleeren Raum fallender Körper empfängt, d. i. die vorher mit g bezeichnete Größe. Als „Normalschwere“ bezeichnet man diejenige, welche in 45° geographischer Breite und im Meeresniveau herrscht; dort ist die Größe g gleich 9,806 16 m. Für einige andere Orte gelten folgende Zahlen:

	Geographische Breite	Höhe über Meer	Schwerkrafts- beschleunigung
Berliner Sternwarte	$52^\circ 30' 16,7''$ N	35 m	9,812 76 m
Brockengipfel, Turm	51 48 10,3 N	1141	9,808 74
Schneekoppe, Kapelle	50 44 21,3 N	1604	9,806 37
Singapore, Sternwarte	1 17 14 N	43	9,780 20
Quito, Sternwarte	0 14 0 S	2846	9,771 52
Helsingfors, Sternwarte	60 9 42,6 N	38	9,819 15

Die Abweichungen von der Normalschwere sind um so größer, je höher der einzelne Ort liegt oder je verschiedener von 45° seine geographische Breite ist. Eine Pendeluhr, die in Berlin ganz richtig geht, würde unter Einwirkung veränderter Schwerkraft auf dem Brocken um 17 und auf der Schneekoppe um 28 Sekunden täglich zurückbleiben, in Singapore um 86 und in Quito sogar um 124 Sekunden; dagegen würde dieselbe Uhr in Helsingfors täglich um 28 Sekunden vorausseilen.

Statt der Fallbeschleunigung kann auch die Länge desjenigen Pendels, dessen Schwingungsdauer gerade eine Sekunde beträgt, als Maß der Schwerkraft dienen. Unter der Normalschwere bei

45° Breite und im Meeresniveau ist dies Sekundenpendel 0,993572 Meter lang.

Hat man aus Pendelmessungen die örtliche Verteilung der Schwerkraft festzustellen vermocht, so ist es andererseits auch gelungen, die Masse der Erde, deren Anziehung sich in der Schwerkraft äußert, zu bestimmen, indem man diese ihre Anziehung mit derjenigen eines Bleiklozes von bekannter Größe und Masse verglich. Es wurde dazu eine Doppelwage benutzt, d. h. eine empfindliche Wage, an deren beiden Schalen mittels je einer Stange von 226 cm Länge noch eine zweite untere Schale hing. Zwischen den oberen und unteren Schalen war der Bleikloz von fast 9 cbm Inhalt und mehr als 100000 kg Gewicht aufgebaut, mit zwei röhrenförmigen Aussparungen für die Verbindungsstangen der Wageschalen. Lag ein Gewicht auf einer oberen Schale, so war es der abwärts gerichteten Anziehung von Erde und Bleikloz und also der Summe beider Einwirkungen ausgesetzt; lag es aber auf einer unteren Schale, so wurde es von der Erde nach unten, von dem Bleikloz nach oben gezogen und erlitt die Differenz der beiden Einwirkungen. Durch genaue Wägungen bei wechselnder Belastung der Schalen fand man, daß die Erde eine mittlere Dichte von 5,507 habe, d. h. um so vielmal mehr Masse, als eine gleich große Wasserkugel.

Drittes Kapitel.

Gravitation. Energiegesetz.

Allgemeine Massenanziehung. Keplersche Gesetze. Flut und Ebbe. Beschleunigung, Kraft, Arbeit, Lebendige Kraft. Energiegesetz. $C:g=s$ -System.

Die Schwerkraft pflegt man als Äußerung der Erdanziehung darzustellen. Das ist indes nicht ganz vollständig, denn, um der Wirklichkeit gerecht zu werden, müssen wir die Schwerkraft als Äußerung der gegenseitigen Anziehung zwischen Erdball und dem schweren Körper ansehen. Es wirkt dabei eine Kraft, die wir seit Newton kennen und als allgemeine Massenanziehung (Gravitation) bezeichnen; sie gehört zu den allgemeinen Körpereigenschaften und besteht darin, daß jeder Körper einen jeden anderen anzieht und von ihm angezogen wird, und zwar mit einer Kraft, die den Massen der Körper proportional ist und in umgekehrtem Verhältnis zum Quadrat ihrer Entfernung steht. Wenn wir uns

zwei gleich große Massen denken, so besteht zwischen ihnen die Anziehung in einer Kraft, die sie einander zu nähern sucht, und die, weil die Massen gleich sind, allen beiden auch die gleiche Beschleunigung, die gleiche Geschwindigkeit erteilt. Wenn dagegen zwei sehr ungleiche Massen aufeinander wirken, z. B. die ganze Erde und ein Kilogrammgewicht, so wirkt auch zwischen diesen eine Anziehung, aber ihre Kraft übt auf die beiden verschiedenen Massen eine verschiedene Wirkung aus. Die gleiche Kraft muß ja der größeren Masse kleinere Geschwindigkeit und der kleineren Masse größere Geschwindigkeit erteilen. Also wird vermöge der zwischen der Erde und dem Kilogramm als Wechselwirkung auftretenden Schwerkraft das Kilogramm mit einer gewissen, nämlich der uns schon bekannten Fallgeschwindigkeit sich gegen die Erde hin bewegen, die Erde aber mit einer anderen, viel geringeren Geschwindigkeit gegen das Kilogrammgewicht. Diese letztere Geschwindigkeit ist um so viel kleiner wie die Fallgeschwindigkeit des Kilogramms, als die Erdmasse im Vergleich zu der Masse des Kilogrammgewichts größer ist.

Außerungen dieser allgemeinen Massenanziehung finden sich im großen wie im kleinen, im großen, namentlich in der Bewegung der Weltkörper. Das Verhalten der Sonne und der Planeten kann nach jenem Gesetz vollkommen gedeutet werden. Bekannt hat man diese Bewegungen bereits vor dem Gravitationsgesetz. Kepler hat aus der Beobachtung des Planeten Mars zuerst Schlüsse gezogen, die es ihm möglich machten, die Bewegung der Planeten in seinen drei berühmten Gesetzen zu beschreiben. Diese, die Keplerschen Gesetze lauten:

1. Jeder Planet bewegt sich auf einer elliptischen Bahn, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.
2. Der Radiusvektor, d. h. die Verbindungslinie der Sonne mit dem auf seiner Bahn dahinziehenden Planeten, beschreibt in gleicher Zeit immer die gleiche Fläche.
3. Die Quadrate der Umlaufzeiten verschiedener Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen ihrer Abstände von der Sonne.

Während das erste dieser Gesetze die Form der Planetenbahnen und deren Stellung zur Sonne schildert, spricht das zweite aus, daß der Radiusvektor eines Planeten in der gleichen Zeit immer über die gleiche Fläche hinwegstreicht und daß also der Planet in der Sonnennähe rascher, in der Sonnenferne langsamer auf seiner

Bahn fortschreitet. In Fig. 29 bedeuten die beiden schraffierten Flächen solche in gleicher Zeit vom Radiusvektor beschriebenen Stücke. Da sie nach jenem Gesetz gleich groß sein sollen, so muß das kürzere Dreieck FPQ (Sonnennähe) breiter und das längere FAB (Sonnenferne) schmaler sein, woraus sich das Vorige ergibt.

Und das dritte Gesetz spricht aus, daß, je größer die Bahn des Planeten ist, um so länger seine Umlaufszeit, sein Jahr, dauert.

Kepler hat, wie gesagt, aus der Beobachtung der wirklichen Planetenbewegung diese Gesetze hergeleitet. Als man dann später das

Newton-

sche Gravita-

tionsgesetz

kennen lernte,

ergab sich, daß

aus diesem ge-

nau die gleiche

Bewegung

gefolgert wer-

den müßte,

wie es die

Wirklichkeit

zeigt. Wenn

unter Einfluß

eines festste-

henden Zentralkörpers,

etwa der Sonne,

ein zweiter Körper,

ein Pla-

net,

mit einer gewissen

Geschwindigkeit

in einem Augenblick

sich

bewegt, so genügt

die Anwendung

des Gravitations-

gesetzes auf

diese beiden Körper,

um zu berechnen,

daß die weitere

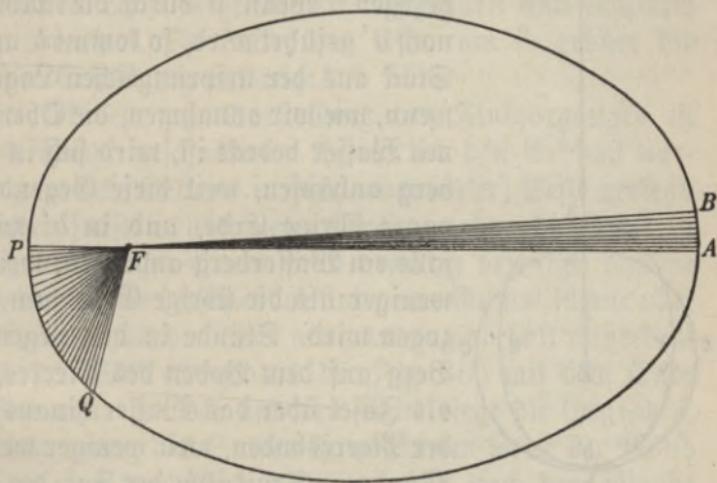


Fig. 29. Zweites Keplersches Gesetz.

den Kepler'schen Gesetzen gemäß verlaufen muß, und es ist also die Erfahrung, wie sie in den Kepler'schen Gesetzen ausgesprochen ist, ein schöner Beweis für die Richtigkeit des Gravitationsgesetzes.

Eine andere Erscheinung, die gleichfalls auf Massenanziehung zurückzuführen ist, finden wir in dem Vorgang der Flut und Ebbe, den wir der Anziehung zwischen Erde und Mond zuschreiben. Denken wir uns die Erde ganz aus Wasser bestehend oder wenigstens mit Wasser auf der ganzen Oberfläche und in erheblicher Tiefe bedeckt, und denken wir uns ferner in einem gewissen Abstände davon den Mond, so findet zwischen beiden Körpern Anziehung statt und bewirkt, daß beide von denjenigen Bahnen, die sie unabhängig voneinander einschlagen würden, etwas gegenein-

ander hin abweichen. Es sei in M (Fig. 30) der Mond, in E die Erdmitte gedacht, und es bedeute der Kreis $adbc$ den Umfang der Erde, wie er ohne Mondeinwirkung sein würde; dann müssen wir uns vorstellen, daß die Einwirkung des Mondes die Erde um eine gewisse Strecke aus dieser Stellung heraus und gegen den Mond

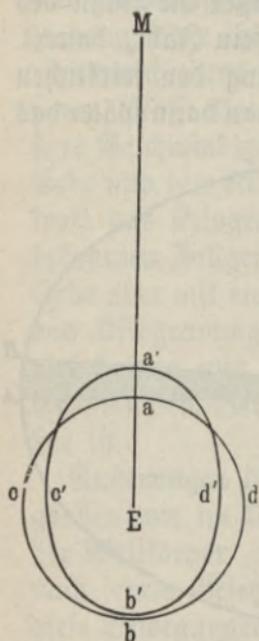


Fig. 30. Flut und Ebbe.

treibt. Nun ist aber die Stelle a dem Mond näher und die Stelle b vom Monde weiter entfernt, als die ganze übrige Erde; es wird also a mehr und b weniger als die übrige Erde zum Monde hingezogen. Wenn a durch die Mondwirkung bis nach a' geführt wird, so kommt b um ein kleineres Stück aus der ursprünglichen Lage nach b' , und wenn, wie wir annehmen, die Oberfläche der Erde mit Wasser bedeckt ist, wird sich in a' ein Wasserberg anhäufen, weil diese Gegend mehr als die ganze übrige Erde, und in b' wird sich gleichfalls ein Wasserberg anhäufen, weil diese Gegend weniger als die übrige Erde zum Monde hingezogen wird. Stände in der Gegend b ein steiler Berg auf dem Boden des Meeres, dessen Gipfel als Insel über das Wasser hinausragt, so würde der Meeresboden, weil weniger weit entfernt vom Monde, und mit ihm der Fuß des Berges stärker gegen den Mond hingezogen werden, als die Wasserfläche, und es würde die Insel durch die Mondwirkung also tiefer eintauchen, als es ohne diese Wirkung der Fall wäre. Ein Mensch aber, der sich auf der Insel befindet, würde dabei den Eindruck gewinnen, daß der Wasserspiegel sich hebt, die „Flut steigt“, wenn der Mond nach der Stelle M gelangt.

Berstehen wir auf diese Art das Auftreten der beiden Flutberge an denjenigen Stellen der Erdoberfläche, die dem Mond am nächsten und von ihm am weitesten entfernt sind, bei a' und b' , so ist ohne weiteres klar, daß diesen Anhäufungen ein Sinken des Wasserspiegels an den dazwischenliegenden Stellen, nämlich von c und d nach c' und d' entsprechen muß, und weil bei der Bewegung der Erde und des Mondes ein scheinbares Umkreisen der Erde durch den Mond in jedesmal 24 Stunden und 50 Minuten stattfindet, so umwandern auch die beiden Flutberge und die dazwischen liegenden Ebbsen in derselben Zeit den ganzen Umfang des Erdballs. Übereinstimmend damit können wir in dieser Zeit für den einzelnen

Ort das zweimalige Auftreten der Flut und Ebbe am Meere beobachten. Wenn man die Größe der Erde, ihre Masse und diejenige des Mondes, sowie den Abstand beider berücksichtigt, so kann berechnet werden, daß für einen ganz mit Wasser bedeckten Erdball die Fluthöhe, d. h. der Unterschied des Wasserstandes bei Flut und Ebbe, ungefähr 60 cm betragen würde. Nun ist aber unsere Voraussetzung eines ganz mit Wasser bedeckten Erdballes nicht zutreffend, und wenn in dem Meere die Flut durch den Mond erzeugt wird und mit ihm von Ost nach West fortschreitet, so wird sie, wo sich ihr festes Land entgegenstellt, sich stauen und erheblich größere Höhen erreichen. Je steiler das Ufer, um so größer die Fluthöhe, wie die Erfahrung bestätigt.

Ein einfaches Modell zur Darstellung des Flutvorganges ist dieses. Ein aus Pappe geschnittener Kreis, der den Erdball vorstellt, ist durch parallele Sehnen in vier (oder mehr) Teile zerlegt. Mittels Ösen oder sonst in geeigneter Weise werden die Teile in der ursprünglichen Lage an einem Stab derartig befestigt, daß sie an ihm und gegeneinander verschiebbar sind; eine Gummischnur oder elastische Drahtspirale hält die Teile aneinander und hält außerdem den einen äußersten Teil (Gegend *b* der Fig. 30) mit dem Ende des Stabes zusammen. An der anderen Seite liegt die Gegend *a*, und in der Verlängerung des Stabes ist auf dieser Seite der Mond zu denken. Wenn man den Stab festhält und *a* nach dem Monde hinzieht, wobei die Schnur gedehnt wird und die Teile sich voneinander entfernen, so wird *a* mehr und *b* weniger aus der ursprünglichen Lage gezogen, der Kreis wird zur Ellipse und die Flutberge *a* und *b* erscheinen deutlich. Es fehlt freilich die zugehörige Ebbe.

Nun liegt es nahe, zu fragen: weshalb der Mond solche Wirkung ausübt, und nicht vielmehr die Sonne, die doch so viel größer ist? Darauf ist zu antworten, daß eine Sonnenflut freilich besteht, aber kleiner ist, noch nicht halb so groß, wie die Mondflut. Bei dieser erkannten wir als wesentlich den Unterschied der Abstände verschiedener Erdpunkte vom Monde; weil die Gegend *a* dem Mond näher und die Gegend *b* von ihm weiter entfernt ist, als die übrige Erde, fanden sich dort die Flutberge. Der Abstand der Erde von der Sonne aber ist so groß, daß die Gegenden *a* und *b* eine nahezu gleiche Entfernung von der Sonne haben, daß nämlich, verglichen mit dieser, der Erddurchmesser, der die beiden Gegenden voneinander trennt, außerordentlich klein erscheint und nur sehr viel weniger in Betracht kommen kann, als im Vergleich zum Mond-

abstand. Aus diesem Grunde und trotz der sehr viel größeren Sonnenmasse ist ihre Flutwirkung geringer als die des Mondes. Daß sie aber vorhanden ist, lehrt uns eine den Küstenbewohnern wohlbekannte Erscheinung. Wenn Sonne und Mond auf der nämlichen Seite der Erde stehen, d. h. bei Neumond, oder wenn Sonne und Mond auf entgegengesetzten Seiten der Erde stehen, also bei Vollmond, erzeugen sie Flut und Ebbe beide an den gleichen Stellen. Ihre Wirkungen verstärken sich gegenseitig, und es tritt die Springflut ein, welche höher ist als die gewöhnliche Flut und mit Voll- oder Neumond zusammenfällt. Und wenn umgekehrt Sonne und Mond auf den Schenkeln eines rechten Winkels stehen, in dessen Scheitel sich die Erde befindet, so trifft die Sonnensflut mit der Mondennebe und die Mondflut mit der Sonnenebbe zusammen. Nur der Unterschied beider kommt dann wirklich zustande, und diese verringerte Fluterscheinung, die bei Halbmond beobachtet wird, ist unter dem Namen Rippflut bekannt.

Wenn so der wesentliche Anlaß zur Fluterzeugung in dem Unterschied der Mondwirkung liegt, die in verschiedenen Erdgegenden zur Äußerung kommt, so kann danach leicht verstanden werden, daß kleine Meeresbecken nur sehr geringe Fluterscheinungen zeigen. Die Ostsee z. B. ist nach Osten völlig abgeschlossen und hat auch nach Westen nur sehr schmale Verbindung mit dem Ozean, und so kann dorthin eine Flutwelle von außen her überhaupt nicht kommen, sondern nur daselbst entstehen, und auch dies nur in sehr geringem Umfange, weil die kleine Wasserfläche keine großen Unterschiede der Mondwirkung beherbergen kann. Darum ist für die tägliche Wahrnehmung dort überhaupt keine Flut und Ebbe zu erkennen, und nur aus der Durchschnittsberechnung langdauernder Pegelbeobachtungen hat man entnehmen können, daß allerdings eine ganz geringe, mit dem scheinbaren Mondumlauf zusammenhängende Flutbewegung dort stattfindet, die von Ost nach West hin wachsende Werte zeigt, aber nirgends den Betrag weniger Zentimeter übersteigt. Für die durch den Mond erzeugte Fluthöhe fand sich in Arkona 20, in Marienleuchte 64, in Travemünde 95 mm, während an denselben Orten die Sonnensflut nur 11, 25, 31 mm betrug.

Die vielfache Hinderung und Reibung, welche die fortschreitende Flutbewegung am Boden und namentlich an den Küsten findet, bewirkt eine Verzögerung ihres Auftretens, die von der Küstenform abhängt und daher vielfache örtliche Verschiedenheiten aufweist. Wegen der hohen praktischen Bedeutung dieser Verhältnisse, weil

nämlich zahlreiche Hafeneingänge nur bei Flut zugänglich sind, hat man genaue Feststellungen der Flutzeit für die einzelnen Küstenorte ausgeführt und bezeichnet als Hafenzeit diejenige Dauer, um welche der höchste Wasserstand gegen die höchste und tiefste Mondstellung (obere und untere Kulmination) verspätet ist.

Was vorher von der Flut und Ebbe des Wassermeeres gesagt wurde, gilt natürlich in gleicher Weise auch von derjenigen des Luftmeeres, denn auch dies besteht aus einer der Schwere unterworfenen und leicht beweglichen Masse, und es bedeckt und umgibt den Erdball wirklich vollständig, während dies letztere für das Wassermeer nicht zutrifft. Mit denselben Worten also kann man das Vorhandensein der atmosphärischen Flut und Ebbe herleiten, wie es vorher für die Wasserflut geschah; auch hier erzeugt der Mond durch seine verschiedene Anziehung eine Störung des Gleichgewichts und Anhäufung an den vorher mit a und b bezeichneten Stellen der Erde, welche die geringste und die größte Entfernung vom Monde haben. Weil aber das Luftmeer überall zusammenhängend den Flutberg fortleiten kann und Unterbrechungen, wie sie im Wassermeer die Landmassen bilden, hier nicht vorhanden sind, so gibt es in der Luftflut auch nicht jene Unterschiede, die das Meer an den Küsten zeigt, nicht die hohe Flut der Steilküsten und die geringe der hohen See, sondern überall gleichmäßig muß die Luftflut sich zeigen, nur von der Mondstellung abhängig und also höchstens in der vorher erwähnten Höhe von etwa 60 cm. Daraus ergibt sich freilich, daß wir wenig Aussicht haben, diese atmosphärische Flut und Ebbe etwa im Steigen und Sinken des Barometers zu bemerken, denn um eine Änderung des Luftdrucks von 1 mm Quecksilberhöhe zu erwirken, müssen wir das Barometer um 10 bis 11 m heben oder senken, und der Luftschicht von 60 cm Mächtigkeit, welche der größtmöglichen Fluthöhe entspricht, würde eine Luftdruckänderung von etwa einem Zwanzigstel Millimeter Quecksilberdruck gemäß sein. Es ist also die atmosphärische Flut und Ebbe mit so geringen Änderungen des Luftdrucks verbunden, daß die etwaige Einwirkung auf unser Wetter völlig verschwinden muß hinter den sehr viel größeren Schwankungen, die sich aus anderen Gründen fortwährend in der Atmosphäre abspielen; und wenn man immer von neuem die Meinung aussprechen hört, daß die Mondflut unser Wetter beeinflusse, und daß namentlich an den „kritischen“ Tagen dergleichen stattfinde, so ist zwar an diesen Tagen, nämlich bei Neu- und Vollmond, die Fluthöhe durch Zusammenwirken von Sonne

und Mond verstärkt, wie wir vorher sahen, aber doch immer noch viel zu klein, um eine merkbare Änderung des Wetters zu bewirken.

Wir wenden uns nun zu einer etwas ausführlicheren Betrachtung des Begriffes: Kraft. Daß eine Kraft die Ursache von Massenbewegung ist, sahen wir vorher; ebenso, daß eine Kraft gemessen wird durch die Masse, welche sie in Bewegung setzt, und die Beschleunigung, welche sie dieser in der Sekunde erteilt. Nennen wir die Kraft k , die Masse m , die Beschleunigung a , so ist also $k = ma$. Es genügt aber der Begriff Kraft nicht, um die wirklich bei einer Bewegung herbeigeführte Veränderung zu beschreiben, sondern dazu müßte auch noch angegeben werden, wie groß die erzeugte Bewegung, wie lang der von der bewegten Masse zurückgelegte Weg ist. Wird auch dieser hinzugesügt, so erhalten wir den vollständigeren Begriff, den wir als von der Kraft geleistete Arbeit bezeichnen, gemessen durch Kraft und Weg. Wenn wir den Weg s nennen und die Arbeit A , so folgt also: geleistete Arbeit gleich Kraft mal Weg, $A = ks$.

Erinnern wir uns, wie für die Schwerkraftsbeschleunigung g die in der Zeit t geschehene Fallbewegung, die Weglänge, von uns im Betrage von $s = \frac{1}{2}gt^2$ berechnet wurde, so ist jetzt ebenso bei einer irgendwie erzeugten Beschleunigung a für die Dauer t der Weg $s = \frac{1}{2}at^2$ und also die hierbei geleistete Arbeit: $A = ks = ma \times \frac{1}{2}at^2$, also $= \frac{m}{2}a^2t^2$. Erinnern wir uns ferner, daß nach t Sekunden die erlangte Geschwindigkeit $v = at$ sein muß, so ist der vorige Wert für die geleistete Arbeit auch $\frac{1}{2}mv^2$.

Diesen letzteren Ausdruck, der also nur die bewegte Masse und die ihr erteilte Geschwindigkeit enthält, nennen wir die lebendige Kraft oder die Wucht, welche die Masse empfangen hat, und die vorstehende Berechnung läßt sich in Worten so ausdrücken, daß die lebendige Kraft, die von einer Arbeitsleistung erzeugt wurde, dieser selbst gleich zu erachten sei, und daß die Arbeitsleistung, durch welche eine Masse in Bewegung gesetzt wurde, bestimmt ist durch die Größe der Masse und das Quadrat der ihr erteilten Geschwindigkeit.

Man pflegt die beiden Begriffe Arbeit und lebendige Kraft auch mit dem gemeinsamen Wort Energie zu bezeichnen. Da sie einander gleichwertig sind, kann ein Wort für beide dienen, und es ist in jener Gleichsetzung eine Erkenntnis ausgedrückt, die wir als Energiegesetz bezeichnen. Nachdem verschiedene andere Forscher für einzelne Erscheinungsgebiete das Vorhandensein eines solchen

Gesetzes vermutet und es teilweise ausgesprochen hatten, wurde in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts durch Robert Mayer und besonders durch Helmholtz dieses Energiegesetz zum deutlichen Ausdruck gebracht, von letzterem mit den Worten:

„Die Summe der wirkungsfähigen Kraftmengen im Naturganzen bleibt bei allen Veränderungen in der Natur ewig und unverändert dieselbe.“

Unter wirkungsfähigen Kräften ist dabei verstanden, was wir heute mit Energie zu bezeichnen pflegen, und es besagt also das Gesetz, daß Energie weder entstehen, noch vergehen, daß sie wohl von einem Körper auf einen anderen oder aus einer Form in eine andere übergeführt, nicht aber in ihrem Betrage vermehrt oder vermindert werden kann.

Einige unserer Anschauung vertrauten Vorgänge mögen zur Erläuterung dienen. Wenn eine Kugelfugel von Menschenhand geworfen wird, so beginnt eine Bewegung der vorher ruhenden Hand, die sich auf die Kugel überträgt, rascher wird und mit dieser Beschleunigung der Kugel eine gewisse wachsende Geschwindigkeit erteilt. Die Masse der Kugel und diese Beschleunigung lassen also die Kraft der werfenden Hand erkennen. Nehmen wir zu dieser Kraft den Weg, auf welchem dabei die Kugel von der Hand geführt wird, so ergibt sich die Arbeit, welche die Hand bis zu dem Augenblick, wo sie die Kugel losließ, leistete. Die Hand hat den hierin ausgedrückten Energiebetrag der Kugel gegeben, und mit dieser Energie, die nun die lebendige Kraft der Kugel bildet, bewegt sich diese auf ihrer Bahn. Würde sie nicht durch Reibung gehindert, so flöge sie als träger Körper mit unverminderter Geschwindigkeit und also unvermindertem Energievorrat oder unverminderter Wucht unbegrenzt weiter.

Wenn ein Geschöß durch die Explosion der Pulverladung Bewegung erhält, so können wir auch hier die Beschleunigung, welche der Masse des Geschößes erteilt wird, von dem ursprünglichen Ruhezustand durch die rascher und rascher werdende Bewegung bis zum Verlassen des Laufs verfolgen. Die Masse des Geschößes und die ihr erteilte Bewegung durch die Länge des Laufs bestimmen zusammen die beim Fortschleudern der Kugel geleistete Arbeit, und andererseits ist das halbe Produkt aus der Kugelmasse und dem Quadrate ihrer „Anfangsgeschwindigkeit“ beim Verlassen des Laufs, nämlich die Größe $\frac{1}{2} m v^2$, die lebendige Kraft, welche die Kugel dabei empfangen hat und mit der sie nun fortfliegt.

Hier habe ich einen Apparat (Fig. 31), an dem wir Arbeitsleistung und Energieumsatz beobachten können, bestehend aus einer Reihe von acht an je zwei Schnüren nebeneinander aufgehängten elastischen (z. B. Elfenbein-) Kugeln. Wenn ich die erste der Kugeln aus ihrer Ruhelage zurückziehe und loslasse, so daß sie herabfallend auf die zweite stößt, dann kommt sie bei dieser mit einer gewissen Geschwindigkeit an, die sie im Fallen gewann, und gibt an die zweite

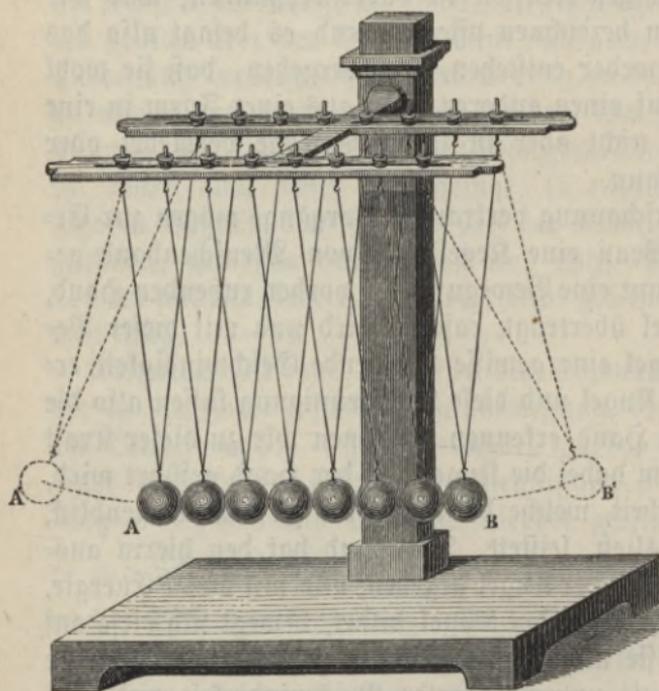


Fig. 31. Stoßmaschine.

Kugel ihre Energie ab. Da alle Kugeln gleich schwer sind, wird die zweite Kugel die gleiche Geschwindigkeit annehmen, ebenso die dritte, vierte bis achte, wenn auch jede dieser zwischenliegenden nur eine sehr geringe Bewegung machen kann, indem sie den Stoß weiter gibt. Am anderen Ende der Kugelreihe kommt dann, durch die beweglichen Kugeln hindurch fortgeleitet, die gleiche Energiemenge an, welche die auftreffende erste Kugel abgab, und indem diese Energiemenge am anderen Ende eine Bewegung von bestimmter Geschwindigkeit herbeiführt, wird die Masse, die sich mit dieser Geschwindigkeit bewegt, durch die zugeführte Energiemenge bestimmt sein, und wir sehen eine Kugel, die achte, davonsfliegen. Ändern wir den Versuch in der Weise, daß wir zwei oder drei Kugeln aufheben und gegen die übrigen pendeln lassen, so ist die jetzt ankommende Energiemenge doppelt oder dreimal so groß, denn die Fallgeschwindigkeit ist dieselbe und die bewegte Masse gegen vorher verdoppelt oder verdreifacht. Die zugeführte Energiemenge kommt auch jetzt auf der anderen Seite an und bewegt mit der gleichen Geschwindigkeit

dort eine doppelt oder dreimal so große Masse wie vorher, wir sehen zwei oder drei Kugeln davonsfliegen. Sogar wenn wir fünf Kugeln von der einen Seite gegen die drei anderen fliegen lassen, wird ebenfalls die gleiche Masse durch die auf die andere Seite geführte Energie in Bewegung gesetzt, fünf Kugeln, wobei die mittelste also erst zu der stoßenden und nachher zu der gestoßenen Masse gehört.

Wenn aber Energie unzerstörbar sein soll, so scheint es, daß manche Vorgänge, die uns wohlbekannt sind, damit nicht recht vereinbar seien. Wenn z. B. jemand im Freien einen Stein emporwirft, so daß er auf das Dach eines Hauses fällt und dort liegen bleibt, dann hat die werfende Hand offenbar Arbeit geleistet, dem Stein Energie, lebendige Kraft, gegeben, und die Bewegung hat aufgehört, ohne eine andere zu erzeugen. Daß aber doch die Energie, die der Stein hatte, nicht aus der Welt verschwunden ist, können wir sehen, wenn vielleicht durch Regenwetter das Dach schlüpfrig wird und nun der Stein herabgleitet und wiederum zur Erde fällt. Dann kommt er, ohne jetzt neue Energie empfangen zu haben, mit derjenigen Fallgeschwindigkeit, welche der Höhe entspricht, und also mit derselben lebendigen Kraft unten wieder an, mit der er vorher, vielleicht vor Stunden oder Tagen oder Monaten, hinaufgeworfen wurde. Die Energie war inzwischen nicht als Bewegung erkennbar, aber sie ist jetzt wieder aufgetaucht, und sie war, wenn auch nicht als Bewegung, so doch vorhanden in der höheren Lage des Steins und in der Möglichkeit des Herabfallens. Wir bezeichnen die Energie, die der Stein zuerst empfing, als Energie der Bewegung, und diejenige, welche er auf dem Dache liegend hatte, als Energie der Lage. Beide sind ineinander, wie dieser Vorgang lehrt, leicht überzuführen. Wenn wir etwa den Stein so emporwerfen, daß er gleich wieder herabfällt, dann hat er sich im Emporsteigen mit abnehmender Geschwindigkeit bewegt und zeigt in einem gewissen Augenblick an der höchsten Stelle seiner Bahn die Geschwindigkeit Null, also gar keine Bewegungsenergie, dafür aber um so mehr Energie der Lage. Im Herabfallen verliert er die Energie der Lage wieder mehr und mehr und gewinnt dabei von neuem Bewegungsenergie, so daß beide zusammen während der ganzen auf- und absteigenden Bewegung einen unveränderlichen Betrag ausmachen.

Wenn wir ein Pendel anstoßen, d. h. durch die stoßende Hand eine gewisse Arbeit leisten und dem Pendelkörper also Energie, nämlich lebendige Kraft, geben, so sehen wir diese Energie immer

abwechselnd als solche der Bewegung und solche der Lage auftreten. Die größte Bewegungsenergie, nämlich die größte Geschwindigkeit, hat das Pendel beim Durchgang durch seine tiefste Stellung, die größte Energie der Lage und geringste der Bewegung da, wo es an den höchsten Stellen der Bahn umkehrt und einen Augenblick bewegungslos ist. Beide Arten der Energie ändern also ihre Größe beständig und in entgegengesetztem Sinne; beide zusammen aber haben dauernd den gleichen Wert, denjenigen nämlich, welcher der beim Anstoßen dem Pendel übertragenen lebendigen Kraft gleichkommt.

Ähnlich können wir von einem auf seiner Bahn um die Sonne laufenden Planeten (Fig. 29) sagen, daß er in der Sonnennähe größere Geschwindigkeit und somit mehr Bewegungsenergie und weniger Energie der Lage hat, in der Sonnenferne dagegen umgekehrt mehr Energie der Lage und weniger Bewegungsenergie.

Wenn beim Hebel, der schiefen Ebene, dem Flaschenzug usw. der Satz gilt, daß, was an Kraft gewonnen, an Weg verloren wird, so ist also der Betrag von Kraft mal Weg auf beiden Seiten gleich groß, nämlich die an der Kraftseite geleistete Arbeit hat denselben Betrag, wie diejenige, welche an der Lastseite durch Heben der Last wiedergewonnen wird. Wäre es anders und könnte man durch irgendwelche künstliche Vorrichtung einen höheren Energiebetrag erzeugen, als zum Betrieb der Vorrichtung gebraucht wird, so wäre das Energiegesetz widerlegt, und es gäbe ein Perpetuum mobile. Solche Vorrichtung zu schaffen, war durch viele Jahrhunderte der Traum zahlreicher Erfinder. Seine Verwirklichung hätte die Menschen instand gesetzt, Energie aus nichts entstehen zu lassen, und daß dies auf keine Art gelingen kann, gehört zum wesentlichen Inhalt des Gesetzes von der Erhaltung der Energie.

Wenn unser Körper eine Arbeit geleistet hat, sei es durch Heben von Lasten oder durch sonstige Anstrengung, welche an äußeren Gegenständen Änderungen hervorruft, so empfinden wir den gebundenen Energieverlust als Ermüdung und müssen, um den früheren Zustand der Leistungsfähigkeit wiederzugewinnen, dem Körper durch Aufnahme von Nahrung Ersatz zuführen. Ähnlich ist eine Wanduhr, deren Gewicht herabgesunken ist, oder eine abgelaufene Taschenuhr „ermüdet“, d. h. ihrer Leistungsfähigkeit beraubt, und durch Heben des Gewichts oder Spannen der Feder muß ihr, wenn sie wieder gehen soll, diejenige Energie der Lage neu zugeführt werden, die sie beim Bewegen des Werkes hergegeben, nämlich in Bewegungsenergie umgesetzt hat.

Aber immer noch gibt es viele Erfahrungen, bei denen der Verbleib der Energie durch die bisherigen Betrachtungen nicht aufgeklärt wird. Wir brauchen nur von neuem an die Kegelfugel zu denken, deren Bewegung doch tatsächlich nicht unbegrenzt fortbauert, und die auch nicht ihre Höhe ändert, also nicht etwa, was sie an Bewegungsenergie einbüßt, an Energie der Lage gewinnt. Es gibt eben noch weitere Energieformen; vor allem gehört dazu die Wärme. Überall da, wo wir eine Bewegung verschwinden sehen, weil ein Körper durch den Widerstand anderer Körper aufgehalten wird, geht die bisher als Bewegungsenergie vorhandene lebendige Kraft in Wärmeenergie über. Die Kegelfugel hat Reibung am Boden und in der Luft, und sie wird zuletzt, wenn sie gegen die Regel oder gegen die Wand fliegt, von diesen Körpern ihrer Bewegung beraubt. Genaue Verfolgung dieser Vorgänge läßt dann jedesmal erkennen, nicht bloß daß bei diesem Aufzehren von Bewegung Wärme erzeugt wird, sondern daß auch die erzeugte Wärmemenge genau gleichwertig und an Größe entsprechend der aufgezehrten Bewegungsenergie ist. Man kann bekanntlich ein auf einem Amboß liegendes Metallstück durch Hammerschläge erhitzen. Der nieder sinkende Hammer gib seine ganze lebendige Kraft an die getroffenen Körper ab, und indem diese Energiemenge aufhört, Bewegungsenergie zu sein, wird sie in Wärme umgewandelt. Auch das Umgekehrte können wir nachweisen und messend verfolgen. Wenn wir die Wärme, wie sie aus dem Verbrennen der Kohle in der Dampfmaschine gewonnen wird, benutzen, um die Maschine zu bewegen, so setzen wir Wärme in Bewegungsenergie um. Auch hier, wie bei der Umsetzung zwischen Bewegungsenergie und solcher der Lage, geschieht die Umsetzung in ganz bestimmten Zahlenverhältnissen und gemäß dem Gesetz von der Erhaltung der Energie. Eine Reihe von anderen Energieformen ist ebenfalls bekannt: die Energie des elektrischen Stromes, des Lichtes, der chemischen Verwandtschaft usw.

Ein Beispiel für gegenseitige Umsetzung solcher Energieformen ist etwa im folgenden gegeben. Die in der Kohle als chemische Verwandtschaft zum Sauerstoff der Luft ruhende Energie wird durch Verbrennung freigemacht und in Wärme umgesetzt; sie dient zum Heizen einer Dampfmaschine, welche sie in Bewegungsenergie verwandelt und eine Dynamomaschine treibt; hier wird elektrische Energie daraus, und diese kann nun vielleicht zu elektrischer Beleuchtung verwendet und in Lichtenergie umgesetzt werden, oder sie kann durch Betreiben eines Motors wieder zu Bewegungsenergie

werden, oder man kann durch den elektrischen Strom Wasser zersetzen und die von ihm zugeführte Energie als chemische in der Trennung von Wasserstoff und Sauerstoff aufspeichern, um vielleicht durch deren Vereinigung (Verbrennung des Wasserstoffs mittels des Sauerstoffs) wieder Wärme daraus zu machen. Alle solche Änderungen geschehen nach Maßgabe des Energiegesetzes und seiner feststehenden Umsetzungsverhältnisse. Denn dies wichtige Gesetz besagt, daß Energie wohl von einem Körper auf den anderen, von einer Form in eine andere übergehen, niemals aber entstehen oder vergehen kann.

Kein einziger Vorgang ist bekannt, der hiermit nicht vereinbar wäre, unzählige Erscheinungen dagegen stimmen mit dieser Erkenntnis überein, und darum darf das Gesetz von der Erhaltung der Energie als das bedeutungsvollste aller Naturgesetze angesehen werden.

Wie für Länge, Masse und Zeit, so hat man auch für die vorstehend erläuterten Größen Beschleunigung, Kraft und Energie Maßeinheiten eingeführt; indem dabei als Länge 1 das Zentimeter, als Masse 1 das Gramm, als Zeit 1 die Sekunde zugrunde gelegt wurde („c-g-s-System“), ergab sich als Einheit der Beschleunigung diejenige, welche die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers in der Sekunde um 1 cm vermehrt. In diesem Maße ist also die Schwerkraftsbeschleunigung an der Erdoberfläche $g = 981$, denn sie erteilt dem fallenden Körper in der Sekunde eine Geschwindigkeitsvermehrung um 981 cm. Die Einheit der Kraft in diesem System wird als Dyne bezeichnet und hat eine solche Größe, daß sie auf ein Gramm mit der Beschleunigung 1 wirkt. Demnach ist ein Grammgewicht, d. h. die Kraft, mit welcher die Masse eines Gramms von der Erde angezogen wird, gleich 981 Dynen, oder eine Dyne gleich 0,00102 Grammgewicht, denn das Grammgewicht wirkt auf seine eigene Masse 1 mit der Beschleunigung 981. Die bereits im Anfang des vorigen Kapitels erwähnte Verschiedenheit der Begriffe Masse und Gewicht wird auch hier wieder deutlich. Als Einheit der Arbeit bezeichnet man mit dem Namen Erg diejenige Arbeit, welche von der Kraft einer Dyne auf dem Wege eines Zentimeters verrichtet wird. Es würde also, um ein Grammgewicht unter Überwindung der Schwerkraft um 1 cm zu heben, die Arbeit von 981 Erg erforderlich sein; die als Arbeitsmaß vielfach übliche Größe von 1 Meterkilogramm, welche dem Heben eines Kilogrammgewichts um 1 Meter entspricht, ist

demnach gleich 98100000 Erg, und $1 \text{ Erg} = 0,0000000102$ Meterkilogramm.

Viertes Kapitel.

Tropfbare Flüssigkeiten.

Leichte Verschiebbarkeit der Teilchen. Druck senkrecht zur Grenz wand. Freie Oberfläche senkrecht zur wirkenden Kraft. Kommunizierende Gefäße. Heber. Bodendruck. Auftrieb. Spezifisches Gewicht. Schwimmen. Bewegungsercheinungen.

Bei unseren bisherigen Betrachtungen war noch gar keine Rede von den verschiedenen Aggregatzuständen, in welchen die Körper aufzutreten vermögen. Alle die Gesetze und Überlegungen, die uns bisher beschäftigten, gelten für Massen überhaupt, gleichviel ob diese fest oder flüssig oder gasförmig sind, und es ist nun unsere nächste Aufgabe, von den besonderen Erscheinungen und Regeln Kenntniß zu nehmen, die sich auf die beiden letztgenannten Zustände allein beziehen.

Zunächst sei deren Wesen geschildert. Bei jedem festen Körper bestehen zwischen den kleinsten Teilchen Anziehungskräfte, welche so stark sind, daß sie Formänderungen, die durch äußere Einwirkung herbeigeführt werden könnten, verhindern, solange nicht die äußere Einwirkung eine erhebliche Stärke hat. Wenn dagegen diese Anziehungskräfte geringe sind, klein genug, so daß sie z. B. der Schwere nicht Widerstand leisten können, so ist der Körper tropfbar flüssig. Ein fester Körper mit erheblicher gegenseitiger Anziehung der Teilchen behält seine Form unter Einfluß der auf seine einzelnen Stücke gesondert wirkenden Schwerkraft. Wenn ich ein Stück Holz oder Metall auf den Tisch lege, so ist seine Form bestimmt und nicht veränderlich. Eine Flüssigkeit wird dagegen durch die Schwere der einzelnen Teile in ihrer Form derart beeinflusst, daß sie immer die Gestalt des Gefäßes, welches sie gerade füllt, einnimmt. Wollte ich eine Flüssigkeitsmenge so wie vorher den festen Körper auf den Tisch bringen, so würde, wie wir ja wissen, die Flüssigkeit der Schwere folgend sich ausbreiten und herabfließen, ohne daß die freilich noch immer vorhandene gegenseitige Anziehung der Teilchen solche Formänderung verhinderte. Wir werden später sehen, daß bei den gasförmigen Körpern die Teilchen sich gegenseitig abstoßen, und daß eine Gasmenge auseinanderströmt und jeden ihr gebotenen Raum erfüllt.

Tropfbar flüssige wie gasförmige Körper haben demnach, zum Unterschied von den festen, die besondere Eigenschaft der leichten Verschiebbarkeit ihrer Theilchen, und wegen dieser gemeinsamen Besonderheit nennt man sie beide wohl auch Flüssigkeiten: tropfbare, das sind die gewöhnlich mit dem Namen Flüssigkeit bezeichneten Körper, und elastische Flüssigkeiten, das sind die Gase.

Die leichte Verschiebbarkeit der Theilchen gibt der Flüssigkeit die besondere Eigenschaft, daß ein Druck sich in ihr nach allen Seiten fortpflanzt, während beim festen Körper die Fortpflanzung des Drucks nur nach der einen ursprünglichen Richtung der Druckkraft stattfindet. Wir denken uns wieder einen festen Körper, etwa ein Metallstück, auf den Tisch gelegt. Die Schwerkraft zieht es nach unten, es drückt mit seinem Gewicht auf den Tisch und übt eine abwärts gerichtete Kraft, und zwar nur diese, auf die Tischplatte aus. Wenn ich dasselbe Metallstück statt auf den festen Tisch, auf die Oberfläche einer Wassermenge, die sich in einem größeren Gefäß befindet, setze, so wirkt sein Gewicht gleichfalls nach unten, drückt aber nicht bloß die unter ihm liegenden Flüssigkeitsteilchen abwärts, sondern es wird von diesen vermöge ihrer leichten Verschiebbarkeit der Druck nach allen Seiten weiter geleitet und treibt in der Umgebung des Metallstücks, wenn dies seinerseits einsinkt, die Flüssigkeit sogar hinauf, so daß also die abwärts wirkende Schwere des Metalls einen Teil der Flüssigkeit aufwärts bewegen kann.

Diese Eigenschaft, daß in der Flüssigkeit der Druck nach allen Seiten fortgepflanzt wird, führt uns ferner zu einer Erwägung

über Druckkräfte, welche von der Flüssigkeit auf die begrenzende Gefäßwand ausgeübt werden. Wenn wir eine Stelle in der inneren Wand eines mit schwerer Flüssigkeit gefüllten Gefäßes betrachten (Fig. 32), so muß, weil der Druck, der vom Gewicht der

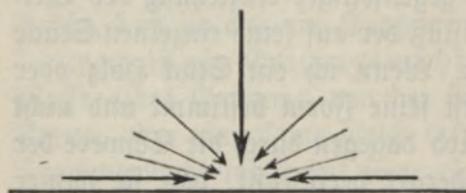


Fig. 32.

Flüssigkeitsdruck senkrecht zur Gefäßwand.

Flüssigkeit herrührt, nach allen Seiten fortgepflanzt wird, auch an der betrachteten Stelle von allen Seiten her ein Druck auf die Gefäßwand ausgeübt werden. Diese von allen Seiten steil und schräg gegen die eine Wandstelle gerichteten Druckkräfte können wir nun sämtlich derart zerlegen, daß jede von ihnen eine Resultierende darstellt, die in zwei Komponenten geteilt wird, eine, welche senkrecht auf der Wandfläche steht, und eine zweite, die in der Wand-

fläche selbst liegt. Dann erhalten wir also zwei Gruppen von Druckkräften, die einen wirken alle zusammen senkrecht gegen die betrachtete Wandstelle, während die zweite Gruppe aus solchen Kräften besteht, die in der Wandfläche liegen und von allen Seiten, wie die Radien eines Kreises, gegen die betrachtete Stelle gerichtet sind. Diese letzteren müssen, weil keine Richtung bevorzugt ist, sich alle gegenseitig aufheben, und wenn wir sie demgemäß weglassen, so bleibt als tatsächliche Gesamtwirkung der von allen möglichen Richtungen gegen die eine Wandstelle wirkenden Druckkräfte nichts weiter übrig als ein die Wand senkrecht treffender Druck, nämlich die Summe der Kräfte, die wir vorher als erste Gruppe bezeichneten. Als Ergebnis dieser Überlegung können wir demnach aussprechen, daß eine Flüssigkeit auf die sie begrenzende Gefäßwand an jeder Stelle einen zu dieser Wand senkrechten Druck ausübt. Dafür sollen uns nun ein paar Versuche Beweis und Anschauung liefern:

Ich habe hier (Fig. 33) ein größeres Gefäß mit Wasser, einen beiderseits offenen Glaszylinder und eine auf die Öffnung des Zylinders passende glatte Kupferscheibe. Diese letztere ist mit einem Haken derart an einer Schnur zu befestigen, daß sie in horizontaler Lage daran hängt. Nun halte ich die Schnur an ihrem oberen Ende, stecke sie durch den aufrecht gehaltenen Zylinder hindurch, hänge an das untere Schnurende die Kupferplatte und drücke sie mittels der Schnur so gegen die untere Zylinderöffnung, daß sie diese verschließt. Dann tauche ich die ganze Vorrichtung in das Wasser, und wenn ich nun die Schnur durch Nachlassen von der Platte löse und herausziehe, so fällt die Kupferplatte nicht etwa herab, sondern sie wird von dem Wasserdruck gehalten und gegen die untere Zylinderöffnung gepreßt. Ich kann sogar in den Zylinder noch Wasser hineingießen bis zu einer gewissen, allerdings unter der äußeren Wasserfläche bleibenden Höhe, und erst dann wird die Platte abfallen, wenn das Gewicht dieses zugegossenen Wassers den von unten wirkenden Wasserdruck und das Kupfergewicht überwiegt. Nach der vorigen Erwägung ist die Deutung nicht schwer. Als ich die Kupferplatte gegen die untere Zylinderöffnung legte, bildete ihre Unterseite im Wasser einen Teil der

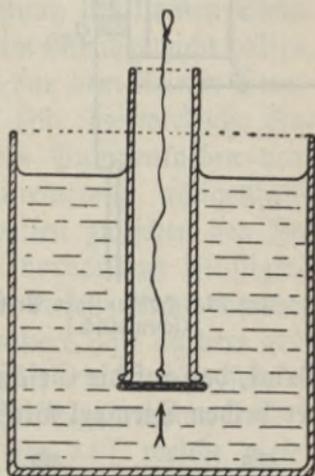


Fig. 33. Aufwärts gerichteter Flüssigkeitsdruck.

Gefäßwand, und der an jener Stelle herrschende Wasserdruck mußte auf dieses Wandstück senkrecht, also nach oben wirken, der Schwere entgegen und das Gewicht des Kupferstücks überwiegend.

Ein anderer Versuch zeigt uns das Verhalten der hydraulischen Presse, deren Teile in schematischer Darstellung Fig. 34,

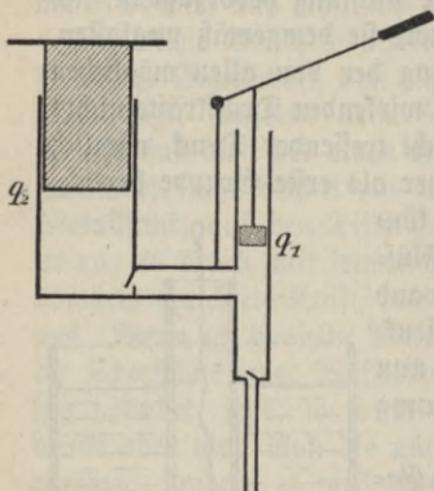


Fig. 34. Hydraulische Presse.
(schematisch.)

vollständig Fig. 35 zeigt. Sie besteht im wesentlichen aus einem mit Flüssigkeit gefüllten Gefäß, welches überall geschlossen ist bis auf zwei Stellen der Oberseite, an denen je ein zylindrischer Ansatz q_1 und q_2 sich befindet. Diese beiden Zylinder sind verschieden weit, jeder von ihnen ist mit einem genau hineinpaffenden Stempel verschlossen, den wir von außen mit Gewichten oder durch sonstige erzeugten Druck belasten können. Wenn wir die Stempel auf der Flüssigkeit ruhend mit geeigneten Gewichten belegen, erzeugen wir im Innern der Flüssigkeit einen entsprechenden

Druck, der auf die Gefäßwand und also auch auf die Unterseite jedes der beiden Stempel wirkt, auf diese nach oben. Würde ich einen der

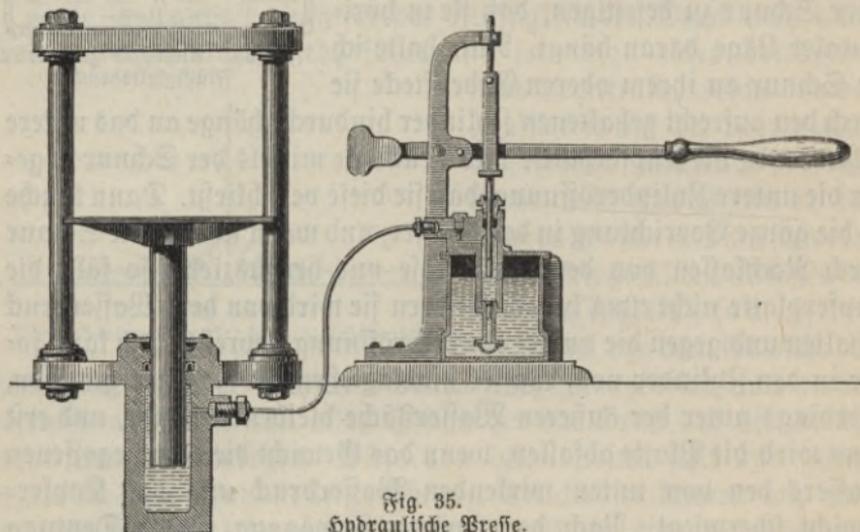


Fig. 35.
Hydraulische Presse.

Stempel über ein gewisses Maß hinaus belasten, dann würde er einen solchen Druck erzeugen, daß er selbst sinkt und den anderen empor-

hebt, und um Gleichgewicht zu erzeugen muß offenbar zwischen den Belastungen beider Stempel eine ganz bestimmte Beziehung bestehen. Es ist auch nicht schwer, diese Beziehung anzugeben, denn der Druck, welcher auf die Unterseite der Stempel wirkt, ist offenbar für je 1 qcm Fläche bei beiden gleich groß, und je mehr Quadratcentimeter die Unterseite eines Stempels mißt, um so mehr Flüssigkeitsdruck wirkt auf ihn von unten und um so mehr Belastung muß zur Herstellung des Gleichgewichts oben daraufgelegt werden. Es werden sich also die Belastungen, welche zum Gleichgewicht erforderlich sind, zueinander verhalten, wie die Querschnitte der beiden Stempel oder der Zylinder, in welchen sie sich befinden. Und man kann demnach durch die kleinere Belastung des kleinen Stempels die größere Last des großen Stempels im Gleichgewicht halten, und durch eine noch etwas vermehrte Kraft von dem kleinen Stempel aus die Last des großen emporheben. Für die wirkliche Anwendung ist statt des kleinen Stempels ein Pumpenkolben vorhanden, der die Flüssigkeit in das Gefäß hineintreibt, nötigenfalls auch noch mit einem unten und einem zweiten zwischen den Zylindern befindlichen Ventil, um die innen vorhandene Flüssigkeit vermehren zu können. Die Kraft, welche diesen Pumpenkolben hinabtreibt, kann dazu dienen, eine viel größere Last an dem größeren Stempel empor zu bewegen oder auch einen sehr starken Druck auf diesen oder auf einen an seine Stelle gebrachten Kolben auszuüben, und die hydraulische Presse (Fig. 35), welche dieser einfachen Erwägung entspricht, ist in der That eine Vorrichtung, bei der wir mit kleiner Kraft sehr große Drucke erwirken können. Es braucht wohl kaum hinzugefügt zu werden, daß auch hier, wie bei Hebel und Flaschenzug usw., das Gesetz von der Erhaltung der Energie gewahrt ist, sofern nämlich auch hier es heißt: Was an Kraft gewonnen, wird an Weg verloren.

Noch ein anderer Versuch soll uns die senkrechte Wirkung des Flüssigkeitsdruckes an allen Stellen der Wandfläche zeigen.

Mit der Wasserleitung durch einen Schlauch verbunden ist ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr, welches ich so anbringe, daß das Ende des Schlauches mit dem längeren Schenkel senkrecht herabhängt, während unten der kürzere Schenkel wagrecht steht und seine Öffnung nach rechts vom Beschauer gerichtet ist. Öffne ich den Wasserhahn und lasse den Wasserdruck (langsam!) in der Röhre wirksam werden, so richtet sich dieser Druck gegen die ganze Fläche der inneren Röhrenwand. Jedem einzelnen Wandstückchen steht

aber ein anderes gegenüber, welches einen ebenso großen und entgegengesetzt gerichteten Druck auszuhalten hat, so daß alle diese Einzeldrucke sich gegenseitig aufheben. Nur auf dasjenige Flächenstück, welches der Rohröffnung gegenüberliegt, wirkt ein Druck, dem kein entsprechender entgegensteht, und darum sehen wir das Rohr im Sinne dieses Drucks nach links aus seiner Lage herausgehen, sobald ich den Wasserhahn öffne, und nach dessen Schließen wieder in die vorige senkrechte Stellung zurückkehren. In Ermangelung einer Wasserleitung kann man den Versuch auch in der durch Fig. 36 angedeuteten Weise ausführen.

Das gleiche zeigt uns in mehrfacher Betätigung dieser sogenannte Reaktionsapparat (auch Segnersches Rad genannt, Fig. 37),



Fig. 36. Rückstoß des Wasserdrucks.

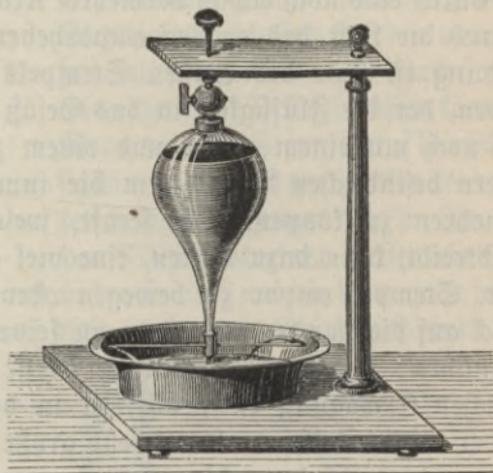


Fig. 37. Reaktionsapparat.

der als Modell der Turbine dienen kann. Ein aufrechtes Gefäß ist um seine Mittelachse drehbar und trägt unten seitlich angelegte Röhren, deren jede am Ende verschlossen ist und nahe an diesem Ende eine bei allen nach der gleichen Richtung gewendete Ausflußöffnung hat. Gieße ich in das mittlere Gefäß Wasser, so übt dies vermöge seiner Schwere einen Druck aus, der nach unten wegen der dort lastenden größeren Flüssigkeitsmenge wächst, und der an jeder Stelle der Gefäßwand zu dieser senkrecht, also immer nach außen gerichtet ist. Jedem einzelnen Wandstückchen liegt auch hier wieder ein anderes gegenüber, welches den gleichen und umgekehrt gerichteten Druck auszuhalten hat. Sowohl für die Fläche des Zylinders, wie auch für diejenigen der seitlichen Röhren gilt dies, mit

alleiniger Ausnahme derjenigen Stellen der Röhrenwand, welchen eine Ausflußöffnung gegenüberliegt. Indem aus diesen Öffnungen die Flüssigkeit austritt und also keinen Druck auf die Öffnungsfläche ausübt, bleibt der Öffnung gegenüber ein Wandstückchen und eine dagegen gerichtete Druckkraft, der keine andere ausgleichend entgegensteht. Diese nicht im Gleichgewicht gehaltenen Druckkräfte bewirken also, wie wir es im Versuch sehen, eine Drehung der ganzen Vorrichtung derart, daß die Öffnungen an der Rückseite der bewegten Röhren sich befinden.

Eine ähnliche Betrachtung können wir ferner für die freie Oberfläche der Flüssigkeit anstellen. Hier ist nämlich, wenn die Flüssigkeit sich in Ruhe und Gleichgewicht befindet, die Oberfläche stets so gestaltet, daß sie an jeder Stelle senkrecht zu der daselbst wirkenden Kraft steht. Denn in diesem Falle ist die Kraft, welche auf die Oberflächenteilchen wirkt, dahin gerichtet, jedes Teilchen nach dem Innern der Flüssigkeit zu treiben und sie alle zusammen wie eine Decke auf die Flüssigkeit zu pressen. Ist auf der ganzen Oberfläche diese Decke gleichmäßig vorhanden, dann wird sie entsprechend der Größe der wirkenden Kräfte einen gewissen Druck, aber keine Bewegung erzeugen. Wenn dagegen die wirkenden Kräfte nicht senkrecht, sondern schräg zur Oberfläche gerichtet sind, wenn sie also Komponenten in der Oberflächenrichtung selbst enthalten, dann folgt daraus eine Bewegung der Oberflächenteilchen gegeneinander, und diese dauert so lange, bis die Gestalt der Flüssigkeit und namentlich die Richtung der Oberfläche dem Gleichgewichtszustande entspricht, d. h. zu den vorhandenen Kräften senkrecht geworden ist.

Ein Gefäß mit Flüssigkeit, das wir ruhend auf dem Tische haben, oder das Wasser eines stillen Teiches ist nur der Schwerkraft unterworfen und hat also, weil diese von oben nach unten wirkt, senkrecht dazu eine horizontale Oberfläche (Fig. 38). Wenn wir schräg gegen diese Fläche einen Luftstrom blasen, so stellt sie sich alsbald demgemäß

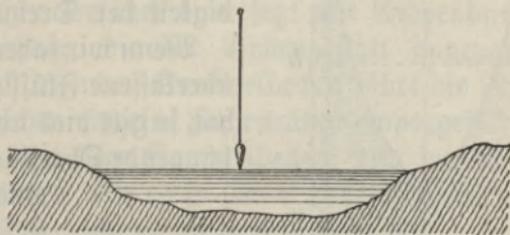


Fig. 38. Horizontale Wasseroberfläche.

ein, so daß nun ihre Richtung senkrecht steht zu der Resultierenden aus der Kraft des Luftstroms und der Schwerkraft. Oder: wenn wir die Schwungmaschine benutzen, welche uns bei den Versuchen über Zentrifugalkraft diente, und das zylindrische Gefäß mit Flüssigkeit so darauf

befestigen, daß es um seine Mittelachse gedreht werden kann, dann treten zu der Schwerkraft noch die Zentrifugalkräfte hinzu, welche, in der Mitte gleich Null, nach dem Rande hin immer größeren Betrag gewinnen. Für jede einzelne Stelle m (Fig. 39) hat man dann

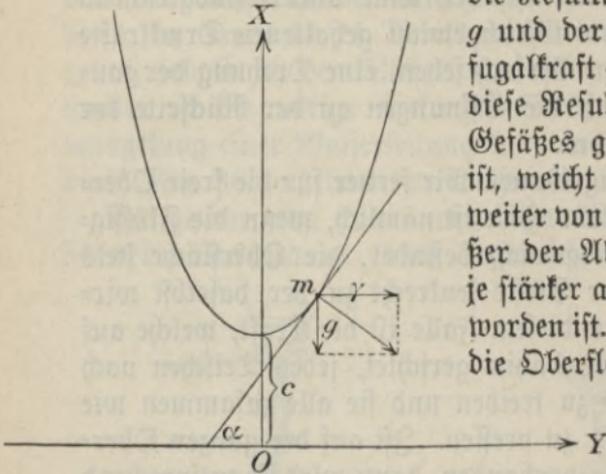


Fig. 39. Durch Drehen gekrümmte Wasserfläche.

die Resultierende aus der Schwerkraft g und der dort herrschenden Zentrifugalkraft γ zu bilden, und während diese Resultierende in der Mitte des Gefäßes gerade nach unten gerichtet ist, weicht sie nach außen hin um so weiter von der Senkrechten ab, je größer der Abstand von der Mitte und je stärker also die Zentrifugalkraft geworden ist. An jeder Stelle wird dann die Oberfläche dieser Verteilung der

Kraftrichtungen gemäß gestaltet sein, an jeder Stelle nämlich senkrecht zu der dort vorhandenen

Resultierenden von Schwerkraft und Zentrifugalkraft. Und so entsteht die bekannte Figur der parabolischen, in der Mitte vertieften, am Rande emporgestiegenen Flüssigkeitsmasse (Fig. 40). Vermehren

wir die Geschwindigkeit der Drehung und mit ihr die Zentrifugalkraft, so wird die Abweichung von der Horizontalen größer (und umgekehrt), und es kann geradezu die Tiefe, bis zu welcher die Mitte der Flüssigkeit beim Drehen einsinkt, als Maß für die Geschwindigkeit der Drehung benutzt werden.

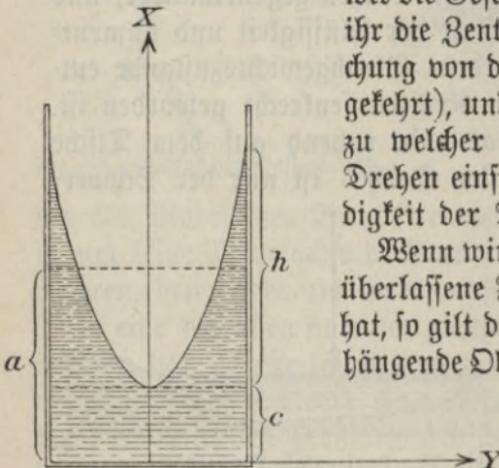


Fig. 40. Durch Drehen gekrümmte Wasserfläche.

Wenn wir sehen, daß eine nur der Schwere überlassene Flüssigkeit horizontale Oberfläche hat, so gilt dies nicht bloß für eine zusammenhängende Oberfläche, sondern ebenso auch bei einer solchen, die in verschiedene Stücke geteilt ist. Mehrere unten miteinander in Verbindung

stehende Gefäße, in die wir eine Flüssigkeit hineinfüllen, müssen demnach derartige Gestalt der Oberfläche zeigen, daß alle die einzelnen Stücke in einer einzigen Ebene liegen. Wir nennen solche Gefäße kommunizierend und finden, daß

in kommunizierenden Gefäßen eine Flüssigkeit überall die gleiche Höhe haben muß (Fig. 41 und 42). Im unteren Teile herrscht derjenige Druck, welcher der über der betrachteten Stelle liegenden Flüssigkeitsmasse und ihrer Schwere entspricht, und wie in einer einzigen zusammenhängenden Flüssigkeitsmasse der Druck nach unten hin wächst und von der Höhe der lastenden Flüssigkeitsmenge abhängt, so wird auch in der mehrfach getheilten, aber doch zusammenhängenden Flüssigkeit, welche einige kommunizierende Gefäße füllt, das Gleichge-

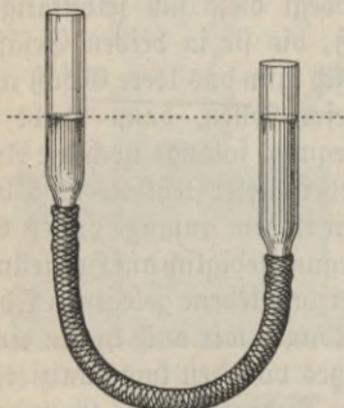


Fig. 41. Kommunizierende Gefäße.

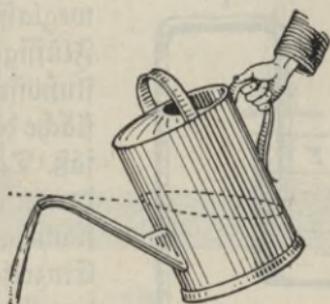


Fig. 42. Kommunizierende Gefäße.

wicht vorhanden sein, wenn an jeder Stelle der Druck entsprechend der darüber lastenden Höhe ist und wenn die verschiedenen Flüssigkeitssäulen der einzelnen Gefäße einander das Gleichgewicht halten.

Ein anschauliches Bild von der Bedeutung der kommunizierenden Gefäße bietet uns die städtische Wasserleitung. In alter Zeit wurden mächtige Bauwerke hergestellt, sog. Aquädukte, um in offener Rinne das Wasser von der Quelle bis zur Gebrauchsstelle fließen zu lassen. Sehr viel einfacher verfährt man jetzt mit Anwendung einer geschlossenen Rohrleitung, die der Bodengestalt angepaßt werden kann. Von dem hochliegenden Sammelbecken führt die Leitung zu den Häusern, in welchen einzelne Rohrstränge emporgeführt sind. Diese kommunizieren mit dem Sammelbecken, und in ihnen kann das Wasser so hoch steigen, wie es in jenem steht. Der Druck in den Leitungsröhren ist demgemäß unten groß und in den oberen Stockwerken der Häuser geringer. Man kann einen Wassermotor durch die Wasserleitung betreiben, wenn er im Keller oder Erdgeschloß steht, während in den oberen Stockwerken der in der Leitung vorhandene Druck dafür nicht ausreicht. Und ebenso kann bei Feuerzgefähr ein an die Leitung geschraubter Schlauch zum Spritzen

und Löschen um so besser und mit um so weiter reichendem Wasserstrahl benutzt werden, je niedriger die Anschlußstelle sich befindet.

Die Verbindung kommunizierender Gefäße muß nicht notwendig zwischen ihren unteren Teilen bestehen, sondern kann auch durch ein Rohr von der Form eines aufwärts gerichteten Bogens ersetzt werden. Darauf beruht die Wirkung des Hebers (Fig. 43). Setze ich ein volles und ein leeres Gefäß nebeneinander, bringe zwischen ihnen ein gebogenes Rohr der erwähnten Gestalt an und fülle es durch Ansaugen mit Flüssigkeit, so bewegt diese sich selbsttätig so lange nach dem anfangs leeren Gefäß, bis sie in beiden Gefäßen gleich hoch steht. Ich kann das leere Gefäß auch weglassen oder tiefer stellen, dann bleibt die Flüssigkeit in Bewegung, solange noch die Ausflußöffnung des Hebers tiefer steht als die Oberfläche der Flüssigkeit in dem anfangs vollen Gefäß. Da diese Bewegung lediglich auf Herstellung der in gleicher Horizontalebene gelegenen Oberfläche gerichtet ist, können wir auch hierin einen Einzelfall des Satzes von den kommunizierenden Gefäßen sehen. Bedingung des Gelingens ist für diesen Versuch freilich, daß das Heberrohr mit Flüssigkeit gefüllt ist und so eine wirkliche Verbindung der beiden Gefäße bildet. Im luftleeren Raum würde die Flüssigkeit durch eigene Schwere aus beiden Schenkeln des Hebers herabsinken, während sie im luftgefüllten Zimmer durch den Luftdruck, der auf der Oberfläche der Flüssigkeit lastet, gehalten wird.

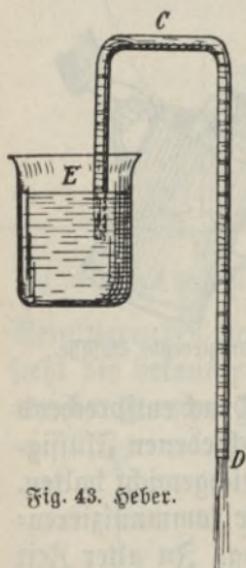


Fig. 43. Heber.

Der Satz von den kommunizierenden Gefäßen führt uns ferner zu einer Betrachtung über die Druckverteilung in verschieden gestalteten Gefäßen. Daß in einem geraden zylindrischen Gefäß der Flüssigkeitsdruck von oben nach unten regelmäßig wächst und innerhalb jeder einzelnen horizontalen Schicht denselben Wert hat, dürfte nicht weiter zweifelhaft erscheinen. Ebenso auch ist wohl ohne weiteres klar, daß der Boden eines solchen Gefäßes einen Druck auszuhalten hat, welcher gleich dem Gewicht der darüber stehenden Flüssigkeitssäule ist. Wenn wir nun aber annehmen, daß das Gefäß bei unveränderter Größe seines Bodens nach oben trichterförmig erweitert und mit Flüssigkeit gefüllt ist, so zeigt die Erfahrung, daß der Boden jetzt ganz denselben Druck auszuhalten hat, wie vorher bei einem zylindrischen

und zu gleicher Höhe gefüllten Gefäß. Um dies zu verstehen, denken wir uns in dem oben breiteren Trichter den mittleren Zylinder durch einen auf dem Rande des Bodens aufsitzen den Zylindermantel von der äußeren Flüssigkeit getrennt. Diese Mantelfläche hätte dann von innen wie von außen einen Flüssigkeitsdruck auszu-

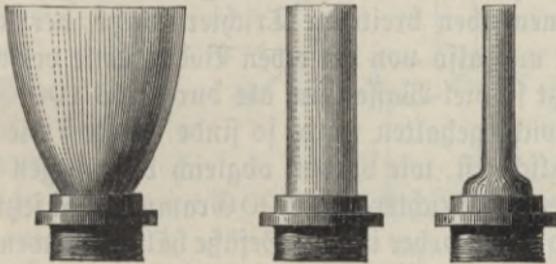
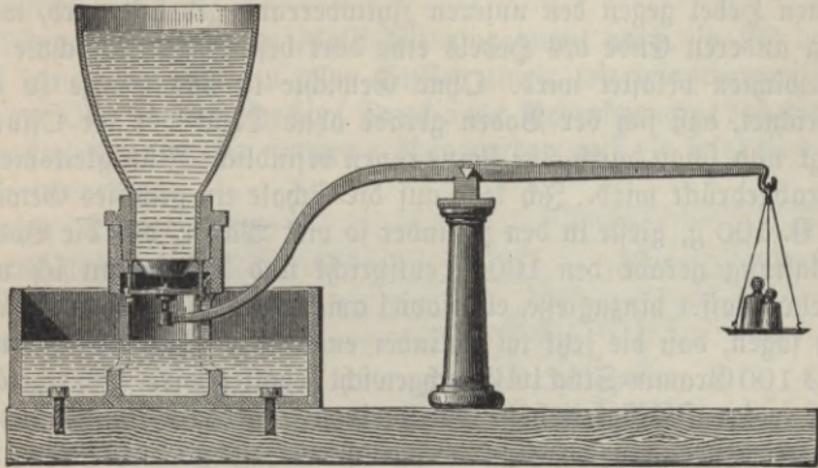


Fig. 44. Bodendruck.

halten, welcher an jeder einzelnen Stelle der Höhe der darüberstehenden Flüssigkeit entsprechen und also innen und außen gleich groß sein müßte. Diese gleich starken Drücke halten einander das Gleichgewicht auch dann, wenn der Zylindermantel sie nicht trennt, und demnach wird durch den auswärts gerichteten Druck der inneren Flüssigkeit der einwärts gerichtete Druck der äußeren gerade aufgehoben, der innere Flüssigkeitszylinder hat in allen seinen Punkten denselben Druck, wie vorher im zylindrischen Gefäß.

Dieselbe Erwägung können wir auch auf die umgekehrte Formänderung des Zylinders anwenden, nämlich wenn wir ihn durch einen oben engeren Trichter ersetzen, der an seinem unteren breiteren Ende dieselbe Bodenfläche hat, wie vorher der Zylinder. Auch hier werden wir in gleicher Weise erwarten dürfen, daß die Belastung

des Bodens wiederum dieselbe und nur von der Höhe der darüberstehenden Flüssigkeit, nicht aber von deren Form abhängt. Zum Beweise diene der folgende Versuch:

Der Zylinder ist hier (Fig. 44) auf einem Gestell derartig angebracht, daß sein Boden für sich allein beweglich ist und durch einen Hebel gegen den unteren Zylinderrand gedrückt wird, wenn am anderen Ende des Hebels eine dort befindliche Wagschale mit Gewichten belastet wird. Ohne Gewichte ist das Ganze so eingerichtet, daß sich der Boden gerade ohne Druck vor die Öffnung legt und schon durch eine kleine innen befindliche Flüssigkeitsmenge herabgedrückt wird. Ich lege auf die Schale ein gewisses Gewicht, z. B. 100 g, gieße in den Zylinder so viel Wasser, daß die Bodenbelastung gerade den 100 g entspricht und daß, wenn ich noch mehr Wasser hinzugieße, ebensoviel am Boden austritt; dann kann ich sagen, daß die jetzt im Zylinder enthaltene Wassermenge durch das 100 Gramm=Stück im Gleichgewicht gehalten wird. Ich bezeichne die jetzige Flüssigkeitshöhe durch einen außerhalb des Zylinders verschiebbaren (in der Figur weggelassenen) Zeiger und stelle einen zweiten Versuch an, indem ich den Zylindermantel entferne und ihn durch einen oben breiteren Trichter ersetze, der unten dieselbe Öffnung hat und also von derselben Bodenplatte verschlossen wird. Gieße ich jetzt so viel Wasser ein, als durch das 100 Gramm=Stück im Gleichgewicht gehalten wird, so finde ich, daß die Wasserhöhe jetzt die nämliche ist, wie vorher, obgleich doch wegen des größeren Raumgehaltes des Trichters das 100 Gramm=Stück jetzt eine größere Wassermenge als vorher in dem Gefäße hält. Und wenn ich drittens diesen Trichter durch einen umgekehrt gerichteten ersetze, welcher unten auch wieder die gleiche Öffnung hat, nach oben aber schmaler wird, dann verläuft der Versuch auch wieder mit derselben Wasserhöhe, aber mit geringerer Menge, so daß nun also beim zweiten Versuch mehr, beim dritten weniger Wasser als beim ersten derselben Belastung des Bodens entsprach.

Will man eine Deutung dafür haben, so braucht ja nur erwogen zu werden, daß diese 100 g lediglich denjenigen Druck messen, welcher auf das Bodenstück ausgeübt wurde, während die Flüssigkeit auf die Gefäßwände in verschiedener Art wirkte, nämlich im ersten Versuch horizontal nach außen, im zweiten schräg abwärts, im dritten schräg aufwärts drückte. Abwärts gerichteter Druck war beim ersten Versuch nur am Boden vorhanden, beim zweiten außerdem noch als Komponente des Wanddrucks, beim dritten Versuch

dagegen hatte der Wanddruck eine aufwärts gerichtete Komponente. Der Gesamtwert der von der Flüssigkeit auf die ganze Grenzfläche des Gefäßes ausgeübten Drucke entsprach in allen drei Fällen der Wassermenge. Der Druck auf den Boden aber war in allen Fällen lediglich entsprechend der über dem Boden befindlichen Flüssigkeitshöhe.

Wenn ein Körper in Flüssigkeit eingetaucht wird, so übt diese auf seine Oberfläche an allen Stellen einen, wie wir schon wissen, zu der Oberfläche senkrechten Druck aus. Bedenken wir, daß dieser Druck nach unten hin immer größer werden muß, so folgt daraus, daß der einge-

tauchte Körper einen größeren Gesamtdruck von unten nach oben als von oben nach unten erleidet. Es sei z. B. der eingetauchte Körper ein Würfel (Fig. 45). Jede seiner Seitenflächen erleidet einen Druck, der gerade so groß und entgegengesetzt ist,

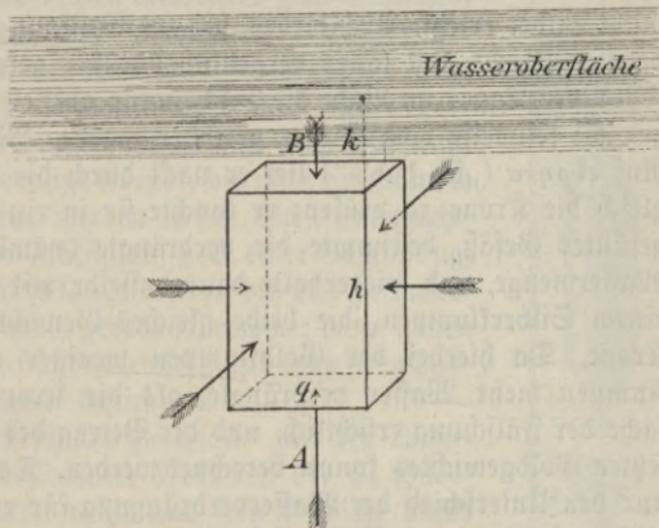


Fig. 45. Auftrieb.

wie an der gegenüberliegenden Seitenfläche; diese Drucke also heben sich gegenseitig auf. Die obere Würfel­fläche aber erleidet einen kleineren Druck nach abwärts, als die untere nach aufwärts, und so wird die gesamte Resultierende aller auf die sechs Würfel­flächen ausgeübten Drucke eine aufwärts gerichtete Kraft sein. Daß nicht gerade die Würfel­form dabei wesentlich ist, die hier nur behufs Gewinnung einer ersten Anschauung gewählt wurde, bedarf ja nicht des Beweises. Ein jeder Körper, der in Flüssigkeit eingetaucht wird, erleidet von dieser einen aufwärts gerichteten Druck, und die Größe dieses Auftriebes erkennen wir leicht, wenn wir einmal denken, daß der eingetauchte Körper aus der nämlichen Flüssigkeit bestehe, wie die Umgebung. In diesem Falle wird er sich, da wir dann eine zusammenhängende Flüssigkeit zu denken haben, im völligen

Gleichgewicht befinden, und also ist die aufwärts gerichtete Kraft, die der eingetauchte Körper erleidet, gerade so groß als das Gewicht einer Flüssigkeitsmenge, welche diesem Körper an Größe gleichkommt, oder, wie man gewöhnlich sagt, welche von dem Körper verdrängt wird. Man sagt auch: ein jeder Körper verliert beim Eintauchen in Flüssigkeit von seinem Gewicht so viel, als die verdrängte Flüssigkeit wiegt. Dieser Satz wird meist dem Archimedes zugeschrieben und soll nach Vitruv gefunden sein, als König Hiero von Syrakus sich eine Krone hatte anfertigen lassen und dann befürchtete, der ausführende Künstler habe einen Teil des ihm anvertrauten Goldes zurückbehalten und durch das gleiche Gewicht Silber ersetzt. Archimedes, der zur Prüfung dieses Verdachtes berufen wurde, soll lange vergeblich darüber gesonnen haben, bis ihm eines Tages im Bade die Erscheinung auffiel, daß sein Körpergewicht teilweise vom Wasser getragen wurde. Mit dem fröhlichen Ruf εὕρηκα („ich hab's“) lief er nackt durch die Straßen, um so gleich die Krone zu prüfen; er tauchte sie in ein ganz mit Wasser gefülltes Gefäß, bestimmte die verdrängte (nämlich ausfließende) Wassermenge, und wiederholte dann dasselbe mit einem Gold- und einem Silberklumpen, die beide gleiches Gewicht hatten, wie die Krone. Da hierbei der Goldklumpen weniger und der Silberklumpen mehr Wasser verdrängte, als die Krone, war die Tatsache der Fälschung ersichtlich, und der Betrag des durch Silber ersetzten Goldgewichtes konnte berechnet werden. Denn man brauchte nur den Unterschied der Wasserverdrängung für ein bekanntes Gewicht von Gold und Silber festzustellen und daraus zu entnehmen, welches Silbergewicht erforderlich sei, um den vorhandenen Unterschied der Wasserverdrängung zwischen der Krone und einem gleich schweren Goldklumpen hervorzurufen.

Die hierbei hervortretende Verschiedenheit beruht auf der Dichte der Körper, nämlich der im Kubikzentimeter enthaltenen Masse; als Einheit dient dabei die Dichte des Wassers, so daß wir also die Dichte irgendeines Körpers als Verhältnis seiner Masse zu derjenigen eines gleichen Volumens Wasser von 4^o ansehen. Geläufiger als „Masse“ ist uns der Begriff „Gewicht“, und man pflegt daher statt der Dichte häufiger das spezifische Gewicht der Körper zu erwähnen, nämlich das Gewicht eines Kubikzentimeters. Wenn diese Angabe, wie üblich, in Grammen geschieht, so werden spezifisches Gewicht und Dichte sehr nahe durch die gleiche Zahl bezeichnet und sind voneinander nur um einen sehr

kleinen Betrag, nämlich nur insoweit verschieden, als das Gewicht eines Kubikzentimeters Wasser von einem Gramm abweicht (s. S. 3).

Die Bestimmung des spezifischen Gewichts kann für feste Körper durch Wägung geschehen. Man stellt für den zu untersuchenden Körper zuerst das „absolute Gewicht“ fest, d. h. sein außerhalb jeder Flüssigkeit in gewöhnlicher Weise bestimmtes Gewicht, und wägt ihn sodann in Wasser, etwa an einem Draht von der Wage in ein geeignetes Gefäß herabhängend. Der Unterschied beider Wägungen, der Gewichtsverlust im Wasser, ist gleich dem Gewicht der verdrängten Wassermenge, und das Verhältnis des absoluten Gewichtes zum Gewichtsverlust ist das spezifische Gewicht. Für Körper, die wegen Löslichkeit oder aus sonstigen Gründen nicht in Wasser getaucht werden können, muß eine andere Flüssigkeit von bekanntem spezifischen Gewicht benutzt werden. Pulverförmige Körper, die man nicht an die Wage hängen kann, werden in der Weise untersucht, daß man bei einer Flüssigkeit, z. B. einer Salzlösung, die Konzentration so lange ändert, bis das zu untersuchende Pulver darin gerade schwimmt; dann haben beide gleiches spezifisches Gewicht, und man kann dasjenige der Flüssigkeit bestimmen.

Dies letztere geschieht gleichfalls mit der Wage, indem man ein bestimmtes Volumen der zu untersuchenden Flüssigkeit wägt und sein Gewicht durch dasjenige des gleichen Wasservolumens dividirt. Weil aber die Anwendung der Wage umständlich und zeitraubend ist, und Bestimmungen des spezifischen Gewichts oftmals in großer Zahl auszuführen sind, so bedient man sich, falls nur begrenzte Genauigkeit erforderlich wird, einfacherer Vorrichtungen. Eine solche ist das Aräometer, und zwar zur Untersuchung fester Körper in der Form des Gewichtsaräometers (Fig. 46). Ein aus Messing hergestellter Hohlzylinder ist allseitig verschlossen, unten beschwert und schwimmt also aufrecht im Wasser. Er trägt oben einen aufrechten Stiel mit daraufsitzendem kleinem Teller C, und auf diesen Teller lege ich nun so viel Gewichte, daß der Apparat bis zu einer am Stiel befindlichen Marke B einsinkt. Zweitens lege ich den zu untersuchenden Körper auf den Teller und entferne von den Gewichten so viel, daß der Apparat wieder bis zu derselben

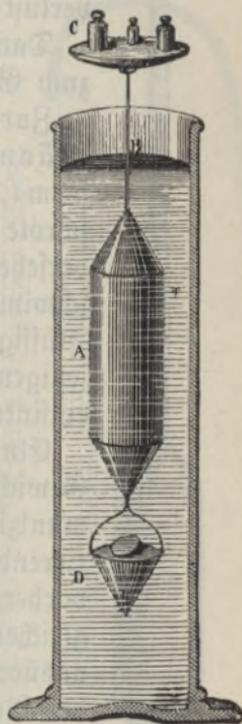


Fig. 46.
Gewichtsaräometer.

Marke eintaucht und daß also die fortgenommene Gewichtsgröße uns das absolute Gewicht des Körpers angibt. Endlich lege ich drittens den Körper auf den unteren Teller *D* des Aräometers und lasse den Apparat durch hinzugefügte Belastung des Tellers wieder bis zur Marke einsinken, wobei der zu untersuchende Körper sich jetzt im Wasser befindet und wobei nun die auf dem oberen Teller befindlichen Gewichte gegen den vorigen Versuch um einen Betrag vermehrt sind, der dem Gewichtsverlust des untersuchten Körpers im Wasser gleichkommt.

Dann ist wieder das Verhältnis des absoluten Gewichts zum Gewichtsverlust gleich dem spezifischen Gewicht.

Zur Untersuchung flüssiger Körper dient das Skalenaräometer (Fig. 47). Es besteht meist aus Glas, hat Stabform („Spindel“), unten eine durch Quecksilber oder Bleischrote gebildete Belastung und ist mit einer Längsteilung versehen. Man läßt es in der zu untersuchenden Flüssigkeit schwimmen, wobei es um so tiefer eintaucht, je leichter die Flüssigkeit ist, und liest deren spezifisches Gewicht an derjenigen Stelle der Skala ab, bis zu welcher der Apparat einsinkt.

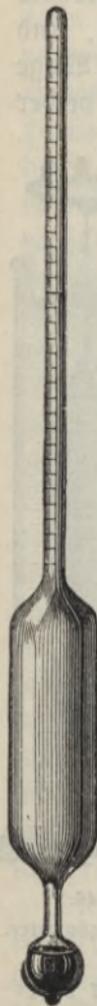


Fig. 47.
Skalen-
aräometer.

Ein anderes Verfahren zur Bestimmung des spezifischen Gewichts von Flüssigkeiten beruht auf dem Gesetz der kommunizierenden Gefäße. Daß in zwei miteinander kommunizierenden Röhren eine Flüssigkeit gleich hoch steht, sahen wir vorher, und das Gleichgewicht ist dabei erzeugt durch den gleichen Druck, welchen zwei gleich hohe Flüssigkeitssäulen ausüben. Bringen wir nun aber in die beiden Röhren verschiedene Flüssigkeiten, so ist ebenfalls Gleichgewicht bei Gleichheit der beiden Drucke vorhanden, welche an den unteren Enden der Röhren herrschen, und eine einfache Überlegung läßt uns erwarten, was die Erfahrung bestätigt, nämlich daß die Drucke verschiedener Flüssigkeiten nicht bloß von deren Höhe, sondern außerdem auch von ihrem spezifischen Gewichte abhängen, und daß also, je größer dieses, um so kleiner die Höhe bei gleicher Druckwirkung sein muß, oder: bei verschiedenen Flüssigkeiten herrscht in kommunizierenden Gefäßen Gleichgewicht, wenn die Höhen den spezifischen Gewichten umgekehrt proportional sind.

Hier habe ich ein *U*förmig gebogenes Rohr, dessen beide Schenkel aufwärts gerichtet sind und unten miteinander kommunizieren, und

gieße in den einen Schenkel Wasser und in den anderen Petroleum; dann verhalten sich deren Höhen wie 4 : 5, entsprechend dem spezifischen Gewicht 0,8 des Petroleums. Ein zweites Röhrenpaar enthält Quecksilber und Wasser in den Höhenverhältnissen 1 : 13,5, weil 13,5 das spezifische Gewicht des Quecksilbers ist.

Zur wirklichen Vergleichung spezifischer Gewichte läßt man zweckmäßig die beiden Röhren nicht unten kommunizieren, sondern gibt ihnen oben eine Verbindung, die außerdem ein durch Hahn verschließbares Ansatzrohr *C* trägt (Fig. 48). Die Röhren haben eine Teilung und ihre unteren Enden tauchen in offene Gefäße *A* und *B* mit den zu untersuchenden Flüssigkeiten, deren eine Wasser sein kann; durch das obere Ansatzrohr werden beide Flüssigkeiten zu passender Höhe in den Röhren emporgesaugt und bleiben dort nach Schließen des Hahnes stehen, so daß man die Höhen ablesen und aus ihrer Vergleichung das spezifische Gewicht entnehmen kann. Wenn auf der einen Seite Wasser immer bis zu einer bestimmten Höhe gehoben wird, bedarf es nur einer Ableseung an der anderen Röhre, um für die dort befindliche Flüssigkeit das spezifische Gewicht zu finden. Das Verfahren stützt sich nicht auf die Gleichheit des Druckes im unteren Teile der kommunizierenden Gefäße, sondern darauf, daß Flüssigkeitssäulen, die gleichen Druck ausüben, durch gleiche Kraft emporgesogen werden.

Schwieriger ist es, das spezifische Gewicht der Gase zu bestimmen, weil es sich dabei um sehr geringe Gewichtsgrößen handelt. Man benutzt daher besser die Eigenschaft der Gase, daß die Geschwindigkeit des Ausfließens durch kleine Öffnungen vom spezifischen Gewicht abhängt und zwar mit dessen Quadratwurzel umgekehrt proportional ist.

Einige Werte des spezifischen Gewichtes enthält die Tabelle auf S. 70.

Bei der Verwendung des Kräometers wurde bereits das Schwimmen der Körper erwähnt; es ist ja aus dem Archimedischen Gesetz unmittelbar herzuleiten, daß diejenigen Körper, welche schwerer als die von ihnen verdrängte Flüssigkeit sind, unter sinken, dagegen die leichteren schwimmen, denn bei jenen ist das Gewicht größer,

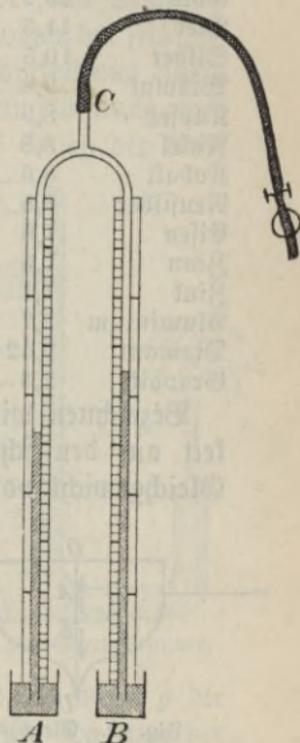


Fig. 48. Spezifische Gewichtsbestimmung für Flüssigkeiten.

bei diesen kleiner als der Gewichtsverlust, den sie beim völligen Eintauchen in die Flüssigkeit erleiden. Im letzteren Falle verdrängt der Körper, wenn er sich selbst überlassen wird, nur so viel Flüssigkeit, daß deren Gewicht seinem eigenen gleichkommt, und er sinkt demgemäß beim Schwimmen um so tiefer ein, je größer sein spezifisches Gewicht und je kleiner dasjenige der Flüssigkeit ist.

Platin	21,4	Gaskohle	2,17	Kork	0,24
Gold	19,2	Basalt	2,7—3,2	Quecksilber	13,55
Blei	11,3	Granit	2,5—3,0	Öl	0,8—0,9
Silber	10,5	Porphyr	2,4—2,8	Petroleum	0,8
Wismut	9,8	Sandstein	2,2—2,5	Benzol	0,881
Kupfer	8,9	Lava	2,0—3,0	Alkohol	0,7911
Nickel	8,8	Glas, gewöhnl.	2,4—2,6	Äther	0,717
Kobalt	8,6	Flintglas	3,0—5,9	Luft	0,001293
Neusilber	8,5	Porzellan	2,3	Sauerstoff	0,001429
Eisen	7,8	Ebenholz	1,26	Stickstoff	0,001251
Zinn	7,3	Mahagoni	0,56—1,06	Wasserstoff	0,000090
Zink	7,1	Eiche	0,69—1,03	Kohlensäure	0,001965
Aluminium	2,7	Birke	0,51—0,77	Wasserdampf	0,000804
Diamant	3,52	Tanne	0,37—0,75		
Graphit	2,3	Linde	0,32—0,59		

Bezeichnen wir die aufwärts gerichtete Einwirkung der Flüssigkeit auf den schwimmenden Körper als Auftrieb, so ist also Gleichgewicht vorhanden, wenn Schwere und Auftrieb entgegen-

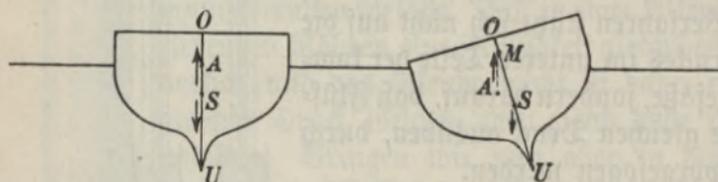


Fig. 49. Gleichgewicht eines schwimmenden Körpers.

gesetzt gleich sind und einander aufheben. Dabei hat die Schwere ihren Angriffspunkt im Schwerpunkt des schwimmenden Körpers; der Auftrieb dagegen, welcher dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge gleichkommt, hat in deren Schwerpunkt seinen Angriffspunkt. Da die Schwere nach unten und der Auftrieb nach oben wirkt, so ist ein stabiles Gleichgewicht des schwimmenden Körpers nur möglich, wenn sein Schwerpunkt tiefer liegt als der Angriffspunkt des Auftriebs, und man hat also beim Belasten von Schiffen hierauf sorgfältig zu achten. Es sei OU (Fig. 49) die Mittellinie eines Schiffsquerschnitts, und sie enthalte in S den Schwerpunkt des Schiffs einschließlich der Ladung. Ferner sei A der Angriffspunkt des Auftriebes; da dieser im Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse liegt, wird er sich mit deren Gestalt ändern, und wenn das Schiff sich nach einer Seite neigt und hier also mehr Wasser

verdrängt, wandert der Punkt *A* nach derselben Seite (Fig. 49, rechts). Eine von *A* senkrecht aufwärts gezogene gerade Linie trifft *OU* in einem Punkte *M*, den wir das Metazentrum des Schiffes nennen, und der um so tiefer gegen *U* herabsinkt, je stärker das Schiff sich neigt. Solange das Metazentrum oberhalb des Schwerpunkts *S* bleibt, kann das Fahrzeug sich immer wieder aufrichten. Ist aber die Ladung so hoch verstaut, daß das Metazentrum unter den Schwerpunkt *S* geraten kann, so kentert hierbei das Schiff.

Wir wenden uns nun zu den Bewegungsercheinungen der Flüssigkeiten und betrachten zunächst die Ausflußgeschwindigkeit aus einem mit Flüssigkeit erfüllten Gefäß. Ist die Ausströmungsöffnung nach oben gerichtet, wie in Fig. 50, so lehrt uns das Gesetz der kommunizierenden Gefäße, daß der austretende Strahl bis zur Oberflächenhöhe der im Gefäß befindlichen Flüssigkeit steigen würde, wenn das Ausflußrohr so weit hinaufreichte, und daß er also mit einer entsprechenden Steigkraft aus der tiefer gelegenen Öffnung austritt, d. h. diese Steigkraft läßt ihn mit derjenigen aufwärts gerichteten Geschwindigkeit austreten, welche ausreicht, um jedes Tröpfchen bis zu der Oberflächenhöhe hinaufzuführen. Diese Austrittsgeschwindigkeit ist aber wiederum ebenso groß, wie die Fallgeschwindigkeit, welche ein Körper beim Herabfallen aus der gleichen Höhe erlangt, und aus den Fallgesetzen kennen wir dafür den Wert $\sqrt{2gh}$, wenn *g* die Schwerkraftsbeschleunigung und *h* die Fallhöhe ist. Da nun der Austritt der Flüssigkeit nicht von der Richtung der Ausströmungsöffnung abhängt, so gilt die gleiche Geschwindigkeit für jede Flüssigkeit, die unter Einfluß der eigenen Schwere durch irgendeine Öffnung aus der Gefäßwand ausströmt, wobei dann *h* die Höhe ist, um welche die Öffnung tiefer als die Flüssigkeitsoberfläche liegt. Man pflegt dies den Satz von Torricelli zu nennen. Fülle ich zur Prüfung dieser Erwägung einen Zylinder, der mehrere seitliche Öffnungen hat, mit Wasser, so sehen wir dies (Fig. 51 a. folgd. S.) um so rascher austreten und einen um so weiter reichenden Strahl bilden, je tiefer die betreffende Öffnung liegt, d. h. je größer *h* ist. In Wirklichkeit ist freilich die Austrittsgeschwindigkeit wegen der an der kleinen Öffnung stattfindenden Reibung etwas kleiner,

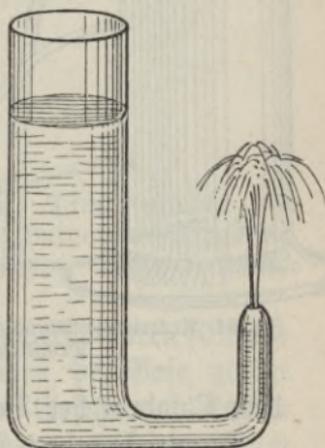


Fig. 50. Springbrunnen.

Man pflegt dies den Satz von Torricelli zu nennen. Fülle ich zur Prüfung dieser Erwägung einen Zylinder, der mehrere seitliche Öffnungen hat, mit Wasser, so sehen wir dies (Fig. 51 a. folgd. S.) um so rascher austreten und einen um so weiter reichenden Strahl bilden, je tiefer die betreffende Öffnung liegt, d. h. je größer *h* ist. In Wirklichkeit ist freilich die Austrittsgeschwindigkeit wegen der an der kleinen Öffnung stattfindenden Reibung etwas kleiner,

als die Fallhöhe von der Flüssigkeitsfläche bis zur Öffnung sein würde.

Daß die Bewegung von Flüssigkeit der Druckverteilung entspricht und stets vom größeren zum kleineren Druck gerichtet ist, bedarf wohl nicht der ausführlichen Erläuterung. Es ergibt sich daraus die Verschiedenheit des hydrostatischen vom hydraulischen Druck, d. h. desjenigen, welchen die ruhende Flüssigkeit ausübt, vom Druck der bewegten Flüssigkeit. Eine ruhende, unter dem eigenen hydrostatischen Druck

stehende Flüssigkeit kann nur dadurch in Bewegung geraten, daß ihr nach irgend-einer Seite durch Druckverminderung ein Weg eröffnet wird, und demgemäß ist der hydraulische Druck im Vergleich zu dem hydrostatischen Druck, den dieselbe Flüssigkeit ruhend unter sonst gleichen Verhältnissen ausüben würde, kleiner, und zwar um einen Betrag, der mit

dem Quadrat der Bewegungsgeschwindigkeit proportional ist.

Darauf beruht z. B. die Wasserstrahlpumpe (Fig. 52), bei wel-

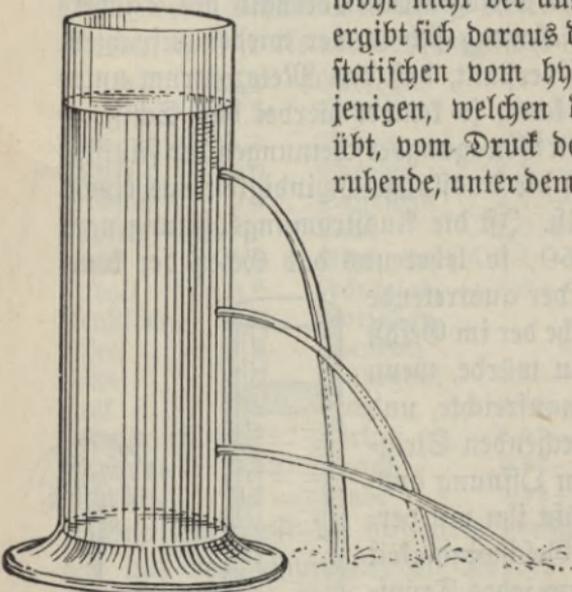


Fig. 51. Austrittsgeschwindigkeit bei verschiedenen Druckhöhen.

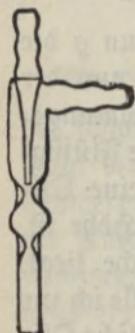


Fig. 52.
Wasserstrahl-
pumpe.

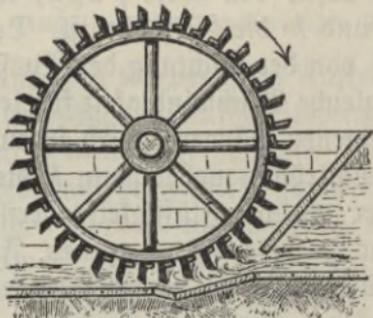


Fig. 53. Unterschlächtiges Wasserrad.

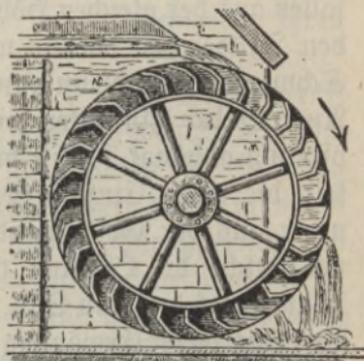


Fig. 54. Oberschlächtiges Wasserrad.

cher ein dünner Wasserstrahl sehr rasch und mit entsprechender Druckverminderung durch einen luftgefüllten Hohlraum getrieben wird und daraus die Luft mit sich reißt, während mit diesem Hohlraum durch

den rechts befindlichen Rohrstutzen dasjenige Gefäß verbunden ist, welches ausgepumpt werden soll.

Umgekehrt gibt es eine Druckvermehrung, wenn bewegtes Wasser durch äußere Einwirkung zur Ruhe kommt. Wird z. B. der Hahn einer Wasserleitung rasch geschlossen, so entsteht im Innern des Rohres eine plötzliche Druckvermehrung, die leicht zur Schädigung der Leitung führen kann. Ähnlich ist der Vorgang beim Treiben der Wasserräder, insbesondere bei dem unterschlächtigen Wasserrad (Fig. 53), an dessen Schaufeln das fließende Wasser einen Teil seiner lebendigen Kraft abgibt, während das oberschlächtige Wasserrad (Fig. 54) die Energie der Lage vom herabsinkenden Wasser aufnimmt und in Bewegungsenergie umwandelt.

Fünftes Kapitel.

Gase.

Luftgewicht. Leichte Verschiebbarkeit der Teilchen. Druck senkrecht zur Grenzfläche. Wirkungen des Luftdrucks. Auftrieb. Barometer. Expansivkraft. Mariottesches Gesetz. Wasser- und Luftpumpe. Luftwiderstand. Druckverteilung. Wind.

Wie bei Beginn des vorigen Kapitels für die tropfbar flüssigkeiten, so kann jetzt auch in Betreff der elastischen, der Gase, gesagt werden, daß für sie alle die bisher erwähnten Gesetze und Regeln über Gleichgewicht und Bewegung ebenfalls gelten, außerdem auch noch gewisse andere, die für den Gaszustand charakteristisch sind.

Wir wollen uns zunächst von dem ersteren überzeugen, davon nämlich, daß das, was wir über die festen und tropfbar flüssigen Körper gelernt haben, auch für die Gase zutrifft. So ist z. B. unserer Anschauung die Tatsache etwas fernliegend, daß Luft Masse und Gewicht hat. Ein Kilogramm Eisen oder Holz, ein Kilogramm Wasser können wir uns leicht vorstellen; ein Kilogramm Luft schon schwerer, und doch gehört zu einem Kilogramm weniger als ein Kubikmeter derjenigen Luft, in der wir leben. Die Schwere der Luft soll uns der folgende Versuch zeigen. Hier habe ich eine gläserne Hohlkugel (Fig 55 a. folgd. S.), deren Öffnung durch eine mit Hahn versehene Messingfassung verschlossen ist, und die ich vorher mittels der Luftpumpe nahezu luftleer gemacht habe. Ohne an den verschlossenen Hahn zu rühren, hänge ich diese Kugel an die eine Seite der Wage und belaste deren andere Seite so, daß sie im

Gleichgewicht ist. Wenn ich nun den Hahn der Kugel öffne, so hören wir mit leisem Zischen die Luft in den inneren Raum eintreten und bemerken zugleich, wie die Kugel auf der Wage herabsinkt, und daß also die mit Luft gefüllte Kugel schwerer ist, als sie es vorher im entleerten Zustand war. Wenn der innere Raum, welcher ungefähr zwei Liter umfaßt, sich ganz mit Luft erfüllt hat, müssen wir auf die andere Seite der Wage ungefähr 2 g legen, um das Gleichgewicht wiederherzustellen. Etwa 2 g ist also das Gewicht derjenigen Luft, die wir vorher herausgebracht haben und dann wieder eintreten lassen.



Fig. 55.
Luftwägung.

Zu den Eigenschaften der tropfbaren Flüssigkeiten gehört ferner die leichte Verschiebbarkeit der Teilchen. Das nämliche zeigen uns die Gase. Ich wiederhole mit der Luft dieses Zimmers einen Versuch (Fig. 33, S. 55), den wir früher mit Wasser angestellt haben: aus einem gläsernen Zylinder entferne ich die Luft durch Eingießen von Wasser, lege auf die Wasseroberfläche und den Zylinderrand ein Stück Papier oder auch eine dünne Glasplatte und kehre nun, diese Platte gegen den Gefäßrand andrückend, das Ganze um. Dann kann

ich die Platte loslassen und sie fällt doch nicht herab. Das Gewicht der Platte und des im Zylinder enthaltenen Wassers vermag nicht ein Herabfallen zu bewirken, denn es wird überwogen durch den Druck der Luft, welche das Ganze umgibt und von unten gegen die Platte wirkt. Wie der Druck der tropfbaren Flüssigkeiten wegen der leichten Verschiebbarkeit der Teilchen auf allen Stellen der begrenzenden Gefäßwand senkrecht steht, so gilt dasselbe auch von dem Druck der Luft, die dies Zimmer erfüllt. Daß die Luft schwer ist, sahen wir vorher. Wie eine tropfbare Flüssigkeit, so übt auch die Luft auf die Grenzen, und dazu gehört in diesem Falle die Unterfläche der Glasplatte, einen Druck aus, der an jeder Stelle der Grenzfläche senkrecht zu dieser steht, in diesem Falle also aufwärts gegen die Platte gerichtet und groß genug ist, um diese samt der darüber befindlichen Wassermasse unter Überwindung der Schwere festzuhalten.

Noch einen anderen Flüssigkeitsversuch (Fig. 37, S. 58) können wir mit Luft wiederholen. Das Modell der Turbine ist ungefähr nachgeahmt durch diesen kleinen Apparat. Ein aufwärts gerichtetes Messingrohr, in welches ich von unten Luft einblasen kann, trägt

auf seiner Spitze einen kurzen weiteren Zylinder derartig aufgesetzt, daß er in seinem unteren Teile an die äußere Seite des Rohres dicht anschließt und zugleich auf der Spitze drehbar ist. Außerdem hat dieser äußere Zylinder zwei seitlich angelegte Röhren mit Öffnungen, die wie bei den Seitenröhren der Turbine gerichtet sind. Blase ich nun in das Mittelrohr Luft ein, so tritt diese durch eine in seinem obersten Teile befindliche Öffnung in den drehbaren Zylinder und verstärkt in ihm sowie in seinen seitlichen Ansätzen den Druck derartig, daß der Zylinder in Drehung kommt. Auch hier können wir wieder sagen, daß der Druck auf jede Stelle der Innenwand senkrecht wirkt, und daß jedem einzelnen Wandstückchen ein anderes gegenübersteht, welches den gleichen und entgegengesetzten Druck auszuhalten hat, mit alleiniger Ausnahme derjenigen Wandstückchen, die den Öffnungen der Seitenrohre gegenüberstehen. Hier allein wird ein Druck wirken können, der nicht durch einen entsprechenden Gegendruck ausgeglichen wird, und daraus ergibt sich eine Drehung des aufgesetzten beweglichen Teiles in demselben Sinne wie bei der Turbine, nämlich so, daß die Öffnungen auf der Rückseite der Bewegung bleiben.

Hierher gehört ferner der Rückstoß der Feuerwaffen. Beim Entzünden des Pulvers explodiert es, d. h. es findet eine Umsetzung unter Bildung einer großen Menge von Verbrennungsgasen statt. Diese Gasmenge ist nun zunächst auf den kleinen Raum beschränkt, welcher nach rückwärts und seitwärts durch Boden und Wand des Laufes, nach vorn durch das Geschloß begrenzt ist. Indem die Pulvergase den hohen Druck, welcher dieser Einengung entspricht, auf die begrenzenden Flächen ausüben, sind die auf die Laufwände wirkenden Drucke derartig nach allen Seiten gerichtet, daß sie sich gegenseitig aufheben; nach vorn wird durch den Gasdruck das Geschloß herausgeschleudert, und demzufolge hat der rückwärtige Boden des Laufes einen Druck auszuhalten, dem kein gleicher gegenübersteht, und der dem Lauf einen nach rückwärts gerichteten Stoß erteilt.

Noch durch mancherlei andere Erfahrungen können wir uns überzeugen, daß die Druckerscheinungen in Luft gerade wie in einer schweren tropfbaaren Flüssigkeit verlaufen. Die Luftpumpe, die wir für einige der folgenden Versuche benutzen, soll später erklärt werden. Ich verwende sie jetzt, um ein zylindrisches Gefäß auszupumpen, dessen unterer Rand auf den Teller der Luftpumpe gesetzt wird, während der obere glatt abgeschliffene Rand mit einer Glasplatte überdeckt ist. Zur Sicherung des dichten Anliegens ist

etwas Fett dazwischen gebracht. Nun setze ich die Luftpumpe in Gang, entferne dadurch unterhalb der Glasplatte die Luft aus dem Zylinder, und es herrscht also jetzt auf der oberen Plattenfläche der Luftdruck des Zimmers, auf der unteren dagegen nur der durch die Wirkung der Pumpe verminderte Druck. Die Folge ist, daß von dem äußeren Überdruck die Platte zertrümmert wird. Zur Sicherung der Anwesenden empfiehlt es sich, ein Tuch darüber zu decken, damit etwa herumfliegende Glassplitter kein Unheil anrichten. Man stellt den Versuch auch mit einer über die Zylinderöffnung gespannten tierischen Blase statt der Glasplatte an. Das ist allerdings ungefährlich, aber nicht ganz so sicher, denn die Blase hat mitunter Poren, welche für Luft durchlässig sind. Durch Befechten kann man indessen diesem Übelstande meistens begegnen und die Blase also durch den äußeren Überdruck krachend zerspringen lassen.

Für einen anderen Versuch benutze ich zwei Probiergläschen, wie die Chemiker sie brauchen, von solcher Größe, daß das eine leicht und glatt gerade in das andere eingeschoben werden kann (Fig. 56). Ich fülle das weitere halb mit Wasser, schiebe das engere

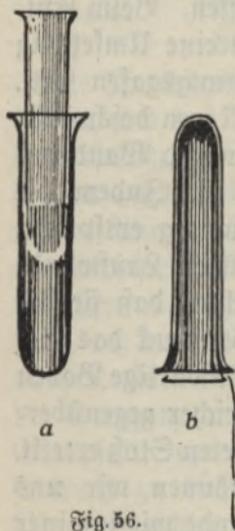


Fig. 56.

Luftdruckwirkung.

bis zum Wasserspiegel hinein und kann dann das äußere Gläschen halten und umkehren, ohne daß das innere herabfällt. Im Gegenteil sehen wir dies sogar unter langsamem Herausfließen des Wassers immer weiter hinauf und in das weitere Gefäß hineingleiten und können diesen überraschenden Verlauf des Versuchs folgendermaßen deuten. Wo zwischen den Wänden beider Gläser das Wasser an die äußere Luft grenzt, herrscht der äußere Luftdruck, und im Innern des Wassers muß von da nach oben der Druck abnehmen. Er ist also im eingeschlossenen Wasser kleiner, als der im inneren Luftraum des kleineren Gläschens wirkende Luftdruck, welcher nun als der größere das Glas hinaufstreibt.

Gegen die vorstehende Deutung des Versuchs könnte eingewendet werden, daß wie im Wasser so auch in der Luft eine Abnahme des Drucks von unten nach oben stattfinden müsse. Natürlich trifft das zu, aber die Änderung des Drucks mit der Höhe geschieht in Beträgen, welche dem spezifischen Gewicht der betreffenden Flüssigkeit entsprechen, und da Wasser beinahe 800 mal so schwer ist, als

Luft unter Atmosphärendruck, so durfte schon die Verschiedenheit des Luftdrucks, welche innerhalb eines Probierröschens auftritt, vernachlässigt werden. Daß aber solche kleineren Unterschiede der Wahrnehmung keineswegs immer entzogen sind, wollen wir nun sehen. Ein Metallrohr von etwa 1 bis 1,5 m Länge und ungefähr 10 cm Weite ist an beiden Enden geschlossen; es hat in der Mitte ein Zuleitungsröhr für Leuchtgas und nahe an den Enden zwei kleine Öffnungen. Ich lege es so auf den Tisch, daß die Öffnungen nach oben gerichtet sind, lasse Gas einströmen und entzünde es an den Öffnungen, nachdem ich lange genug gewartet habe, daß vorher die Luft ausgetrieben wurde und also keine Explosion eintritt, sondern das austretende Gas mit leuchtender Flamme brennt. Hierauf verringere ich den Gaszutritt so weit, daß beide Flammen so klein als irgend möglich werden und nur gerade noch brennen. Dann kann ich durch ganz geringes Heben des einen Rohrendes die daran befindliche Flamme zu sehr verstärktem Brennen bringen; ein Heben um nur wenige Zentimeter läßt die Flamme lang herauschlagen. Dies verstärkte Ausströmen des Gases an der höheren Öffnung ist auf den oben geringeren Druck zurückzuführen. An der unten verbliebenen Öffnung ist nämlich vermöge der entsprechend geregelten Gaszufuhr nahezu Gleichgewicht zwischen dem äußeren Luftdruck und dem innen herrschenden Gasdruck vorhanden, und von da ab nach oben wird im Rohr wie außerhalb des Rohres der Druck geringer. Weil aber die Zimmerluft etwa doppelt so schwer ist, wie das Leuchtgas, so beträgt die Druckabnahme im Innern des Rohres von der unteren zur oberen Öffnung nur etwa halb so viel, als außen bei dem gleichen Höhenunterschied, und es muß also innen der Druck an der oberen Öffnung weniger gesunken und daher größer geblieben sein, als außen. Indem der größere Druck eine Bewegung des Gases nach der Stelle kleineren Drucks, also nach oben und außen erzeugt, sehen wir das vermehrte Ausströmen und die größere Flamme. Anders als bei dem vorigen Versuch wurde die vertikale Druckverteilung in atmosphärischer Luft hier mit derjenigen in Leuchtgas verglichen und konnte, weil hier das Dichteverhältnis etwa 2:1 beträgt, nicht unberücksichtigt bleiben, wie dort bei dem Dichteverhältnis von Luft zu Wasser mit etwa 1:800.

Berühmt ist der Versuch, durch welchen der Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke unter Anwendung der „Magdeburger Halbkugeln“ die Stärke des Luftdrucks zeigte. Er ließ

zwei große kupferne Halbkugeln anfertigen, deren Ränder nach Zwischenlegen eines mit Wachs und Terpentin getränkten Leder- rings dicht und genau zusammenpaßten, und entfernte mittels der von ihm erfundenen Luftpumpe die in der Kugel enthaltene Luft. Dann erlitten die Innenflächen gar keinen Druck mehr, während auf der Außenseite der Kugel der Luftdruck lastete, und zwar an jeder Stelle senkrecht, so daß die Halbkugeln dadurch aneinander



Fig. 57.
Magdeburger
Halbkugeln.

gepreßt wurden. Auf dem Regensburger Reichstag des Jahres 1654 zeigte Guericke den Versuch, wobei ein Halbkugelpaar von $\frac{2}{3}$ Elle Durchmesser nach dem Aus- pumpen der Luft kaum durch 16 Pferde auseinander- gerissen werden konnte; ein größerer Apparat, dessen Durchmesser fast eine Elle betrug, widerstand sogar der Zugkraft von 24 Pferden. Der von Guericke benutzte Apparat befindet sich jetzt im Münchener „Deutschen Mu- seum“. In kleinerem Maßstabe ist der Versuch leicht zu wiederholen. Zwei messingene Halbkugelschalen (Fig. 57), deren Ränder gut aufeinander passen und überdies durch eine Fettschicht abgedichtet sind, bringe ich in Verbin- dung mit der Luftpumpe und entferne die darin befindliche

Luft. Dann wirkt nur noch der äußere Luftdruck, und zwar an jeder Stelle der äußeren Kugelfläche senkrecht zu dieser, und von allen diesen Druckkräften kommt für das Zusammendrücken der beiden Halbkugeln immer nur diejenige Komponente in Betracht, welche gegen den mittleren Querschnitt gerichtet ist. Die Gesamtwirkung ist dann die nämliche, als wenn der volle Luftdruck beiderseits auf diese Querschnittsfläche wirkte. Wenn z. B. der Durchmesser unserer Halbkugeln 10 cm beträgt und demnach der Querschnitt gegen 80 qcm, so wirkt an dessen beiden Seiten der Luftdruck mit der Kraft von je 1,03 kg auf den Quadratzentimeter, zusammen also derartig stark, daß die zum Auseinanderreißen nötige Kraft mehr als 160 kg be- trägt, wenn nämlich alle Luft aus dem Innenraum entfernt ist.

Auch der archimedische Satz gilt für elastische, wie für tropfbare Flüssigkeiten. Wir können uns leicht überzeugen, daß in Luft ein jeder Körper von seinem Gewichte so viel verliert, als die von ihm verdrängte Luft wiegt. Um dies zu zeigen, bringe ich unter der Glasglocke der Luftpumpe eine kleine Wage an (Fig. 58), welche auf der einen Seite ein massives Messingstück und auf der anderen Seite eine hohle, geschlossene und mit Luft erfüllte Messingkugel trägt. Im lusterfüllten Zimmer zeigt diese Wage Gleichgewicht.

Wenn ich die Luft aus ihrer Umgebung entferne, indem ich die Luftpumpe betätige, so findet sich, daß das größere, nämlich das lusterfüllte Messingstück immer schwerer zu werden scheint, denn es ist jetzt der Gewichtsverlust, den die beiden in Luft erlitten, nicht mehr vorhanden. Das massive kleinere Messingstück verdrängte weniger Luft, als das größere, und wird also jetzt auch um einen geringeren Betrag schwerer; darum sehen wir das andere sinken. Wir können auch sagen, daß wir jetzt im leeren Raume auf der einen Seite der Wage ein Stück Messing haben, auf der anderen Seite ein eben-

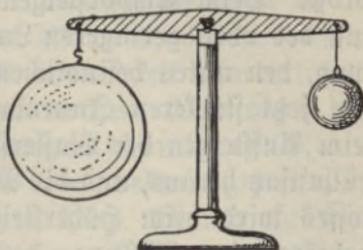


Fig. 58. Auftrieb in Luft.

so großes Stück Messing und außerdem darinnen eingeschlossen eine Luftmenge, deren Gewicht jetzt zu demjenigen des Messings hinzukommt, während es im lusterfüllten Raume durch den Auftrieb der umgebenden Luft getragen wurde.

Die Begriffe des Gewichtsverlustes und des Auftriebes haben also hier genau die gleiche Bedeutung, wie wir es bei den tropfbaren Flüssigkeiten kennen lernten. Das kommt z. B. auch in Betracht bei der Füllung und Führung der Luftballons. Wenn ein in Flüssigkeit befindlicher Körper, so sahen wir bei Besprechung der tropfbaren Flüssigkeiten, leichter ist als die von ihm verdrängte Flüssigkeit, so steigt er zur Oberfläche. Wenn der Ballon mit Füllung und allem, was daran hängt, leichter ist als die von ihm verdrängte Luftmasse, dann steigt er gleichfalls empor. Als Beispiel sei ein Ballon von 600 cbm Rauminhalt erwähnt, bei welchem das Gewicht der Hülle, des Netzes, des Korbes und des sonstigen Zubehörs etwa 225 kg beträgt. Dazu kommen noch Personen, Ballast usw. Diese Gegenstände, welche alle schwerer sind wie die verdrängte Luft, emporzuheben, ist nur möglich, wenn außerdem eine genügend große Masse mit ihnen verbunden wird, die leichter als die verdrängte Luft ist. Dazu dient z. B. der Wasserstoff, dessen spezifisches Gewicht gleich 0,009 ist. 1 cbm Luft wiegt 1,29 kg, 1 cbm Wasserstoff 0,009 kg, beide unter gewöhnlichen Verhältnissen von Druck und Temperatur. Also hat 1 cbm Wasserstoff einen Auftrieb gleich der Gewichts Differenz, nämlich 1,20 kg. Und wenn wir jenen Ballon mit 600 cbm Wasserstoff füllen, so kann dieser 720 kg (außer dem eigenen Gewicht des Wasserstoffes) emporheben, also an Personen, Ballast usw. noch fast 500 kg.

Vollständig vergleichbar mit dem Aufsteigen eines schwimmenden Körpers im Wasser ist das Verhalten des Luftballons freilich nicht, denn er bleibt beim Emporsteigen nicht unverändert. Die Hülle ist nicht dehnbar und umschließt also einen Hohlraum von bestimmter Größe. Beim Emporsteigen gelangt der Ballon unter den Einfluß des oben geringeren Luftdrucks, und man muß ihm eine Öffnung, den unten befindlichen Füllansatz geben, damit er nicht von dem jetzt stärkeren Innendruck gesprengt wird. Nun also dehnt beim Aufsteigen der Wasserstoff sich aus, fließt teilweise durch den Füllansatz heraus, und die Menge des innen verbleibenden Wasserstoffes wird beim Höhersteigen immer geringer, ebenso auch die Hebekraft der Füllung, denn diese Kraft kommt dem Gewichtsunterschied zwischen verdrängter Luft und Füllung gleich, beide sind oben dünner und leichter, also ihr Gewichtsunterschied oben geringer wie unten. In einer gewissen Höhe wird daher der Auftrieb gerade noch dem Gewicht des Ballons gleich sein, und über diese, die sogenannte Gleichgewichtslage, zu steigen ist nur durch Verringern des Gewichts, nämlich durch Ballastwerfen möglich.

Zu der Anwendung des archimedischen Gesetzes auf die Erscheinungen der Gase gehört auch ein Verfahren, welches bei Ausführung genauer Wägungen dient. Wenn man nämlich auf einer Wage die Schwere verschiedener Gegenstände vergleicht, so befinden sich sowohl der zu wägende Körper, als auch die Gewichtsstücke in Luft und erleiden also den entsprechenden Gewichtsverlust, nämlich jedes Stück so viel, als die von ihm verdrängte Luft wiegt. Hat nun der zu wägende Körper ein von demjenigen der Gewichtsstücke sehr verschiedenes Volumen, so ist auch die verdrängte Luftmenge und also der Gewichtsverlust ein verschiedener. Wäge ich z. B. mit Messinggewichten ein Stück Messing ab, so verdrängen sie beide gleich viel Luft, haben den gleichen Gewichtsverlust, und man braucht diesen nicht weiter zu beachten. Wenn dagegen mit Messinggewichten ein Stück Aluminium oder Glas abgewogen wird, so kommt in Betracht, daß das spezifische Gewicht des Messings etwa 8,4, dasjenige des Aluminiums 2,7 beträgt, und daß also im gleichen und umgekehrten Verhältnis die Gewichtsverluste dieser beiden Körper stehen. Oder wenn man ebenfalls mit Messinggewichten ein Stück Gold vom spezifischen Gewicht 19,2 oder gar Platin vom spezifischen Gewicht 21,4 abwägt, dann können diejenigen Fehler, welche durch die verschiedenen Gewichtsverluste in Luft entstehen, schon erheblich sein. Man berechnet, falls die Genauigkeit

der Wägung dies wünschenswert macht, aus den beim Wägen gefundenen Gewichten und den spezifischen Gewichten der angewendeten Körper dasjenige Gewicht, welches bei Wägung im leeren Raum gefunden sein würde. Es handelt sich dabei um solche Beträge, daß z. B. beim Abwägen von Aluminium die Wage in Luft 0,32 g zu wenig, beim Abwägen von Platin 0,09 g zu viel auf ein Kilogramm angibt, und wo solche Genauigkeit erforderlich ist, muß dieser Fehler in Rechnung gezogen werden. Man nennt diese Berechnung die Reduktion der Wägung auf den leeren Raum.

Die Wirkungen des Luftdrucks sind lange bekannt gewesen, ehe man einen klaren Begriff seines Wesens hatte. Man wußte schon in alter Zeit, daß in der Pumpe Wasser gehoben werden kann; wenn der an die Wände des Pumpenrohres dicht anschließende Kolben gehoben wird, während das untere Ende des Rohres in Wasser steht, so steigt das Wasser unter dem Kolben mit herauf. Man suchte dies durch die Annahme des „horror vacui“ zu erklären, nämlich durch die Meinung, daß die Natur vor einem leeren Raum zurückschrecke und einen solchen nicht entstehen lasse, und daß demnach das Wasser dem emporsteigenden Kolben folgt, weil sonst ein leerer Raum sich in der Röhre bilden würde. Hierin lag eigentlich keine Deutung der Pumpenwirkung, denn der horror vacui hätte nun selbst gedeutet werden müssen. Seine Annahme wurde aber auch unhaltbar, als man bemerkte, daß mit der Pumpe nur begrenzte Wirkung zu erzielen und z. B. Wasser nicht mehr als etwa 10 m zu heben möglich sei. Da war es denn Torricelli, welcher durch den nach ihm benannten Versuch das Wesen des Luftdruckes deutlich machte. Er füllte (Fig. 59) eine an einem Ende offene Glasröhre völlig mit Quecksilber, verschloß die Öffnung mit dem Finger, kehrte die Röhre um und machte dann innerhalb eines mit Quecksilber gefüllten offenen Gefäßes die Öffnung des Rohres frei. Darauf sank in der Röhre das Quecksilber so weit, daß es noch um etwa 760 mm höher stand, wie in dem äußeren Gefäß. Im obersten Teil der Röhre fand sich kein Quecksilber, auch sonst keinerlei Substanz, und man nennt diesen leeren Raum das Torricellishe Vakuum.



Fig. 59.
Torricellis
Luftdruck-
Versuch.

Zur Deutung dieses Versuches können wir uns an den Satz von den kommunizierenden Gefäßen erinnern, in welchen bekannt-

lich Gleichgewicht herrscht, wenn die Flüssigkeiten gleiche Drucke am unteren Ende eines jeden Gefäßes erzeugen. Hier haben wir als eines der kommunizierenden Gefäße die Glasröhre und als zweites das Quecksilbergefäß, in welchem die Röhre steht. In der Röhre wird ein Druck nur durch das Quecksilber ausgeübt, in dem äußeren Gefäß durch das darin befindliche Quecksilber und die Luft, welche sich über dem Quecksilber befindet, und es muß also der Druck dieser Luft auf die äußere Quecksilberfläche gerade so groß sein als der Druck derjenigen Quecksilbersäule, welche in der Röhre über die äußere Quecksilberfläche emporragt.



Fig. 60.
Heberbarometer

Etwas anschaulicher ist diese Anwendung des Satzes von den kommunizierenden Gefäßen vielleicht bei der sehr verbreiteten Form des Heberbarometers (Fig. 60), eines gekrümmten Rohres mit einem langen geschlossenen und einem kurzen offenen Schenkel. In dem geschlossenen Schenkel befindet sich lediglich Quecksilber und darüber das Torricellische Vakuum, in dem offenen eine geringere Quecksilbermenge, darüber die Luft. Die Quecksilberfläche des offenen Schenkels ist, weil in der untersten Schicht der Atmosphäre gelegen, dem Druck ausgesetzt, welcher der ganzen Höhe des Luftmeeres entspricht, und dieser Druck wird durch die Quecksilbersäule des geschlossenen Schenkels im Gleichgewicht gehalten; er kommt also demjenigen einer Quecksilbersäule gleich, deren Länge mit dem Höhenunterschied der Quecksilberflächen in beiden Schenkeln übereinstimmt. Liest man an der auf oder neben der Barometerröhre angebrachten Teilung diesen Höhenunterschied ab, so ist die gewonnene Millimeterzahl zunächst noch nicht der genaue Wert des herrschenden Luftdrucks, sondern muß erst noch vom Einfluß der Temperatur befreit werden. Denn dieselbe Quecksilbersäule, welche einem bestimmten Luftdruck entspricht, ist länger oder kürzer, je nachdem sie eine höhere oder tiefere Temperatur hat. Wenn in einem ungeheizten Zimmer ein Barometer den Luftdruck angibt, und dann ohne Druckänderung das Zimmer geheizt und das Barometer erwärmt wird, so zeigt es denselben Luftdruck nun durch eine längere Quecksilbersäule an. Freilich wird beim Erwärmen auch die Millimeterteilung, an welcher wir die Höhe des Luftdrucks ablesen, ausgedehnt, aber weniger stark, als das Quecksilber, so

daß dessen Ausdehnung überwiegt. Es ist üblich, diese Unsicherheit dadurch zu vermeiden, daß man die Temperatur des Barometers zugleich mit seiner Höhe abliest (ein zu diesem Zweck angebrachtes Thermometer zeigt Fig. 60) und dann denjenigen Barometerstand ausrechnet, welchen das Instrument bei gleichem Luftdruck zeigen würde, wenn seine Temperatur 0° wäre. Diese Rechnung heißt „Reduktion des Barometerstandes auf 0° “, und daß sie auch bei nur mäßiger Genauigkeit des Messens nötig ist, zeigen die erheblichen Zahlen der folgenden Tabelle, welche von dem abgelesenen Barometerstand in Abzug zu bringen sind.

Reduktion des an Messingskala abgelesenen Barometerstandes auf 0° .

Für Glasfala sind die Zahlen um das 0,008fache der Temperaturzahl zu vermehren.

Temperatur des Barometers	Abgelesener Barometerstand in Millimetern.						
	720	730	740	750	760	770	780
0°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	12	12	12	12	12	13	13
2	24	24	24	25	25	25	25
3	35	36	36	37	37	38	38
4	47	48	48	49	50	50	51
5	0,59	0,60	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64
6	71	71	72	73	74	75	76
7	82	83	85	86	87	0,88	0,89
8	0,94	0,95	0,97	0,98	0,99	1,01	1,02
9	1,06	1,07	1,09	1,10	1,12	13	15
10	1,17	1,19	1,21	1,22	1,24	1,26	1,27
11	29	31	33	35	36	38	40
12	41	43	45	47	49	51	53
13	53	55	57	59	61	63	65
14	64	67	69	71	73	76	78
15	1,76	1,78	1,81	1,83	1,86	1,88	1,91
16	88	1,90	1,93	1,96	1,98	2,01	2,03
17	1,99	2,02	2,05	2,08	2,10	13	16
18	2,11	14	17	20	23	26	29
19	23	26	29	32	35	38	41
20	2,34	2,38	2,41	2,44	2,47	2,51	2,54
21	46	50	53	56	60	63	67
22	58	61	65	69	72	76	79
23	69	73	77	81	84	2,88	2,92
24	81	85	2,89	2,93	2,97	3,01	3,05
25	2,93	2,97	3,01	3,05	3,09	3,13	3,17

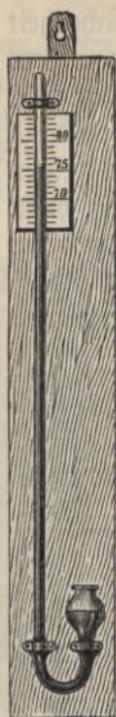


Fig. 61.
Gefäßbarometer.

Während für die genaue Ermittlung des Luftdrucks die Stellung des Quecksilbers in beiden Schenkeln des Barometers berücksichtigt werden muß, hat man für häuslichen Gebrauch und geringere Genauigkeit eine bequemere Einrichtung durch Erweiterung des offenen Schenkels geschaffen (Gefäßbarometer Fig. 61). Die hierdurch stark vergrößerte untere Quecksilberfläche ändert ihre Höhe nur sehr wenig bei Änderungen des Luftdrucks, und man kann sich daher auf die Ableseung an der oberen Quecksilberfläche beschränken. Vielsach in Gebrauch ist auch das namentlich auf Reisen sehr bequeme Metall- oder Aneroidbarometer (Fig. 62). Am Boden eines festen (in der Figur größtenteils weggelassenen) Gehäuses ist eine dünnwandige und nahezu luftleere Metalldose *K* befestigt, welche durch größeren oder kleineren Luftdruck mehr oder weniger zusammengedrückt wird und ihre Formänderungen durch Vermittelung einiger Hebel auf einen vor der Teilung beweglichen Zeiger überträgt. Die Genauigkeit dieses Apparats steht merklich hinter derjenigen eines guten Quecksilberbarometers zurück, doch kann durch häu-

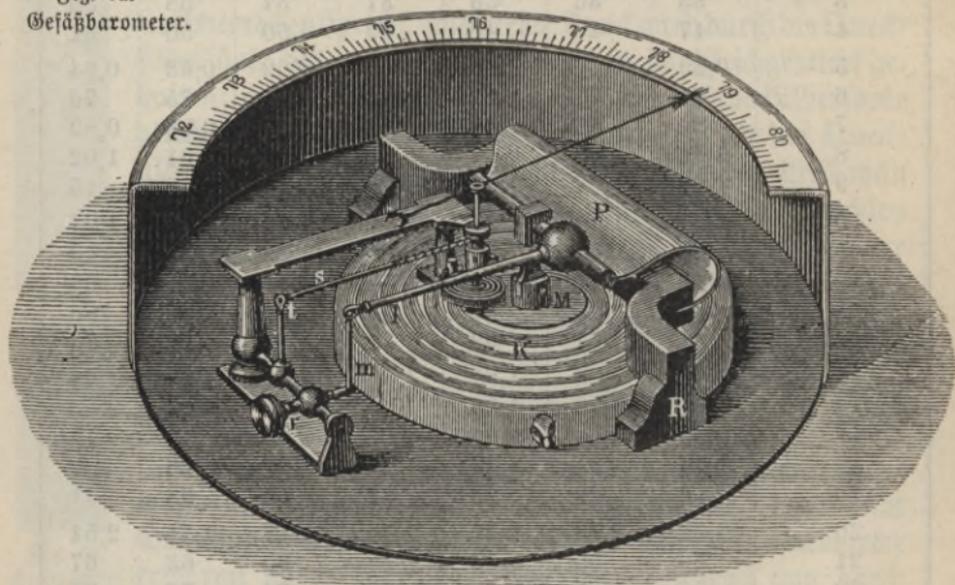


Fig. 62. Aneroidbarometer.

figes Vergleichen mit einem solchen der Mangel wesentlich verringert werden.

Die Benutzung des Barometers zum Höhenmessen, richtiger zum Messen von Höhenunterschieden, beruht darauf, daß es stets den Druck der über dem Standort des Instruments befindlichen Luftsäule angibt. Beim Hinaufsteigen verringert sich also der Barometerstand um den Druck der überstiegenen Luftschicht. Je nach der Dichte dieser Luftschicht ist ihr Druck verschieden, und es entspricht demnach einem bestimmten Höhenunterschied ein größerer Druckunterschied, wenn die dazwischen liegende Luftschicht kälter ist oder wenn sie selbst unter größerem Druck steht als bei höherer Temperatur oder bei niedrigerem Barometerstand. Auch die Luftfeuchtigkeit übt einen gewissen Einfluß, denn eine Schicht, die bloß trockene Luft enthält, ist leichter, als wenn sie außerdem noch von Wasserdampf erfüllt ist.

Die folgende Tabelle gibt an, um wie viel Meter man bei verschiedenen Barometerständen und Temperaturen emporsteigen muß, damit der Luftdruck um 1 mm Quecksilberhöhe geringer wird.

Höhenunterschiede in Metern, welche einem Luftdruckunterschied von 1 mm Quecksilberhöhe entsprechen.

Luftdruck	Temperatur				
	5°	10°	15°	20°	25°
640 mm	12,76 m	12,99 m	13,22 m	13,45 m	13,68 m
660	12,37	12,60	12,82	13,04	13,26
680	12,01	12,23	12,44	12,66	12,87
700	11,67	11,87	12,08	12,30	12,51
720	11,34	11,55	11,75	11,95	12,16
740	11,04	11,23	11,43	11,63	11,83
760	10,74	10,94	11,13	11,32	11,52

Haben wir die Tatsache des Luftdruckes und die Möglichkeit seiner Messung auf diese Art kennen gelernt, so ist nun auch die Deutung der Pumpe leicht daraus zu entnehmen. Die Druckpumpe (Fig. 63 a. folgd. S.) besteht aus einer in das Wasser hinabreichenden Röhre, dem Pumpenstiefel; an diesem und oberhalb der Wasseroberfläche befindet sich ein Ventil *h*, das Bodenventil, welches sich nach oben öffnet, darüber ein Kolben, der in den Stiefel paßt und luftdicht in ihm auf und nieder geschoben werden kann, und unterhalb des Kolbens ist seitlich am Stiefel das Ausflußrohr mit nach außen sich öffnendem Ventil *l* angebracht. Wird der Kolben gehoben, so kann die unter ihm befindliche Luft sich ausdehnen und übt einen geringeren Druck als vorher auf die Wände des Stiefels und beide

Ventile aus; der äußere Luftdruck verschließt dann, weil er nun größer ist als der innere, das Ausflußventil *l*, er wirkt aber auch auf das den Stiefel umgebende Wasser und treibt dieses durch das Bodenventil *h* in den Stiefel hinauf. Wenn dann der Kolben ab-

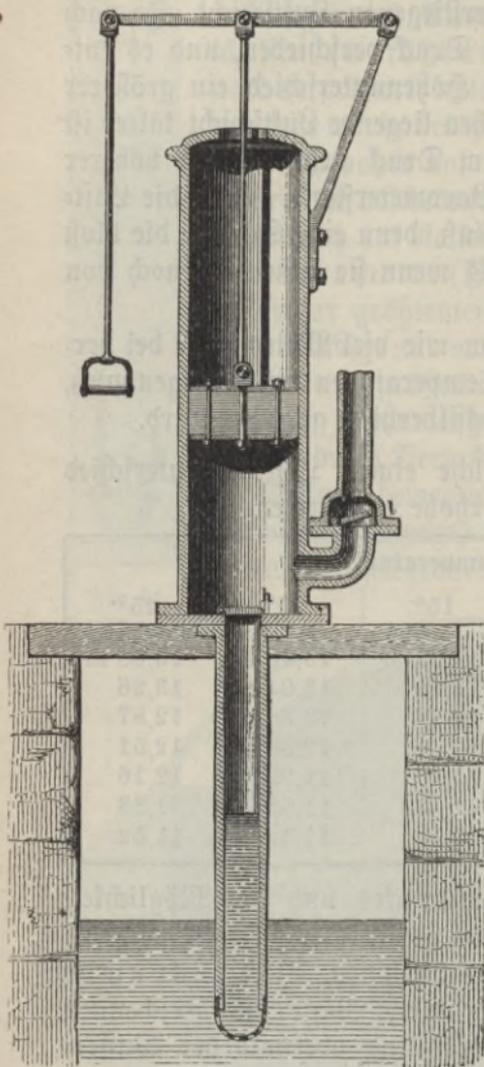


Fig. 63. Druckpumpe.

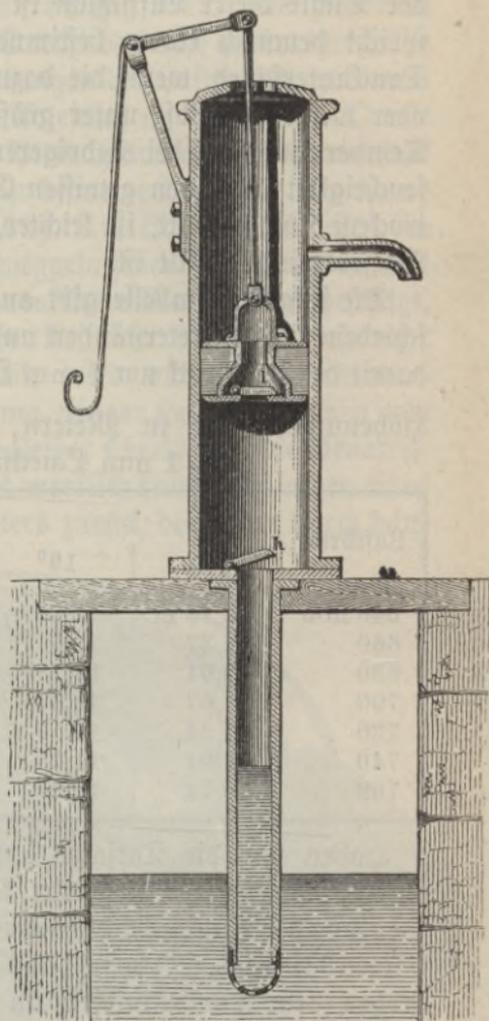


Fig 64. Saugpumpe.

wärts bewegt wird, so schließt sein Druck das Bodenventil, öffnet das Ausflußventil und treibt das vorher über den Boden gestiegene Wasser heraus. Ist die Ausflußröhre neben dem Stiefel emporgeführt, so kann auf diese Art das Wasser auch in beliebige Höhen hinaufgedrückt werden.

Die Saugpumpe (Fig. 64) unterscheidet sich hiervon nur insofern, als die Ausflußöffnung ohne Ventil sich über der höchsten Kolbenstellung befindet und der Kolben selbst ein aufwärts sich öffnendes Ventil *l* hat. Beim Emporsteigen des Kolbens wird auch hier, und zwar bei geschlossenem Kolbenventil *l*, durch den überwiegenden äußeren Luftdruck Wasser in den Stiefel *h* hinaufgetrieben; beim Abwärtsgehen des Kolbens steigt es durch dessen Ventil *l* hindurch bei geschlossenem Bodenventil *h* über den Kolben, um bei dessen nächstem Heben durch das Ausflußrohr entleert zu werden. Der Atmosphärendruck wirkt in beiden Fällen wesentlich mit. Denken wir uns den Pumpenstiefel sehr lang und die Pumpe dauernd wirksam, so kann in den Stiefel das Wasser doch höchstens so weit hinaufsteigen, daß sein Druck dem auf der äußeren Wasserfläche lastenden Luftdruck gleichkommt. Auch hier gilt der Satz von den kommunizierenden Gefäßen, und es kann der Luftdruck auf die äußere Wasserfläche lediglich die Wirkung haben, daß in dem damit kommunizierenden Rohre, nämlich dem Stiefel, das Wasser einen ebenso großen Druck ausübt, wie außen Wasser- und Luftdruck zusammen. Hierzu gehört eine Wassersäule von etwa $10\frac{1}{3}$ m, und darum kann über diese Grenze hinaus durch die Saugpumpe kein Wasser gehoben werden. Bei einer anderen Flüssigkeit ist natürlich im gleichen Fall die Grenze des Steigens durch diejenige Höhe gegeben, in welcher der Druck dieser Flüssigkeit dem Luftdruck gleichkommt. Also kann man z. B. Quecksilber in einer Pumpe nicht höher als 760 mm heben, nämlich bis zu derjenigen Höhe, welche wir am Barometer als gleichwertig mit dem Atmosphärendruck erkannten.

Bei der Betrachtung der Pumpe haben wir bereits eine Voraussetzung gemacht, die nun ausführlicher erwähnt werden muß, nämlich das Vorhandensein der Expansivkraft. Dies ist die für Gase charakteristische Eigenschaft, welche darin besteht, daß die Teilchen eines jeden Gases sich gegenseitig abstoßen, und daß eine Luftmenge jeden beliebigen Raum, der ihr zur Verfügung steht, völlig ausfüllt. Dieses zu zeigen, soll uns die Luftpumpe dienen.

Ich bringe unter deren Glocke einen kleinen Gummiballon, wie er als Kinderspielzeug mit Wasserstofffüllung oft benutzt wird und uns allen bekannt ist. Der Ballon enthält nur wenig Luft, und seine Öffnung ist fest verschlossen. Wenn ich aus seiner Umgebung die Luft durch Pumpen entferne, sehen wir die in dem Ballon eingeschlossene Luft sich mehr und mehr ausdehnen. Je weniger äußerer

Druck auf sie wirkt, um so größeren Raum nimmt diese eingeschlossene Luftmenge ein. Wir sehen beim weiteren Arbeiten der Luftpumpe den Ballon straff und rund werden und können ihn, wenn wir den Versuch weit genug fortsetzen, zersprengen, indem die innere Luft vermöge ihrer Expansivkraft, d. h. der wechselseitigen Abstoßung ihrer Teilchen den ganzen Raum einzunehmen strebt, welcher durch Entfernen der umgebenden Luft in der Glasglocke frei wird. In Ermangelung eines Gummiballons kann man den Versuch auch so anstellen, daß man ein Becherglas mit seiner Öffnung in Seifenwasser taucht und dadurch eine die Öffnung überziehende Seifenblase erzeugt. Wenn man dann rasch dieses Glas unter der Glocke der Luftpumpe der Einwirkung abnehmenden Druckes aussetzt, so wölbt sich die Seifenschicht mehr und mehr empor und zeigt, wie die innere Luft in dem Maße sich ausdehnt, als der äußere, auf ihr lastende Druck verringert wird.

Dies haben wir, wie erwähnt, bei der Besprechung der Pumpe schon vorausgesetzt, nämlich als wir uns sagten, daß beim Emporheben des Kolbens die unter ihm befindliche Luft einen größeren Raum einnehmen und deswegen geringeren Druck ausüben müsse. Über die Größe dieser Druckänderung spricht sich ein Gesetz aus, welches das Mariottesche genannt wird und besagt, daß eine Luftmenge unter verschiedenen Drucken einen Raum einnimmt, der zu dem Druck im umgekehrten Verhältnis steht, oder, was dasselbe ist, daß für eine bestimmte Luftmenge bei unveränderter Temperatur und bei Änderung des von ihr erfüllten Raumes das Produkt Druck mal Volumen nahezu ungeändert bleibt.

Die Expansivkraft zeigt ferner der folgende Versuch. Als Heronsball (Fig. 65) bezeichnet man eine teilweise mit Wasser gefüllte Flasche, durch deren dicht schließenden Stopfen ein oben und unten offenes Glasrohr gesteckt ist. Ich blase durch das Rohr mit dem nötigen Druck Luft hinein, die wir aus der im Wasser stehenden unteren Rohröffnung in Blasenform heraustreten sehen, und wenn ich dann das obere Rohrende freimache, steigt ein Wasserstrahl daraus empor. Denn durch die hineingepreßte Luft war im Gefäß ein so hoher Druck entstanden, daß nun unter Überwindung des äußeren Luftdrucks die eingeschlossene Luft sich ausdehnt und dies unter Heraustreiben einer entsprechenden Wassermenge so lange fortsetzt, bis bei wachsendem Volumen ihr Druck auf den Wert des äußeren Luftdrucks gesunken ist.



Fig. 65.
Heronsball.

Der gleiche Vorgang findet beim Heronsbrunnen (Fig. 66) statt, wobei jedoch der innere Überdruck nicht durch Hineinblasen, sondern mittels Wasserdrucks erzeugt wird. Der Oberteil *M* des Apparates gleicht dem Heronsball, trägt aber auf seiner Oberseite einen flachen Teller *D*, in dessen Mitte das Ausflußrohr emporsteigt. Durch den Oberteil *M* führt ein Rohr *B* hinab, dessen obere Öffnung in der Tellerfläche liegt, und endet offen in dem den Unterteil bildenden verschlossenen Gefäß *N*. Ein zweites Rohr *A* verbindet die beiden Apparate teile so, daß seine Öffnungen je unter der oberen Decke der Gefäße *M* und *N* liegen. Gieße ich Wasser auf den Teller, so füllt es das erstgenannte Rohr *B* und drückt im Herabfließen die Luft des unteren Gefäßes *N* zusammen; das zweite Rohr (*A*) leitet diesen Druck in das obere Gefäß und erzeugt, wie beim Heronsball, einen aus dem Ausflußrohr emporsteigenden Wasserstrahl, der im Teller das herabgeflossene Wasser ersetzt und so lange anhält, als der im oberen Gefäß befindliche Wasservorrat reicht. Will man auf diesen Versuch das Gesetz von der Erhaltung der Energie anwenden, so kann man sagen: die lebendige Kraft des aus dem oberen Gefäß aufsteigenden Strahls kommt der Arbeitsleistung des vom oberen zum unteren Gefäß herabsinkenden Wassers gleich.

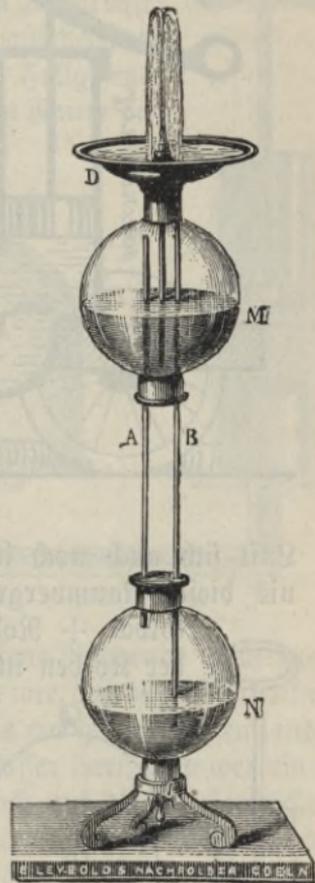


Fig. 66. Heronsbrunnen.

Wie im Heronsbrunnen durch Wasserdruck, so wird im Windkessel der Feuerspritze (Fig. 67 a. folgd. S.) durch die daneben befindlichen Druckpumpen derjenige Druck erzeugt, welcher zum Heraus-schleudern eines kräftigen und gleichmäßigen Wasserstrahls nötig ist. Der Windkessel selbst wirkt dabei geradeso, wie ein Heronsball.

Auf der Expansivkraft und dem Mariotteschen Gesetz beruht die Wirkungsweise der Luftpumpe. Wie die schematische Zeichnung (Fig. 68 a. folgd. S.) erkennen läßt, bewegt sich in dem zylindrischen Pumpenstiefel *St* luftdicht anschließend der Kolben *K*; in der gezeichneten Stellung ist der Stiefel durch den Hahn *H* und das Verbindungsrohr *R* mit dem Teller *T* und der darauf befindlichen Glasglocke

Gl, dem sogenannten Rezipienten, verbunden, und beim Emporheben des Kolbens verbreitet die in Glocke und Rohr befindliche

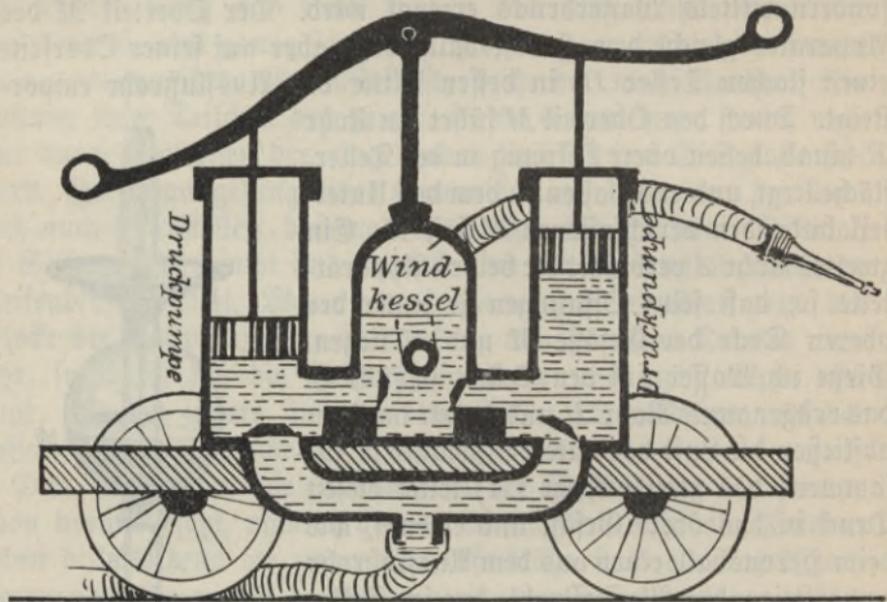


Fig. 67. Feuerspritze.

Luft sich auch noch im Stiefel; sie wird dabei in dem Verhältnis dieser Raumvergrößerung verdünnt, also im Verhältnis von Glocke + Rohr + Stiefel zu Glocke + Rohr allein. Ist der Kolben in seiner obersten Stellung angelangt, so wird

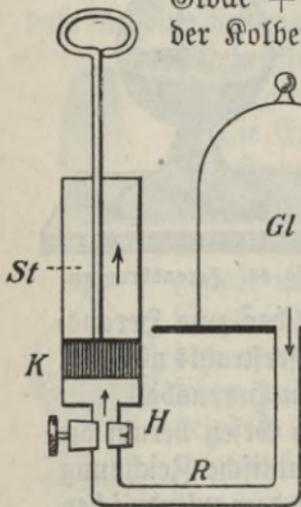


Fig. 68. Luftpumpe.

der Hahn in die durch Fig. 69 angegebene Stellung umgelegt, so daß nun Glocke und Rohr ganz abgeschlossen sind und der Stiefel mit der Außenluft verbunden ist. Der Kolben wird dann herab bewegt, treibt aus dem Stiefel alle Luft aus, und kann nach Zurrückdrehen des Hahnes wieder wie vorher wirken. Andere Formen der Luftpumpe zeigt Fig. 70, bei der Ventile statt des Hahnes angebracht sind, und Fig. 71 (S. 92),

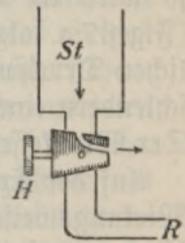


Fig. 69. Luftpumpenhahn.

die eine zweistiefelige, mit abwechselnd wirkenden Stiefeln versehene Form darstellt. Bei allen diesen Pumpen wird mit jedem Kolben-

hub so viel Luft aus dem Rezipienten entfernt, daß die Dichte der zurückbleibenden Luft in dem vorerwähnten Verhältnis verringert wird, sie kann also niemals gleich Null werden; einen völlig luftleeren Raum kann man auf diese Art nicht erzeugen. Wirksamer in solchem Sinne ist die Quecksilberluftpumpe, welche eine Nachahmung des Torricellischen Vakuum hervorruft.

Daß die Luft einen hindernden Einfluß auf bewegte Körper übt, sahen wir bei Gelegenheit der Fallgesetze, deren Gültigkeit genau nur für den luftleeren Raum besteht. Ich will jetzt noch einen anderen Versuch zeigen, bei welchem durch Entfernen der Luft ein Bewegungshindernis vermieden wird. Hier habe ich einen kleinen Apparat, der folgendermaßen entstanden ist. Eine Glasröhre ist an einem Ende zur Kugel erweitert, diese wurde halb mit Wasser gefüllt und dann lange genug erhitzt, so daß der von dem siedenden Wasser ausströmende Dampf die Luft größtenteils aus dem

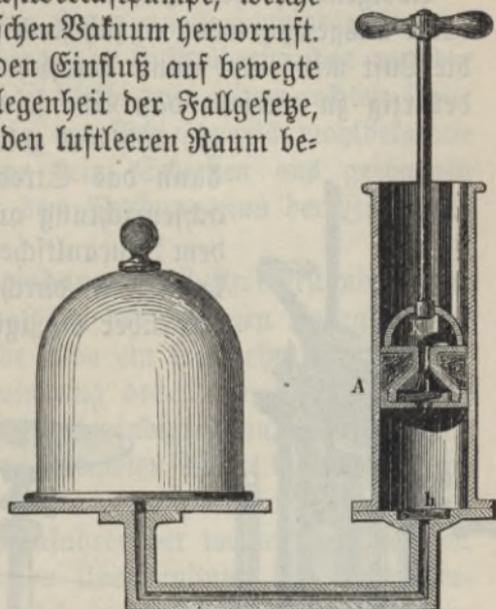


Fig. 70. Ventilluftpumpe.

Rohr vertrieben hat. Dann wurde das offene Rohrende rasch zugeschmolzen, und nach dem Erkalten bemerken wir, daß beim Schütteln das Wasser unter klapperndem Geräusch wie ein harter Gegenstand an die Glaswand stößt. In der That ist Wasser hart, und wer einmal beim Hineinspringen in das Bad flach auf die Wasserfläche fiel, kann das bestätigen. In unserem Apparat können Wasser und Glas hart zusammenstoßen, weil das elastische Luftpolster fehlt, das sich sonst dazwischen schiebt, den Stoß mildert und von dem beweglichen Wasser nicht verdrängt werden kann.

Noch einfacher vermag man die Wirkung des Luftwiderstandes auf folgende Art auszuschalten. Die im luftleeren Rohr angestellten Fallversuche zeigten uns, daß Metall- und Papierstücke gleich rasch fielen, während bekanntlich im lusterfüllten Raum das Papier langsam und flatternd herabsinkt. Jetzt nehme ich eine runde Metallscheibe, z. B. ein Fünfmarsstück, und eine etwas kleinere Papierscheibe, lege sie so auf jene, daß allseitig der Metallrand ein wenig übersteht, und lasse beide zusammen fallen. Sie bleiben im

Fall beisammen, denn die Schwere und Wucht des Metalls genügt zur Durchbrechung der Luft und schafft dem darauliegenden Papierblatt freie Bahn. Dies braucht den Luftwiderstand nicht selbst zu überwinden und fällt daher ebenso rasch, wie das Metallstück.

Übrigens ist das Papier dem starken Luftwiderstand nur dann ausgesetzt, wenn es sich flach bewegt, dagegen nicht, wenn es die Luft mit seiner Kante durchschneidet. Also braucht man es nur derartig zu werfen, daß eine seiner Kanten stets vorausgerichtet

ist, und das gelingt leicht durch Drehung, weil dann das Streben nach Erhaltung der Drehachsenrichtung auftritt, wie wir es beim Kreisel, dem Foucault'schen Pendel usw. sahen. Eine Postkarte z. B. durch einfaches Fortschleudern auch nur über mäßige Entfernung zu bewegen, ge-

lingt nicht ohne weiteres, weil der Luftwiderstand sogleich die Bewegung aufzehrt. Geben wir aber der Karte beim Fortschleudern eine Drehung, so daß sie mit der Kante voranfliegt und diese Stellung vermöge der Drehung beibehält, so kann sie leicht über eine ganze Anzahl von Metern geworfen werden.



Fig. 71. Zweistiefelige Luftpumpe.

Einen merkwürdigen Einfluß hat der Luftwiderstand auf die Bewegung von Geschossen, die aus gezogenem Lauf kommen. Durch die Züge erhält das Geschöß, wie vorher geschildert, eine Drehung um die eigene Längsachse, und zwar bei den gebräuchlichen Geschützen und Gewehren eine Rechtsdrehung, d. h. eine solche, daß für den hinter dem Geschöß herblickenden Schützen die Drehung des Geschosses in der Uhrzeigerrichtung erfolgt; die rechte Seite ist stets abwärts, die linke aufwärts in Bewegung. Da nun außer-

dem das ganze Geschöß durch die Schwere stetig abwärts geführt wird, sind beide Bewegungen (Drehung und Fall) auf der rechten Seite gleich (nämlich abwärts), auf der linken Seite gegeneinander gerichtet, und gegen die ruhende Luft bewegt sich die rechte Seite rascher als die linke. Der Luftwiderstand ebenso wie die Luftreibung wachsen aber mit der Bewegungsgeschwindigkeit, und darum ist die hindernde Wirkung des Luftwiderstandes auf der rechten Seite größer, das Geschöß bleibt mit seiner rechten Seite etwas zurück und erleidet die in der Schießpraxis wohlbekannte Rechtsablenkung, welche nur beim Schießen aus gezogenen Läufen bemerkbar ist und mit dem Drehungssinn der Büge ihre Richtung ändern würde.

Sehr wesentlich ist die Überwindung des Luftwiderstandes beim Radfahren. Versuche zeigten, daß bei der geringen Fahrgeschwindigkeit von 9 km in der Stunde etwa ein Siebzehntel der aufgewendeten Tretarbeit zur Überwindung des Luftwiderstandes verbraucht wurde; bei 15 km Stundengeschwindigkeit wurde ein Sechstel, bei 21 km sogar ein Viertel der geleisteten Arbeit durch den Luftwiderstand aufgezehrt, und es ist nicht zu zweifeln, daß bei den hohen Geschwindigkeiten der Rennfahrer der weitaus größte Teil der zu leistenden Körperarbeit zur Überwindung des Luftwiderstandes dienen muß. Es ist danach die gekrümmte Haltung der Fahrer verständlich, weil dadurch der Körperquerschnitt und der Luftwiderstand verringert werden. Auch die Tätigkeit der Schrittmacher gehört hierher, sofern sie die Luft durchbrechen und den Fahrern einen großen Teil der Arbeit abnehmen, etwa wie bei unserem vorigen Versuch die fallende Münze der nachfolgenden Papierplatte Schrittmacherdienst leistete.

Den tropfbaren und den elastischen Flüssigkeiten gemeinsam ist die Entstehung der Bewegungen aus Unterschieden des Drucks. Denn da die beweglichen Teilchen bei Einwirkung äußerer Kräfte auszuweichen suchen, können diese sich nicht in ihrer eigenen Richtung betätigen, sondern nur durch Vermittelung der Teilchen und in Form des allseitig fortgepflanzten Druckes, wobei das Streben nach einer vom höheren zum geringeren Druck gerichteten Bewegung auftritt. Recht anschaulich zeigt sich dies im Verhalten der Atmosphäre, deren Gleichgewicht und Bewegung so hohe Bedeutung für unser Wetter hat. Hier ist es der Luftdruck, dessen Verteilung die Bewegung, nämlich den Wind zur Folge hat. Die Anordnung des Druckes und die Windbewegung in den unteren Luftschichten wird

ja fortwährend und in weiten Gebieten verfolgt, und wir brauchen nur irgendeine der täglich erscheinenden Wetterkarten zu betrachten, um die Beziehungen zwischen Druck und Wind zu erkennen. Bekanntlich ist die Entstehungsgeschichte solcher Karten diese, daß in eine Landkarte zunächst die Barometerstände der einzelnen Orte eingetragen und dann auf Grund dieser Zahlen Linien gezogen werden, welche die Orte gleichen Luftdrucks miteinander verbinden. Diese als Isobaren bezeichneten Linien gleichen Luftdrucks lassen die Verteilung des Drucks deutlich erkennen, überdies sind auch durch die Worte „Hoch“ und „Tief“ die Gegenden besonders bezeichnet, in welchen der Barometerstand höher bzw. tiefer ist, als rundum. Wäre die Bewegung der Luft nur von der Druckverteilung abhängig, so müßte der Wind überall vom hohen zum niederen Luftdruck wehen, d. h. senkrecht zu den Isobaren. Bei kurzen Windwegen trifft dies zu; z. B. kommt an der Meeresküste in Betracht, daß gewöhnlich das Land bei Tage wärmer, bei Nacht dagegen kälter als das Wasser ist, und daß über der wärmeren Gegend auch die Luft wärmer und leichter, der Druck also geringer ist. Daraus entsteht ein vielfach zu beobachtender regelmäßiger Wechsel der Luftströmungen, welche stets von dem größeren Druck zum kleineren, also von der jeweils kälteren zur wärmeren Gegend wehen, nämlich bei Tage als Seewind, bei Nacht als Landwind. Für das Verständnis der Wetterkarte reicht freilich diese Überlegung nicht aus, denn sie zeigt Windpfeile, die keineswegs senkrecht zu den Isobaren stehen, sondern vielmehr mit ihnen nahezu die gleiche Richtung haben. Bei längeren Windwegen macht sich nämlich der Einfluß der Erddrehung in der Weise geltend, daß er die Bewegung auf der nördlichen Erdhälfte nach rechts, auf der südlichen nach links ablenkt, und daraus ergibt sich für den wirklich stattfindenden Wind die als barisches Windgesetz bekannte Regel, daß er auf unserer nördlichen Halbkugel den höheren Druck rechts und etwas hinter sich, den geringeren Druck links und etwas vor sich hat, wie es die Wetterkarten stets erkennen lassen. Ich will nun versuchen, diese Bewegungen im kleinen nachzuahmen. Um die Strömungen der Luft sichtbar zu machen, mische ich ihr etwas Tabaksrauch bei und zeige auf diese Art zunächst die Bewegung, wie sie durch bloße Druckunterschiede über dem ruhenden Boden entstehen würde. Ich lege eine Glasplatte auf einige Holzklöße, so daß ihre Mitte von unten frei zugänglich bleibt, stelle darauf eine Glasglocke (Luftpumpenglocke mit offenem Halse), deren

obere Öffnung mit einem durchbohrten Kork verschlossen ist, und stecke durch dessen Bohrung lose ein Glasrohr, mittels dessen ich nun eine ausreichende Menge Tabaksrauch einblase, um den Boden in dünner Schicht zu bedecken. Nachdem sodann das Rohr herausgezogen, die Öffnung zugedeckt und die innere Luft zur Ruhe gekommen ist, erhitze ich von unten durch Berühren mit der glimmenden Zigarre die Mitte der Glasplatte. Dadurch erwärmt sich auch die Luft über der erwärmten Glasstelle, und da warme Luft leichter als kältere ist, steigt über der Mitte ein Luftstrom empor, während am Boden die Strömung von allen Seiten nach der erwärmten Stelle, nämlich von den Gegenden größeren nach der Stelle kleineren Druckes, nach dem „Tief“ hinführt (Fig. 72).

Zum sicheren Gelingen des Versuches muß die ganze Vorrichtung, Glasplatte wie Glocke, gleichmäßige Temperatur haben und daher sowohl vor einseitiger Bestrahlung wie auch vor Berühren mit der warmen Hand möglichst sorgfältig geschützt werden, weil sonst schon die geringe Erwärmung einer Stelle genügen würde, um örtliche Gleichgewichtsstörung und Luftbewegung zu erzeugen. Soll der Versuch alsbald wiederholt werden, so ist dazu eine neue Glasplatte erforderlich, denn die benutzte behält ihre örtliche Erwärmung lange bei.

Jetzt werde ich den eben gezeigten Versuch dadurch vervollständigen, daß ich auch die Erddrehung nachahme und die ablenkende Wirkung solcher Drehung zeige. Ich benutze dazu einen aus gewöhnlichen Glasscheiben zusammengesetzten Glaskasten, der in einer Ecke des (hölzernen oder gläsernen) Deckels eine Öffnung hat, in welcher ein bis fast zum Boden reichendes Glasrohr, etwa mittels eines durchbohrten Korkes, aufrecht befestigt werden kann. Diesen Kasten setze ich auf die für die Zentrifugalversuche dienende (oder sonst eine geeignete) Drehvorrichtung, sichere ihn durch zweckmäßige Befestigung gegen das Herabfallen und erhitze eine kleine Stelle des Glasbodens in der Nähe des eingesetzten Rohres durch eine schwach brennende Spirituslampe. Hierauf setze ich die Vorrichtung in langsame und möglichst gleichmäßige Drehung, am besten durch Abziehen einer um die Achse gewickelten Schnur, und

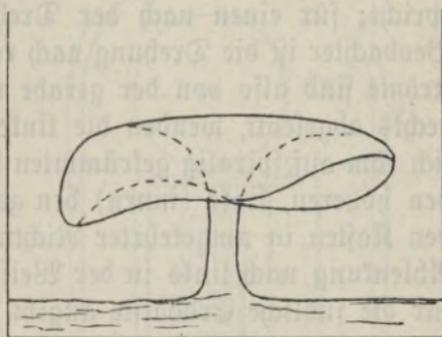


Fig. 72. Aufsteigender Luftstrom.

blase etwas Tabakrauch hinein. Dazu dient mir ein am oberen Ende des Glasrohres befestigter Kautschukschlauch, der das Einblasen ohne Behinderung der Drehung gestattet. Auch jetzt ist über der erwärmten Stelle der Luftdruck kleiner als ringsum, und die Luft fließt wieder am Boden nach jenem „Tief“ hin, um dort aufzusteigen. Aber die einfach von allen Seiten geradlinig nach dem Tief hinführende Bewegung des vorigen Versuchs ist jetzt durch Rechtsablenkung verändert, denn ich drehe den Kasten in derjenigen Richtung, welche der Bewegung unserer nördlichen Erdhälfte entspricht; für einen nach der Drehachse (dem Nordpol) blickenden Beobachter ist die Drehung nach rechts (Osten) gerichtet. Die Luftströme sind also von der gerade nach innen führenden Linie nach rechts abgelenkt, wenden die linke Seite dem Tief zu und nähern sich ihm auf spiralig gekrümmten Bahnen, wobei sie rechts (außen) den höheren, links (innen) den geringeren Druck haben. Drehe ich den Kasten in umgekehrter Richtung, so verläuft das Ganze mit Ablenkung nach links in der Weise, wie es das bairische Windgesetz für die südliche Erdhälfte angibt.

Sechstes Kapitel.

Molekularerscheinungen.

Kohäsion. Elastizität. Härte. Adhäsion. Kapillarität. Oberflächenspannung. Reibung. Zähigkeit. Diffusion.

Wir wenden uns nun zu denjenigen Erscheinungen, die auf Wechselwirkung der Theilchen innerhalb kleinster Entfernungen beruhen. Wie die Verschiedenheit der Aggregatzustände auf diese wechselseitige Anziehung oder Abstoßung zurückzuführen ist, so auch die Erscheinungen der Kohäsion und der Adhäsion. Unter Kohäsion verstehen wir die Wechselwirkung der Theilchen eines Körpers, unter Adhäsion diejenige der Theilchen verschiedener Körper, welche miteinander in Berührung sind.

Die Kohäsion äußert sich in der Art, daß die Theilchen des Körpers bei einem gewissen gegenseitigen Abstand im Gleichgewicht sind, und daß, wenn dieser Abstand künstlich geändert wird, Kräfte auftreten, welche den Gleichgewichtszustand wiederherzustellen streben. So hat ein Körper, den man dehnt, das Bestreben, sich wieder zusammenzuziehen, ein solcher, den man zusammendrückt, sucht sich wieder auszudehnen. In beiden Fällen entstehen als Folge

der äußeren Formänderung Kräfte, die den Körper wieder zum Gleichgewichtszustand zurückzuführen suchen.

Man bezeichnet als elastisch diejenigen Formänderungen, welche den folgenden Regeln entsprechen:

Es muß die Größe der Dehnung oder Biegung oder Zusammen-drückung usw. mit der Kraft, welche sie erzeugte, proportional sein; die Änderung muß gleich leicht in einem und im entgegengesetzten Sinne erfolgen; und sie muß völlig verschwinden nach Aufhören der Kraft, welche sie hervorrief.

Kleinen Kräften gegenüber ist jeder Körper in diesem Sinne elastisch. Diejenige größte Kraft, welche noch eine elastische Formänderung erzeugt, nennen wir die Elastizitätsgrenze des betreffenden Körpers, und wenn ein Körper eine recht hohe Elastizitätsgrenze hat, d. h. wenn er unter Einwirkung großer Kräfte immer noch elastische Formänderungen zeigt, sagen wir: er sei in hohem Grade elastisch. Wird die Elastizitätsgrenze überschritten, so ist die Folge eine bleibende Formänderung, wobei entweder die Gestalt des Körpers eine andere geworden

oder sein Zusammenhang gestört, er zerbrochen oder zerrissen ist. Es kann also ein unelastischer Körper entweder weich sein, so daß er schon bei Einwirkung geringer Kräfte seine Gestalt ändert, oder spröde, so daß er im gleichen Falle zerbricht. Elastische Körper sind z. B. Stahl, Wasser, Luft. Die letzteren sind sogar vollkommen elastisch, d. h. mit unendlich großer Elastizitätsgrenze begabt. Es gehört freilich zum Zusammendrücken von Wasser eine sehr starke

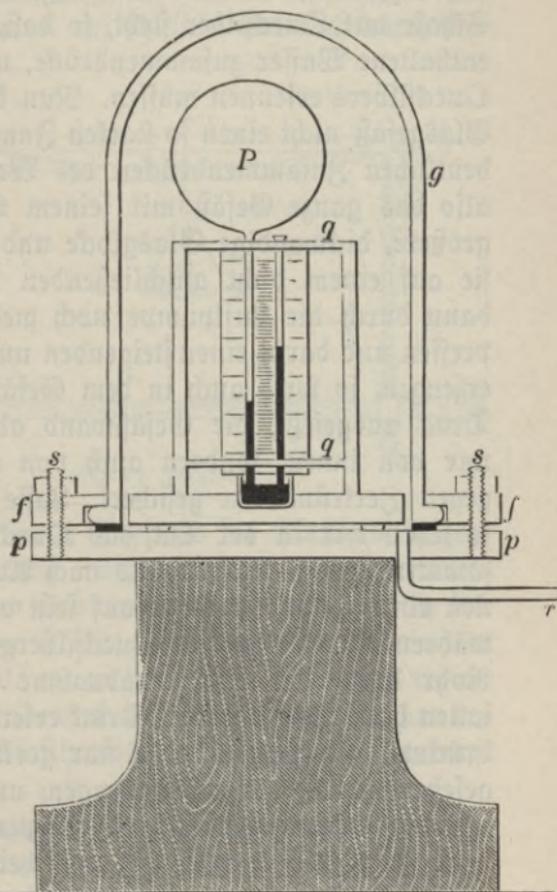


Fig. 73. Piezometer.

Kraft. Dann aber ist die Volumenverminderung auch durchaus den Elastizitätsgesetzen gemäß.

Weil gerade die Elastizität des Wassers unserer Anschauung etwas fern liegt, will ich diese Eigenschaft durch einen Versuch zeigen. Ich werde das Wasser in diesem kleinen kugelförmigen Glasgefäß *P* (Fig. 73) zusammendrücken. Das Gefäß verläuft in eine enge Röhre, deren abwärtsgerichtete Öffnung in einer kleinen Schale mit Quecksilber steht, so daß, wenn ich das in dem Gefäß enthaltene Wasser zusammendrücke, wir dies am Emporsteigen des Quecksilbers erkennen müssen. Nun kann freilich das dünnwandige Glasgefäß nicht einen so starken Innendruck aushalten, wie er zum deutlichen Zusammendrücken des Wassers nötig wäre. Wir setzen also das ganze Gefäß mit seinem Quecksilberschälchen unter eine größere, dickwandige Glasglocke und verschließen diese, indem wir sie auf einem dicht anschließenden Teller befestigen. Wenn wir dann durch die Luftpumpe noch mehr Luft in die Glocke hineinpresse und darin einen steigenden und schließlich recht starken Druck erzeugen, so wird auch in dem Gefäß *P* das Wasser dem gleichen Druck ausgesetzt, die Gefäßwand aber empfängt den Druck nicht nur von innen, sondern auch von außen und ist auf diese Art gegen Zertrümmern gesichert. Lasse ich die Pumpe nun wirken, so sehen wir in der That das Quecksilber steigen, das Wasser zusammengedrückt werden und nach Aufhören des Druckes beim Öffnen eines Hahnes wieder auf sein voriges Volumen zurückkehren, während das neben dem Quecksilbergefäß stehende mit Luft gefüllte Rohr durch die Volumenabnahme der eingeschlossenen Luft den innen herrschenden starken Druck erkennen läßt. War die Zusammendrückung des Wassers auch nur gering, so ist sie den Elastizitätsgesetzen gemäß vor sich gegangen, und wir können das Wasser als einen vollkommen elastischen Körper ansehen, denn der Versuch verläuft in derselben Weise auch bei Anwendung der größten erreichbaren Drucke. Wird das Wasser einem Druck von 100 Atmosphären ausgesetzt, so verringert sich sein Volumen freilich nur um $\frac{1}{200}$.

Daß auch die Luft als vollkommen elastisch bezeichnet werden darf, kann aus dem uns schon bekannten Mariotteschen Gesetz gefolgert werden, ohne daß wir einen besonderen Versuch deswegen anstellen.

Beschränken wir uns nun auf Betrachtung elastischer Änderungen, so ist für die Natur eines Materials eine Reihe von Größen

charakteristisch, nämlich die Verlängerung eines Stabes von bestimmtem Querschnitt, welche bei einer bestimmten Belastung eintritt, die Biegung, Drehung, Zusammendrückung, welche in entsprechender Weise durch biegende, drehende, drückende Kräfte entstehen, usw.

Um die Dehnung für einen bestimmten Stab zu messen, hängt man den Stab senkrecht auf, belastet sein unteres Ende (Fig. 74) und mißt die hieraus entstehende Verlängerung. Daß man auf ähnliche Art auch durch Bie-

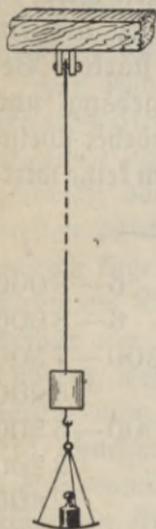


Fig. 74. Dehnung.

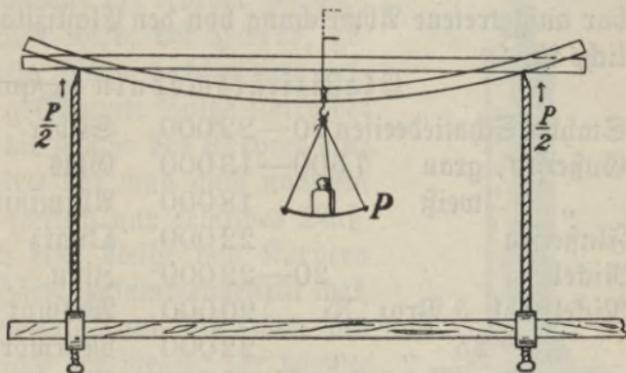


Fig. 75. Biegung.

gungs- (Fig. 75), Drehungs- u. a. Versuche die Elastizitätseigenschaften untersuchen kann, bedarf wohl nicht der experimentellen Vorführung. Als Ergebnis von Dehnungsversuchen enthält die folgende Tabelle einige Werte von Elastizitätsmoduln. So nennt man das Verhältnis der Stablänge zu derjenigen Dehnung, welche bei Belastung des unteren Stabendes mit je 1 kg auf 1 qmm des Querschnitts eintritt. Großer Elastizitätsmodul bedeutet also geringe Dehnbarkeit.

Ich will jetzt mit einem Kautschukstab (als solcher soll uns dieser Schlauch dienen, den wir als einen hohlen Stab ansehen können) einen entsprechenden Versuch anstellen. Zunächst hänge ich an den senkrecht befestigten Schlauch die einzelnen nachher zu benutzenden Gewichte und überzeuge mich beim Abnehmen, daß die Verlängerung nach Aufhören der Belastung wieder völlig verschwindet. Und nachdem dies festgestellt ist, messen wir die Verlängerung, welche beim Anhängen der einzelnen Gewichte eintritt. Dann sehen wir eine scheinbare Abweichung von den Elastizitätsgesetzen, denn es ist bei 200 g Belastung die Verlängerung nicht bloß, wie sie sein sollte, doppelt so groß als bei 100 g, sondern viel größer. Indessen eine

andere Veränderung dürfen wir dabei nicht unbeachtet lassen, daß nämlich der belastete und gedehnte Schlauch merklich dünner geworden ist, und daß also die Dehnung jetzt bei einem dünneren Stab mit kleinerem Querschnitt geschieht wie vorher. Weil aber die Dehnung auf einen bestimmten Querschnitt bezogen wird, so muß bei gleicher Belastung ein dünnerer Stab stärker als ein dickerer gedehnt werden; wir haben in der Tat die stärkere Belastung (die zweiten 100 g) an den dünneren Stab gehängt und finden mit Berücksichtigung dieses Umstandes, daß die vorher scheinbar aufgetretene Abweichung von den Elastizitätsgesetzen keine wirkliche ist.

Elastizitätsmoduln kg/qmm.

Stahlu. Schmiedeeisen	20—22000	Silber	6—8000
Guß Eisen, grau	7500—13000	Glas	6—8000
" weiß	18000	Aluminium	6300—7500
Fluß Eisen	22000	Quarz	6900
Nickel	20—22000	Zinn	4000—5500
Nickelstahl, 5 Proz. Ni	20000	Wismut	3200
" 25 " "	22000	Marmor	2600
" (Invar) 36 Proz. Ni	15000	Ebonit	2090
Platin	16000—17500	Blei	1500—1700
Kupfer	10—13000	Holz, Faserricht., etwa	1000
Neusilber	11000	Elfenbein	900
Bronze	10500	Seidenfaden	650
Messing	8—10000	Fischbein	600
Schiefer	10000	Gips	360
Zink	8—13000	Eis	280
Gold	7000—9500	Kautschuk	0,02—0,8

Zugleich aber wollen wir uns die Tatsache der Querschnittsverringerung beim Dehnen als ein Versuchsergebnis merken; bei zylindrischen Metallstäben beträgt die prozentische Verringerung des Durchmessers etwa ein Drittel der durch Dehnung erzeugten Verlängerung des Stabes, bei Glas etwa ein Viertel.

Eine Anwendung der Biegeelastizität ist die Gewichtsbestimmung mittels der Federwage (Fig. 76), bei welcher die Schwere des zu wiegenden Gegenstandes durch die Zusammendrückung einer Spiralfeder aus elastischem Stahldraht gemessen wird. Wäre dieser Apparat größerer Genauigkeit fähig, als es tatsächlich der Fall ist, so könnte er statt des Pendels zur Bestimmung der Schwerkraft dienen, denn die Hebelwage vergleicht das Gewicht zweier

Körper, welches für beide gleichmäßig von der Schwerkraft abhängt, die Federwage aber mißt Gewicht und Schwerkraft durch die von letzterer unabhängige elastische Kraft der Feder. Derselbe Gegenstand müßte also auf einer Federwage im Thal schwerer und auf dem Berggipfel leichter erscheinen, wenn diese Wage fein genug arbeitete, um so kleine Unterschiede erkennbar zu machen.

Zur Kohäsion gehören nun ferner noch die Eigenschaften der Festigkeit, gemessen durch diejenige Kraft, bei welcher der Körper zerreißt, zerbricht oder zerdrückt wird, der Härte, gemessen durch die Tiefe, bis zu welcher eine aufgesetzte kugelförmig gekrümmte Spitze unter bestimmtem Druck in die Fläche des Körpers eindringt usw. Für Härte hat man auch noch ein anderes, wenn auch freilich nur relatives Maß, indem man nämlich eine Reihe von Körpern mit abnehmender Härte zusammengestellt hat, die sogenannte Härteskala, und die Härte des einzelnen Körpers nach der Regel: der härtere Körper ritzt den weicheeren, durch versuchsweises Ritzen bestimmt. Dann ist ein Körper härter als alle diejenigen, die von ihm geritzt werden, weicher als diejenigen, welche ihn ritzen. Eine solche Reihe ist die folgende, wobei aber die Zahlen nur als ungefähres Maß der Härte zu gelten haben.

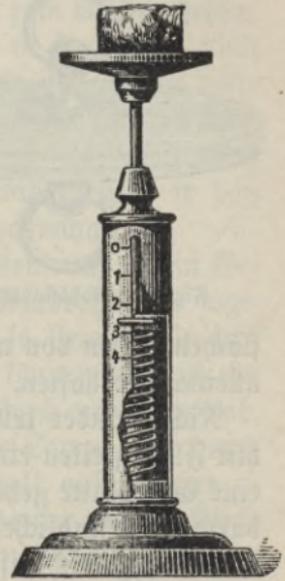


Fig. 76. Federwage.

Härteskala.

Diamant	10	Eisen	4—5
Rorund	9	Flußspat, Glockenguß	} 4
Topas	8	Phosphorbronze	
Beryll	7,8	Marmor, Messing	3—4
Achat, Granat	} 7	Kalkspat	3
Feuerstein, Quarz		Steinsalz	2
Stahl	5—8,5	Blei	1,5
Adular, Augit	} 6	Asphalt	1—2
Eisenglanz, Feldspat		Kaolin, Talc	1
Apatit	5	Wachs (bei 0°)	0,2
Glas	4,5—6,5		

Die Adhäsion ist, wie vorher erwähnt, die gegenseitige Anziehung der Teilchen verschiedener Körper. Hier habe ich zwei ge-

nau aufeinander passende Metallplatten (Fig. 77). Wenn ich sie mit Hilfe der an ihren Rückseiten angebrachten Griffe aufeinander drücke, berühren sie sich so innig und haben eine so starke Adhäsion zueinander, daß ich sie nur mit einer gewissen Kraftanstrengung

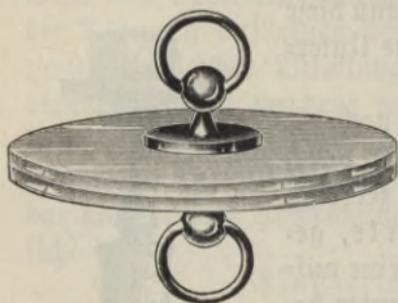


Fig. 77. Adhäsionsplatten.

voneinander ziehen kann, und daß das Auseinanderziehen wie ein Stoß auf beide wirkt und mit hörbarem Klingen erfolgt, etwa als wären sie mit einem Metallstück angeschlagen. Wenn ich von einem Kautschukschlauch mit der Schere ein Stück abschneide und genau in der vorigen Lage wieder ansetze, dann passen die beiden Stücke so gut aufeinander und die Schnitt-

flächen haben von neuem eine so innige Berührung, daß die Stücke aneinander haften.

Nicht minder tritt Adhäsion auch bei Berührung fester Körper mit Flüssigkeiten ein. Ich habe an diese Wage mittels eines Fadens eine Glasplatte gehängt, welche in horizontaler Stellung über einer darunter befindlichen Schale schwebt (Fig. 78). Während die Wage im Gleichgewicht ist, gieße ich Wasser in die Schale, bis es die Glasplatte berührt. Dann adhärirt das Glas am Wasser mit einer Kraft, die ich messen kann, indem ich so viel Gewichte auf die andere

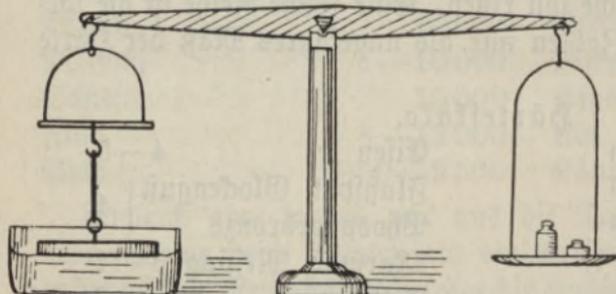


Fig. 78. Adhäsion von Glas an Wasser.

Seite der Wage lege, daß die Platte vom Wasser abgerissen wird. Der Versuch zeigt, daß eine recht erhebliche Kraft zur Überwindung der Adhäsion nötig ist.

Denselben Versuch

stelle ich jetzt mit Quecksilber statt des Wassers an, und der Versuch ist ein ganz ähnlicher. Voraussetzung ist allerdings in beiden Fällen eine ganz reine Glasfläche, und ebenso eine reine Flüssigkeitsfläche, damit sich beide auch wirklich innig berühren. Beidemale gehört eine gewisse Zahl von Grammen dazu, um diese, wenige Zentimeter im Durchmesser haltende Glasplatte abzureißen.

Außer der geschenehen Messung der Adhäsion läßt uns dieser

Versuch aber noch etwas anderes erkennen. Die von dem Wasser abgerissene Platte hat eine gewisse Wasserschicht mitgenommen und ist nach dem Versuch naß, bei dem Quecksilberversuch dagegen blieb die Glasplatte völlig unverändert und trocken. Wir sagen: das Glas wird von dem Wasser benetzt, von dem Quecksilber nicht, und deuten den Unterschied so, daß die Adhäsion des Glases zum Wasser größer ist, als die Kohäsion des Wassers; eigentlich ist das Glas nicht von dem Wasser abgerissen, sondern das Wasser ist zerrissen worden, die oberste Wasserschicht wurde mit dem Glase abgehoben, während bei dem Quecksilber die Kohäsion der Flüssigkeit groß genug war, um der Adhäsion zum Glase zu widerstehen, so daß die Glasplatte kein Quecksilberteilchen mit empornahm.

Ähnliches zeigt uns ein anderer Versuch. Wenn ich in ein Gefäß mit Wasser ein beiderseits offenes enges Glasrohr, ein sogenanntes Kapillarrohr aufrecht hineinstelle, so steigt darin das Wasser empor. Damit wir alle den Versuch sehen können, bilde ich ihn mittels des Projektionsapparates auf der Wand vergrößert ab, und zwar in der Weise, daß ich mit Hilfe der Lampe und durch eine davor befindliche Linse das Licht gesammelt auf unseren zu betrachtenden Apparat werfe und dann mittels einer zweiten Linse von dem beleuchteten Apparat ein umgekehrtes, wirkliches und vergrößertes Bild auf der Wand entwerfe. Füge ich zu dem ersten Kapillarrohr noch einige von anderer Weite hinzu, so steigt in ihnen allen das Wasser, jedoch um so höher, je enger das Rohr ist (Fig. 79). Auch hier können wir den Vorgang verstehen, indem wir zwischen Glas und Wasser eine Adhäsion annehmen, welche groß genug ist, um die Kohäsion des Wassers zu überwinden, und welche sich also als eine Anziehung des Wassers durch die Glaswand der Röhre äußert. Je mehr von der Glasfläche sich in der Nachbarschaft der Flüssigkeit befindet, d. h. je enger das Rohr ist, um so höher steigt die Flüssigkeit. Das entsprechende können wir auch sehen, wenn wir jetzt statt der Röhre zwei Glasplatten benutzen (Fig. 80 a. folgd. S.), die an einer Kante zusammengelegt sind, während an der gegenüberliegenden Kante ein dünner Draht sie in bestimmter Entfernung

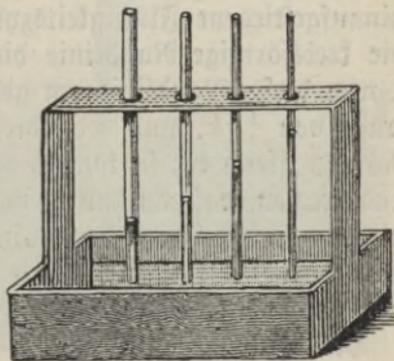


Fig. 79. Kapillares Steigen in Röhren.

Je mehr von der Glasfläche sich in der Nachbarschaft der Flüssigkeit befindet, d. h. je enger das Rohr ist, um so höher steigt die Flüssigkeit. Das entsprechende können wir auch sehen, wenn wir jetzt statt der Röhre zwei Glasplatten benutzen (Fig. 80 a. folgd. S.), die an einer Kante zusammengelegt sind, während an der gegenüberliegenden Kante ein dünner Draht sie in bestimmter Entfernung

voneinander hält. Stecke ich dieses Plattenpaar aufrecht in Wasser, so steigt auch zwischen ihnen die Flüssigkeit und zwar am höchsten

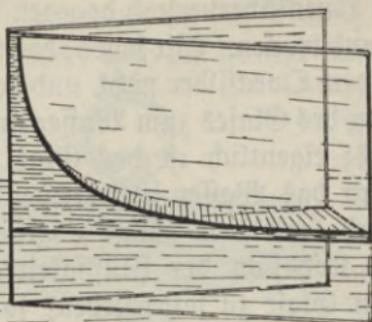


Fig. 80. Kapillares Steigen zwischen Platten.

dort, wo die Platten sich berühren, und nach der anderen Seite hin, an welcher der Draht die beiden Platten trennt, wird die Steighöhe immer kleiner. Auch hier sehen wir im engeren Raum

das Höhersteigen der Flüssigkeit. Die Adhäsion hat dabei ihren Sitz in der oberen Randlinie des Wassers.

Wenn wir in den vorher benutzten Röhren die Höhe, bis zu der das Wasser stieg, sowie den Radius der einzelnen Röhren messen, dann können wir finden, daß die Steighöhe dem Röhrenradius umgekehrt proportional oder, wenn wir diese beiden Größen mit h und r bezeichnen, daß der Wert von rh bei all den verschiedenen Röhren gleich groß ist. Bedenken wir nun, daß der in die Röhre hinaufgestiegene Flüssigkeitszylinder das Volumen $r^2\pi h$ und daß die kreisförmige Randlinie die Länge $2r\pi$ hat, so kommt auf je 1 mm dieser Randlinie ein gehobenes Flüssigkeitsvolumen im Betrage von $\frac{1}{2}rh$, und weil diese Größe, wie wir sahen, bei allen Röhren gleich ist, so können wir auch als Ergebnis des Versuchs aussprechen, daß im zylindrischen Rohr die gehobene Flüssigkeitsmenge mit der Länge der Randkurve im einfachen Verhältnis steht, oder daß je 1 mm Randlinie immer eine bestimmte Flüssigkeitsmenge hebt.

Dies gilt aber freilich nur für zylindrische Gefäße, und wenn wir statt der Röhre ein irgendwie anders gestaltetes Gefäß benutzen, so müssen wir richtiger sagen, daß je 1 mm Randkurve einen gewissen Druck der gehobenen Flüssigkeit trägt, denn tatsächlich ist nicht das Gewicht, sondern nur der Druck der gehobenen Flüssigkeit charakteristisch, wie der folgende Versuch zeigt.

Ich nehme jetzt ein Rohr, welches sich im unteren Teile erweitert (Fig. 81), bringe durch Neigen oder Herabsenken des Rohres die Flüssigkeit bis in den engen Oberteil und hebe nun das Rohr

so hoch empor wie vorher; dann überzeugen wir uns, daß tatsächlich nur die Randkurve oder die Weite des Rohres an der oberen Grenze der gehobenen Flüssigkeit für die Steighöhe maßgebend ist, nicht die Gestalt der Röhre im unteren Teile. Weil aber die Steighöhe wiederum ein Maß für den Druck der gehobenen Flüssigkeitssäule ist, konnten wir die eben erwähnte Proportionalität zwischen Länge der Randlinie und Druck der gehobenen Flüssigkeit aussprechen.

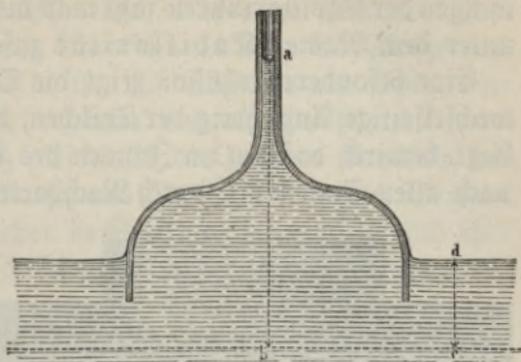


Fig. 81. Kapilläres Steigen.

Haben wir mit Wasser, welches die Glasröhre benetzt, das Steigen wahrnehmen können, so ist nach dem vorigen Versuch nun zu erwarten, daß mit einer nicht benetzenden Flüssigkeit, z. B. Quecksilber, die Sache umgekehrt verlaufen wird. In der Tat zeigt ein in Quecksilber getauchtes Rohr, daß in seinem Innern die Flüssigkeit sinkt (Fig. 82). Die Kohäsion des Quecksilbers ist ja größer als seine Adhäsion zum Glase, es benetzt das Glas nicht, und demgemäß mußten wir den Verlauf des Versuchs so erwarten, wie wir es hier sehen, nämlich daß im Innern des Rohres das Quecksilber tiefer steht wie im äußeren Gefäß, und zwar um einen Betrag, der auch hier nur von der Länge der Randlinie abhängt, nicht von der Weite des unteren Gefäßteiles (Fig. 83 a. folg. S.).

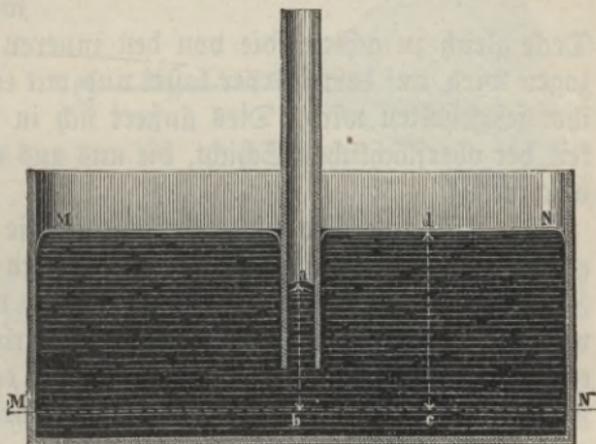


Fig. 82. Kapilläres Sinken

Das gleiche zeigen uns zwei kurze Rohrenden von etwa 1 cm Durchmesser, die ich aufrecht gestellt und das eine mit Wasser, das andere mit Quecksilber gefüllt habe. Das Wasser steht an den Rändern hoch, in der Mitte tief, es hat wie man es nennt, einen konkaven Meniskus; das Quecksilber steht umgekehrt an den Rändern

tief und in der Mitte hoch, der Meniskus ist konvex; beides gemäß den vorausgegangenen Erwägungen. Im Anschluß an die Erscheinungen der Kapillarröhren faßt man die eben geschilderten Vorgänge unter dem Namen Kapillarität zusammen.

Eine besondere Kohäsion zeigt die Oberfläche der Körper. Die wechselseitige Anziehung der Teilchen, die ja der Kohäsion zugrunde liegt, bewirkt, daß ein im Innern des Körpers befindliches Teilchen nach allen Seiten hin durch Nachbartheilchen angezogen wird, ohne

Bevorzugung irgend-einer einzelnen Richtung. In der Oberfläche eines Körpers aber hat das einzelne Teilchen nicht auf allen Seiten, sondern nur nach innen hin benachbarte Teilchen, von denen es Anziehung erfahren kann. Darum ist die ganze Oberflächenschicht, für welche dies gilt, einer

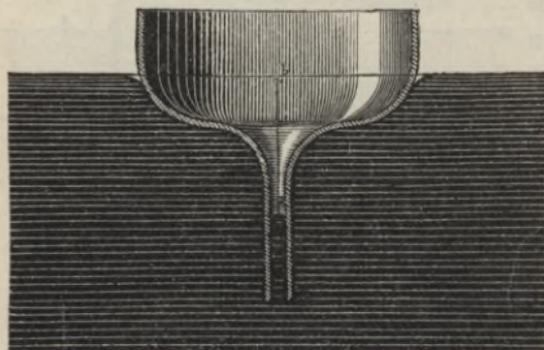


Fig. 83. Kapillares Sinken.

Decke gleich zu achten, die von den inneren Nachbartheilchen angezogen wird, auf dem Körper lastet und mit einer gewissen Kraft auf ihm festgehalten wird. Dies äußert sich in der besonderen Festigkeit der oberflächlichen Schicht, die uns aus vielfachen Erfahrungen bekannt ist.

Wenn ich eine Glasplatte in einer Linie oberflächlich ritze, wie es die Glaser mit dem Diamanten zu tun pflegen, dann ist der Zusammenhang des Glases nur in der sehr dünnen äußeren Schicht verringert, aber es ist die Oberfläche unterbrochen, und weil diese eine besondere Festigkeit hat, so ist auf der geritzten Linie die Festigkeit der Platte so viel geringer geworden, daß wir sie durch einen leichten Druck zum Brechen genau auf der geritzten Linie veranlassen können. Ebenso geschieht das sogenannte Schneiden von Glasröhren; dicke Röhren und Stäbe, ebenso wie dünne Kapillarröhrchen können wir glatt abbrechen, wenn wir vorher an der betreffenden Stelle mit einem genügend harten Gegenstand, z. B. einem stahlharten, sogenannten Glasmesser oder einer kantigen Feile die Oberfläche ein wenig ritzen und dadurch die Festigkeit an dieser Stelle stark verringern. Die Festigkeit und Schärfe unserer Messerschneiden beruht gleichfalls hierauf. Je schärfer die Schneide eines

Messers geschliffen ist, um so mehr Oberfläche ist an ihr auf ganz kleinem Raum vereinigt, um so mehr Festigkeit daselbst vorhanden, und um so besser kann die Schneide in anderes Material eindringen. Wir können mit einer Stahlschneide oder Stahlspitze eine Stahlplatte rizen als Beweis dafür, daß Schneide und Spitze vermöge ihrer größeren Oberfläche härter sind als die Platte.

Bei Flüssigkeiten zeigt sich gleichfalls die größere Kohäsion der Oberfläche. Ich kann z. B. diese aus Draht gefertigten Gerippe einfacher mathematischer Körper in Seifenwasser tauchen und ihre Flächen mit dünnen Seifenschichten bekleiden. Diese Schichten ha-

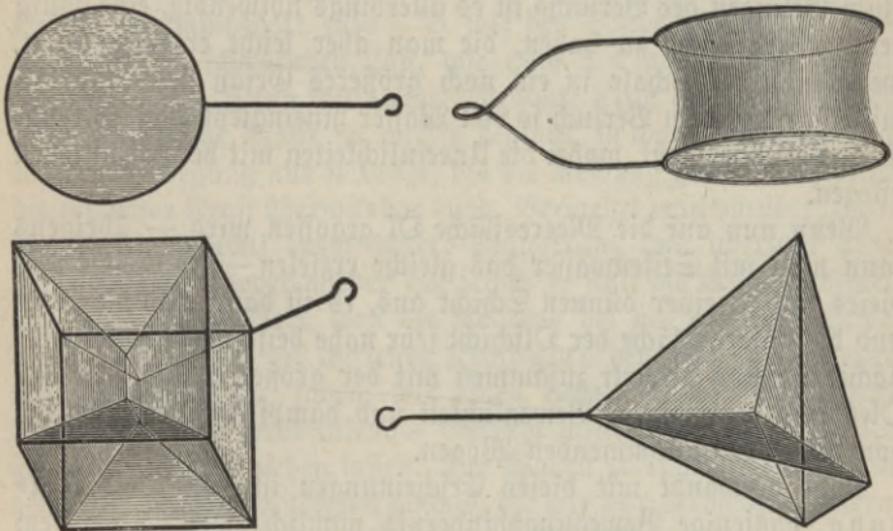


Fig. 84. Drahtfiguren mit Seifenlamellen,

ben dann wenig Masse und viel Oberfläche und eine viel größere Festigkeit, als die gleiche Flüssigkeit in ihrem Innern zeigt. So kann ich Würfel, Tetraeder usw. (Fig. 84) herstellen, zwischen deren aus Draht gebildeten Kanten die Flächen aus dünnen Schichten von Seifenwasser frei schweben. Einen Drahttring bekleide ich mit einer Fläche von Seifenwasser und lege darüber einen Faden, dessen eines Ende am Ring befestigt ist, während das andere mit einem Drahtstückchen belastet herabhängt. Wenn ich den Ring senkrecht halte und dasjenige Stück der Seifenschicht, welches unterhalb des Fadens sich befindet, zerstöre, so ist das andere noch über dem Faden befindliche Stück der Seifenlösung fest genug, um den Faden mit seiner Belastung zu tragen.

Sprichwörtlich ist das Beruhigen der Meereswogen durch Öl, und auch dies beruht auf Kohäsion und Adhäsion. Es besteht näm-

lich zwischen Wasser und Öl eine so starke Adhäsion, daß, wenn man auf eine reine Wasserfläche einen Öltropfen bringt, dieser sich alsbald zu einer ganz dünnen Schicht ausbreitet, weil beide Flüssigkeiten wegen ihrer starken Adhäsion eine möglichst große Berührungsfläche miteinander bilden. Das kann ich im kleinen hier nachahmen, indem ich eine große Schale mit reinem Wasser durch Korkpulver oberflächlich bestäube und dann auf die Mitte einen Tropfen Öl fallen lasse. Er breitet sich dann sogleich über die ganze Wasserfläche aus und schiebt die Korkestäubchen dabei vor sich her, so daß wir diese sich nach dem Rande hinbewegen sehen. Zum Gelingen des Versuchs ist es allerdings notwendig, eine völlig reine Wasserfläche zu haben, die man aber leicht erlangen kann, wenn man die Schale in ein noch größeres Gefäß stellt und unmittelbar vor dem Versuch so viel Wasser hineingießt, daß ein reichlicher Teil überfließt, wobei die Unreinlichkeiten mit herauszufließen pflegen.

Wenn nun auf die Meeresfläche Öl gegossen wird — übrigens kann man mit Seifenwasser das gleiche erzielen —, so breitet auch dieses sich zu einer dünnen Schicht aus, es ist dann also die obere und die untere Fläche der Ölschicht sehr nahe beisammen, die Oberflächenkohäsion bewirkt zusammen mit der größeren Zähigkeit des Öles eine verminderte Beweglichkeit und dämpft auf diese Art die von außen herankommenden Wogen.

Nahe verwandt mit diesen Erscheinungen ist ferner die Reibung; dasjenige Bewegungshindernis nämlich, welches bei dem



Fig. 85. Gleitende Reibung.

Aneinandergleiten von Körpern durch ihre Unebenheiten (Fig. 85), sowie auch durch die Adhäsion gegeben ist. Die Reibung hat eine außerordentlich große

praktische Bedeutung für alle Bewegungen, die wir im täglichen Leben ausführen oder beobachten. Daß unser Gehen und Stehen durch Reibung sehr wesentlich gesichert wird, sehen wir leicht ein, sobald wir auf glattem, reibungslosem Boden uns zu bewegen versuchen. Wenn irgendeine Last bewegt werden soll, so ist die dafür erforderliche Arbeit zunächst allerdings dazu bestimmt, die Last aus dem Zustand der Ruhe in den der Bewegung überzuführen. Wäre aber dann keine Reibung vorhanden, so müßte die einmal in Bewegung befindliche Last sich durch Trägheit von selbst und ohne weitere Arbeit sowie ohne Verminderung ihrer lebendigen Kraft fortbewegen. In Wirklichkeit wird von der Energie, die der bewegte Körper hat, ein gewisser Betrag zur

Überwindung der Reibung verbraucht und der Bewegung entzogen, und diesen durch Reibung aufgezehrten Betrag zu ersetzen, ist die eigentliche Aufgabe der immer neu zu leistenden Arbeit oder der immer wieder als Ergänzung neu hinzuzufügenden Energie. Wenn wir einen Wagen ziehen wollen, so ist freilich die schwerste Arbeit zu leisten, damit er in Bewegung kommt. Was dann weiter noch an Arbeit aufgewendet werden muß, dient lediglich zur Überwindung der Reibung oder zum Ersatz derjenigen Energie, die der Bewegung vermöge der Reibung an den Achsen und am Boden entzogen wird.

Die Reibung wächst sowohl mit dem Druck, der die reibenden Körper zusammenhält, also z. B. mit der Schwere einer über eine Unterlage zu schiebenden Last, wie auch mit der Geschwindigkeit der Bewegung. Denn wenn eine bestimmte Kraft auf eine mit Reibung bewegliche Masse zu wirken beginnt, so wächst die Schnelligkeit der Bewegung nur so lange, bis die Reibung gerade noch durch die wirkende Kraft überwunden wird. Vermehrt man vorübergehend die Geschwindigkeit durch äußere Einwirkung und überläßt dann den bewegten Körper wieder sich selbst, so sinkt die Geschwindigkeit auf den vorigen Wert, weil die Reibung bei der rascheren Bewegung zu groß für die wirkende Kraft geworden war. Das können wir leicht erproben, indem wir einen kleinen Wagen auf glatter Bahn durch ein herabsinkendes Gewicht mittels einer über Rollen geführten Schnur ziehen lassen. Der Wagen gelangt nicht über eine gewisse Höchstgeschwindigkeit hinaus, die wir nur vermehren können, indem wir ein schwereres Gewicht wirken lassen.

Hiernach ist die zahlenmäßige Angabe von Reibungsgrößen verschiedener Materialien nicht ohne weiteres tunlich, weil im Einzelfall Druck und Geschwindigkeit ihren wesentlichen Einfluß üben.

Wir unterscheiden bei festen Körpern die gleitende und die rollende Reibung; die gleitende, bei der die Körper einfach aneinander entlang bewegt werden, die rollende, bei welcher der eine auf dem anderen wälzend oder rollend fortschreitet. Es ist also die Bewegung des Schlittens am Boden mit gleitender, die des Wagens mit rollender Reibung verbunden. Bei harten Körpern ist die gleitende, bei weichen die rollende Reibung größer. Darum pflegt man auf hartem Boden (Chaussee) den Wagen, auf weichem Boden (Sand oder Schnee) den Schlitten zur Fortschaffung von Lasten zu benutzen, in beiden Fällen die kleinere Reibung suchend.

Das gleiche, nämlich die tunlichste Verringerung der Reibung, ist auch bei vielen sonstigen Gelegenheiten erwünscht und wird auf

mancherlei Art erreicht. Da die Reibung fester Körper zum Teil auf den Stößen beruht, mit welchen die kleinen Unebenheiten der reibenden Flächen aufeinander treffen, so kann man durch Glättung dieser Flächen die Stöße und die Reibung verringern. Ferner wirkt in gleichem Sinne das Hineinbringen von Schmiermaterial (Fett, Seife), welches die Vertiefungen und Unebenheiten ausfüllt und damit Glätte erzeugt, außerdem aber auch die Reibung von den festen Körpern auf die sie überziehenden Fettschichten übergehen läßt

und an Stelle der Adhäsion der festen Körper die Kohäsion des Schmiermittels setzt. Wenn bei Maschinen eine Achse in ihrem Lager möglichst geringe Reibung haben soll, gibt man der Achse da, wo sie im Lager ruht, eine so geringe Dicke, als mit der erforderlichen Festigkeit vereinbar ist. Die Reibung nämlich hat ihren Sitz in der Oberfläche der Achse und wirkt gleich einer dort angreifenden Gegenkraft. Der Achsenradius bedeutet für diese Gegenkraft den Hebelarm, an welchem sie die Drehung hindernd beeinflusst, und ihre Wirkung (ihr Drehungsmoment) wird also an der dünneren Achse um so kleiner sein.

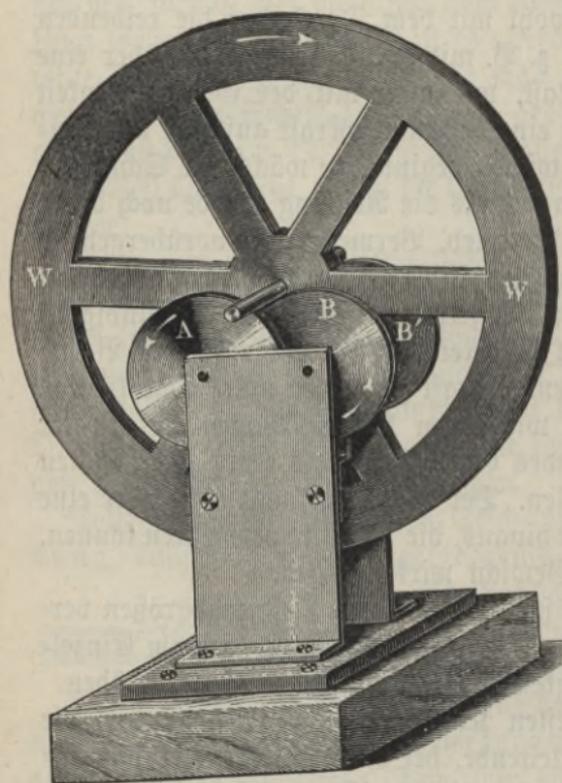


Fig. 86. Friktionsrollen.

Besonders wirksam zur Verminderung der Reibung bei harten Körpern ist endlich die Verwandlung der gleitenden Reibung in rollende. Daß die letztere (nur bei harten Körpern!) kleiner ist, zeigte uns vorher schon der Hinweis auf Wagen und Schlitten. Bei schweren Maschinenteilen, Schwungrädern u. dgl., deren Achsen in ihrem Lager starker Reibung ausgesetzt sind, ersetzt man das feste Lager durch Friktionsrollen (Fig. 86), nämlich durch kleine drehbare Rollen A und B, die so angeordnet sind, daß auf ihrem Rande

die Hauptachse des Rades W ruht, und daß sie durch deren Drehung vermöge rollender Reibung gleichfalls in Drehung versetzt werden. Die gleitende Reibung ist dann an der Hauptachse ganz durch rollende ersetzt und findet nur noch an den Achsen der Frikionsrollen statt, wobei aber die Last und der Druck auf mehrere Stellen verteilt und die Geschwindigkeit des Gleitens nur gering ist. Dem gleichen Zweck dient die Anbringung der Kugellager, wie sie namentlich bei den Fahrrädern zur Erzielung geringer Reibungsverluste in Gebrauch sind. Die Radachse befindet sich dabei in einem hohlen Lager, welches Raum zur Unterbringung eines die Achse umziehenden Kranzes harter Stahlkugeln bietet. Beim Drehen der Achse geraten auch die Kugeln in Drehung und bewegen sich mit rollender Reibung sowohl gegen die Achse, wie auch gegen das Lager.

Wie die festen so erleiden auch die flüssigen Körper durch die Reibung Verluste an Bewegungsenergie. Wenn tropfbare Flüssigkeit durch eine Röhre fließt, so findet zunächst an der Röhrenwand eine starke Reibung zwischen Wand und Flüssigkeit statt, welche namentlich bei benetzender Flüssigkeit dahin führt, daß eine sehr dünne Flüssigkeitshaut an der Röhrenwand adhärirt und an der Bewegung nicht teilnimmt. Die nächste Flüssigkeitsschicht bewegt sich etwas rascher, und so reiht sich bis zur Röhrenmitte eine konzentrische Schicht an die andere, die sich mit verschiedener, nach der Mitte wachsender Geschwindigkeit bewegen und mit Reibung aneinander hingleiten. Die zwischen solchen Schichten stattfindende Flüssigkeitsreibung hängt vom Druck, von der Röhrenweite und namentlich von der Art der Flüssigkeit ab; letzteres macht sich durch eine Eigenschaft der Flüssigkeit geltend, die man ihre innere Reibung oder Zähigkeit oder auch Viskosität nennt. Was soeben von der Bewegung in Röhren gesagt wurde, kann man übrigens an jedem Fluß gleichfalls beobachten, daß nämlich die größte Wassergeschwindigkeit inmitten der Oberfläche stattfindet und mit Annäherung an Ufer und Grund langsamere Bewegung eintritt.

Die innere Reibung des Wassers zeigt der folgende Versuch. Bei der schon mehrfach benutzten Zentrifugalmaschine wird am unteren Ende ihrer durch das Grundbrett hindurchgeführten Achse ein rechtwinkelig gebogener Draht so befestigt, daß sein Hauptteil parallel zur Achse und von ihrer Verlängerung um einen oder zwei Zentimeter entfernt nach unten ragt und beim Drehen einen Zylindermantel beschreibt. Darunter stelle ich ein mit Wasser gefülltes zylindrisches Glas von 30 cm (oder mehr) Höhe so auf, daß der

Draht etwa 5 cm tief in das Wasser eintaucht und sich beim Drehen um die Mitte dieses Glases bewegt. Auf dem Boden des Gefäßes liegt eine dünne Schicht reinen Sandes (Seesand, nötigenfalls durch Schlämmen von Unreinigkeiten befreit). Jetzt setze ich die Achse und den Draht in Drehung und bewirke dadurch, daß auch die oberste Wasserschicht in Drehung gerät; von dieser wird der zunächst darunterliegenden Schicht die Bewegung durch Reibung mitgeteilt und schreitet allmählich von Schicht zu Schicht bis zum Boden fort. Es dauert freilich eine gewisse Zeit, bis durch innere Reibung des

Wassers die ganze Höhe des Gefäßes von der Bewegung erfaßt ist, zuletzt sehen wir aber deutlich, wie der am Boden liegende Sand in den Wirbel hineingezogen wird und drehend emporsteigt.

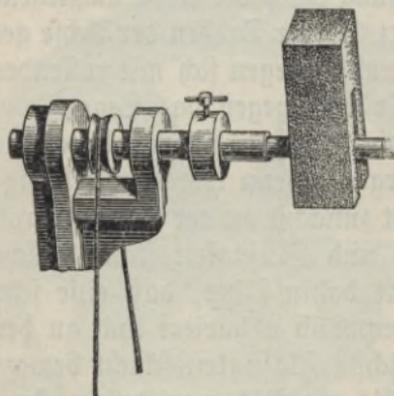


Fig. 87. Erhitzen durch Reibung.

Wenn zum Überwinden der Reibung Arbeit verbraucht wird, so entsteht die Frage nach dem Verbleib der hierfür aufgewendeten Energie, und die Antwort ergibt sich leicht auf Grund der Erfahrung, daß durch Reibung Wärme erzeugt wird. Hier habe

ich eine stählerne Röhre (Fig 87), die mit einer Drehvorrichtung versehen ist, und kann sie zwischen Korkstücken derartig anbringen, daß sie von diesen zusammengedrückt und beim Drehen kräftig an den Korkflächen gerieben wird. Die Höhlung der Röhre erfülle ich mit Äther, verschließe die Öffnung mit einem gut passenden Stopfen, und drehe nun die Röhre zwischen den Korkstücken. Nach einiger Zeit ist der Äther bis zum Sieden erhitzt und erwirkt durch seinen Dampfdruck das mit hörbarem Knall stattfindende Herausfliegen des Stopfens. Haben wir das Rohr wagerecht angebracht und vor seiner Öffnung eine kleine Spiritusflamme aufgestellt, so entzündet sich daran der ausströmende Ätherdampf zu weit sichtbarer Flamme. Die lebendige Kraft, welche zur Überwindung der Reibung verbraucht wurde, hat als Bewegungsenergie zu bestehen aufgehört und ist in eine andere Energieform umgesetzt, nämlich in Wärme. Das Gesetz von der Erhaltung der Energie läßt erwarten, und die Erfahrung bestätigt, daß diese Umsehung in einem ganz bestimmten Zahlenverhältnis geschieht. Die Wärmemenge nämlich, welche nötig ist, um 1 kg Wasser bei 15° um 1° zu erwärmen, ist gleichwertig mit der

jenigen Arbeit, die zur Hebung von 426,7 kg auf 1 m Höhe gehört. Man nennt jene Wärmemenge eine Kalorie, und zwar große oder Kilogrammkalorie im Gegensatz zur kleinen oder Grammkalorie, welche das gleiche für 1 g Wasser bedeutet, und bezeichnet die Zahl der entsprechenden Meterkilogramme als das mechanische Äquivalent der Wärme.

Gemessen hat man diese Größe mit Hilfe der Reibung. Würde der vorige Versuch messend angestellt, so müßte er die genannte Zahl ergeben. Dazu ist einerseits die Arbeit zu bestimmen, welche beim Drehen der Röhre verwendet wird, z. B. indem man diese Arbeit durch ein herabsinkendes Gewicht ausführen läßt, das mittels einer Schnur eine Achse dreht, und zweitens ist eine Bestimmung der erzeugten Reibungswärme auszuführen, wofür die Temperaturerhöhung der geriebenen Apparateile, sowie ihr Gewicht und ihre spezifische Wärme gemessen werden müssen. Solche Untersuchungen sind mehrfach angestellt worden; berühmt ist die von Joule 1850 beschriebene Vorrichtung (Fig. 88), bei welcher er einen mit Flüssigkeit gefüllten Metallkasten benutzte, in dessen Inneren sich eine mit Flügeln versehene Achse drehen ließ. Die Drehung wurde an der herausragenden Verlängerung der Achse durch eine umgelegte Schnur und ein daran hängendes Gewicht bewirkt, und man konnte sowohl die durch Herabsinken des Gewichtes geleistete mechanische Arbeit messen, wie auch die Erwärmung des Kastens samt Inhalt, welche durch Reibung der Flüssigkeit in sich und an den Wänden und Flügeln erzeugt wurde.

Endlich haben wir noch von einer zwischen Nachbartheilchen stattfindenden Einwirkung Kenntnis zu nehmen, welche dort eintritt, wo zwei miteinander vermischbare Flüssigkeiten aneinander grenzen. Man beobachtet alsdann, daß beide Flüssigkeiten allmählich ineinander übergehen, und bezeichnet diese Erscheinung mit dem Namen Diffusion. Wenn ich z. B. eine farbige (oder gefärbte) wässerige Salzlösung in den unteren Teil eines Gefäßes gieße und darüber vorsichtig eine verdünntere Lösung desselben Salzes oder auch bloß Wasser anbringe, so können wir bei ruhigem Stehen der Flüssigkeit nach einiger Zeit bemerken, daß die anfangs scharf erkennbare Grenze allmählich undeutlich und verwaschen erscheint, und daß jede der beiden Flüssigkeiten sich langsam in den von der anderen

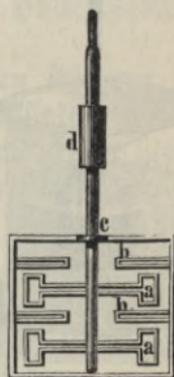


Fig. 88.
Bestimmung des
mechanischen
Wärmeäquivalents.

erfüllten Raum hineinbewegt. Das gleiche geschieht, wenn die Flüssigkeiten nicht unmittelbar aneinander grenzen, sondern durch eine poröse Wand getrennt sind, z. B. durch tierische Blase, Pergament, unglasierten Ton oder dgl. Dabei kann die Diffusionsbewegung auch entgegen der Schwerkraft erfolgen, wie etwa bei dem folgenden Versuch (Fig. 89). Ein unten mit Pergament oder

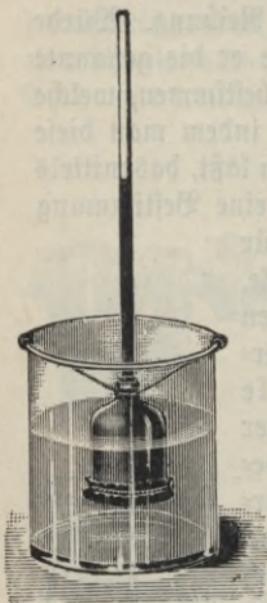


Fig. 89. Diffusion.

Blase verschlossenes und oben in ein aufrechtes Rohr endendes Gefäß wird mit blauer Kupfersulfatlösung gefüllt und in ein größeres mit Wasser gefülltes Gefäß derartig eingehängt, daß die Flüssigkeiten in beiden gleich hoch stehen. Dann diffundiert durch den porösen Verschluß die Kupferlösung langsam nach außen, das Wasser rascher nach innen, und die im inneren Gefäß befindliche Flüssigkeitsmenge wächst und steigt in dem Rohr immer höher.

Da aber dieser Diffusionsvorgang langsam verläuft und innerhalb eines Vortrags nicht völlig zur Entwicklung und Beobachtung kommt, will ich einen anderen hierher gehörigen Versuch zeigen. In ein von ebenen Wänden begrenztes kleines Glasgefäß gieße ich eine mäßig verdünnte Lösung von Kaliumsilikat (Wasserglas) und entwerfe mittels der Projektionslampe ein vergrößertes Bild des Gefäßes an der Wand. Dann werfe ich kleine Stückchen verschiedener Salze hinein, braunes Eisenchlorid, weißes Kalziumchlorid und blaues Kupfersulfat, und wir beobachten das Verhalten dieser Stückchen. Bald sehen wir zuerst von dem Eisenchlorid und danach von den anderen Körpern dünne schlauchförmige Fäden emporsteigen und sich bis zur Oberfläche der Flüssigkeit erheben, und diese merkwürdige Erscheinung können wir auf Diffusion zurückführen. Nach Einbringen eines jeden Salzteilchens beginnt dessen Oberfläche sich in dem Wasser der umgebenden Flüssigkeit aufzulösen. Die entstehende Salzlösung bildet aber mit der Wasserglaslösung einen Niederschlag, der nun das ganze Stückchen umhüllt, und zwar als eine mit Poren versehene und für Diffusion durchlässige Schicht. Aus der Umgebung diffundiert durch die Niederschlagsmembran Wasser hinein und verwandelt sich dort durch Aufnahme von Salzteilchen alsbald in Salzlösung; indem durch weiteres Diffundieren der Druck im Innern der Membran wächst, zerreißt diese schließ-

lich, und zwar an ihrer schwächsten Stelle. Da die Stärke der sich bildenden Niederschlagschicht mit der Konzentration der Lösungen in nahem Zusammenhang steht, und da ferner im oberen Teile des Gebildes die Lösung leichter und weniger konzentriert ist als unten, wird auch die Niederschlagsmembran oben ihre schwächste Stelle haben und hier zuerst von dem wachsenden Innendruck zersprengt werden. Sobald aber dies geschieht, tritt zwischen den beiden außen und innen befindlichen Lösungen Berührung und neue Niederschlagsbildung ein, welche an Stelle der zu eng gewordenen eine weitere Hülle, und zwar eine nach oben hin erweiterte entstehen läßt. Bei genauem Zusehen kann man das stoßweise Wachsen der von der Niederschlagsmembran gebildeten Schläuche erkennen, welches mit dem Plazen und Wiederentstehen der Hülle verbunden ist („Traubefche Zellen“).

Das Aufquellen von Gemüse, Leim und anderen Körpern in Wasser ist eine Diffusionserscheinung, wobei die Flüssigkeit in den quellenden Körper diffundiert. Auch das Auslaugen gehört hierher; soll z. B. aus einem Stück Fleisch Brühe gekocht werden, so legt man es in Wasser, damit durch Diffusion der Fleischsaft mit dem Wasser in Wechselwirkung und Austausch tritt. Außerdem erwärmt man das Wasser, weil es dadurch besser zur Ausnahme der löslichen Fleischbestandteile befähigt wird, und dann auch diese mittels fortgesetzter Diffusion in die Brühe übergehen.

Wie bei tropfbaren, so kann auch bei elastischen Flüssigkeiten (Gasen) die Diffusion beobachtet werden, und zwar diffundieren die leichteren Gase rascher als die schwereren. Um dies zu zeigen, benutze ich eine unglasierte Tonzelle, wie sie für galvanische Elemente dient; ihre Öffnung ist durch einen Kork verschlossen, durch welchen zwei Glasröhren geführt sind. Ich befestige die Vorrichtung mit abwärts gerichteter Öffnung, verbinde die eine, kurz umgebogene Glasröhre mit der Gasleitung und lasse die andere, welche von der Tonzelle gerade herausführt, in einem auf dem Tisch stehenden Glas mit gefärbtem Wasser enden. Öffne ich nun den Gashahn, so tritt Leuchtgas in die Tonzelle und verdrängt die darin befindliche Luft, welche wir in Blasenform unten aus der Röhre treten sehen. Darauf ist also innen Leuchtgas und diffundiert durch die Poren der Tonzelle heraus, während zugleich in umgekehrter Richtung die äußere Luft hineindiffundiert. Schließe ich jetzt den Gashahn, so zeigt sich, daß das leichtere Gas rascher nach außen diffundiert als die schwerere Luft nach innen, und daß also der innere Druck immer

kleiner wird, und wir erkennen dies an dem sofort beginnenden Aufsteigen der gefärbten Flüssigkeit in der langen Röhre. Diese Flüssigkeit beginnt aber sogleich wieder zu sinken, wenn ich nun ein mit der Öffnung nach unten gehaltenes Becherglas mit Leuchtgas fülle und über die Tonzelle stülpe, denn jetzt diffundiert von außen mehr Gas herein, als von dem innen befindlichen Gas-Luft-Gemisch herauskommt.

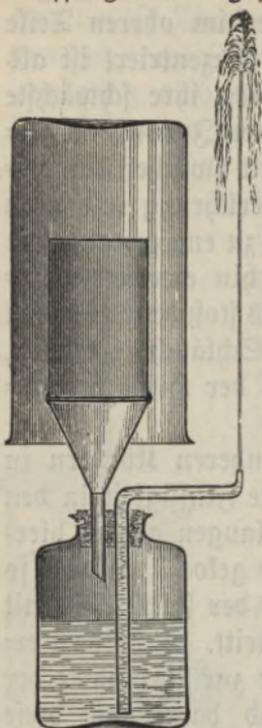


Fig. 90. Diffusion.

Ähnliches zeigt der folgende Versuch (Fig. 90). Eine Tonzelle ist wie vorher aufgestellt, hat aber im Stopfen nur eine Bohrung und darin ein außen kurz umgebogenes Rohr. Daneben steht auf dem Tisch eine halb mit Wasser gefüllte Flasche, deren Kork von zwei Röhren durchsetzt wird. Die eine endet kurz unter dem Kork und ist außen mit dem aus der Tonzelle kommenden Rohr durch einen kurzen Schlauch verbunden, die andere reicht mit der unteren Öffnung in das Wasser, während die obere verengt ist und außen gerade emporragt. Stülpe ich über diese Tonzelle ein mit Leuchtgas gefülltes Becherglas, so erzeugt die Diffusion im Innern wachsenden Druck, und aus der Flasche steigt ein kleiner Springbrunnen empor. In der Figur ist die Führung der Röhren etwas verschieden von der im Text beschriebenen, welche aber für die Ausführung bequemer sein dürfte.

Alphabetisches Verzeichniss.

- Adhäsion 101.
 Aggregatzustände 53.
 Allgemeine Körper-
 eigenschaften 5.
 Aneroid 84.
 Aräometer 67.
 Arbeit 46.
 Archimedisches Ge-
 setz 66. 78.
 Atwoodsche Fallma-
 schine 29.
 Aufquellen 115.
 Auftrieb 65. 79.
 Ausflußgeschwindig-
 keit 71.
 Balancieren 28.
 Barisches Windgesetz
 94.
 Barometer 82.
 Beschleunigung 29.
 Biegung 99.
 Bodendruck der Flüs-
 sigkeiten 62.
 Briefwaage 25.
 Brückenwaage 23.
 Bureau international
 des poids et me-
 sures 2.
 C-g-s-System 52.
 Dehnung 99.
 Dezimalwaage 24.
 Dichte 66.
 Diffusion 113.
 Drehachsenrichtung,
 Erhaltung der 10.
 Drehung 99.
 Druckpumpe 85.
 Dyne 52.
 Ebbe 41.
 Elastizitätsgrenze 97.
 Elastizitätsmodul 99.
 Energie 46.
 Erg 52.
 Expansivkraft 87.
 Fall 29.
 Fall im leeren Raum
 31.
 Fallmaschine 29.
 Festigkeit 101.
 Feuerspritze 89.
 Flaschenzug 18.
 Fliehkraft 8.
 Flüssigkeiten 53.
 Flut und Ebbe 41.
 Foucaults Pendel 11.
 Friktionsrollen 110.
 Gase 73.
 Gefäßbarometer 84.
 Gezogene Läufe 11. 92.
 Gleichgewicht 13. 27.
 Gravitation 39.
 Guericke 77.
 Härte 101.
 Hasenzeit 45.
 Hebel 19.
 Heber 62.
 Heberbarometer 82.
 Helmholtz 47.
 Heronsball 88.
 Heronsbrunnen 89.
 Höhenmessung, baro-
 metrische 85.
 Hydraulischer Druck 72.
 Hydraulische Presse 56.
 Hydrostatischer Druck
 72.
 Jahr 3.
 Indifferentes Gleich-
 gewicht 28.
 Joule 113.
 Isobaren 94.
 Kapillares Steigen u.
 Sinken 103.
 Keil 16.
 Keplersche Gesetze 40.
 Kilogramm 3.
 Kohäsion 96.
 Kommunizierende Ge-
 fäße 60.
 Komponente 13.
 Kraft 46.
 Kreisell 10.
 Kritische Tage 45.
 Kugellager 111.
 Labiles Gleichgewicht
 28.
 Landwind 94.
 Lebendige Kraft 46.
 Liter 3.
 Luftballon 79.
 Luftgewicht 73.
 Luftpumpe 89.
 Luftwiderstand 91.
 Magdeburger Halb-
 kugeln 77.
 Mariottesches Ge-
 setz 88.
 Massenanziehung 39.
 Massenmittelpunkt 27.
 Mayer, Rob. 47.
 Mechanisches Äquiva-
 lent der Wärme 113.
 Meereswogen, Beruhi-
 gen durch Öl 107.
 Metallbarometer 84
 Metazentrum 71.
 Meter 2.
 Mittelkraft 13.
 Molekularerschein-
 ungen 96.

- Newton 39.
 Nippflut 44.
 Nonius 4.
 Oberflächenfestigkeit 106.
 Parallelogramm der Kräfte 13.
 Pendel 34.
 Piezometer 97.
 Pumpe 85.
 Quecksilberluftpumpe 91.
 Rauchversuche über Luftbewegung 94.
 Reaktionsapparat 58. 74.
 Rechtsablenkung der Geschosse 92.
 Reibung 108.
 Resultierende 13.
 Rolle 17.
 Rostpendel 37.
 Rückstoß ausfließenden Wassers 57.
 Rückstoß ausfließender Luft 74.
 Rückstoß der Feuerwaffen 75.
 Schiefe Ebene 14.
 Schnellwage 25.
 Schraube 17.
 Schwerkraft 26. 38.
 Schwerpunkt 27.
 Schwimmen 70.
 Seewind 94.
 Segnersches Rad 58.
 Seitenkraft 13.
 Sekundenpendel 38.
 Siderisches Jahr 3.
 Sonnentag 3.
 Spezifisches Gewicht 66.
 Springsflut 44.
 Stabiles Gleichgewicht 28.
 Statisches Moment 21.
 Sternjahr 3.
 Sterntag 3.
 Stoßmaschine 48.
 Torricellis Gesey 71.
 Torricellis Luftdruckversuch 81.
 Torricellisches Vakuum 81.
 Trägheit 6.
 Traubesche Zellen 115.
 Tropisches Jahr 3.
 Turbine 58.
 Uhr 35.
 Unruhe 36. •
 Urmaße 2.
 Viskosität 111.
 Wägung, auf leeren Raum reduziert 81.
 Wärme als Energieform 51.
 Wage 22.
 Wasserleitung 61.
 Wetterkarten 94.
 Wirkungsdauer 6
 Wucht 46.
 Wurf 33.
 Zähigkeit 111
 Zeigerwage 25.
 Zentrifugalkraft 8.
 Züge im Gewehrlauf 11.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Lehrbuch der Physik

Zum Gebrauch beim Unterricht, bei akademischen Vorlesungen und zum Selbststudium

Von Direktor **E. Grimsehl.**

Zweite vermehrte und verbesserte Auflage.

Mit 1296 Textfiguren, 2 farbigen Tafeln und einem Anhang, enthaltend Tabellen physikalischer Konstanten und Zahlentabellen.

gr. 8. 1912. Geh. *M.* 15.—, in Leinwand geb. *M.* 16.—

Fesselnde Darstellung, einfache klare Sprache, die das Eindringen selbst in schwierige Gebiete erleichtert, sind neben einem fast überreichen Anschauungsmaterial die Vorzüge dieses neuen groß angelegten Lehrbuches der Physik. In allen Kapiteln wird der physikalische Lehrstoff wissenschaftlich streng behandelt, so daß der Lernende von vornherein an präzises Denken und exaktes Arbeiten gewöhnt wird. Überall bietet das Experiment die Grundlage, von der aus der Verfasser mit großer Ausführlichkeit auf alle Tatsachen seines Gebietes eingeht. Stets findet man scharf herausgearbeitet, wo die Hypothese beginnt und wie sich auf ihr die Theorie aufbaut. Sorgfältig ausgearbeitete Tabellen beschließen das Werk, das nicht nur den Lehrern und Studierenden, sondern auch dem physikalisch interessierten Laien zu empfehlen ist.

„Weit mehr als früher, als noch vor zwanzig Jahren, ist die Physik und die Kenntnis ihrer grundlegenden Lehren ein Allgemeingut der gebildeten Schichten unseres Volkes geworden. Dem hat sich auf die Dauer auch das humanistische Gymnasium nicht mehr entziehen können. Das vorliegende Buch will denen, die eine höhere Schule besucht haben und das Bedürfnis fühlen, ihre erworbenen Kenntnisse lebendig zu erhalten und sie zu erweitern, ein zuverlässiger Führer und Berater sein. Auch die studierende Jugend wird vorteilhaft davon Gebrauch machen können. Beide auch deshalb, weil eine große Anzahl von Abbildungen den Text begleitet und erläutert. Im übrigen wird jeder Erwachsene dies umfangreiche Werk gern in seiner Bibliothek haben, da es an einem solchen Werke bisher fehlte, das ohne allzu große Gelehrsamkeit die in Betracht kommenden Kenntnisse übermittelt.“

(Der Tag.)

„Der besondere Wert des Buches liegt in der ungemein sorgfältigen Behandlung des angemessen beschränkten Stoffes. Die Darstellung hat überall das Gepräge des gewissenhaften Durchdenkens aller Einzelheiten, die in gewählter einfacher Sprache mit nicht gewöhnlichem Lehrgeschick vorgetragen werden. Davon zeugen auch die vielen neuen, meist sehr einfachen, aber das Wesentliche anschaulich kennzeichnenden Figuren.“

(Archiv der Mathematik und Physik.)

„Auch der gebildete Laie, der das Bedürfnis hat, auf Grund einer guten naturwissenschaftlichen Allgemeinausbildung seine physikalischen Kenntnisse zu vertiefen, wird das Buch mit Nutzen verwenden können. Was es für diese Zwecke besonders geeignet macht, ist die hervorragend klare und anregende Art der Darstellung. Jeder Abschnitt geht von einfachen Beobachtungen und leicht anzustellenden Versuchen aus. Über tausend Abbildungen, zumeist sind es recht charakteristische schematische Zeichnungen, unterstützen den Text in wirksamer Weise. . . . Mit einem Worte, das Buch verdient in wissenschaftlicher, methodischer und didaktischer Hinsicht volle Anerkennung.“ (Natur u. Erziehung.)

Ausführl. illustr. Prospekt umsonst und postfrei vom Verlag

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Experimentelle Elektrizitätslehre

Verbunden mit einer Einführung in die Maxwellsche u. die Elektronentheorie der Elektrizität u. des Lichts

Von **Dr. H. Starke**

a. o. Professor der Physik an der Universität Greifswald.

2., verm. Auflage. Mit 334 Abbild. 1910. In Leinw. geb. M 12.—

Das in Lehrbuchform gehaltene Werk ist für alle diejenigen bestimmt, welche sich, ohne größere mathematische Vorkenntnisse, doch eingehender mit der Elektrizitätslehre beschäftigen wollen. Es ist als eine Einführung in das Studium der theoretischen Elektrizitätslehre gedacht, vor allem aber für den Experimentalphysiker auch für den Gebrauch im Laboratorium bestimmt, indem unter anderem beispielsweise die Aufgaben, welche in dem neuerdings sehr erweiterten elektrischen Praktikum des physikalischen Instituts der Berliner Universität bearbeitet werden, besondere Berücksichtigung erfahren haben.

„Nach relativ kurzer Zeit erlebt das Buch von Starke die zweite Auflage. Es ist dies ein Zeichen dafür, daß es den Beifall weiter Kreise gefunden hat. In welcher hervorragender Weise dieses Buch wissenschaftliche Vertiefung und klare einfache Darstellung, Theorie und Praxis zu verbinden weiß, ist bereits bei der Besprechung der ersten Auflage gerühmt worden. Die neue Auflage wird von ihrem Verfasser als ‚auf Grund der Fortschritte der Wissenschaft‘ umgearbeitet bezeichnet. Es ist anzuerkennen, daß der Verfasser sein Ziel, eine wesentliche Verbesserung und moderne Weiterführung seines Buches erreicht hat. Die neue Auflage stellt gegenüber der alten so viele Fortschritte dar, daß auch den Besitzern der alten die Anschaffung der neuen Auflage empfohlen werden kann.“

(Deutsche Literaturzeitung.)

„Ein Lehrbuch, wie das vorliegende, das von ganz modernem, theoretisch einheitlichem Standpunkte aus unsere Kenntnis auf dem Gebiete der Ätherphysik zusammenstellt, war längst ein Bedürfnis. Der Verfasser ist ihm in ungemein glücklicher Weise entgegengekommen, und ein großer Erfolg ist seinem Werke gewiß. In der eleganten, klaren Art, die theoretischen Prinzipien zu entwickeln und die Tatsachen lebendig darum zu gruppieren, gleicht die Darstellung den bisher in Deutschland kaum erreichten Mustern französischer Lehrbücher. Die Reichhaltigkeit des mitgeteilten, bis zu den neuesten Ergebnissen der Elektronentheorie reichenden Materials ist erstaunlich. Nur durch so echt wissenschaftliche Behandlung, also durch feste theoretische Fundierung, konnte auf so kleinem Raum so viel gebracht werden, und zwar so gebracht werden, daß man es bei der Lektüre wirklich ‚erlebt‘. Auch die prinzipiellen Seiten der technischen Anwendung sind sehr ausgiebig eingefügt, so daß das Buch gleichzeitig eine Einführung in die Elektrotechnik ist, wie es zurzeit keine bessere in Deutschland gibt. Die Ausstattung ist dem Gehalte entsprechend.“

(H. Th. Simon in der Physik. Zeitschr.)

Dr. Bastian Schmid's

Naturwissenschaftliche Schülerbibliothek

8. In Leinwand gebunden.

„Eine Sammlung, die geeignet ist, die Grundsätze der Arbeitsschulbewegung auf das wirksamste zu unterstützen. Sie ist nicht für die Schule, sondern für das Haus berechnet. Was der Schüler in der Schule in der Naturlehre und Naturkunde gelernt hat, das soll er auch anwenden lernen; sonst ist der naturkundliche Unterricht für das Leben wertlos. Diese Büchlein geben ihm dazu sehr zweckmäßige Anleitung.“

(Württemberg. Schulwochenblatt.)

- Physikalisches Experimentierbuch.** Von Prof. Hermann Rebenstorff in Dresden, Kgl. Kadettenkorps. In 2 Teilen. I. Teil. Für jüngere und mittlere Schüler. Mit 99 Abbildungen. M. 3.—. II. Teil. Für mittlere und reife Schüler. Mit 87 Abbild. M. 3.—
- An der See.** Geographisch-geologische Betrachtungen für mittlere und reife Schüler. Von Professor Dr. P. Dahms in Zoppot. Mit 61 Abb. M. 3.—
- Große Physiker.** Bilder aus der Geschichte der Astronomie und Physik für reife Schüler. Von Direktor Professor Dr. H. Keferslein in Hamburg. Mit 12 Bildnissen. M. 3.—
- Himmelsbeobachtung mit bloßem Auge.** Für reife Schüler. Von Oberlehrer Franz Rusch in Dillenburg. Mit 30 Figuren und 1 Sternkarte. M. 3.50.
- Geologisches Wanderbuch.** Für mittlere und reife Schüler. Von Professor K. G. Volk in Freiburg i. B. In 2 Teilen. I. Teil. Mit 169 Abbildungen und einer Orientierungstafel. M. 4.—. [II. Teil in Vorbereitung.]
- Küstenwanderungen.** Biologische Ausflüge für mittlere und reife Schüler. Von Dr. V. Franz in Frankfurt a. M. Mit 92 Figuren. M. 3.—
- Anleitung zu photographischen Naturaufnahmen.** Für mittlere und reife Schüler. Von Lehrer G. E. F. Schulz in Friedenau. Mit 41 photogr. Aufnahmen. M. 3.—
- Die Luftschiffahrt.** Für reife Schüler. Von Privatdozent Dr. Raimund Nimföhr in Wien. Mit 99 Figuren. M. 3.—
- Vom Einbaum zum Linienschiff.** Von Ingenieur K. Radunz in Kiel. Für mittlere und reife Schüler. Mit 90 Abbildungen. M. 3.—
- Vegetationsveränderungen.** Eine Einführung in die Lebensverhältnisse der Pflanzenvereine, namentlich in die morphologischen und blütenbiologischen Anpassungen. Von Prof. Dr. P. Graebner in Berlin. Für mittlere und reife Schüler. Mit 40 Abb. M. 3.—
- An der Werkbank.** Anleitung zur Handfertigkeit mit besonderer Berücksichtigung der Herstellung physikalischer Apparate. Von Professor E. Gscheidlen in Mannheim. Für mittlere und reife Schüler. Mit 10 Abbildungen und 44 Tafeln. 4. M. 4.—
- Chemisches Experimentierbuch.** Von Professor Dr. Karl Scheid in Freiburg i. Br. In 2 Teilen. I. Teil. Für mittlere Schüler. 3. Aufl. Mit 77 Abbildungen. M. 3.—. [II. Teil: Oberstufe in Vorbereitung.]
- Unsere Frühlingspflanzen.** Von Prof. Dr. F. Höß in Perleberg. Mit 76 Abb. M. 3.—

Unter der Presse* bzw. in Vorbereitung befinden sich:

- Geograph. Wanderbuch.** Von Privatdoz. Dr. Alfred Berg in Charlottenburg.
- Das Leben in Teich und Fluß.** Von Professor Dr. Reinhold von Hanstein in Berlin-Groß-Lichterfelde.
- Schmetterlingsbuch.** Von Oberstudienrat Prof. Dr. E. Lampert in Stuttgart.
- Chemie und Großindustrie.** Von Prof. Dr. E. Löwenhardt in Halle a. S.
- Große Ingenieure.** Von Privatdozent C. Matschoß in Berlin.
- Große Chemiker.** Von Professor Dr. O. Ohmann in Berlin.

*Aus dem Luftmeer. Von Gymn.-Oberl. M. Sassenfeld in Emmerich a. Rh.

- Biologisches Experimentierbuch.** Von Oberl. Dr. C. Schäffer in Hamburg.
- Große Entdeckungen u. Erfindungen.** Von Professor Dr. K. Schreiber in Greifswald.
- Insektenbiologie.** Von Oberlehrer Dr. Chr. Schröder in Berlin.
- Körper- und Geistespflege.** Von Dr. med. Siebert in München.
- Das Leben unserer Vögel.** Von Dr. Johann Thienemann, Kustos am zoolog. Museum der Universität Königsberg und Leiter der Vogelwarte Rositten.
- Aquarium und Terrarium.** Von Prof. Dr. F. Urban in Plan.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Mathematische Bibliothek

Gemeinverständliche Darstellungen

aus der Elementar-Mathematik für Schule und Leben

Unter Mitwirkung von Sachgenossen herausgegeben von

Dr. W. Lietzmann und

Dr. H. Witting

Oberlehrer an der Oberrealschule
zu Barmen

Professor am Gymnasium
zum Heiligen Kreuz zu Dresden

In Kleinfoldebänden. Kart. je M. —.80.

Die Sammlung bezweckt, allen denen, die Interesse an der Mathematik im weitesten Sinne des Wortes haben, es in angenehmer Form zu ermöglichen, sich über das gemeinhin in den Schulen Gebotene hinaus zu belehren und zu unterrichten. Die Bändchen geben also teils eine Vertiefung und eingehendere Bearbeitung solcher elementarer Probleme, die allgemeinere und kulturelle Bedeutung oder besonderes mathematisches Gewicht haben, teils sollen sie Dinge behandeln, die den Leser — ohne zu große Anforderungen an seine mathematischen Kenntnisse zu stellen — in neue Gebiete der Mathematik einführen.

Zunächst sind erschienen:

- | | |
|--|---|
| 1. E. Löffler, Ziffern und Ziffernsysteme bei den wichtigsten Kulturvölkern in alter und neuer Zeit. | 3. W. Lietzmann, Der pythagoreische Lehrsatz mit einem Ausblick auf das Fermatsche Problem. Mit 44 Figuren. |
| 2. H. Wieleitner, Der Begriff der Zahl in seiner logischen und historischen Entwicklung. Mit 10 Figuren. | 4. O. Meißner, Wahrscheinlichkeitsrechnung nebst Anwendungen. Mit 6 Fig. |

Mathematische Experimentiermappe für den geometrischen Anfangsunterricht

von Professor Dr. G. Noodt

Oberlehrer an der Hecker-Realschule in Berlin.

9 Tafeln mit vorgezeichneten Figuren mathematischer Modelle, Werkzeug und Material zur Herstellung sowie erläuternder Leitfaden.

Als Muster wird jeder Mappe ein fertiges Modell beigelegt.

Preis in geschmackvollem Karton M. 4.—

Das neue Unterhaltungs- und Bildungsmittel für die Schüler der Mittelklassen bietet eine Anleitung zur selbsttätigen Herstellung von großenteils neuen mathematischen Modellen und will sich, gemäß den modernen Reformbestrebungen auf dem Gebiete des mathematischen Unterrichts, in den Dienst einer intensiven Ausbildung des Anschauungsvermögens stellen. Denn gerade die Selbsttätigkeit der Schüler ist in hohem Grade geeignet, sie in frühesten Jugend zum funktionalen Denken allmählich zu erziehen, indem man die Starrheit der geometrischen Gebilde aufgibt und die „Stücke“ durch Bewegung von Punkten, Drehen von Strecken usw. als voneinander abhängig erkennen läßt.

„Ein wertvolles Hilfsmittel... Jedem Jungen muß es eine Lust sein, wie schön und leicht ihm so die Modelle gelingen... Ich möchte aber allen Lehrern, die mathematischen Anfangsunterricht geben, dringend empfehlen, von der Experimentiermappe Kenntnis zu nehmen zum Nutzen für ihren Unterricht...“ (Hamburger Nachrichten.)

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher
Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens

Jeder Band ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich

Jeder Band geh. M. 1.—, in Leinwand geb. M. 1.25.

Übersicht nach Wissenschaften geordnet.

Allgemeines Bildungswesen. Erziehung und Unterricht.

Das deutsche Bildungswesen in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von weil. Prof. Dr. Friedrich Paulsen. 3. Aufl. Von Prof. Dr. W. Münch. Mit einem Bildnis Paulsens. (Bd. 100.)

Der Leipziger Student von 1409—1909. Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 25 Abb. (Bd. 273.)

Geschichte des deutschen Schulwesens. Von Oberrealschuldirektor Dr. R. Knabe. (Bd. 85.)

Das deutsche Unterrichtswesen der Gegenwart. Von Oberrealschuldirektor Dr. R. Knabe. (Bd. 299.)

Allgemeine Pädagogik. Von Prof. Dr. Th. Ziegler. 3. Aufl. (Bd. 33.)

Experimentelle Pädagogik mit besonderer Rücksicht auf die Erziehung durch die Tat. Von Dr. W. A. Bay. 2. Aufl. Mit 2 Abb. (Bd. 224.)

Psychologie des Kindes. Von Prof. Dr. H. Gaupp. 3. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 213.)

Moderne Erziehung in Haus und Schule. Von J. Tewes. 2. Aufl. (Bd. 159.)

Großstadtpädagogik. Von J. Tewes. (Bd. 327.)

Schulkämpfe der Gegenwart. Von J. Tewes. 2. Aufl. (Bd. 111.)

Die höhere Mädchenschule in Deutschland. Von Oberlehrerin M. Martin. (Bd. 65.)

Vom Hilfspulwesen. Von Rektor Dr. W. Maennel. (Bd. 73.)

Das deutsche Fortbildungsschulwesen. Von Direktor Dr. Fr. Schilling. (Bd. 256.)

Die Knabenhandarbeit in der heutigen Erziehung. Von Seminar-Dir. Dr. A. Pabst. Mit 21 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 140.)

Das moderne Volksbildungswesen. Bücher- und Lesehallen, Volkshochschulen und verwandte Bildungseinrichtungen in den wichtigsten Kulturländern in ihrer Entwicklung seit der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts. Von Stadtbibliothekar Dr. G. Friß. Mit 14 Abb. (Bd. 266.)

Die amerikanische Universität. Von Ph. D. C. D. Perry. Mit 22 Abb. (Bd. 206.)

Technische Hochschulen in Nordamerika. Von Prof. S. Müller. Mit zahlr. Abb., Karte u. Lageplan. (Bd. 190.)

Volkschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten. Von Dir. Dr. F. Kuppers. Mit 48 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 150.)

Deutsches Ringen nach Kraft und Schönheit. Aus den literarischen Zeugnissen eines Jahrhunderts gesammelt. Von Turninspektor R. Möller. 2 Bde. Band II: In Vorb. (Bd. 188/189.)

Schulhygiene. Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 33 Fig. (Bd. 96.)

Jugend-Fürsorge. Von Waisenhaus-Direktor Dr. J. Petersen. 2 Bde. (Bd. 161. 162.)

Veitstozzi. Sein Leben und seine Ideen. Von Prof. Dr. B. Ratorp. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis u. 1 Briefatsimile. (Bd. 250.)

Herbarts Lehren und Leben. Von Pastor D. Flügel. Mit 1 Bildnisse Herbarts. (Bd. 164.)

Friedrich Fröbel. Sein Leben und sein Wirken. Von A. von Portugal. Mit 5 Tafeln. (Bd. 82.)

Religionswissenschaft.

Leben und Lehre des Buddha. Von weil. Prof. Dr. R. Fischer. 2. Aufl. von Prof. Dr. S. Lüders. Mit 1 Tafel. (Bd. 109.)

Germanische Mythologie. Von Prof. Dr. J. v. Negelein. 2. Aufl. (Bd. 95.)

Mythik im Heidentum und Christentum. Von Dr. E. Behmann. (Bd. 217.)

Palästina und seine Geschichte. Von Prof. Dr. S. Freiherr von Soden. 3. Aufl. Mit 2 Karten, 1 Plan u. 6 Ansichten. (Bd. 6.)

Aus Natur und Geisteswelt.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25.

Palästina und seine Kultur in fünf Jahrtausenden. Von Gymnasialoberlehrer Dr. P. Thomsen. Mit 36 Abb. (Bd. 260.)

Die Grundzüge der kirchlichen Religionsgeschichte. Von Prof. Dr. Fr. Giesebrecht. 2. Aufl. (Bd. 52.)

Die Gleichnisse Jesu. Zugleich Anleitung zu einem quellenmäßigen Verständnis der Evangelien. Von Lic. Prof. Dr. H. Wettnel. 3. Aufl. (Bd. 46.)

Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu. Von Pfarrer D. B. Mehler. 2. Aufl. (Bd. 137.)

Jesus und seine Zeitgenossen. Geschichtliches und Erbauliches. Von Pastor C. Bonhoff. (Bd. 89.)

Der Text des Neuen Testaments nach seiner geschichtlichen Entwicklung. Von Div.-Pfarrer A. Bött. Mit 8 Tafeln. (Bd. 134.)

Der Apostel Paulus und sein Werk. Von Prof. Dr. E. Fischer. (Bd. 309.)

Christentum und Weltgeschichte. Von Prof. Dr. R. Sell. 2 Bde. (Bd. 297, 298.)

Aus der Verbezeit des Christentums. Studien und Charakteristiken. Von Prof. Dr. J. Geffken. 2. Aufl. (Bd. 54.)

Luther im Lichte der neueren Forschung. Ein kritischer Bericht. Von Prof. Dr. H. Boehmer. 2. Aufl. Mit 2 Bildn. Luthers. (Bd. 113.)

Johann Calvin. Von Pfarrer Dr. G. Soeder. Mit 1 Bildnis. (Bd. 247.)

Die Jesuiten. Eine historische Skizze. Von Prof. Dr. H. Boehmer. 2. Aufl. (Bd. 49.)

Die religiösen Strömungen der Gegenwart. Von Superintendent D. A. S. Braasch. 2. Auflage. (Bd. 66.)

Die Stellung der Religion im Geistesleben. Von Lic. Dr. B. Kalweit. (Bd. 225.)

Religion und Naturwissenschaft in Kampf und Frieden. Ein geschichtlicher Rückblick. Von Dr. A. Pfannkuche. 2. Aufl. (Bd. 141.)

Einführung in die Theologie: Pastor M. Cornils. (Bd. 347.)

Philosophie und Psychologie.

Einführung in die Philosophie. Von Prof. Dr. R. Richter. 2. Aufl. (Bd. 155.)

Die Philosophie. Einführung in die Wissenschaft, ihr Wesen und ihre Probleme. Von Realschuldirektor S. Richert. (Bd. 186.)

Metaphisik. Dr. R. Hamann. (Bd. 345.)

Führende Denker. Geschichtliche Einleitung in die Philosophie. Von Prof. Dr. J. Cohn. 2. Aufl. Mit 6 Bildn. (Bd. 176.)

Griechische Weltanschauung. Von Privatdoz. Dr. M. Wundt. (Bd. 329.)

Die Weltanschauungen der großen Philosophen der Neuzeit. Von weil. Prof. Dr. L. Büsse. 5. Aufl., herausgegeben von Prof. Dr. R. Falkenberg. (Bd. 56.)

Die Philosophie der Gegenwart in Deutschland. Eine Charakteristik ihrer Hauptrichtungen. Von Prof. Dr. O. Külpe. 5. Aufl. (Bd. 41.)

Rousseau. Von Prof. Dr. B. Hensele. Mit 1 Bildn. (Bd. 180.)

Immanuel Kant. Darstellung und Würdigung. Von Prof. Dr. O. Külpe. 2. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 146.)

Schopenhauer. Seine Persönlichkeit, seine Lehre, seine Bedeutung. Von Realschuldirektor S. Richert. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 81.)

Herbert Spencer. Von Dr. R. Schwarze. Mit 1 Bildn. (Bd. 245.)

Aufgaben und Ziele des Menschenlebens. Von Dr. J. Ueold. 3. Aufl. (Bd. 12.)

Sittliche Lebensanschauungen der Gegenwart. Von weil. Prof. Dr. O. Kirn. 2. Aufl. (Bd. 177.)

Die Mechanik des Geisteslebens. Von Prof. Dr. M. Berworn. 2. Aufl. Mit 18 Fig. (Bd. 200.)

Die Seele des Menschen. Von Prof. Dr. F. Rehmke. 3. Aufl. (Bd. 36.)

Hypnotismus und Suggestion. Von Dr. E. Trömner. (Bd. 199.)

Literatur und Sprache.

Die Sprachstämme des Erdkreises. Von weil. Prof. Dr. F. R. Fick. (Bd. 267.)

Die Haupttypen des menschlichen Sprachbaues. Von weil. Prof. Dr. F. R. Fick. (Bd. 268.)

Rhetorik. Richtlinien für die Kunst des Sprechens. Von Dr. E. Geißler. (Bd. 310.)

Wie wir sprechen. Von Dr. E. Richter. (Bd. 354.)

Aus Natur und Geisteswelt.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25.

- | | |
|---|---|
| <p>Die deutschen Personennamen. Von Direktor A. Bähnisch. (Bd. 296.)</p> <p>Das deutsche Volkslied. Aber Wesen und Werden des deutschen Volksliedes. Von Dr. F. W. Bruhnier. 4. Aufl. (Bd. 7.)</p> <p>Die deutsche Volksfage. Von Dr. O. Böckel. (Bd. 262.)</p> <p>Das Theater. Schauspielhaus und Schauspielkunst vom griech. Altertum bis auf die Gegenwart. Von Dr. Chr. Gachde. Mit 20 Abb. (Bd. 230.)</p> <p>Das Drama. Von Dr. B. Busse. Mit Abbildungen. 2 Bde. (Bd. 287/288.)</p> <p>Vb. I: Von der Antike zum französischen Klassizismus. (Bd. 287.)</p> <p>Vb. II: Von Versailles bis Weimar. (Bd. 288.)</p> <p>Geschichte der deutschen Lyrik seit Claudius. Von Dr. S. Spiero. (Bd. 254.)</p> | <p>Schiller. Von Prof. Dr. Th. Ziegler. Mit Bildnis Schillers. 2. Aufl. (Bd. 74.)</p> <p>Das deutsche Drama des neunzehnten Jahrhunderts. In seiner Entwicklung dargestellt von Prof. Dr. G. Witkowski. 3. Aufl. Mit 1 Bildn. Hebbels. (Bd. 51.)</p> <p>Deutsche Romantik. Von Prof. Dr. O. F. Walzel. 2. Aufl. (Bd. 232.)</p> <p>Friedrich Hebbel. Von Dr. A. Schapire-Neurath. Mit 1 Bildn. Hebbels. (Bd. 238.)</p> <p>Gerhart Hauptmann. Von Prof. Dr. E. Sulger-Gebing. Mit 1 Bildn. Gerhart Hauptmanns. (Bd. 283.)</p> <p>Henrik Ibsen. Björnstjerne Björnson und ihre Zeitgenossen. Von weil. Prof. Dr. A. Kahle. Mit 7 Bildn. (Bd. 193.)</p> <p>Shakespeare und seine Zeit. Von Prof. Dr. E. Sieper. Mit 3 Taf. u. 3 Textb. (Bd. 185.)</p> |
|---|---|

Bildende Kunst und Musik.

- | | |
|---|--|
| <p>Bau und Leben der bildenden Kunst. Von Dir. Prof. Dr. Th. Volbehr. Mit 44 Abb. (Bd. 68.)</p> <p>Die Ästhetik. Von Dr. R. Hamann. (Bd. 345.)</p> <p>Die Entwicklungsgeschichte der Stile in der bildenden Kunst. Von Dr. E. Cohn-Wiener. 2 Bde. Mit zahlr. Abb. (Bd. 317/318.)</p> <p>Band I: Vom Altertum bis zur Gotik. Mit 57 Abb. (Bd. 317.)</p> <p>Band II: Von der Renaissance bis zur Gegenwart. Mit 31 Abb. (Bd. 318.)</p> <p>Die Blütezeit der griechischen Kunst im Spiegel der Relieffarkophage. Eine Einführung in die griechische Plastik. Von Dr. S. Wachtler. Mit 8 Taf. u. 32 Abb. (Bd. 272.)</p> <p>Deutsche Baukunst im Mittelalter. Von Prof. Dr. A. Matthaei. 3. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 8.)</p> <p>Deutsche Baukunst seit dem Mittelalter bis zum Ausgang des 18. Jahrhunderts. Von Prof. Dr. A. Matthaei. Mit 62 Abb. u. 3 Taf. (Bd. 326.)</p> <p>Die deutsche Illustration. Von Prof. Dr. R. Rauisch. Mit 35 Abb. (Bd. 44.)</p> <p>Deutsche Kunst im täglichen Leben bis zum Schlusse des 18. Jahrhunderts. Von Prof. Dr. B. Saendke. Mit 63 Abb. (Bd. 198.)</p> <p>Albrecht Dürer. Von Dr. R. Wustmann. Mit 33 Abb. (Bd. 97.)</p> <p>Rembrandt. Von Prof. Dr. P. Schubring. Mit 50 Abb. (Bd. 158.)</p> | <p>Niederländische Malerei im 17. Jahrhundert. Von Dr. S. Janzen. Mit zahlr. Abbild. (Bd. 373.)</p> <p>Ostasiatische Kunst und ihr Einfluß auf Europa. Von Direktor Prof. Dr. R. Graul. Mit 49 Abb. (Bd. 87.)</p> <p>Kunstpflege in Haus und Heimat. Von Superintendent Richard Bürkner. 2. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 77.)</p> <p>Geschichte der Gartenkunst. Von Reg.-Baum. Chr. Rand. Mit 41 Abb. (Bd. 274.)</p> <p>Die Grundlagen der Tonkunst. Versuch einer genetischen Darstellung der allgemeinen Musiklehre. Von Prof. Dr. S. Rietsch. (Bd. 178.)</p> <p>Einführung in das Wesen der Musik. Von Prof. E. R. Hennig. (Bd. 119.)</p> <p>Klavier, Orgel, Harmonium. Das Wesen der Tasteninstrumente. Von Prof. Dr. D. Vie. (Bd. 325.)</p> <p>Geschichte der Musik. Von Dr. Fr. Spiero. (Bd. 143.)</p> <p>Haydn, Mozart, Beethoven. Von Prof. Dr. E. Krebs. Mit 4 Bildn. (Bd. 92.)</p> <p>Die Blütezeit der musikalischen Romantik in Deutschland. Von Dr. E. Fstel. Mit 1 Silhouette. (Bd. 239.)</p> <p>Das Kunstwerk Richard Wagners. Von Dr. E. Fstel. Mit 1 Bildnis R. Wagners. (Bd. 330.)</p> <p>Das moderne Orchester in seiner Entwicklung. Von Prof. Dr. Fr. Volbach. Mit Partiturbespu. u. 2 Instrumententab. (Bd. 308.)</p> |
|---|--|

Geschichte und Kulturgeschichte.

- Das Altertum im Leben der Gegenwart. Von Prof. Dr. P. Cauer. (Bd. 356.)
- Kulturbilder aus griechischen Städten. Von Oberlehrer Dr. E. Siebarth. 2. Aufl. Mit 23 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 131.)
- Pompeji, eine hellenistische Stadt in Italien. Von Prof. Dr. Fr. v. Duhn. 2. Aufl. Mit 62 Abb. (Bd. 114.)
- Soziale Kämpfe im alten Rom. Von Privatdoz. Dr. L. Bloch. 2. Aufl. (Bd. 22.)
- Roms Kampf um die Welt Herrschaft. Von Prof. Dr. J. Kromayer. (Bd. 368.)
- Byzantinische Charakterköpfe. Von Privatdoz. Dr. R. Dieterich. Mit 2 Bildn. (Bd. 244.)
- Germanische Kultur in der Urzeit. Von Prof. Dr. G. Steinhausen. 2. Aufl. Mit 13 Abb. (Bd. 75.)
- Mittelalterliche Kulturideale. Von Prof. Dr. B. Bedel. 2 Bde. Bd I: Heldenleben. (Bd. 292.) Bd II: Ritterromantik. (Bd. 293.)
- Deutsches Frauenleben im Wandel der Jahrhunderte. Von Dir. Dr. E. Otto. 2. Aufl. Mit 27. Abb. (Bd. 45.)
- Deutsche Städte und Bürger im Mittelalter. Von Prof. Dr. B. Heil. 3. Aufl. Mit zahlr. Abb. u. 1 Doppeltafel. (Bd. 43.)
- Historische Städtebilder aus Holland und Niederdeutschland. Von Reg.-Baum. a. D. A. Erbe. Mit 59 Abb. (Bd. 117.)
- Das deutsche Dorf. Von R. Meike. Mit 51 Abb. (Bd. 192.)
- Das deutsche Haus und sein Hausrat. Von Prof. Dr. R. Meringer. Mit 106 Abb. (Bd. 116.)
- Kulturgeschichte des deutschen Bauernhauses. Von Reg.-Baum. Chr. Mand. Mit 70 Abb. (Bd. 121.)
- Geschichte des deutschen Bauernstandes. Von Prof. Dr. S. Gerdes. Mit 21 Abb. (Bd. 320.)
- Das deutsche Handwerk in seiner kulturgeschichtlichen Entwicklung. Von Dir. Dr. E. Otto. 3. Aufl. Mit 27 Abb. (Bd. 14.)
- Deutsche Volksfeste und Volkssitten. Von S. S. Rehm. Mit 11 Abb. (Bd. 214.)
- Deutsche Volkstrachten. Von Pfarrer C. Spieß. (Bd. 342.)
- Familienforschung. Von Dr. E. Devrient. (Bd. 350.)
- Die Münze als hist. Denkmal sowie ihre Bedeutung im Rechts- und Wirtschaftsleben. Von Prof. Dr. A. Luschin v. Ebengreuth. Mit 53 Abb. (Bd. 91.)
- Das Buchgewerbe und die Kultur. Sechs Vorträge, gehalten im Auftrage des Deutschen Buchgewerbevereins. Mit 1 Abb. (Bd. 182.)
- Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit. Von Prof. Dr. D. Weise. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 4.)
- Das Zeitungswesen. Von Dr. H. Diez. (Bd. 328.)
- Das Zeitalter der Entdeckungen. Von Prof. Dr. S. Günther. 3. Aufl. Mit 1 Weltk. (Bd. 26.)
- Von Luther zu Bismarck. 12 Charakterbilder aus deutscher Geschichte. Von Prof. Dr. D. Weber. (Bd. 123. 124.)
- Friedrich der Große. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. Mit 2 Bildn. (Bd. 246.)
- Geschichte der Französischen Revolution. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. (Bd. 346.)
- Napoleon I. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. 2. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 195.)
- Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrh. Von Prof. Dr. R. Th. v. Seigel. 2. Aufl. (Bd. 129.)
- Restauration und Revolution. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. R. Schwemer. 2. Aufl. (Bd. 37.)
- Die Reaktion und die neue Ara. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der Gegenwart. Von Prof. Dr. R. Schwemer. (Bd. 101.)
- Vom Bund zum Reich. Neue Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. R. Schwemer. (Bd. 102.)
1848. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. D. Weber. 2. Aufl. (Bd. 53.)
- Österreichs innere Geschichte von 1848 bis 1907. Von Richard Charnak. 2 Bde. [I 2. Aufl.] Band I: Die Vorherrschaft der Deutschen. (Bd. 242). Band II: Der Kampf der Nationen. (Bd. 243.)
- Englands Weltmacht in ihrer Entwicklung vom 17. Jahrhundert bis auf unsere Tage. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. Mit 19 Bildn. (Bd. 174.)
- Geschichte der Vereinigten Staaten von Amerika. Von Prof. Dr. E. Daenell. (Bd. 147.)
- Die Amerikaner. Von R. M. Butler. Deutsche Ausg. bes. von Prof. Dr. W. Passkowsky. (Bd. 319.)

Aus Natur und Geisteswelt.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25.

Vom Kriegswesen im 19. Jahrhundert. Von Major O. v. Sothen. Mit 9 Übersichten. (Bd. 59.)

Der Krieg im Zeitalter des Verkehrs und der Technik. Von Hauptmann A. Meyer. Mit 3 Abb. (Bd. 271.)

Der Seekrieg. Eine geschichtliche Entwicklung vom Zeitalter der Entdeckungen bis

zur Gegenwart. Von R. Freiherrn von Raabshahn, Vize-Admiral a. D. (Bd. 99.)

Die moderne Friedensbewegung. Von A. S. Fried. (Bd. 157.)

Die moderne Frauenbewegung. Ein geschichtlicher Überblick. Von Dr. R. Schirmacher. 2. Aufl. (Bd. 67.)

Rechts- und Staatswissenschaft. Volkswirtschaft.

Deutsches Fürstentum und dtsch. Verfassungsw. Von Prof. Dr. Ed. Hubrich. (Bd. 80.)

Grundzüge der Verfassung des Deutschen Reiches. Von Prof. Dr. E. Loening. 3. Aufl. (Bd. 34.)

Moderne Rechtsprobleme. Von Prof. Dr. F. Kohler. (Bd. 128.)

Die Psychologie des Verbrechers. Von Dr. P. Pollich. Mit 5 Diagrammen. (Bd. 248.)

Strafe und Verbrechen. Von Dr. P. Pollich. (Bd. 323.)

Verbrechen und Aberglaube. Skizzen aus der volkstümlichen Kriminalistik. Von Kammergerichtsr. Dr. A. Hellwig. (Bd. 212.)

Das deutsche Zivilprozessrecht. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 315.)

Ehe und Eherecht. Von Prof. Dr. L. Bahrmund. (Bd. 115.)

Der gewerbliche Rechtsschutz in Deutschland. Von Patentanw. B. Tolksdorf. (Bd. 138.)

Die Miete nach dem B. G.-B. Ein Handb. für Juristen, Mieter und Vermieter. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 194.)

Das Wahlrecht. Von Reg.-Rat Dr. D. Poensgen. (Bd. 249.)

Die Jurisprudenz im häuslichen Leben. Für Familie und Haushalt dargestellt. Von Rechtsanw. B. Wienengraber. 2 Bde. (Bd. 219, 220.)

Finanzwissenschaft. Von Prof. Dr. S. P. Ullmann. (Bd. 306.)

Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung. Von G. Maier. 4. Aufl. (Bd. 2.)

Geschichte der sozialistischen Ideen im 19. Jahrh. Von Privatdoz. Dr. Fr. Mucke. 2 Bände. (Bd. 269, 270.) Band I: Der rationale Sozialismus. (Bd. 269.) Band II: Proudhon und der entwicklungsgeschichtliche Sozialismus. (Bd. 270.)

Geschichte des Welthandels. Von Prof. Dr. M. G. Schmidt. 2. Aufl. (Bd. 118.)

Geschichte d. deutschen Handels. Von Prof. Dr. W. Langenbed. (Bd. 237.)

Deutschlands Stellung in der Weltwirtschaft. Von Prof. Dr. P. Arndt. (Bd. 179.)

Deutsches Wirtschaftsleben. Auf geographischer Grundlage geschildert. Von Prof. Dr. Chr. Gruber. 3. Aufl. Neubearb. von Dr. G. Reinlein. (Bd. 42.)

Die Ostmark. Eine Einführung in die Probleme ihrer Wirtschaftsgeschichte. Von Prof. Dr. W. Mitscherlich. (Bd. 351.)

Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im letzten Jahrh. Von Prof. Dr. L. Wohle. 2. Aufl. (Bd. 57.)

Das Hotelwesen. Von Paul Damm-Étienne. Mit 30 Abb. (Bd. 331.)

Die deutsche Landwirtschaft. Von Dr. W. Glaßen. Mit 15 Abb. u. 1 Karte. (Bd. 215.)

Innere Kolonisation. Von A. Brenning. (Bd. 261.)

Antike Wirtschaftsgeschichte. Von Dr. D. Neurath. (Bd. 258.)

Aus dem amerikanischen Wirtschaftsleben. Von Prof. J. L. Laughlin. Mit 9 graph. Darst. (Bd. 127.)

Die Japaner in der Weltwirtschaft. Von Prof. Dr. R. Rathgen. 2. Aufl. (Bd. 72.)

Die Gartenstadtbewegung. Von Generalst. S. Kampffmeyer. Mit 43 Abb. (Bd. 259.)

Das internationale Leben der Gegenwart. Von A. S. Fried. Mit 1 Tafel. (Bd. 226.)

Bevölkerungslehre. Von Prof. Dr. M. Haushofer. (Bd. 50.)

Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung. Von Prof. Dr. O. v. Bwiedined-Südenhorst. 2. Aufl. (Bd. 78.)

Das Recht der kaufmännischen Angestellten. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 361.)

Die Konsumgenossenschaft. Von Prof. Dr. F. Staudinger. (Bd. 222.)

Die Frauenarbeit. Ein Problem des Kapitalismus. Von Prof. Dr. R. Wilbrandt. (Bd. 106.)

Grundzüge des Versicherungswesens. Von Prof. Dr. A. Manes. 2. Aufl. (Bd. 105.)

Aus Natur und Geisteswelt.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25.

Verkehrsentwicklung in Deutschland. 1800—1900 (fortgeführt bis zur Gegenwart). Vorträge über Deutschlands Eisenbahnen und Binnenwasserstraßen, ihre Entwicklung und Verwaltung sowie ihre Bedeutung für die heutige Volkswirtschaft. Von Prof. Dr. W. Loh. 3. Aufl. (Bd. 15.)

Mensch und Erde. Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von weil Prof. Dr. A. Kirchhoff. 3. Aufl. (Bd. 31.)

Die Eiszeit und der vorgeschichtliche Mensch. Von Prof. Dr. G. Steinmann. Mit 24 Abb. (Bd. 302.)

Die Polarforschung. Geschichte der Entdeckungsreisen zum Nord- und Südpol von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart. Von Prof. Dr. R. Saffert. 2. Aufl. Mit 6 Karten. (Bd. 38.)

Die Städte. Geographisch betrachtet. Von Prof. Dr. R. Saffert. Mit 31 Abb. (Bd. 163.)

Wirtschaftl. Erdkunde. Von weil Prof. Dr. Chr. Gruber. 2. Aufl. Bearbeitet von Prof. Dr. R. Dove. (Bd. 122.)

Politische Geographie. Von Dr. E. Schöne. (Bd. 353.)

Die deutschen Volksstämme und Landschaften. Von Prof. Dr. D. Weise. 4. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 16.)

Anthropologie. Heilwissenschaft und Gesundheitslehre.

Der Mensch der Urzeit. Vier Vorlesungen aus der Entwicklungsgegeschichte des Menschengeschlechts. Von Dr. A. Heilborn. 2. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 62.)

Die moderne Heilwissenschaft. Wesen und Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. E. Biernadi. Deutsch von Dr. S. Ebel. (Bd. 25.)

Der Arzt. Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenwart. Ein Leit-faden der sozialen Medizin. Von Dr. med. M. Fürst. (Bd. 265.)

Der Aberglaube in der Medizin und seine Gefahr für Gesundheit und Leben. Von Prof. Dr. D. von Sarsmann. (Bd. 83.)

Arzneimittel und Genussmittel. Von Prof. Dr. D. Schmiedeberg. (Bd. 363.)

Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers. Von Prof. Dr. H. Sachs. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 39.)

Die Anatomie des Menschen. Von Prof. Dr. R. v. Bardeleben. 5 Bde. Mit zahlr. Abb. (Bd. 201. 202. 203. 204. 263.)

I. Teil: Allg. Anatomie und Entwicklungsgeschichte. Mit 69 Abb. (Bd. 201.) II. Teil: Das Skelett. Mit 53 Abb. (Bd. 202.) III. Teil: Das Muskel- und Gefäßsystem.

Das Postwesen, seine Entwicklung und Bedeutung. Von Postr. J. Bruns. (Bd. 165.)
Die Telegraphie in ihrer Entwicklung und Bedeutung. Von Postr. J. Bruns. Mit 4 Fig. (Bd. 183.)
Deutsche Schifffahrt und Schifffahrtspolitik der Gegenwart. Von Prof. Dr. R. Zehlf. (Bd. 169.)

Erdfunde.

Ölseegebiet. Von Privatdozent Dr. G. Braun. (Bd. 367.)

Die Alpen. Von S. Reishauer. Mit 26 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 276.)

Die deutschen Kolonien. (Band und Leute.) Von Dr. A. Heilborn. 3. Aufl. Mit 26 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 98.)

Unsere Schutzgebiete nach ihren wirtschaftlichen Verhältnissen. Im Lichte der Erdkunde dargestellt. Von Dr. Chr. G. Barth. (Bd. 290.)

Australien und Neuseeland. Band, Leute und Wirtschaft. Von Prof. Dr. R. Schöner. (Bd. 366.)

Der Orient. Eine Länderkunde. Von E. Hanse. 3 Bde. Mit zahlr. Abb. u. Karten. (Bd. 277. 278. 279.)

Band I: Die Nilaländer. Marokko, Algerien, Tunesien. Mit 15 Abb., 10 Kartenstücken, 3 Diagr. u. 1 Tafel. (Bd. 277.)

Band II: Der arabische Orient. Mit 29 Abb. u. 7 Diagr. (Bd. 278.) **Band III: Der arische Orient.** Mit 34 Abb., 3 Kartenstücken u. 2 Diagr. (Bd. 279.)

Mit 68 Abb. (Bd. 203.) IV. Teil: Die Eingeweide (Darm, Nimmungs-, Harn- u. Geschlechtsorgane). Mit 38 Abb. (Bd. 204.)

V. Teil: Statik und Mechanik des menschlichen Körpers. Mit 20 Abb. (Bd. 263.)

Moderne Chirurgie. Von Prof. Dr. Feßler. Mit Abb. (Bd. 339.)

Acht Vorträge aus der Gesundheitslehre. Von weil Prof. Dr. S. Buchner. 3. Aufl., besorgt von Prof. Dr. M. v. Gruber. Mit 26 Abb. (Bd. 1.)

Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen. Von Prof. Dr. S. Kofin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)

Das menschliche Gedächtnis, seine Erkrankung und Pflege. Von Zahnarzt Fr. Jäger. Mit 24 Abb. (Bd. 229.)

Körperliche Verblüdhungen im Kindesalter und ihre Verhütung. Von Dr. M. David. Mit 26 Abb. (Bd. 321.)

Schulhygiene. Von Prof. Dr. E. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 33 Fig. (Bd. 96.)

Vom Nervensystem, seinem Bau und seiner Bedeutung für Leib und Seele in gesundem und krankem Zustande. Von Prof. Dr. R. Banber. 2. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 48.)

Aus Natur und Geisteswelt.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25.

- Die fünf Sinne des Menschen. Von Prof. Dr. J. A. Kreibitz. 2. Aufl. Mit 30 Abb. (Bd. 27.)
- Das Auge des Menschen und seine Gesundheitspflege. Von Prof. Dr. med. G. Abelstorff. Mit 15 Abb. (Bd. 149.)
- Die menschliche Stimme und ihre Hygiene. Von Prof. Dr. B. S. Gerber. 2. Aufl. Mit 20 Abb. (Bd. 136.)
- Die Geschlechtskrankheiten, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Bekämpfung und Verhütung. Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 2. Aufl. Mit 4 Abb. und 1 Tafel. (Bd. 251.)
- Die Tuberkulose, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung. Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 2. Aufl. Mit 1 Tafel und 8 Figuren (Bd. 47.)
- Die krankheitserregenden Bakterien. Von Privatdoz. Dr. M. Loehlein. Mit 33 Abb. (Bd. 307.)
- Geisteskrankheiten. Von Anstaltsoberarzt Dr. G. Zibera. (Bd. 151.)
- Krankenpflege. Von Chefarzt Dr. B. Leid. (Bd. 152.)
- Gesundheitslehre für Frauen. Von weibl. Privatdoz. Dr. R. Sticher. Mit 13 Abb. (Bd. 171.)
- Der Säugling, seine Ernährung und seine Pflege. Von Dr. W. Raupe. Mit 17 Abb. (Bd. 154.)
- Der Alkoholismus. Von Dr. G. B. Gruber. Mit 7 Abb. (Bd. 103.)
- Ernährung und Volksnahrungsmittel. Von weibl. Prof. Dr. J. Frenkel. 2. Aufl. Neu bearb. von Geh. Rat Prof. Dr. R. Zund. Mit 7 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 19.)
- Die Leibesübungen und ihre Bedeutung für die Gesundheit. Von Prof. Dr. R. Zander. 3. Aufl. Mit 19 Abb. (Bd. 13.)

Naturwissenschaften. Mathematik.

- Naturwissenschaften u. Mathematik im klassischen Altertum. Von Prof. Dr. Joh. L. Seiberg. (Bd. 370.)
- Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Von Prof. Dr. F. Auerbach. 3. Aufl. Mit 79 Fig. (Bd. 40.)
- Die Lehre von der Energie. Von Dr. A. Stein. Mit 13 Fig. (Bd. 257.)
- Moleküle — Atome — Weltäther. Von Prof. Dr. G. Mie. 3. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 58.)
- Die großen Physiker und ihre Leistungen. Von Prof. Dr. F. A. Schullze. Mit 7 Abb. (Bd. 324.)
- Werdgang der modernen Physik. Von Dr. S. Keller. (Bd. 343.)
- Einleitung in die Experimentalphysik. Von Prof. Dr. R. Börnstein. Mit zahlr. Abb. (Bd. 371.)
- Das Licht und die Farben. Von Prof. Dr. L. Graeb. 3. Aufl. Mit 117 Abb. (Bd. 17.)
- Sichtbare und unsichtbare Strahlen. Von Prof. Dr. R. Börnstein u. Prof. Dr. W. Martwald. 2. Aufl. Mit 85 Abb. (Bd. 64.)
- Die optischen Instrumente. Von Dr. M. v. Rohr. 2. Aufl. Mit 84 Abb. (Bd. 88.)
- Die Brille. Von Dr. M. von Rohr. Mit zahlr. Abb. (Bd. 372.)
- Spektroskopie. Von Dr. S. Grebe. Mit 62 Abb. (Bd. 284.)
- Das Mikroskop, seine Optik, Geschichte und Anwendung. Von Dr. W. Scheffer. Mit 66 Abb. (Bd. 35.)
- Das Stereoskop und seine Anwendungen. Von Prof. Th. Hartwig. Mit 40 Abb. u. 19 Taf. (Bd. 135.)
- Die Lehre von der Wärme. Von Prof. Dr. R. Börnstein. Mit 33 Abb. (Bd. 172.)
- Die Kälte, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung. Von Dr. S. Mit. Mit 45 Abb. (Bd. 311.)
- Luft, Wasser, Licht und Wärme. neun Vorträge aus dem Gebiete der Experimentalchemie. Von Prof. Dr. R. Blochmann. 3. Aufl. Mit 115 Abb. (Bd. 5.)
- Das Wasser. Von Privatdoz. Dr. D. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)
- Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe. Von Dr. B. Bavinl. Mit 7 Fig. (Bd. 187.)
- Die Erscheinungen des Lebens. Von Prof. Dr. S. Mische. Mit 40 Fig. (Bd. 130.)
- Abstammungslehre und Darwinismus. Von Prof. Dr. R. Hesse. 3. Aufl. Mit 37 Fig. (Bd. 39.)
- Experimentelle Biologie. Von Dr. C. Thelling. Mit Abb. 2 Bde. Band I: Experimentelle Zellforschung. (Bd. 336.) Band II: Regeneration, Transplantation und verwandte Gebiete. (Bd. 337.)
- Einführung in die Biochemie. Von Prof. Dr. W. Lübb. (Bd. 352.)
- Der Befruchtungsvorgang, sein Wesen und seine Bedeutung. Von Dr. E. Teichmann. Mit 7 Abb. u. 4 Doppeltaf. (Bd. 70.)
- Das Werden und Vergehen der Pflanzen. Von Prof. Dr. P. Gisevius. Mit 24 Abb. (Bd. 173.)

Aus Natur und Geisteswelt.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25.

- Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen.** Von Prof. Dr. E. Küster. Mit 38 Abb. (Bd. 112.)
- Unsere wichtigsten Kulturpflanzen (die Getreidearäer).** Von Prof. Dr. R. Giesenhagen. 2. Aufl. Mit 38 Fig. (Bd. 10.)
- Die fleischfressenden Pflanzen.** Von Dr. A. Wagner. Mit Abb. (Bd. 344.)
- Der deutsche Wald.** Von Prof. Dr. S. Hausrath. Mit 15 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 153.)
- Die Pilze.** Von Dr. A. Eichinger. Mit 54 Abb. (Bd. 334.)
- Weinbau und Weinbereitung.** Von Dr. F. Schmitthener. (Bd. 332.)
- Der Obstbau.** Von Dr. E. Voges. Mit 13 Abb. (Bd. 107.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Zimmer.** Von Prof. Dr. H. Dammer. (Bd. 359.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Garten.** Von Prof. Dr. H. Dammer. (Bd. 360.)
- Kolonialbotanik.** Von Prof. Dr. F. Töbner. Mit 21 Abb. (Bd. 184.)
- Kaffee, Tee, Kakao und die übrigen narkotischen Getränke.** Von Prof. Dr. A. Bieleker. Mit 24 Abb. u. 1 Karte. (Bd. 132.)
- Die Milch und ihre Produkte.** Von Dr. A. Reig. (Bd. 326.)
- Die Pflanzenwelt des Mikroskops.** Von Bürgerlichlehrer E. Reukauf. Mit 100 Abb. (Bd. 181.)
- Die Tierwelt des Mikroskops (die Urtiere).** Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 39 Abb. (Bd. 160.)
- Die Beziehungen der Tiere zueinander und zur Pflanzenwelt.** Von Prof. Dr. R. Kraepelin. (Bd. 79.)
- Der Kampf zwischen Mensch und Tier.** Von Prof. Dr. R. Erdstein. 2. Aufl. Mit 51 Fig. (Bd. 18.)
- Tierkunde. Eine Einführung in die Zoologie.** Von weil. Privatdoz. Dr. R. Hennings. Mit 34 Abb. (Bd. 142.)
- Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der Wirbeltiere.** Von Prof. Dr. W. Lubowich. Mit 107 Abb. (Bd. 282.)
- Die Stammesgeschichte unserer Haustiere.** Von Prof. Dr. E. Keller. Mit 28 Fig. (Bd. 252.)
- Die Fortpflanzung der Tiere.** Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 77 Abb. (Bd. 253.)
- Tierzüchtung.** Von Dr. G. Wilsdorf. (Bd. 369.)
- Deutsches Vogelleben.** Von Prof. Dr. A. Voigt. (Bd. 221.)
- Vogelzug und Vogelschutz.** Von Dr. W. R. Eckardt. Mit 6 Abb. (Bd. 218.)
- Korallen und andere gesteinsbildende Tiere.** Von Prof. Dr. W. Ray. Mit 455 Abb. (Bd. 231.)
- Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere.** Von Prof. Dr. O. Maas. Mit 11 Karten u. Abb. (Bd. 139.)
- Die Bakterien.** Von Prof. Dr. E. Gutzeit. Mit 13 Abb. (Bd. 233.)
- Die Welt der Organismen. In Entwicklung und Zusammenhang dargestellt.** Von Prof. Dr. R. Lampert. Mit 52 Abb. (Bd. 236.)
- Zwiegestalt der Geschlechter in der Tierwelt (Dimorphismus).** Von Dr. Fr. Knauer. Mit 37 Fig. (Bd. 148.)
- Die Ameisen.** Von Dr. Fr. Knauer. Mit 61 Fig. (Bd. 94.)
- Das Süßwasser-Plankton.** Von Prof. Dr. O. Scharias. 2. Aufl. Mit 49 Abb. (Bd. 156.)
- Meeresforschung und Meeresleben.** Von Dr. D. Fanson. 2. Aufl. Mit 41 Fig. (Bd. 30.)
- Das Aquarium.** Von E. W. Schmidt. Mit 15 Fig. (Bd. 335.)
- Wind und Wetter.** Von Prof. Dr. L. Weber. 2. Aufl. Mit 28 Fig. u. 3 Tafeln. (Bd. 55.)
- Gut und schlecht Wetter.** Von Dr. R. Hennig. (Bd. 349.)
- Der Kalender.** Von Prof. Dr. W. F. Wislicenus. (Bd. 69.)
- Der Bau des Weltalls.** Von Prof. Dr. F. Scheiner. 3. Aufl. Mit 26 Fig. (Bd. 24.)
- Entstehung der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft.** Von Prof. Dr. B. Weinstein. (Bd. 223.)
- Aus der Vorzeit der Erde.** Von Prof. Dr. Fr. Frech. In 6 Bdn. 2. Aufl. Mit zahlr. Abbildungen. (Bd. 207—211, 61.)
- Band I: Vulkan einst und jetzt.** Mit 80 Abb. (Bd. 207.)
- Band II: Gebirgsbau und Erdbeben.** Mit 57 Abb. (Bd. 208.)
- Band III: Die Arbeit des fließenden Wassers.** Mit 51 Abb. (Bd. 209.)
- Band IV: Die Arbeit des Ozeans und die chemische Tätigkeit des Wassers im allgemeinen.** Mit 1 Titelbild und 51 Abb. (Bd. 210.)
- Band V: Kohlenbildung und Klima der Vorzeit.** (Bd. 211.)
- Band VI: Gletscher einst und jetzt.** 2. Aufl. (Bd. 61.)
- Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit.** Von Prof. Dr. S. Oppenheim. Mit 24 Abb. (Bd. 110.)
- Probleme der modernen Astronomie.** Von Prof. Dr. S. Oppenheim. (Bd. 355.)
- Die Sonne.** Von Dr. A. Krause. Mit zahlreichen Abb. (Bd. 357.)
- Der Mond.** Von Prof. Dr. F. Franz. Mit 31 Abb. (Bd. 90.)
- Die Planeten.** Von Prof. Dr. B. Peter. Mit 18 Fig. (Bd. 240.)

Aus Natur und Geisteswelt.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25.

Arithmetik und Algebra zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. P. Cranz. In 2 Bdn. Mit zahlr. Fig. (Bd. 120, 205.) I. Teil: Die Rechnungsarten. Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten. Gleichungen zweiten Grades. 2. Aufl. Mit 9 Fig. (Bd. 120.) II. Teil: Gleichungen. Arithmetische und geometrische Reihen. Zinseszins- und Rentenrechnung. Komplexer Zahlen. Binomischer Lehrsatz. 2. Aufl. Mit 21 Fig. (Bd. 205.) Praktische Mathematik. Von Dr. R. Neundorff. I. Teil: Graphisches u. numerisches Rechnen. Mit 62 Figuren und 1 Tafel. (Bd. 341.)

Planimetrie zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. P. Cranz. Mit 99 Fig. (Bd. 340.)

Einführung in die Infinitesimalrechnung mit einer historischen Übersicht. Von Prof. Dr. G. Nowalewski. Mit 18 Fig. (Bd. 197.)

Mathematische Spiele. Von Dr. W. Ahrens. 2. Aufl. Mit 70 Fig. (Bd. 170.)

Das Schachspiel und seine strategischen Prinzipien. Von Dr. M. Lange. Mit den Bildnissen E. Lasfers und B. Morphys, 1 Schachbrettafel und 43 Darst. von Abzugs-spielen. (Bd. 281.)

Angewandte Naturwissenschaft. Technik.

Am laufenden Webstuhl der Zeit. Von Prof. Dr. W. Launhardt. 3. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 23.)

Bilder aus der Ingenieurtechnik. Von Baurat R. Merdel. Mit 43 Abb. (Bd. 60.)

Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Baurat R. Merdel. 2. Aufl. Mit 55 Abb. (Bd. 28.)

Die Handfeuerwaffen. Ihre Entwicklung und Technik. Von Hauptmann R. Weiß. Mit 69 Abb. (Bd. 364.)

Der Eisenbetonbau. Von Dipl.-Ing. E. Saimovici. Mit 81 Abb. (Bd. 275.)

Das Eisenhüttenwesen. Von Geh. Bergrat Prof. Dr. G. Wedding. 3. Aufl. Mit 15 Fig. (Bd. 20.)

Die Metalle. Von Prof. Dr. R. Scheid. 2. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 29.)

Mechanik. Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. v. Thering. 3 Bde. (Bd. 303/305.)

Band I: Die Mechanik der festen Körper. Mit 61 Abb. (Bd. 303.) Band II: Die Mechanik der flüssigen Körper. Mit 34 Abb. (Bd. 304.) Band III: Die Mechanik der gasförmigen Körper. (In Vorb.) (Bd. 305.)

Maschinenelemente. Von Prof. R. Vater. Mit 184 Abb. (Bd. 301.)

Hebzeuge. Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Von Prof. R. Vater. Mit 67 Abb. (Bd. 196.)

Dampf und Dampfmaschine. Von Prof. R. Vater. 2. Aufl. Mit 45 Abb. (Bd. 63.)

Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen). Von Prof. R. Vater. 3. Aufl. Mit 33 Abb. (Bd. 21.)

Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen. Von Prof. R. Vater. 2. Aufl. Mit 48 Abb. (Bd. 86.)

Die Wasserkraftmaschinen und die Ausnützung der Wasserkräfte. Von Kais. Geh.

Reg.-Rat A. v. Thering. Mit 73 Fig. (Bd. 228.)

Landwirtsch. Maschinenkunde. Von Prof. Dr. G. Fischer. Mit 62 Abb. (Bd. 316.)

Die Spinnerei. Von Dir. Prof. M. Lehmann. Mit Abb. (Bd. 338.)

Die technische Entwicklung der Eisenbahnen der Gegenwart. Von Eisenbahnbau- u. Betriebsinsp. E. Biederhann. Mit 50 Abb. (Bd. 144.)

Die Klein- und Straßenbahnen. Von Oberingenieur a. D. A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)

Das Automobil. Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ing. R. Blau. 2. Aufl. Mit 83 Abb. (Bd. 166.)

Grundlagen der Elektrotechnik. Von Dr. R. Blochmann. Mit 128 Abb. (Bd. 168.)

Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung. Von Telegrapheninsp. H. Brid. Mit 58 Abb. (Bd. 235.)

Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik. Von Telegrapheninsp. H. Brid. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)

Die Funkentelegraphie. Von Oberpostpraktikant S. Thurn. Mit 53 Illust. (Bd. 167.)

Nautik. Von Dir. Dr. J. Böller. Mit 58 Fig. (Bd. 255.)

Die Luftschiffahrt, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung. Von Dr. R. Rimpler. 2. Aufl. Mit 42 Abb. (Bd. 300.)

Die Beleuchtungsarten der Gegenwart. Von Dr. W. Brück. Mit 155 Abb. (Bd. 108.)

Heizung und Lüftung. Von Ingenieur J. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)

- Industrielle Feuerungsanlagen und Dampf-
kessel.** Von Ingenieur J. E. Mayer. (Bd. 348.)
- Die Uhr.** Von Reg.-Bauführer a. D. S. Bod. Mit 47 Abb. (Bd. 216.)
- Wie ein Buch entsteht.** Von Prof. A. B. Unger. 3. Aufl. Mit 7 Taf. u. 26 Abb. (Bd. 175.)
- Einführung in die Chemische Wissenschaft.** Von Prof. Dr. W. Böh. Mit 16 Fig. (Bd. 264.)
- Bilder aus der Chemischen Technik.** Von Dr. A. Müller. Mit 24 Abb. (Bd. 191.)
- Der Luftstickstoff und seine Verwertung.** Von Prof. Dr. K. Kaiser. Mit 13 Abb. (Bd. 313.)
- Agrikulturchemie.** Von Dr. B. Frische. Mit 21 Abb. (Bd. 314.)
- Die Bierbrauerei.** Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 333.)
- Chemie und Technologie der Sprengstoffe.** Von Prof. Dr. R. Biedermann. Mit 15 Fig. (Bd. 286.)
- Photochemie.** Von Prof. Dr. G. Kümmell. Mit 23 Abb. (Bd. 227.)
- Die Kinematographie.** Von Dr. S. Lehmann. (Bd. 358.)
- Elektrochemie.** Von Prof. Dr. K. Arndt. Mit 38 Abb. (Bd. 234.)
- Die Naturwissenschaften im Haushalt.** Von Dr. F. Bongardt. 2 Bde. Mit zahlr. Abb. (Bd. 125, 126.)
- I. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die Gesundheit der Familie?** Mit 31 Abb. (Bd. 125.) **II. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für gute Nahrung?** Mit 17 Abb. (Bd. 126.)
- Chemie in Küche und Haus.** Von weil. Prof. Dr. G. Abel. 2. Aufl. von Dr. S. Klein. Mit 1 Doppeltafel. (Bd. 76.)

Die Kultur der Gegenwart ihre Entwicklung und ihre Ziele

Herausgegeben von Professor Paul Hinneberg

Von Teil I und II sind erschienen:

Teil I, Abt. 1: Die allgemeinen Grundlagen der Kultur der Gegenwart.

Bearb. von: W. Lexis, Fr. Paulsen, G. Schöppa, G. Kerschens-
steiner, A. Matthias, H. Gaudig, W. v. Dyck, E. Pallat, K. Kraepelin,
J. Lessing, O. N. Witt, P. Schlenther, G. Göhler, K. Bücher, R. Pietschmann, F. Milkau,
H. Diels. 2. Aufl. (XIV u. 716 S.) Lex.-8. 1912. Geh. M. 18.—, in Leinwand geb. M. 20.—

„Die berufensten Fachleute reden über ihr Spezialgebiet in künstlerisch so hoch-
stehender, dabei dem Denkenden so leicht zugehender Sprache, zudem mit einer solchen
Konzentration der Gedanken, daß Seite für Seite nicht nur hohen künstlerischen Genuß
verschafft, sondern einen Einblick in die Einzelgebiete gestattet, der an Intensität kaum
von einem anderen Werke übertroffen werden könnte.“ (Nationalzeitung, Basel.)

Teil I, Abt. 3, I: Die orientalischen Religionen.

Bearb. von: E. Lehmann,
A. Erman, C. Bezold, H.
Oldenberg, J. Goldziher, A. Grünwedel, J. J. M. de Groot, K. Florenz, H. Haas.
(VII u. 267 S.) Lex.-8. 1906. Geh. M. 7.—, in Leinwand geb. M. 9.—

„Auch dieser Band des gelehrten Werkes ist zu inhaltvoll und zu vielseitig, um
auf kurzem Raum gewürdigt werden zu können. Auch er kommt den Interessen des
bildungsbedürftigen Publikums und der Gelehrtenwelt in gleichem Maße entgegen. . .
Die Zahl und der Klang der Namen aller beteiligten Autoren bürgen dafür, daß ein jeder
nur vom Besten das Beste zu geben bemüht war.“ (Berliner Tageblatt.)

Teil I, Abt. 4, I: Geschichte der christlichen Religion.

Mit Einleitung: Die
israelitisch-jü-
dische Religion. Bearbeitet von J. Wellhausen, A. Jülicher, A. Harnack,
N. Bonwetsch, K. Müller, A. Ehrhard, E. Troeltsch. 2., stark vermehrte und verbesserte
Auflage. (X u. 792 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 18.—, in Leinwand geb. M. 20.—

Die Kultur der Gegenwart

Teil I, Systematische christliche Religion. Bearbeitet von: E. Troeltsch, J. Pohle,

Abt. 4. II: J. Mausbach, C. Krieg, W. Herrmann, R. Seeberg, W. Faber, H. J. Holtzmann. 2., verb. Auflage. (VIII u. 279 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 6.60, in Leinwand geb. M. 8.—

„... Die Arbeiten des ersten Teiles sind sämtlich, dafür bürgt schon der Name der Verfasser, ersten Ranges. Am meisten Aufsehen zu machen verspricht Troeltsch, Aufriß der Geschichte des Protestantismus und seiner Bedeutung für die moderne Kultur. ... Alles in allem, der vorliegende Band legt Zeugnis ab dafür, welche bedeutende Rolle für die Kultur der Gegenwart Christentum und Religion spielen.“ (Zeitschr. f. Kirchengeschichte.)

Teil I, Allgemeine Geschichte der Philosophie. Bearbeitet v.: W. Wundt,

Abt. 5: H. Oldenberg, J. Goldziher, W. Grube, T. Jnouye, H. v. Arnim, Cl. Baeumker. W. Windelband. (VIII u. 572 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 12.—, in Leinw. geb. M. 14.—

„... Man wird nicht leicht ein Buch finden, das, wie die ‚Allgemeine Geschichte der Philosophie‘ von einem gleich hohen überblickenden und umfassenden Standpunkt aus, mit gleicher Klarheit und Tiefe und dabei in fesselnder Darstellung eine Geschichte der Philosophie von ihren Anfängen bei den primitiven Völkern bis in die Gegenwart und damit eine Geschichte des geistigen Lebens überhaupt gibt.“ (Zeitschrift f. lateinl. höh. Schulen.)

Teil I, Systematische Philosophie. Bearbeitet von: W. Dilthey, A. Riehl, W. Wundt, W. Ostwald,

Abt. 6: H. Ebbinghaus, R. Eucken, Fr. Paulsen, W. Münch, Th. Lipps. 2. Aufl. (X u. 435 S.) Lex.-8. 1908. Geh. M. 10.—, in Leinwand geb. M. 12.—

„Hinter dem Rücken jedes der philosophischen Forscher steht Kant, wie er die Welt in ihrer Totalität dachte und erlebte; der ‚neukantische‘, rationalisierte Kant scheint in den Hintergrund treten zu wollen, und in manchen Köpfen geht bereits das Licht des gesamten Weltlebens auf.“ (Archiv für systematische Philosophie.)

„Um es gleich vorweg zu sagen: Von philosophischen Büchern, die sich einem außerhalb der engen Fachkreise stehenden Publikum anbieten, würde ich nichts Besseres zu nennen als diese Systematische Philosophie.“ (Pädagogische Zeitung.)

Teil I, Die orientalischen Literaturen. Bearbeitet von: E. Schmidt, A. Erman, C. Bezold, H. Gün-

Abt. 7: kel, Th. Nöldeke, M. J. de Goeje, R. Pischel, K. Geldner, P. Horn, F. N. Finck, W. Grube, K. Florenz. (IX u. 419 S.) Lex.-8. 1906. Geh. M. 10.—, in Leinw. geb. M. 12.—

„... So bildet dieser Band durch die Klarheit und Übersichtlichkeit der Anlage, Knappheit der Darstellung, Schönheit der Sprache ein in hohem Grade geeignetes Hilfsmittel zur Einführung in das Schrifttum der östlichen Völker, die gerade in den letzten Jahrzehnten unser Interesse auf sich gelenkt haben.“ (Leipziger Zeitung.)

Teil I, Die griechische und lateinische Literatur und

Abt. 8: **Sprache.** Bearbeitet von: U. v. Wilamowitz-Moellendorf, K. Krumbacher, J. Wackernagel, Fr. Leo, E. Norden, F. Skutsch. 3. Auflage. (VIII u. 582 S.) Lex.-8. 1912. Geh. M. 12.—, in Leinwand geb. M. 14.—

„Das sei allen sechs Beiträgen nachgerühmt, daß sie sich dem Zwecke des Gesamtwerkes in geradezu bewundernswerter Weise angepaßt haben: immer wieder wird des Lesers Blick auf die großen Zusammenhänge hingelenkt, die zwischen der klassischen Literatur und Sprache und unserer Kultur bestehen.“ (Byzantinische Zeitschrift.)

Teil I, Die osteuropäischen Literaturen und die slawischen Sprachen. Bearbeitet

Abt. 9: von: V. v. Jagić, A. Wesselovsky, A. Brückner, J. Máchal, M. Murko, A. Thumb, Fr. Riedl, E. Setälä, G. Suits, A. Bezzenberger, E. Wolter. (VIII u. 396 S.) Lex.-8. 1908. Geh. M. 10.—, in Leinwand geb. M. 12.—

„... Eingeleitet wird der Band mit einer ausgezeichneten Arbeit Jagićs über ‚Die slawischen Sprachen‘. Für den keiner slawischen Sprache kundigen Leser ist diese Einführung sehr wichtig. Ihr folgt eine Monographie der russischen Literatur aus der Feder des geistvollen Wesselovsky. Die südslawischen Literaturen von Murko sind hier in deutscher Sprache wohl erstmals zusammenfassend behandelt worden. Mit Wolters Abschnitt der lettischen Literatur schließt der verdienstvolle Band, der jedem unentbehrlich sein wird, der sich mit dem einschlägigen Schrifttum bekannt machen will.“ (Berliner Lokal-Anzeiger.)

Die Kultur der Gegenwart

Teil I, Die romanischen Literaturen und Sprachen

Abt. 11, I: mit Einschluß des Keltischen. Bearbeitet von: H. Zimmer, K. Meyer, L. Chr. Stern, H. Morf, W. Meyer-Lübke. (VIII u. 499 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 12.—, in Leinw. geb. M. 14.—

„Auch ein kühler Beurteiler wird diese Arbeit als ein Ereignis bezeichnen. . . Die Darstellung ist derart durchgearbeitet, daß sie in vielen Fällen auch der wissenschaftlichen Forschung als Grundlage dienen kann.“ (Jahrbuch für Zeit- u. Kulturgeschichte.)

Teil II, Allgem. Verfassungs- u. Verwaltungsgeschichte.

Abt. 2, I: I. Hälfte. Bearb. v.: A. Vierkandt, L. Wenger, M. Hartmann, O. Franke, K. Rathgen, A. Luschin v. Ebengreuth. (VII u. 373 S.) Lex.-8. 1911. Geh. M. 10.—, in Leinw. geb. M. 12.—

Dieser Band behandelt, dem Charakter des Gesamtwerkes entsprechend, in großzügiger Darstellung aus der Feder der berufensten Fachleute die allgemein historisch und kulturgeschichtlich wichtigen Tatsachen der Verfassungs- und Verwaltungsgeschichte und führt einerseits von den Anfängen bei den primitiven Völkern und den Völkern des orientalischen Altertums über die islamischen Staaten bis zu den modernen Verhältnissen in China und Japan, andererseits vom europäischen Altertum und den Germanen bis zum Untergang des römischen Reiches deutscher Nation.

Teil II, Staat und Gesellschaft des Orients.

Bearbeitet von: A. Vierkandt, G. Maspero, M. Hartmann, O. Franke, K. Rathgen. [Unter der Presse.]

Teil II, Staat und Gesellschaft der Griechen u. Römer.

Abt. 4, I: Bearbeitet von: U. v. Wilamowitz-Moellendorf, B. Niese. (VI u. 280 S.) Lex.-8. 1910. Geh. M. 8.—, in Leinwand geb. M. 10.—

„Ich habe noch keine Schrift von Wilamowitz gelesen, die im prinzipiellen den Leser so selten zum Widerspruch herausforderte wie diese. Dabei eine grandiose Arbeitsleistung und des Neuen und Geistreichen sehr vieles. . . Neben dem glänzenden Stil von Wilamowitz hat die schlichte Darstellung der Römerwelt durch B. Niese einen schweren Stand, den sie aber ehrenvoll behauptet. . .“ (Südwestdeutsche Schulblätter.)

Teil II, Staat und Gesellschaft der neueren Zeit

(bis zur französischen Revolution). Bearbeitet von: F. v. Bezold, E. Gothein, R. Koser. (VI u. 349 S.) Lex.-8. 1908. Geheftet M. 9.—, in Leinwand geb. M. 11.—

„Wenn drei Historiker von solchem Range wie Bezold, Gothein und Koser sich dergestalt, daß jeder sein eigenstes Spezialgebiet bearbeitet, in die Behandlung eines Themas teilen, dürfen wir sicher sein, daß das Ergebnis vortrefflich ist. Dieser Band rechtfertigt solche Erwartung.“ (Literarisches Zentralblatt.)

Teil II, Systematische Rechtswissenschaft.

Bearbeitet von: R. Stammler, R. Sohm, K. Gareis, V. Ehrenberg, L. v. Bar, L. Seuffert, F. v. Liszt, W. Kahl, P. Laband, G. Anschütz, E. Bernatzik, F. v. Martitz. (X, LX u. 526 S.) Lex.-8. 1906. Geheftet M. 14.—, in Leinwand geb. M. 16.—

„. . . Es ist jedem Gebildeten, welcher das Bedürfnis empfindet, sich zusammenfassend über den gegenwärtigen Stand unserer Rechtswissenschaft im Verhältnis zur gesamten Kultur zu orientieren, die Anschaffung des Werkes warm zu empfehlen.“ (Blätt. f. Genossenschaftsw.)

Teil II, Allgemeine Volkswirtschaftslehre.

Von W. Lexis. (VI u. 259 S.) Lex.-8. 1910. Geh. M. 7.—, in Leinwand geb. M. 9.—

„. . . Ausgezeichnet durch Klarheit und Kürze der Definitionen, wird die ‚Allgemeine Volkswirtschaftslehre‘ von Lexis sicher zu einem der beliebtesten Einführungsbücher in die Volkswirtschaftslehre werden. Eine zum selbständigen Studium der Volkswirtschaftstheorie völlig ausreichende, den Leser zum starken Nachdenken anregende Schrift. . . Das Werk können wir allen volkswirtschaftlich-theoretisch interessierten Lesern warm empfehlen.“ (Zeitschrift des Vereins der Deutschen Zucker-Industrie.)

Probeheft und Sonderprospekte umsonst und postfrei vom Verlag
B. G. Teubner in Leipzig.

Mathematische Bibliothek. Gemeinverständliche Darstellungen aus der Elementar-Mathematik für Schule und Leben.

Herausgegeben von Dr. W. Lietzmann und Dr. A. Witting. In Kleinoktavbändchen. Kartoniert je *M* —.80.

Zunächst sind erschienen:

1. E. Löffler, Ziffern und Ziffernsysteme der Kulturvölker in alter und neuer Zeit.
2. H. Wieleitner, der Begriff der Zahl in seiner logischen u. histor. Entwicklung. Mit 10 Figuren.
3. W. Lietzmann, der pythagoreische Lehrsatz mit einem Ausblick auf das Fermatsche Problem, Mit 44 Figuren.
4. O. Meißner, Wahrscheinlichkeitsrechnung nebst Anwendungen. Mit 6 Figuren.

Encyklopädie der Elementar-Mathematik. Ein Handbuch für Lehrer u. Studierende

von H. Weber und J. Wellstein, Professoren an der Universität Straßburg. In 3 Bänden. gr. 8. In Leinwand geb.

- I. Elementare Algebra und Analysis. Bearb. von H. Weber. 3. Aufl. Mit 40 Fig. 1909. *M* 10.—
- II. Elemente der Geometrie. Bearbeitet von H. Weber, J. Wellstein und W. Jacobsthal. 2. Auflage Mit 251 Figuren. 1907. *M* 12.—
- III. Angewandte Elementar-Mathematik. 2. Auflage. I. Teil: Mathematische Physik. Mit einem Buch über Maxima und Minima von H. Weber und J. Wellstein. Bearbeitet von Rudolph H. Weber, Professor in Rostock. Mit 254 Figuren. 1910. *M* 12.—
II. Teil: Praktische Mathematik und Astronomie. [Unter der Presse.]

Grundlehren der Mathematik. In 2 Teilen. Mit vielen Figuren. gr. 8. In Leinwand geb.

- I. Teil: Die Grundlehren der Arithmetik und Algebra. Bearbeitet von E. Netto und C. Färber. 2 Bände.
I. Band: Arithmetik. Von Prof. Dr. C. Färber in Berlin. Mit 9 Figuren. 1911. *M* 9.—
II. Band: Algebra. Von Prof. E. Netto in Gießen. [In Vorbereitung.]
- II. Teil: Die Grundlehren der Geometrie. Bearb. von W. Frz. Meyer u. H. Thieme. 2 Bände.
I. Band: Die Elemente der Geometrie. Bearbeitet von Prof. Dr. H. Thieme, Direktor des Realgymnasiums zu Bromberg. Mit 323 Figuren. 1909. *M* 9.—
II. Band. [In Vorbereitung.]

Elemente der Mathematik. Von Prof. Dr. E. Borel. Deutsche Ausgabe von Dr. P. Stäckel, Professor an der Techn. Hochschule in Karlsruhe. In 2 Bänden. gr. 8. In Leinwand geb.

- I. Band: Arithmetik und Algebra. Mit 57 Figuren und 3 Tafeln. 1908. *M* 8.60.
- II. Band: Geometrie. Mit 403 Figuren. 1909. *M* 6.40.

Elemente der Mathematik. Von J. Tannery, Professor an der Universität Paris. Deutsche Ausgabe von Dr. P. Klaff in Echternach. Mit einem Einführungswort von F. Klein. gr. 8. 1909. Geh. *M* 7.—, in Leinwand geb. *M* 8.—

Taschenbuch für Mathematiker und Physiker. Unter Mitwirk. zahlreich. Fachgelehrter herausgegeben von F. Auerbach und R. Rothe. II. Jahrgang 1910/11. Mit einem Bildnis H. Minkowskis. 8. 1912. In Leinwand geb. *M* 7.—

Die Elemente der analytischen Geometrie. Von Dr. H. Ganter, Prof. an der Kantonsschule zu Aarau, und Dr. F. Rudio, Professor am Polytechnikum zu Zürich. Mit zahlreichen Übungsbeispielen. gr. 8. In 2 Teilen. In Leinwand geb. je *M* 3.—

- I. Die analytische Geometrie der Ebene. 7., verbesserte Auflage. Mit 53 Figuren. 1910.
- II. Die analytische Geometrie des Raumes. 4., verbesserte Auflage. Mit 20 Figuren. 1908.

Zur Biologie · Botanik · Zoologie

Die Fundamente der Entstehung der Arten. Zwei in den Jahren 1842 und 1844 verfaßte Essays. Von Charles Darwin. Hrsg. von seinem Sohn Francis Darwin. Dtsch. Übersetzung v. Maria Semon. Geh. M. 4.—, in Leinw. geb. M. 5.—

Man findet in diesen Fundamenten die Keime zur Entstehung der Arten, zu fast allen späteren Werken Darwins deutlich vorgebildet.

Experimentelle Zoologie. Von Th. Hunt Morgan, Deutsche autorisierte und verb. Ausgabe von H. Rhumbler. Mit zahlr. Abb. Geh. M. 11.—, in Leinw. geb. M. 12.—

Das Verhalten der niederen Organismen unter natürlichen und experiment. Bedingungen. Von H. S. Jennings. Deutsch von Dr. E. MangoId. Mit 144 Fig. Geh. M. 9.—, in Leinwand geb. M. 10.—

„...Der klare und durchsichtige Aufbau der Gedankengänge, die sorgfältigen Zusammenfassungen in den einzelnen Abschnitten und die ansprechende Darstellung sind geeignet, das Verständnis für eine Reihe komplizierter Fragen auch in weitere, naturwissenschaftlich denkende Kreise zu tragen...“ (Botanische Zeitung.)

Lebensweise und Organisation. Von Prof. Dr. P. Deegener, Privatdoz. an der Universität Berlin. Eine Einführung in die Biologie der wirbellosen Tiere. Mit 154 Abb. gr. 8. In Leinw. geb. M. 6.—

Das vorliegende Buch ist von einem bestimmten theoretischen Standpunkt aus geschrieben, ohne doch in einer Theorie zu gipfeln. Es will dem selbstdenkenden Leser Materialien an die Hand geben, ein eigenes, begründetes Urteil zu gewinnen, und enthält sich daher tunlichst breiter theoretischer Darlegungen.

Blumen und Insekten, ihre Anpassung aneinander und ihre gegenseitige Abhängigkeit. Von Prof. Dr. O. v. Kirchner. Mit 2 Taf. u. 159 Fig. Geh. M. 6.60, in Leinw. geb. M. 7.50.

Instinkt und Gewohnheit. Von C. Lloyd Morgan, F.R.S. Autoris. deutsche Übersetzung von M. Semon. Geh. M. 5.—, in Leinw. geb. M. 6.—

„Dieses sehr beachtenswerte Werk ist so flott übersetzt worden, daß seine Lektüre ein wahrer Genuß ist. Auch der naturwissenschaftlich interessierte Laie wird unbedingt auf seine Kosten kommen.“ (Münchener Neueste Nachr.)

Einführung in die Biologie. Von Dr. K. Kraepelin. 2. Aufl. Mit 303 Abb., 5 farbigen Taf. u. 2 Karten. In Leinw. geb. M. 4.—

„Jeder, der naturwissenschaftlicher Betrachtungsweise nicht völlig abgeneigt ist und der die elementaren Vorkenntnisse dazu mitbringt, wird in diesem Buche mit hohem Genuß und Nutzen lesen...“ (Dtsch. Literaturztg.)

Blütengeheimnisse. Eine Blütenbiologie in Einzelbildern. Von Prof. Dr. Georg Worgitzky. Mit 47 Abb., u. 1 farb. Tafel von P. Slanderky. 2., verm. Aufl. In Leinw. geb. M. 3.—

„Ein vortreffliches und reizend illustriertes kleines Buch, das allen Freunden der Pflanzenwelt willkommen sein wird...“ (Gaeta.)

Naturgeschichte für die Großstadt. Von W. Pfalz. 2 Teile in Leinwand geb. je M. 3.—

I. Teil: Tiere u. Pflanzen der Straßen, Plätze, Anlagen, Gärten und Wohnungen. Mit 50 Federzeichnungen.
II. Teil: Aquarium und Terrarium, Pflanzen der Gärten, Wohnungen, Anlagen und des Palmenhauses. Mit 54 Federzeichnungen.

Botanisch-Geologische Spaziergänge i. d. Umgebung v. Berlin. Von Dr. W. Gothan. Mit 23 Figur. Geh. M. 1.80, in Leinw. geb. M. 2.40.

Unsere Pflanzen. Ihre Namensklärung und ihre Stellung in der Mythologie und im Volksaberglauben. Von Dr. Franz Schöns. 4. Auflage. Mit Buchschmuck von J. V. Cissarz. In Leinwand geb. M. 3.—

Mittelmeerbilder. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Theobald Fischer. Gesammelte Abhandlungen zur Kunde der Mittelmeerländer. Geb. M. 7.—
Neue Folge. Mit 8 Karten. Geb. M. 7.—

„... Ein Meister länderkundlicher Darstellung spricht hier zu uns, aber in einer Sprache, die sich bei allem wissenschaftlichen Ernst doch immer in den Grenzen allgemeiner Verständlichkeit und allgemeinen Interesses hält.“

(Deutsche Literaturzeitung.)

Das Mittelmeergebiet. Von Dr. A. Philippson. Seine geographische und kulturelle Eigenart. 2. Aufl. Mit 9 Fig. im Text, 13 Ansichten u. 10 Karten auf 15 Tafeln. Geb. M. 7.—

„Von dem höchsten Standpunkte aus, auf den die heutige Wissenschaft den Forscher zu stellen vermag, läßt der Verfasser seinen Leser die unendliche, von nicht auszugeniehenden Reizen verklärte Mannigfaltigkeit der Naturerscheinungen am Mittelmeer überschauen.“

(Norddeutsche Allgemeine Zeitung.)

Ostasiensfahrt. Von Professor Dr. Franz Doflein. Erlebnisse und Beobachtungen eines Naturforschers in China, Japan und Ceylon. Mit zahlr. Abbild. und Karten. Geb. M. 13.—

„... Dofleins Ostasiensfahrt gehört zu den allerersten Reisebildungen, die Ref. überhaupt kennt. Es liegt eine solche Fülle feinsten Natur- und Menschenbeobachtung in dem Werk, über das Ganze ist ein solcher Zauber künstlerischer Auffassung gegossen, daß das Ganze nicht wie eine Reisebeschreibung wirkt, sondern wie ein Kunstwerk.“ (Die Umschau.)

Die Polarwelt und ihre Nachbarländer. Von Professor Dr. Otto Nordenfjöld. Mit 77 Abbildungen. Geb. M. 8.—

Weltreisebilder. Von Julius Meurer. Mit 116 Abb. sowie einer Weltkarte. Geb. M. 9.—

„... Ich möchte behaupten, daß der Meurer' unter Umständen bessere Dienste tun kann als der Baedeker.“ (Die Zeit.)

Lehrbuch der Physik. Von E. Grimsehl. Große Ausgabe. 2. Auflage. Mit 1296 Fig., 2 farb. Tafeln u. einem Anhang, enthaltend Tabellen physikalischer Konstanten und Zahlentabellen. gr. 8. 1912. Geb. M. 15.—, in Leinw. geb. M. 16.—

„Auch der gebildete Laie, der das Bedürfnis hat, auf Grund einer guten naturwissenschaftlichen Allgemeinausbildung seine physikalischen Kenntnisse zu vertiefen, wird das Buch mit Nutzen verwenden können. Mit einem Worte, das Buch verdient in wissenschaftlicher, methodischer und didaktischer Hinsicht volle Anerkennung.“ (Natur und Erziehung.)

Populäre Astrophysik. Von Dr. J. Scheiner. 2., ergänzte Auflage. Mit 30 Tafeln und 210 Figuren. gr. 8. 1912. In Leinw. geb. M. 14.—

„... Und soweit es überhaupt möglich ist, dem Laien einen Einblick in diese schwierige Materie zu erschließen, dürfte der Verfasser seine Aufgabe mit großer Geschicklichkeit gelöst haben. Der Vortrag Scheiners ist populärwissenschaftlich im besten Sinne: klar, eindringlich, frei von allen jetzt üblichen Mängeln der naturwissenschaftlichen Populärschriftstellererei. Vortreffliche Abbildungen unterstützen das Verständnis des vortrefflichen Textes.“ (Propyläen.)

„Das Buch ist zum mindesten für den Laien zu einem Kompendium der Astrophysik geworden. Sehr unterstützt wird der Text durch ein passend gewähltes und vorzüglich ausgeführtes Illustrationsmaterial.“ (Deutsche Literaturzeitung.)

Experimentelle Elektrizitätslehre, verbunden mit einer Einführung in die Maxwell'sche und die Elektronentheorie der Elektrizität und des Lichts. 2. Auflage. Mit 334 Abbildungen. gr. 8. 1910. In Leinwand geb. M. 12.—

„... Nur durch so echt wissenschaftliche Behandlung, also durch feste theoretische Fundierung, konnte auf so kleinem Raum so viel gebracht werden, und zwar so gebracht werden, daß man es bei der Lektüre wirklich 'erlebt'. Auch die prinzipiellen Seiten der technischen Anwendung sind sehr ausgiebig eingefügt, so daß das Buch gleichzeitig eine Einführung in die Elektrotechnik ist, wie es zurzeit kaum eine bessere in Deutschland gibt. Die Ausstattung ist dem Gehalte entsprechend.“ (H. E. Simon in der Physikalischen Zeitschrift.)

Wertvolle Jugendschriften

Deutsches Märchenbuch. Von Prof. Dr. Oskar Dähnhardt. Mit vielen Zeichnungen und farbigen Originallithographien von E. Kuithan und K. Mühlmeister. 2 Bände. [I. Band. 2. Auflage.] Geb. je M. 2.20.

Naturgeschichtliche Volksmärchen. Von Prof. Dr. Oskar Dähnhardt. 2 Bände. 3. Aufl. Mit Zeichnungen von O. Schwindraheim. Geb. je M. 2.40.

Schwänke aus aller Welt. Herausg. von Prof. Dr. Oskar Dähnhardt. Mit 52 Original-Abbildungen von A. Kolb. Geb. M. 3.—

Unsere Jungs. Von F. Gansberg und H. Eildermann. Geschichten für Stadtkinder. 2. Aufl. Geb. M. 1.50.

Deutsche Heldensagen. Von K. H. Keß. 2. Auflage von Dr. B. Busse. Mit Künstler-Steinzeichnungen von R. Engels. 2 Bände. Geb. je M. 3.—

Die Sagen des klassischen Altertums. Von H. W. Stoll. 6. Auflage. Neu bearbeitet von Dr. H. Lamer. 2 Bände mit 79 Abbildungen. Geb. je M. 3.60, in einem Bande M. 6.—

Die Götter des klassischen Altertums. Von H. W. Stoll. 8. Auflage. Neu bearbeitet von Dr. H. Lamer. Geb. M. 4.50.

Karl Kraepelins Naturstudien (m. Zeichnungen v. O. Schwindraheim). Im Hause (4. Aufl. Geb. M. 3.20); in Wald und Feld (3. Auflage. Geb. M. 3.60); in der Sommerfrische (Reiseplaudereien. 2. Auflage. Geb. M. 3.60); in fernen Zonen (Plaudereien in der Dämmerstunde. Geb. M. 3.60). Volksausgabe (Vom Hamburger Jugendschriften-Aus-schuß ausgewählt). 2. Auflage. Geb. M. 1.—

Streifzüge durch Wald und Flur. Eine Anleitung zur Beobachtung der heimischen Natur in Monatsbildern. Von Prof. Bernh. Landsberg. 4. Auflage. Mit 83 Abbildungen. Geb. M. 5.—

Hinaus in die Ferne! Zwei Wanderfahrten deutscher Jungen durch deutsche Lande, erzählt von Dr. E. Neuendorff. Geb. M. 3.20.

Natur-Paradoxe. Von Dr. C. Schäffer. 2. Auflage. Mit 3 Tafeln und 79 Abbildungen. Geb. M. 3.—

Der kleine Geometer. Von G. C. und W. H. Noug. Deutsch von S. und F. Bernstein. Mit 127 Abbildungen. Geb. M. 3.—

Naturwissenschaftliche Schülerbibliothek. Von Dr. Bastian Schmid. In dauerhaften Oktavbänden mit vielen Abbildungen. Preis eines jeden Bandes, wenn nicht anders angegeben, in Leinwand geb. M. 3.—

1—2. Physikalisches Experimentierbuch. Von H. Rebenstorff. 2 Teile. 3. An der See. Von Dr. P. Dahms. 4. Große Physik. Von Dr. H. Keferstein. 5. Himmelsbeobachtung mit bloßem Auge. Von Fr. Rusch. M. 3.50. 6—7. Geologisches Wanderbuch. Von K. G. Volk. 2 Teile. I. Teil M. 4.—. 8. Küstenwanderungen. Von Dr. V. Franz. 9. Anleitung zu photographischen Naturaufnahmen. Von G. E. F. Schulz. 10. Die Luftschiffahrt. Von Dr. R. Nimführ. 11. Vom Sünbaum zum Linienschiff. Von K. Radunz. 12. Vegetations-schilderungen. Von Dr. P. Graebner. 13. An der Werkbank. Von E. Gscheidlen. 14—15. Chemisches Experimentierbuch. Von Dr. K. Scheid. 2 Teile. I. Teil. 3. Auflage. II. Teil. Oberstufe in Vorbereitung. — Weitere Bände befinden sich in Vorbereitung.

Schaffen und Schauen

Zweite Auflage

Ein Führer ins Leben

Zweite Auflage

1. Band:

Von deutscher Art
und Arbeit



2. Band:

Des Menschen Sein
und Werden

Unter Mitwirkung von

R. Bürkner · J. Cohn · H. Dade · R. Deutsch · A. Dominicus · K. Dove · E. Fuchs
P. Klopfer · E. Koerber · O. Lyon · E. Maier · Gustav Maier · E. v. Maltzahn
† A. v. Reinhardt · F. A. Schmidt · O. Schnabel · G. Schwamborn
G. Steinhäusen · E. Teichmann · A. Thimm · E. Wentscher · A. Witting
G. Wolff · Th. Zielinski Mit 8 allegorischen Zeichnungen von Alois Kolb

Jeder Band in Leinwand gebunden M. 5.—

Nach übereinstimmendem Urteile von Männern des öffentlichen Lebens und der Schule, von Zeitungen und Zeitschriften der verschiedensten Richtungen löst „Schaffen und Schauen“ in erfolgreichster Weise die Aufgabe, die deutsche Jugend in die Wirklichkeit des Lebens einzuführen und sie doch in idealem Lichte sehen zu lehren.

Bei der Wahl des Berufes hat sich „Schaffen und Schauen“ als ein weitblickender Berater bewährt, der einen Überblick gewinnen läßt über all die Kräfte, die das Leben unseres Volkes und des Einzelnen in Staat, Wirtschaft und Technik, in Wissenschaft, Weltanschauung und Kunst bestimmen.

Zu tüchtigen Bürgern unsere gebildete deutsche Jugend werden zu lassen, kann „Schaffen und Schauen“ helfen, weil es nicht Kenntnis der Formen, sondern Einblick in das Wesen und Einsicht in die inneren Zusammenhänge unseres nationalen Lebens gibt und zeigt, wie mit ihm das Leben des Einzelnen aufs engste verflochten ist.

Im ersten Bande werden das deutsche Land als Boden deutscher Kultur, das deutsche Volk in seiner Eigenart, das Deutsche Reich in seinem Werden, die deutsche Volkswirtschaft nach ihren Grundlagen und in ihren wichtigsten Zweigen, der Staat und seine Aufgaben, für Wehr und Recht, für Bildung wie für Förderung und Ordnung des sozialen Lebens zu sorgen, die bedeutungsvollsten wirtschaftspolitischen Fragen und die wesentlichsten staatsbürgerlichen Bestrebungen, endlich die wichtigsten Berufsarten behandelt.

Im zweiten Bande werden erörtert die Stellung des Menschen in der Natur, die Grundbedingungen und Äußerungen seines Leiblichen und seines geistigen Daseins, das Werden unserer geistigen Kultur, Wesen und Aufgaben der wissenschaftlichen Forschung im Allgemeinen wie der Geistes- und Naturwissenschaften im besonderen, die Bedeutung der Philosophie, Religion und Kunst als Erfüllung tiefwurzelnder menschlicher Lebensbedürfnisse und endlich zusammenfassend die Gestaltung der Lebensführung auf den in dem Werke dargestellten Grundlagen.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Dr. R. Hesse

und

Dr. F. Doflein

Professor an der Landwirtschaftlichen
Hochschule in Berlin

Professor a. d. Universität u. II. Direktor
der Zoolog. Staatssammlung München

Tierbau und Tierleben in ihrem Zusammenhang betrachtet

2 Bände. Leg.-8.

Mit Abbildungen und Tafeln in Schwarz-, Bunt- und Lichtdruck.

In Original-Ganzleinen geb. je M. 20.—,
in Original-Halbfranz je M. 22.—.

I. Band: Der Tierkörper als selbständiger Organismus.
Von R. Hesse. Mit 480 Abbild. u. 15 Tafeln. [XVII u. 789 S.] 1910.

II. Band: Das Tier als Glied des Naturganzen. Von F. Doflein.
[Erscheint im Frühjahr 1912.]

Aus den Besprechungen:

... Das großangelegte und mit äußerster Gediegenheit gearbeitete Werk bringt uns endlich die längst zum Bedürfnis gewordene umfassende Darstellung des Tierreiches vom biologischen Standpunkte: die allseitige Darstellung des Zusammenhangs, welcher zwischen der Form eines Tieres und seiner Lebensweise, dem Bau eines Organs und seiner Tätigkeit besteht... Exakte Wissenschaftlichkeit verbindet sich hier mit klarster Vorstellung und sachlicher Behandlung der angeschnittenen Probleme. Und muster- gültig wie der Text sind auch die Illustrationen und die Ausstattung des Buches, das in Wahrheit ein 'schönes' Werk ist." (Die Propyläen.)

... Der erste Band von R. Hesse liegt vor, in prächtiger Ausstattung und mit so gebiegenem Inhalt, daß wir dem Verfasser für die Bewältigung seiner schwierigen Aufgabe aufrichtig dankbar sind. Jeder Zoologe und jeder Freund der Tierwelt wird dieses Werk mit Vergnügen studieren, denn die moderne zoologische Literatur weist kein Werk auf, welches in dieser großzügigen Weise alle Seiten des tierischen Organismus so eingehend behandelt. Hesses Werk wird sich bald einen Ehrenplatz in jeder biologischen Bibliothek erobern." (L. Plate im Archiv f. Natur- u. Gesellsch.-Biologie.)

... War Brehms Tierleben die reichillustrierte Bibel, mit deren Hilfe das deutsche Volk das Buchstabieren im großen, lebendigen Buche der Natur erkennen sollte, so könnten wir das Hesse-Dofleinsche Werk eine naturwissenschaftliche Bibel nennen, ein Volkslehrbuch, das nicht nur gelesen, sondern Seite für Seite ernstlich studiert sein will." (Verh. A. S. zool. bot. Gesellschaft, Wien.)

... Eine Zierde unserer naturwissenschaftlichen Literatur! Wir können das Werk seiner Originalität und seiner Vorzüge wegen nur warm empfehlen. Ganz besonders aber begrüßen wir sein Erscheinen auch im Interesse des naturgeschichtlichen Unterrichts. Mancher Lehrer ist in Verlegenheit, wo er sich das beste Material aus dem Gebiete der Tierkunde holen soll, da die Literatur immer mehr anschwillt. Hier bietet sich eine Fundgrube des dankbarsten und anregendsten Unterrichtsstoffes." (Professor G. Keller in der Neuen Zürcher Zeitung.)

... Ein Werk, das freudiges Aussehen erregen muß... Nicht im Sinne der landläufigen populär-wissenschaftlichen Bücher und Schriften, sondern wie ein Lehrer, der den Naturfreund ohne aufdringliche Gelehrsamkeit, aber doch in durchaus wissenschaftlichem Ernste behandelt, so wirkt Hesse in diesem Buch, das nicht warm genug empfohlen werden kann. Es wird mit seinen zahlreichen durchweg neuen Illustrationen, mit seinen vielen, auch den gebildeten Laien noch unbekanntem Einzelsforschungen und Aufschlüssen moderner Wissenschaft zu einem Buche werden müssen, das überall neben dem Brehm stehen soll." (Hamburger Fremdenblatt.)

Ausführl. Prospekt vom Verlag B. G. Teubner in Leipzig.

Künstlerischer Wandschmuck für das deutsche Haus

B. G. Teubners farbige Künstler-Steinzeichnungen

(Original-Lithographien) entsprechen allein vollwertig Original-Gemälden. Keine Reproduktion kann ihnen gleichkommen an künstlerischem Wert. Sie bilden den schönsten Zimmerschmuck und behaupten sich in vornehm ausgestatteten Räumen ebensogut, wie sie das einfachste Wohnzimmer schmücken.

Die Sammlung enthält ca. 180 Blätter der bedeutendsten Künstler, wie: Karl Banger, Karl Bauer, O. Bauriedl, F. Bedert, Artur Bendrat, Karl Biese, H. Eichrodt, Otto Sifentischer, Walter Georgi, Franz Hein, Franz Hoch, F. Hodler, F. Kallmorgen, Gustav Kampmann, Erich Kuithan, Otto Leiber, Ernst Liebermann, Emil Orlik, Maria Ortlieb, Sascha Schneider, W. Strich-Chapell, Hans von Volkmann, H. B. Wieland u. a.



„Von den Bilderunternehmungen der letzten Jahre, die der neuen ‚ästhetischen Bewegung‘ entsprungen sind, begrüßen wir eins mit ganz ungetrübter Freude: den ‚künstlerischen Wandschmuck für Schule und Haus‘, den die Firma B. G. Teubner in Leipzig herausgibt. . . Wir haben hier wirklich einmal ein aus warmer Liebe zur guten Sache mit rechtem Verständnis in ehrlichem Bemühen geschaffenes Unternehmen vor uns — fördern wir es, ihm und uns zu Nutz, nach Kräften!“
(Kunstwart.)

Vollständiger Katalog der Künstler-Steinzeichnungen mit farbiger Wiedergabe von ca. 180 Blättern gegen Einsend. von 40 Pf. (Ausland 50 Pf.) vom Verlag B. G. Teubner, Leipzig, Poststr. 3

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301559

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296030