

Schule der Pharmazie

Physikalischer Teil

bearbeitet

von

Dr. K. F. Jordan.

FREIHEIT IN BINDUNG

EX LIBRIS

LÖSETE DORN ZWANIG

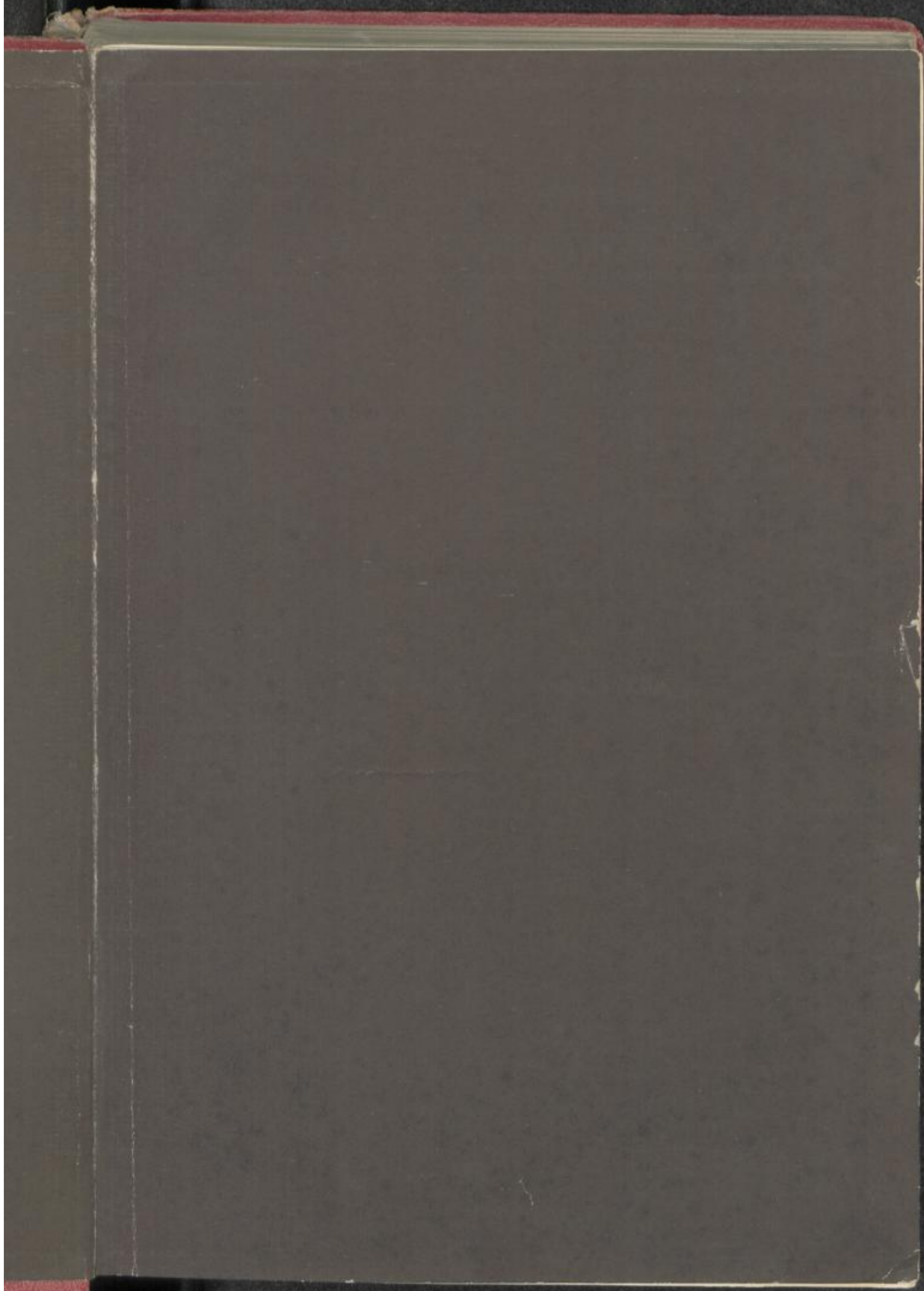


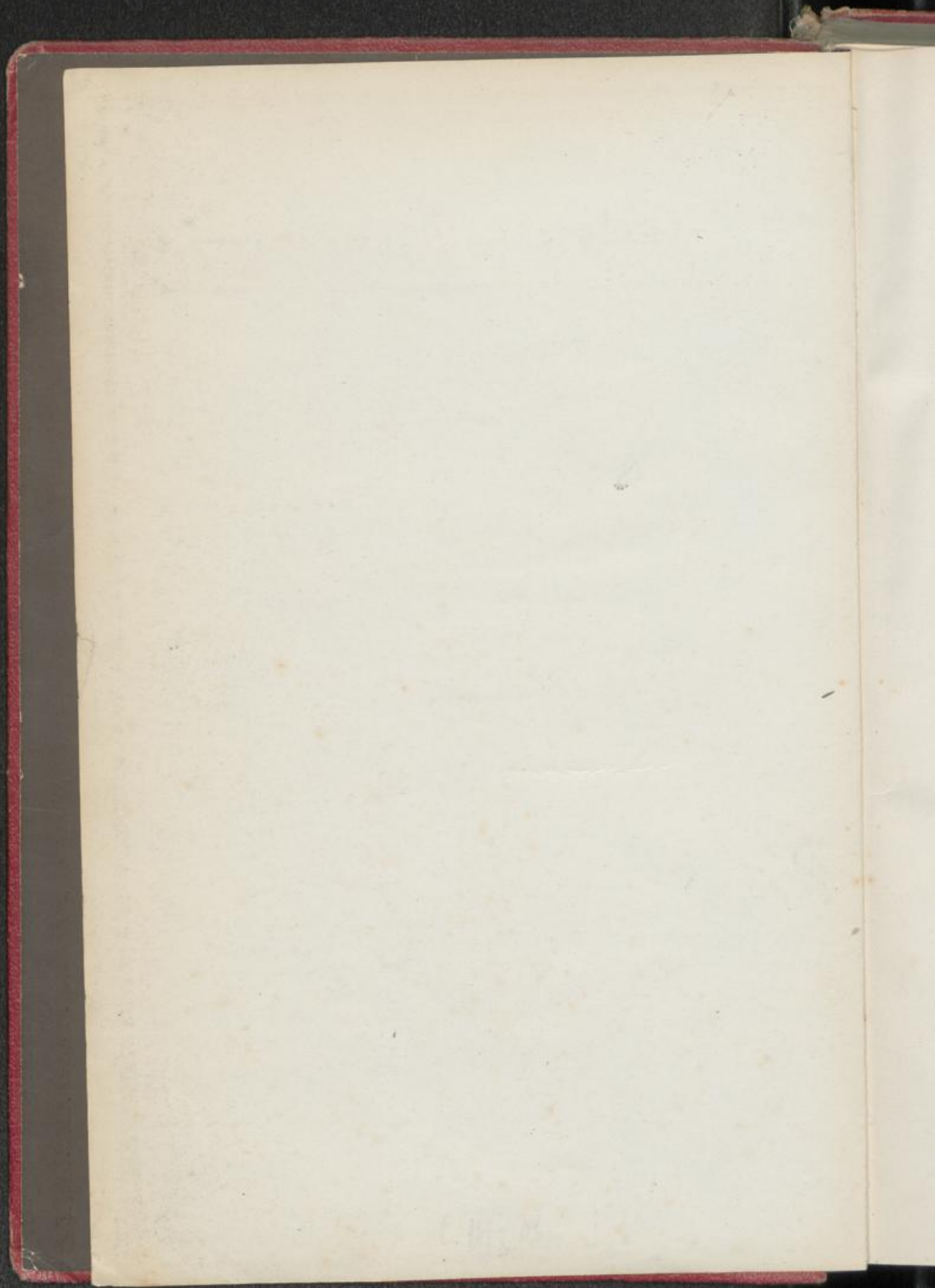
F. KLÄSENER / 1898

Dr. Helmut Bester

DV 333







Schule der Pharmazie

in 5 Bänden

herausgegeben von

Dr. J. Holfert†, Prof. Dr. H. Thoms, Dr. E. Mylius, Prof. Dr. E. Gilg,
Dr. K. F. Jordan.

Band I: Praktischer Teil. Bearbeitet von Dr. E. Mylius. Mit 122 in den Text gedruckten Abbildungen. Dritte, verbesserte Auflage. In Leinw. geb. Preis M. 4,—.

Band II: Chemischer Teil. Bearbeitet von Prof. Dr. H. Thoms. Mit 83 in den Text gedruckten Abbildungen. Dritte, verbesserte Auflage. In Leinw. geb. Preis M. 7,—.

Band III: Physikalischer Teil. Bearbeitet von Dr. K. F. Jordan. Mit 145 in den Text gedruckten Abbildungen. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. In Leinw. geb. Preis M. 4,—.

Band IV: Botanischer Teil. Bearbeitet von Prof. Dr. E. Gilg. Mit 556 in den Text gedruckten Abbildungen. Dritte, stark vermehrte und verbesserte Auflage. In Leinw. geb. Preis M. 8,—.

Band V: Warenkunde. Bearbeitet von Prof. Dr. H. Thoms und Prof. Dr. E. Gilg. Mit 216 in den Text gedruckten Abbildungen. Dritte, völlig umgearbeitete Auflage. In Leinw. geb. Preis M. 8,—.

☛ *Jeder Band ist einzeln käuflich.* ☛

Daß die Schule der Pharmazie sich ihren Platz als bevorzugtestes Lehrbuch für Anfänger in der pharmazeutischen Literatur gesichert hat, beweisen die neuen Auflagen, welche in verhältnismäßig kurzen Zwischenräumen notwendig geworden sind. Sämtliche fünf Bände liegen jetzt in dritter Auflage vor.

Dieser Erfolg ist ohne Zweifel dem Umstande zuzuschreiben, daß das Buch den gesamten Lehrstoff, dessen Beherrschung im Gehilfenexamen gefordert wird, nicht etwa in trockener Wiedergabe enthält, sondern denselben in anschaulicher und leichtfaßlicher

Diktion behandelt und dadurch den Vorzug genießt, von den jungen Fachgenossen mit Lust und Liebe durchstudiert zu werden.

Die seit Erscheinen der ersten Auflage bei dem Gebrauche des Buches gemachten Erfahrungen haben den Verfassern die Überzeugung verschafft, daß in der Anlage des Buches das Richtige getroffen wurde, und was im einzelnen daran verbesserungs- und ergänzungsbedürftig ist, wird durch den ständigen Gedankenaustausch der Verfasser mit den nach diesem Lehrbuch Lehrenden und Lernenden bei der Neuauflage jedes einzelnen Bandes auf das sorgfältigste berücksichtigt.

So wird das Buch, wie es bisher geschehen, dauernd seinen beiden Zwecken in vollem Maße entsprechen können, indem es einerseits dem Lehrherrn Leitfaden und Grundlage für den persönlich zu erteilenden Unterricht ist, und andererseits da, wo der Lehrling der persönlichen Unterweisung etwa entbehrt, durch seine induktive Behandlung des Lehrstoffes tunlichst Ersatz dafür bietet.

Entsprechend dem Entwicklungsgange des jungen Pharmazeuten, dessen Tätigkeit zunächst die praktische ist, beginnt der erste Band der Schule der Pharmazie mit dem praktischen Teil, in welchem alles das erörtert ist, was der Anfänger an Kunstgriffen erlernen muß, um die Arzneistoffe der Apotheke kunstgerecht zu verarbeiten und zu verabfolgen und mit den dazu nötigen Gerätschaften regelrecht umgehen zu können. Die unleugbare Abnahme der eigentlichen Laboratoriumstätigkeit in den Apotheken und andererseits die Zunahme der kaufmännischen Berufstätigkeit des Apothekers erforderten eine ganz besonders eingehende Behandlung des praktischen Teiles und die völlige Abtrennung desselben von dem übrigen Lehrstoff.

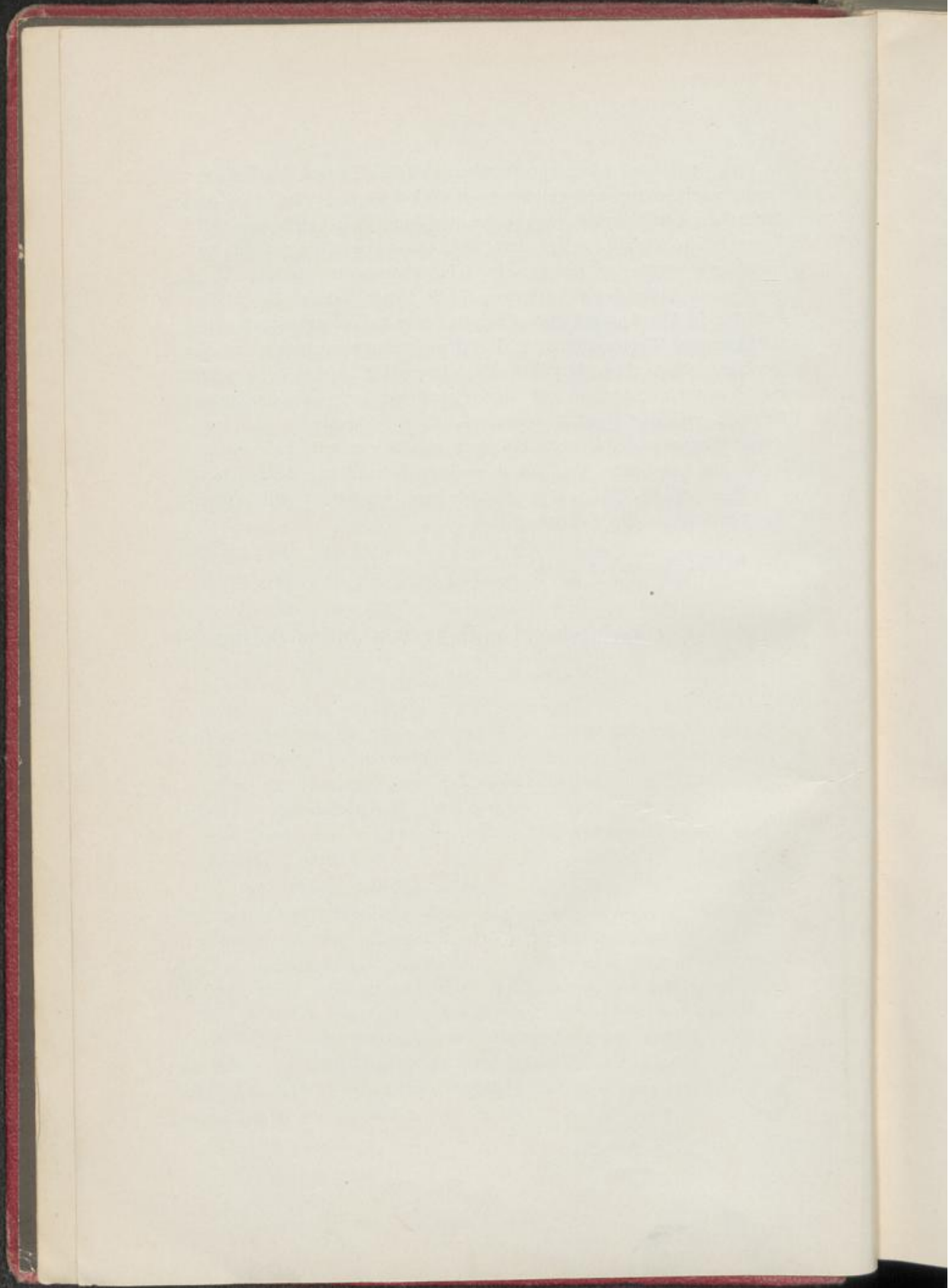
In den wissenschaftlichen Teilen haben die Verfasser von einer monographischen Behandlung der einzelnen Kapitel oder gar der Prüfungsaufgaben abgesehen und unter Vermeidung aller überflüssigen Gelehrsamkeit dem Lernenden ein klares Gesamtbild der einzelnen Wissenszweige mit steter Bezugnahme auf alles pharmazeutisch Wichtige gegeben. Die Verfasser waren besonders bemüht, in möglichst leichtverständlicher Ausdrucksweise, vom Leichten zum Schweren aufsteigend, die drei Hilfswissenschaften der Pharmazie: Chemie, Physik und Botanik, in ihren Grundzügen dem Anfänger klar zu machen.

An Stelle des pharmakognostischen Teiles ließen die Verfasser einen solchen treten, welcher sich Warenkunde betitelt, und der neben der Kennzeichnung, Prüfung und Wertbestimmung der Vegetabilien auch diejenige der Chemikalien zum Gegenstande hat. Hierdurch wurde es ohne viele Wiederholungen ermöglicht, im chemischen Teile des Eingehens auf die handelsmäßige Beschaffenheit der in den Apotheken vorrätigen Chemikalien zu entraten und Prüfung und Wertbestimmung derselben zusammenhängend zu behandeln. Dies sind dieselben Gesichtspunkte, welche ja schon von jeher eine Abtrennung der Pharmakognosie als besondere Disziplin von der Botanik veranlaßt haben. Chemische und botanische Warenkunde, letztere Pharmakognosie genannt, haben somit in diesem Lehrbuche eine völlig analoge Behandlung gefunden.

Eine große Zahl guter Abbildungen erleichtert mit Vorteil das Verständnis des Lehrganges.

Berlin, November 1904.

Verlagsbuchhandlung von Julius Springer.



Schule der Pharmazie.

Herausgegeben von

Dr. J. Holfert†, Dr. H. Thoms, Dr. E. Mylius, Dr. E. Gilg,
Dr. K. F. Jordan.

III.

Physikalischer Teil.

Bearbeitet

von

Dr. K. F. Jordan.

Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage.

Mit 145 in den Text gedruckten Abbildungen.

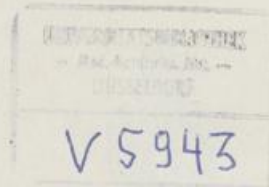


Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1905.

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



Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Vorwort zur ersten Auflage.

Drei Gesichtspunkte waren es, die mich bei der Abfassung des vorliegenden Grundrisses leiteten. Sie sind: 1. Schaffung einer zusammenhängenden und doch kurzen Darstellung der Lehren der Physik und ihrer wichtigeren Anwendungen; 2. Darbietung des für den Apothekerlehrling Notwendigen und Wünschenswerten in ausreichendem Umfange; 3. verständliche Behandlung des Vorgetragenen.

Was den ersten Punkt anbetrifft, so diene zu seiner näheren Begründung, daß die „Schule der Pharmazie“ nicht nur als Unterlage für die unmittelbare Vorbereitung zum Examen dienen, sondern ein Werk sein soll, aus dem der angehende Apotheker wahrhaft gründlich und allseitig lernen kann und das ihm stets ein treuer Ratgeber in allen seinen Beruf betreffenden Fragen ist. Wenn nun auch eine Übersicht über das gesamte Gebiet der Physik geboten werden sollte, in welcher die neuesten, besonders theoretisch wichtigen Forschungen nicht übergangen werden durften, so mußte doch in Anbetracht des besonderen Zweckes, den das Werk verfolgt, auf gewisse Abschnitte und Kapitel der Physik der Nachdruck gelegt werden; sie mußten eine eingehendere und ausführlichere Behandlung erfahren.

Hiermit ist der zweite der obengenannten Gesichtspunkte gerechtfertigt. An dem Umfange der einzelnen Teile des Buches wird der Leser beurteilen können, in welchem Maße diesem Gesichtspunkte Genüge geschehen ist. Die einleitenden Kapitel (1. Materie und Kraft; Trägheit und Reibung; 2. Allgemeine Eigenschaften der Körper) sowie die Mechanik (4. Allgemeine Mechanik; 5. Mechanik der festen, 6. der flüssigen und 7. der luftförmigen Körper) sind besonders ausführlich bedacht worden, weil in ihnen die grundlegenden Tatsachen, Gesetze und Theorien der Physik zu finden sind, mannigfache Apparate zur Beschreibung und Erklärung

gelangen, die für den Apotheker von Wichtigkeit sind, und gewisse Operationen, die zur pharmazeutischen Tätigkeit gehören, erörtert werden. Daß die Akustik und die Lehre vom Magnetismus nur knapp gefaßt wurden, bedarf wohl keiner weiteren Begründung. Auch der Umfang der übrigen Teile des Buches rechtfertigt sich von selbst.

Der dritte Gesichtspunkt: die verständliche Behandlung des Vorgetragenen, lag mir besonders am Herzen, da kein bloßer Leitfaden noch ein Repetitorium, sondern eine „Schule“ der einschlägigen Wissenschaften geliefert werden sollte; eine besondere Schwierigkeit lag hier darin, bei aller Kürze und Vollständigkeit doch einer derartigen Darstellung sich zu befleißigen, daß der Apothekerlehrling auch ohne Inanspruchnahme fremder Hilfe und fremden Rates volle Klarheit über die gesamte Disziplin und ausreichende Einsicht in alle vorgetragenen Einzelheiten gewinnt. Möchte es mir gelungen sein, gerade diese Schwierigkeit recht überwunden zu haben! Nicht immer konnte ich, wie ich es gern gemocht hätte, von der eingehenden Besprechung besonderer Versuche ausgehen, um den Lernenden zur Erkenntnis der Gesetze emporzuführen; dazu war der mir zur Verfügung stehende Raum zu gering. Doch habe ich es mir angelegen sein lassen, auch da, wo ich ein Gesetz, eine Wahrheit nur kurz hinstellte, sie in klarer und ausreichender Darstellung vorzuführen.

Über die Einteilung des gesamten Stoffes in 15 Kapitel möchte ich noch einige Worte sagen. Diese hohe Zahl kam besonders dadurch zustande, daß ich von vornherein die Elektrizitätslehre in drei Teile auseinanderlegte; ich halte das für durchaus angebracht, da dieselben voneinander ungefähr in demselben Maße verschieden sind, wie die Lehre des Magnetismus von ihnen. Daß ich ferner die Mechanik nicht in Statik und Dynamik trennte, rechtfertigt sich so, daß die Ruhelage nur ein besonderer Fall der Bewegung ist (Geschwindigkeit = 0); die Einteilung in allgemeine Mechanik und Mechanik der festen, der flüssigen und der luftförmigen Körper verdient vor jener den Vorzug. Für notwendig hielt ich es, der Akustik und Optik ein besonderes Kapitel über den Stoß elastischer Körper und die Wellenbewegung voranzustellen.

Berlin, Juni 1893.

Karl Friedr. Jordan.

Vorwort zur dritten Auflage.

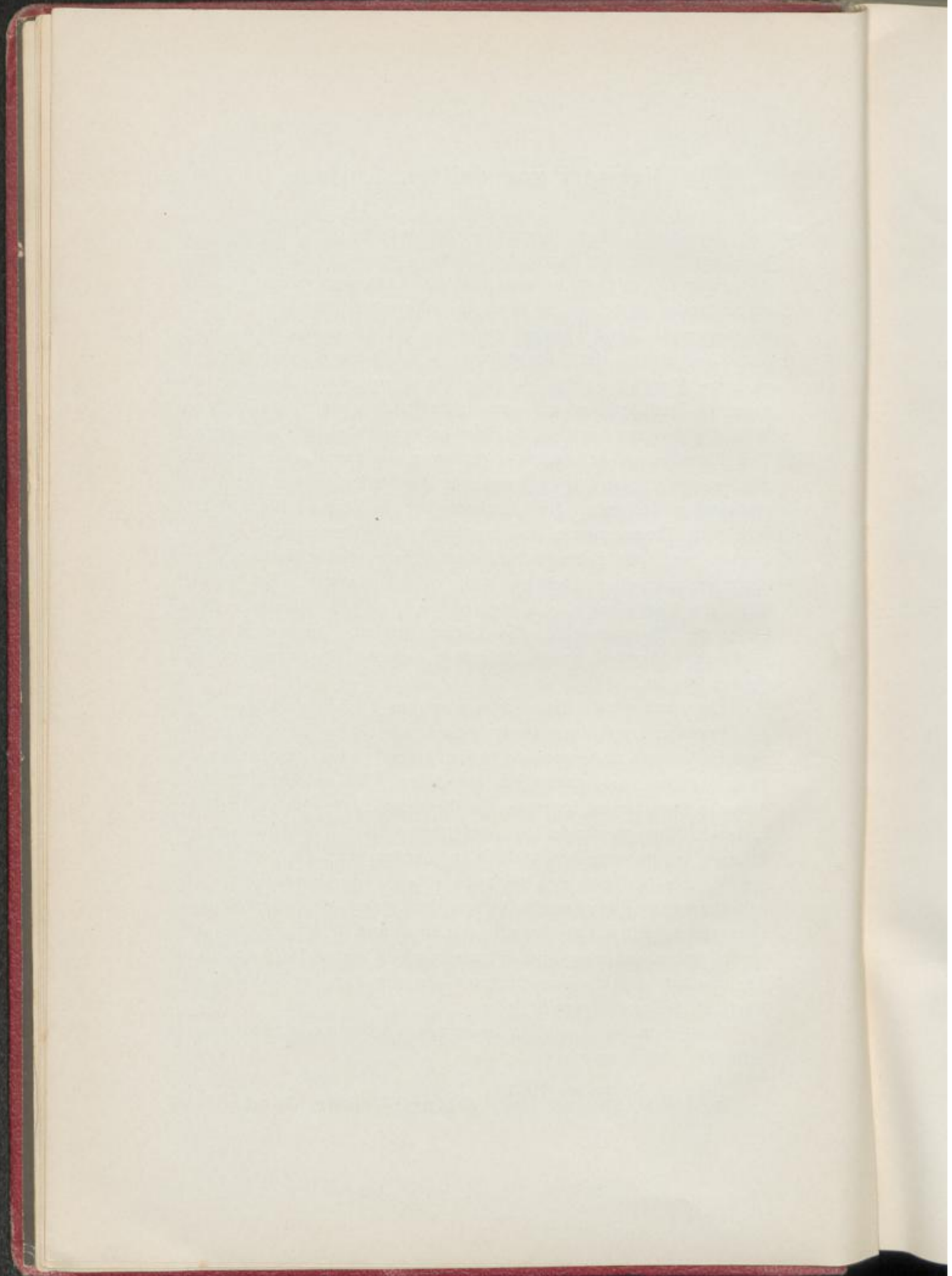
Wenngleich die vorliegende dritte Auflage des „Physikalischen Teils der Schule der Pharmazie“ keine so weitgehende Vermehrung des äußeren Umfangs aufweist, wie sie bei der zweiten Auflage stattgefunden hatte, so ist doch an zahlreichen Stellen des Buches die bessernde Hand angelegt worden. Vor allem wurde wiederum eine Vertiefung der Darstellung vorgenommen und auf die moderne Forschung und die aus ihr gewonnenen Anschauungen abermals ausführlicher und gründlicher eingegangen. Eine Durchsicht des Registers dürfte die Reichhaltigkeit des Inhalts bezeugen. Von Einzelheiten, die teils eingehender behandelt, teils neu aufgenommen wurden, seien erwähnt: die Reflexion des Lichtes an sphärischen Spiegeln, die Lichtbrechung in Linsen, die Lumineszenz, die Thermometrie, die mechanische Wärmetheorie, der Entropiebegriff, die Lehre vom Potential, die elektrostatischen und elektromagnetischen Einheiten, die Akkumulatoren, das Bremerlicht, die Nernstlampe, die elektrische Uhr, die elektrische Eisenbahn, die Wechselströme, die Radiumstrahlen. Auch eine Anzahl neuer Abbildungen wurde eingefügt, einige alte wurden durch bessere ersetzt.

Eine Änderung, die nicht unerwähnt bleiben darf, besteht in der Fortlassung einiger theoretischer Ansichten, die ich in der zweiten Auflage im Gegensatz zu den herrschenden entwickelt hatte, ohne übrigens die letzteren zu übergehen. Ich entschloß mich zu dieser Änderung im Interesse der Lernenden, für die ja das Buch in erster Linie bestimmt ist, gedenke aber meine Anschauungen in einer besonderen Druckschrift im Zusammenhange zu veröffentlichen. Sie beziehen sich hauptsächlich auf die Heranziehung der Ätherhypothese zur mechanischen Erklärung der verschiedenen Kraftwirkungen, auf die Begriffe von Kraft und Arbeit, die Annahme besonderer chemischer und Wärme-Strahlen sowie die magnetische Theorie des elektrischen Stromes, die der Faraday-Maxwellschen Kraftlinien-Theorie parallel geht.

Möge dem Buche auch in dieser neuen Auflage eine wohlwollende Aufnahme zuteil werden!

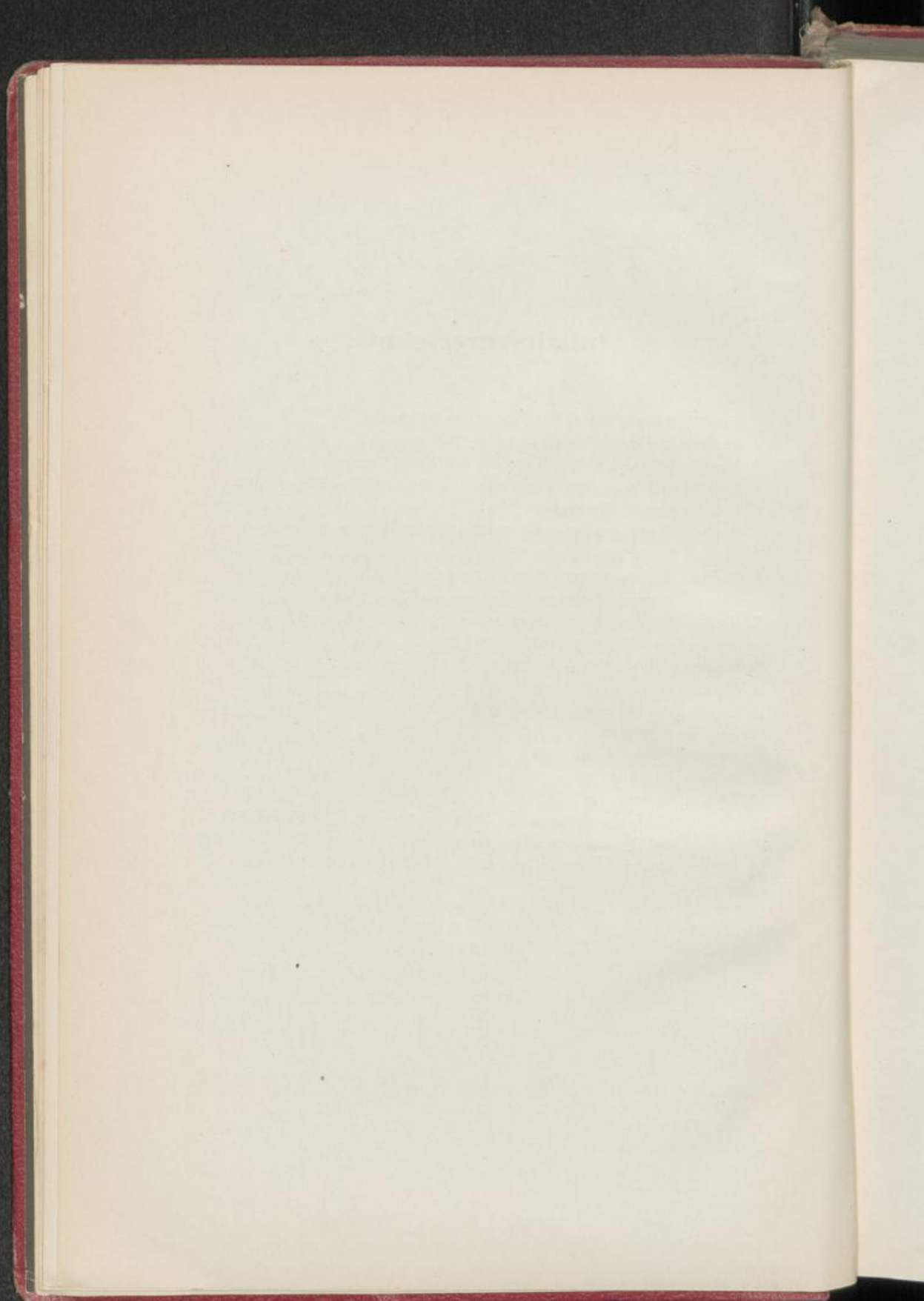
Berlin, November 1904.

Karl Friedr. Jordan.



Inhaltsverzeichnis.

| | Seite |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1. Kapitel: Materie und Kraft; Trägheit und Reibung | 1 |
| 2. Kapitel: Allgemeine Eigenschaften der Körper | 7 |
| 3. Kapitel: Kristallographie (Lehre von den Kristallformen) | 21 |
| 4. Kapitel: Wirkungen der Schwerkraft auf alle Arten von Körpern (Allgemeine Mechanik) | 32 |
| 5. Kapitel: Wirkungen der Schwerkraft auf feste Körper (Mechanik der festen Körper) | 51 |
| 6. Kapitel: Wirkungen der Schwerkraft auf flüssige Körper (Mechanik der flüssigen Körper oder Hydromechanik) | 67 |
| 7. Kapitel: Wirkungen der Schwerkraft auf luftförmige Körper (Mechanik der luftförmigen Körper oder Pneumatik) | 86 |
| 8. Kapitel: Stoß elastischer Körper und Wellenbewegung | 106 |
| 9. Kapitel: Die Lehre vom Schall (Akustik) | 112 |
| 10. Kapitel: Die Lehre vom Licht (Optik) | 119 |
| 11. Kapitel: Wärmelehre | 166 |
| 12. Kapitel: Reibungselektrizität | 200 |
| 13. Kapitel: Magnetismus | 217 |
| 14. Kapitel: Galvanismus | 223 |
| 15. Kapitel: Elektromagnetismus und Magnetoelektrizität; Elektrodynamik und Dynamoelektrizität; Thermo- und Pyroelektrizität | 251 |
| 16. Kapitel: Elektrische Wellen und Strahlen und Radioaktivität | 266 |
| Sachregister | 273 |



1. Materie und Kraft; Trägheit und Reibung.

Physik. Die Physik ist die Lehre von den allgemeinen Eigenschaften und Bewegungs-Erscheinungen der Materie und den sie bewirkenden Kräften.

Hierin liegt ausgesprochen, daß eine Betrachtung der besonderen Bewegungs-Erscheinungen, wie wir sie im Gebiete der belebten Natur antreffen (z. B. der Wachstumsvorgänge, der Bewegungen von Pflanzenteilen unter dem Einflusse des Lichts u. dgl. m.), nicht zu den Aufgaben der Physik gehört. Aber auch mit denjenigen Vorgängen im Bereiche des Unorganischen hat es die Physik nicht zu tun, bei denen es sich um stoffliche Veränderungen der Körper handelt; sie gehören ins Gebiet der Chemie, die übrigens eine der Physik nahe verwandte Wissenschaft und nicht immer leicht von ihr zu trennen ist.

Materie. Die Materie (oder der Stoff) ist durch drei Grundeigenschaften gekennzeichnet; diese sind: 1. die Raumerfüllung (Ausdehnung), 2. die Undurchdringlichkeit seitens anderer Materie und 3. die Fähigkeit einer Änderung der räumlichen Lage (die Bewegungsfähigkeit).

Kraft. Mit dem Worte Kraft bezeichnet man die Ursache einer Änderung des Bewegungszustandes eines Körpers. — Als Bewegungszustand ist nicht nur eine Bewegung irgend welcher Art, sondern auch die Ruhe — als Abwesenheit jeglicher Bewegung (Geschwindigkeit = 0, vgl. S. 3) — aufzufassen. Ein Körper (im physikalischen Sinne) ist ein bestimmter Mengenteil der gesamten Materie, der als ein in gewissem Maße einheitliches Wesen — als Individuum — erscheint.

Zu der Annahme von Kräften sind wir durch unsere Kausalanschauung genötigt. Da unser Denken nämlich (gemäß dieser Anschauung) für jedes Geschehnis ein anderes verlangt, durch welches es hervorgerufen wird, sowie

ein weiteres, das eine Folge von ihm ist — oder kürzer: da wir uns keine Wirkung ohne Ursache und keine Ursache ohne Wirkung denken können,¹⁾ so muß auch jede Änderung (und damit Neugestaltung) des Bewegungszustandes, den ein Körper hat, durch irgend etwas verursacht werden; dieses Etwas nennt man Kraft. Damit ist über das Wesen, über die innere Natur der Kräfte nichts entschieden. Man wird gut tun, dies festzuhalten und sich nicht vorschnell metaphysischen Vorstellungen von dem Wesen der Kräfte hinzugeben. —

Trägheit oder Beharrungsvermögen der Körper. Wie einerseits durch die Einwirkung einer Kraft auf einen Körper eine Änderung in dem Bewegungszustande des letzteren hervorgebracht wird, so verharrt andererseits ein Körper, auf den keine Kraft einwirkt, unverändert in dem Bewegungszustande, den er gerade hat. — Es ist dies nur die andere Seite der soeben angegebenen Folgerung aus dem Grundsatz der Kausalität. Trotzdem bezeichnet man die Eigenschaft der Körper, ohne die Einwirkung einer ändernden Kraft in ihrem jeweiligen Bewegungszustande zu verharren (da sie vielfach von besonderer Bedeutung ist), mit einem eigenen Namen: nämlich als das Beharrungsvermögen oder die Trägheit der Körper, und man spricht demgemäß von einem Beharrungs- oder Trägheitsgesetz — als einem Grundgesetz der Physik. — Dasselbe wurde von Galileo Galilei, einem italienischen Physiker (1564—1642), im Jahre 1638 aufgestellt. Erst auf Grund dieses Gesetzes ist eine richtige Erklärung des freien Falls, der Schwerkraft, der Pendelschwingungen, der Planetenbewegung usw. möglich.

Wir können demselben folgende Fassung geben:

(Beharrungs- oder Trägheitsgesetz.) Jeder Körper behält den Bewegungszustand, den er in irgend einem Momente hat, nach Richtung und Geschwindigkeit unverändert bei, solange keine äußere Kraft (ändernd) auf ihn einwirkt.

Dieses Gesetz läßt sich in folgende zwei Teile zerlegen:

- a) Jeder in Ruhe befindliche Körper bleibt so lange in Ruhe, bis er durch eine äußere Kraft in Bewegung gesetzt wird;
- b) jeder in Bewegung befindliche Körper behält seine Bewegung nach Richtung und Geschwindigkeit so lange unverändert bei, bis eine äußere Kraft ihn daran hindert.

¹⁾ Das vollständige Kausalgesetz sagt noch etwas mehr aus, nämlich, daß jede Wirkung eine bestimmte Ursache hat, mit der sie notwendig verbunden ist, so daß auf dieselbe keine andere Wirkung folgen kann. Der Physiker und Philosoph Fechner hat dem Kausalgesetz folgende Fassung gegeben: Unter gleichen Bedingungen treten jedesmal gleiche Folgen ein, unter abgeänderten Bedingungen abgeänderte Folgen.

Hier ist der Ausdruck Geschwindigkeit zu erklären. Die Definition desselben ist aber je nach der Art der Bewegung, die ein Körper ausführt, verschieden. Daher treten wir zugleich an eine Betrachtung der verschiedenen Arten der Bewegung der Körper heran.

Arten der Bewegung und Geschwindigkeit. Je nachdem, ob die von einem bewegten Körper während einer Anzahl von Zeiteinheiten in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege fortwährend die gleichen sind oder nicht, unterscheidet man zwei Arten der Bewegung: die gleichförmige und die ungleichförmige Bewegung.

Bewegt sich ein Körper gleichförmig, so ist seine Geschwindigkeit der Weg, den er in der Zeiteinheit (Sekunde, Minute, Stunde usw.) zurücklegt.

Die Geschwindigkeit eines gleichförmig bewegten Körpers ist nach dem Gesagten fortdauernd dieselbe.

Führt ein Körper eine ungleichförmige Bewegung aus, so ist seine Geschwindigkeit in irgend einem Moment der Weg, den er in der folgenden Zeiteinheit zurücklegen würde, wenn er sich von diesem Momente an gleichförmig weiterbewegte. — Die Geschwindigkeit ist bei der ungleichförmigen Bewegung in jedem Moment eine andere; sie kann zu- oder abnehmen.

Nimmt die Geschwindigkeit fortwährend zu, so heißt die Bewegung eine beschleunigte; nimmt die Geschwindigkeit fortwährend ab, so heißt die Bewegung eine verzögerte. Die Zunahme der Geschwindigkeit in der Zeiteinheit (gewöhnlich: in der Sekunde) heißt Beschleunigung, die Abnahme Verzögerung (negative Beschleunigung). Ist die Beschleunigung oder Verzögerung in jeder Zeiteinheit dieselbe, so bezeichnet man die Bewegung als gleichmäßig beschleunigte oder gleichmäßig verzögerte.

Der Weg, den ein gleichförmig bewegter Körper zurücklegt, ändert sich genau entsprechend der Zeit, in der er durchlaufen wird: Ist die Zeit 2, 3, 4 . . . xmal so lang, so ist auch der Weg 2, 3, 4 . . . xmal so groß. Anders ausgedrückt: Bei der gleichförmigen Bewegung ist der Weg proportional der Zeit.

Bezeichnet man den Weg, der in t Sekunden zurückgelegt wird, mit s , die Geschwindigkeit (in der Sekunde) mit v , so ist:

$$s = v \cdot t \quad (1).$$

Die Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung werden bei der Betrachtung des freien Falls der Körper (als des hervorragendsten Bei-

spiels einer solchen Bewegung) besprochen werden. (Vgl. Kapitel 4: „Wirkungen der Schwerkraft auf alle Arten von Körpern“.)

Beschleunigungswiderstand. Nach der Ansicht mancher Physiker setzt dem Trägheitsgesetze zufolge ein Körper jeder Kraft, welche seinen Bewegungszustand zu ändern strebt, einen Widerstand entgegen. Das Beharrungsvermögen oder die Trägheit der Körper würde dann auf diesem Widerstande beruhen oder gar in ihm bestehen. Da nun die Änderung des Bewegungszustandes sich in einer Zunahme oder Abnahme der Geschwindigkeit, das heißt also in einer Beschleunigung oder Verzögerung oder: einer positiven oder negativen Beschleunigung zeigt, während gegen eine gleichförmige Bewegung seitens der Trägheit kein Widerstand ausgeübt wird, so hat man den Trägheitswiderstand zum Unterschiede von anderen Widerständen (z. B. dem Luftwiderstande, den ein fallender Körper erfährt, oder der Reibung, die an der Grenze zweier sich gegeneinander bewegendes Körper auftritt) auch Beschleunigungswiderstand genannt. — Aber ein solcher Widerstand, der nur zeitweise in der Materie wirksam sein soll, nämlich nur dann, wenn äußere Kräfte auf sie einwirken, ist nicht annehmbar. Zudem müßte ein Widerstand, der doch einer Kraft entgegenwirkt, selbst eine Kraft sein; wir würden also mit dem Trägheitswiderstande von vornherein eine Kraft in der Materie annehmen, ehe wir noch durch unsere Kausalanschauung zu einer Annahme von Kräften genötigt wären.

Wirkungen des Beharrungsvermögens. a) Wird ein mit Wasser gefülltes Glas plötzlich und schnell in wagerechter Richtung fortbewegt, so schwappt das Wasser in der entgegengesetzten Richtung über den Rand des Glases (indem es an dem zuvor von ihm im Raume eingenommenen Platze zu verharren strebt). Fortziehen eines Bogens Papier oder eines Tuches unter Gegenständen, die darauf stehen. Rückt ein Wagen plötzlich an, so fallen oder kippen die darin befindlichen Personen nach hinten zurück; das gleiche geschieht, wenn ein Boot, worin jemand steht, vom Lande abstößt. Festklopfen eines Hammerstiels auf die Weise, daß man den Hammer mit dem Kopf nach unten hält und auf das obere Ende des Stiels kurze Schläge führt. Entfernen der Asche von einer Zigarre durch kurzes Daraufklopfen mit dem Finger. — Das Ausgleiten (insbesondere beim Schlittschuhlaufen, wenn man angerannt wird); hierbei erhalten die Füße plötzlich eine schnellere Bewegung als der Oberkörper, so daß dieser zurückbleibt, sich nicht mehr im Gleichgewicht über den Füßen befindet und ein Hinfallen möglich ist. Ein sich in Bewegung setzender Eisenbahnzug erlangt seine Fahrgeschwindigkeit nicht sofort, sondern erst nach und nach. Ähnliches gilt von dem Schwungrad einer Maschine, das erst still stand und nun in Umdrehung versetzt wird.

b) Wird ein mit Wasser gefülltes, gleichförmig fortbewegtes Glas plötzlich angehalten, so schwappt das Wasser in der Richtung über den Rand des Glases, in welcher letzteres zuvor bewegt wurde (es setzt das Wasser die innegehabte Bewegung fort). Wird ein Bogen Papier oder ein Tuch, worauf sich eine Kugel oder ein walzenförmiger Körper befindet, in Bewegung gesetzt und dann plötzlich angehalten, so rollt die Kugel oder der walzenförmige Körper weiter. Hält ein Wagen plötzlich an oder stößt ein Boot ans Ufer, so fallen die darin be-

findlichen Personen ganz oder nur mit dem Oberkörper vorwärts. Festklopfen eines Hammerstiels auf die Weise, daß man den Kopf des Hammers nach oben hält und das Ende des Stiels auf eine feste Unterlage mehrmals kräftig aufstößt. Abschleudern der Asche von einer Zigarre. Ausspritzen der Tinte aus einer Feder. — Ein Schlittschuhläufer, der auf eine Sandstelle gerät, fällt nach vorn. Das Stolpern. Das Hinfallen beim Abspringen von einem in der Fahrt befindlichen Wagen der elektrischen Straßenbahn (die Füße werden, sowie sie den ruhenden Erdboden berühren, festgehalten, während der Oberkörper die innegehabte Bewegung fortsetzt; läuft man ein Stück mit dem Wagen mit oder biegt man den Oberkörper nachdrücklich nach hinten über, so kann man das Hinfallen vermeiden; man muß stets mit dem Gesicht nach vorn abspringen). — Wenn ein Eisenbahnzug in einen Bahnhof einfährt und daselbst anhalten soll, so unterbricht man die Arbeit der Lokomotive schon eine Strecke vor dem Bahnhof, weil die Bewegung des Zuges (auch ohne die Tätigkeit der Lokomotive) noch eine Weile andauert; und schließlich muß der Zug gebremst werden, um vollständig zum Stillstand zu kommen. Das Schwungrad einer Maschine setzt seine Umdrehung noch eine Weile fort, nachdem die Kraft, welche die Maschine treibt, zu wirken aufgehört hat. — Auf einen Pfeil, den man aus einer Armbrust abschießt, wirkt die Sehne, auf das Geschoß einer Feuerwaffe die Kraft der Pulvergase nur kurze Zeit; aber Pfeil und Geschoß beharren in der Bewegung, die ihnen mitgeteilt ist, noch längere Zeit nachher.

Damit einem Körper eine Bewegung mitgeteilt oder genommen werde, ist eine gewisse Zeit erforderlich, während welcher die den Bewegungszustand ändernde äußere Kraft auf den Körper einwirkt. Aus diesem Grunde muß z. B. das in Ruhe befindliche Glas mit Wasser plötzlich in Bewegung gesetzt werden, wenn das Wasser überschwappen soll, weil sonst die Bewegung des Glases sich auf das Wasser übertragen würde, so daß dieses die Bewegung des Glases mitzumachen instande wäre. Es kommt hierbei noch eine andere Art von Umständen in Betracht, die aber erst an späterer Stelle verständlich gemacht werden kann. — Aus dem Gesagten geht hervor, daß es, streng genommen, keine momentan oder augenblicklich wirkende Kraft gibt. Trotzdem wird von momentanen Kräften gesprochen; es werden darunter solche Kräfte verstanden, die nicht eine Anzahl von Zeiteinheiten hindurch in stets der gleichen Weise auf einen Körper einwirken. (Siehe Kapitel 4, Abschnitt: „Arten der Kräfte“.)

Erlöschen der Bewegungen. Die Tatsache, daß alle Bewegungen auf der Erde schließlich doch ein Ende nehmen, erklärt sich daraus, daß ihnen die (schon erwähnten) Kräfte der Reibung und des Luftwiderstandes entgegenwirken.

Reibung. Die Reibung ist der Widerstand, den die Bewegung eines Körpers erfährt, der einen anderen Körper berührt, welcher die Bewegung des ersteren entweder gar nicht oder nicht in derselben Weise (mit derselben Geschwindigkeit) mitmacht. Sie wird dadurch hervorgerufen, daß die Erhabenheiten einer jeden der aneinander reibenden Flächen in die Vertiefungen der anderen

eingreifen und nun entweder abgerissen oder aus den Vertiefungen heraus- und über darauf folgende Erhabenheiten hinweggehoben werden müssen, wenn die Bewegung überhaupt stattfinden soll. (Das erstere geschieht mehr bei rauhen, das letztere mehr bei glatten Flächen.) Die Reibung ist um so größer, je größer der Druck zwischen den sich berührenden Körpern und je rauher die reibenden Flächen sind. Außerdem hängt die Größe der Reibung von der Natur der Stoffe ab, zwischen welchen sie stattfindet. Durch geeignete Schmiermittel kann der Reibungswiderstand verringert werden; (in erster Linie, weil durch das Schmiermittel die reibenden Flächen glatter werden). Zu merken ist, daß Schmier-

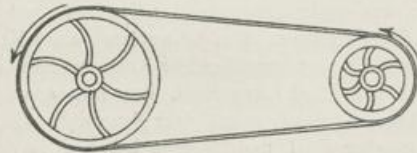


Abb. 1a. Offener Treibriemen.

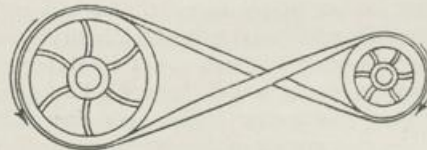


Abb. 1b. Gekreuzter Treibriemen.

mittel, welche in den Körper einziehen, die Reibung nicht vermindern; daher wird Holz mit Talg oder harter Seife, nicht aber mit Öl geschmiert; letzteres eignet sich für Metalle. — Als Reibungs-Koeffizienten bezeichnet man das Verhältnis der Kraft, welche nötig ist, die Reibung zu überwinden, zur Last, welche die Reibung hervorruft (das Verhältnis zwischen Reibung und Druck).

Es gibt zwei Arten von Reibung: gleitende und rollende oder wälzende Reibung; letztere findet da statt, wo ein runder Körper (Kugel, Zylinder, Rad usw.) über eine Unterlage hinwegrollt. Bei der Bewegung von Zapfen in ihren Pfannen ist die Reibung eine gleitende. — Die gleitende Reibung ist größer als die rollende.

Zu große Reibung ist uns beim Ziehen von Wagen, beim Betriebe von

Maschinen usw. lästig; aber gäbe es gar keine Reibung, so könnten wir weder gehen noch stehen, noch etwas in den Händen halten, noch einen Wagen fortbewegen, noch die größte Zahl unserer sonstigen Verrichtungen erfüllen. — Erhöhung der Reibung z. B. beim Bestreuen der Straßen mit Sand oder Asche im Winter.

Häufig wird beim Betriebe der Maschinen eine besondere Anwendung von der Reibung gemacht; so wird mittels des Treibriemens oder der Treibsehnur (auch Transmission oder Schnur ohne Ende genannt) die Bewegung eines Rades auf ein anderes übertragen. (Schwungmaschine, Drehbank.)

Der Treibriemen ist ein Riemen, dessen Enden aneinander befestigt sind und der zwei Wellräder oder Riemenscheiben (siehe später: Kapitel 5) umspannt. Man unterscheidet den offenen und den gekreuzten Treibriemen. (Abb. 1a und 1b.)

Wird eins der Räder (z. B. das links befindliche, größere Rad) in der Richtung des Pfeils in Umdrehung versetzt, so erfährt es bei straff angespanntem Riemen an diesem eine so starke Reibung, daß die Bewegung von Rad und Riemen gegeneinander (derart, daß der Riemen stillstehen und das Rad sich an ihm vorbeibewegen würde) unmöglich gemacht und statt dessen der Riemen, den anderweit keine genügend große Kraft festhält, mit fortbewegt wird: er selbst setzt seinerseits das rechts befindliche Rad — ebenfalls auf Grund der Reibung, die er an demselben erfährt — in Umdrehung, und zwar in Abb. 1a (bei offenem Riemen) in demselben Sinne wie das linke Rad, in Abb. 1b (bei gekreuztem Riemen) im entgegengesetzten Sinne.

2. Allgemeine Eigenschaften der Körper.

Längen-, Flächen- und Körpermessung. Die Ausdehnung eines Körpers kann in dreifacher Hinsicht gemessen werden; danach unterscheidet man 1. Längen- oder Linear-, 2. Flächen-, 3. Körper-Ausdehnung. Alles Messen beruht auf einer Vergleichung des zu messenden Körpers mit einem andern Körper, der ein für allemal bestimmt und in bezug auf die zu messende Eigenschaft (hier die Ausdehnung) bekannt ist. Dieser Körper heißt das Maß und, weil ihm die Maßzahl 1 beigelegt wird, genauer die Maßeinheit.

Es gibt, entsprechend den drei Arten der Ausdehnung: Längen-, Flächen- und Körpermaße. Die Längeneinheit ist das Meter (zuerst in Frankreich eingeführt, 1799, zur Zeit der ersten französischen Revolution), dessen Länge annähernd gleich dem zehnmillionten Teil eines Viertel-Meridians der Erde ist. Ein solcher Viertel-Meridian der Erde (die Entfernung eines Pols vom Äquator) heißt auch Meridianquadrant der Erde oder Erdquadrant.

1 Meter (m) = 10 Decimeter (dm) = 100 Centimeter (cm) = 1000 Millimeter (mm). 1 Mikromillimeter (μ) = 1 Tausendstel Millimeter = $\frac{1}{10^6}$ m oder 10^{-6} m; das Mikromillimeter wird abgekürzt auch Mikrometer oder Mikron genannt. 1 Millimikron ($\mu\mu$) = 1 Tausendstel Mikron = 1 Milliontel mm = 10^{-9} m. 1 Kilometer (km) = 1000 m. 1 Megameter = 10^6 m oder 1 000 000 m. $7\frac{1}{2}$ km = 7500 m = 1 (deutsche geogr.) Meile. 15 geogr. Meilen = 1 Grad (1°) des Erdäquators.

Ältere Längenmaße sind der rheinische und preußische Fuß und der pariser Fuß.

1 m = 3,186 rhein. Fuß = 3,078 par. Fuß. 1 rhein. Fuß = 12 Zoll ($1' = 12''$); 1 Zoll = 12 Linien ($1'' = 12'''$). Hiernach ist 1 m = rund $38\frac{1}{4}$ rhein. Zoll. — 12 Fuß = 1 Rute.

Sonstige Längenmaße: Die engl. Meile = $\frac{1}{4}$ geogr. Meile = 10 Kabel-längen; (1 engl. Meile = 1760 Yards, 1 Yard = 36 engl. Zoll = 0,914 m). 1 russ. Werst = 1067 m, also nahezu 1 km. 1 Faden = 1,829 m.

Die Flächeneinheit ist das Quadratmeter (qm oder m^2). 1 Ar (a) = 100 m^2 . 1 Hektar (ha) = 100 Ar = $10^4 m^2$.

Die Raumeinheit (Einheit für die Körpermessung) ist das Kubikmeter (cbm oder m^3). Häufiger noch bedient man sich bei der Körpermessung, insbesondere wenn es sich um Flüssigkeiten handelt, des Liters (l), welches ein Hohlmaß ist; 1 l = 1 Kubikdecimeter (cbdm oder dm^3) = 1000 Kubikcentimeter (cbcm oder cm^3). 1 cbm = 1000 l. 1 Hektoliter = 100 l.

Den Rauminhalt eines Körpers bezeichnet man als sein Volum (oder Volumen).

Da für die meisten wissenschaftlichen Berechnungen das Meter zu groß ist, so ist man übereingekommen, den Messungen im allgemeinen eine niedrigere Längeneinheit: das Centimeter zugrunde zu legen. (Vgl. hierzu den Abschnitt „Absolutes Maßsystem“.)

Teilbarkeit. Unsere Erfahrung lehrt uns, daß alle Körper teilbar sind, d. h. sich in kleinere Körper zerlegen lassen. Schon diese Tatsache der Teilbarkeit (Entstehung zweier Wesen aus einem) weist darauf hin, daß ein jeder Körper von vornherein kein völlig einheitliches räumliches Wesen, sondern aus einer Anzahl materieller Teile zusammengesetzt ist, welche durch kleine Zwischenräume voneinander getrennt sind. Sind diese Zwischenräume so groß, daß man sie sehen kann, oder daß wenigstens andere Körper (Flüssigkeiten oder Luft) in sie eindringen können, so nennt man sie Poren, und der Körper, in dem sie enthalten sind, heißt porös. Zu den porösen Körpern gehören: Badeschwamm, Brot, Holz, Papier u. a. m.

Eine Folge der Porosität vieler Körper — und somit eine Folge ihrer Zusammensetzung aus kleineren materiellen Teilen — ist ihre Quellbarkeit. Diese besteht in einer Zunahme des Rauminhalts auf Grund des Eindringens einer Flüssigkeit (gewöhnlich Wasser) in die Poren. — Bei nassem Wetter quillt

das Holz von Fenstern und Türen. Befeuchtetes Papier wird auf der nassen Seite ausgedehnt und krümmt sich infolgedessen. Aufspannen eines Bogens Zeichenpapier auf einem Reißbrett: er wird erst mit einem nassen Schwamm befeuchtet, dann ringsum am Rande auf dem Reißbrett festgeklebt; beim Trocknen zieht er sich zusammen und wird straff und glatt.

Das Zerbrechen, Zerschlagen, Zerreißen usw. eines Körpers besteht nach dieser Anschauung einzig darin, daß die Teilchen, aus denen der Körper zusammengesetzt ist, so weit voneinander entfernt werden, daß sie (durch innere Kräfte) nicht mehr zur Wiedervereinigung gebracht werden können.

Die Teilbarkeit der Körper muß eine Grenze haben, denn gäbe es eine unendliche Teilbarkeit, so müßte ein Körper von endlicher Größe aus unendlich vielen (weil unendlich kleinen) Teilen zusammengesetzt sein, was aber innerhalb der materiellen Wirklichkeit nicht möglich ist. Nur in Gedanken gibt es eine unbegrenzte Teilbarkeit.

Atome und Moleküle. Die kleinsten Teile eines Körpers, die durch keinerlei mechanische noch sonstige physikalische Mittel weiter geteilt werden können, heißen Moleküle (oder Molekeln). Sie sind, ob zwar außerordentlich klein und auf keine Weise sinnlich wahrnehmbar, doch von endlicher räumlicher Größe. Die Moleküle gestatten eine weitere chemische Zerlegbarkeit in die Atome.

Zu den allgemeinen Eigenschaften der Körper rechnet man außer den genannten, nämlich: Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, Bewegungsfähigkeit, Trägheit, Teilbarkeit (Porosität) noch einige weitere, die durch die Wirksamkeit gewisser allgemeiner Kräfte zustande kommen. Es sind: die Schwere, die Kohäsion und die Aggregatzustände, sowie die Veränderlichkeit des Rauminhalts der Körper.

Schwere und Schwerkraft; Gewicht (vgl. auch Kap. 4). Die Schwere ist diejenige Eigenschaft eines Körpers, welche es bewirkt, daß der Körper, ohne Unterstützung gelassen, sich dem Erdmittelpunkte so weit als möglich nähert, oder daß er, wenn er unterstützt wird, auf seine Unterlage drückt, bzw. auf den ihn in hängender Lage haltenden Gegenstand einen Zug ausübt. — An der Größe dieses Druckes oder Zuges erkennt man die Größe der Schwere oder das Gewicht des Körpers (vgl. Kap. 4, Abschnitt „Gewicht“). — Die Bewegung eines Körpers in der Richtung nach dem Erdmittelpunkte nennt man Fall (bzw. das Fallen). — Vgl. ebenfalls Kap. 4.

Da nun (nach dem Beharrungsgesetz) ein Körper nicht von selbst in eine Bewegung eintreten, noch danach streben kann, die

Bewegung auszuführen, so muß es eine Kraft geben, welche das Fallen der Körper veranlaßt oder allgemeiner: welche die Ursache ihrer Schwere ist. Diese Kraft hat den Namen Schwerkraft. — Dieselbe wirkt nach dem Gesagten überall auf der Erdoberfläche in der Richtung nach dem Erdmittelpunkte hin.

Über das Wesen der Schwerkraft wissen wir nichts Genaueres; es können nur Annahmen oder Hypothesen darüber aufgestellt werden. Die Art, wie sich die Schwerkraft äußert, gleicht denjenigen Erscheinungen, welche wir wahrnehmen, wenn ein Körper von einem andern angezogen wird (etwa mittels eines Strickes, der beide verbindet). Daher hat man die Schwerkraft auch als eine Anziehungskraft, und zwar genauer als die Anziehungskraft der Erde (auch Erdanziehung) bezeichnet. Von einer wirklichen Anziehung kann indessen nicht die Rede sein; wir haben es nur mit dem Bilde einer Anziehung, mit Erscheinungen, die den Anziehungserscheinungen ähnlich sind, zu tun.

Attraktion. Der englische Physiker Isaak Newton (1642 bis 1727) stellte das Gesetz von der allgemeinen Anziehung aller Teile der Materie auf. In der Tat zeigt sich nicht nur zwischen der Erde und den ihrem Bereich angehörenden Körpern, sondern auch zwischen den verschiedenartigen Himmelskörpern ein (gegenseitiges) Annäherungsstreben. Die zwischen den Himmelskörpern herrschende Anziehung heißt Gravitation. Da die Erde mit zu den Himmelskörpern gehört, erstreckt sich die Gravitation auch auf sie. Die gegenseitige Anziehung — oder besser gesagt: das gegenseitige Annäherungsstreben — räumlich entfernter Körper überhaupt bezeichnet man als Attraktion.

Masse. An dem Gewicht eines Körpers läßt sich die Menge der Materie, die er darstellt, oder seine Masse erkennen. Das Gewicht ist ein Maß der Masse des Körpers. Aber dies nur für die Verhältnisse auf einem und demselben Weltkörper, z. B. der Erde; auf anderen Weltkörpern als auf der Erde würden die irdischen Körper andere Gewichte aufweisen, weil die Schwerkraft auf diesen Weltkörpern, ihrer Größe entsprechend, eine andere sein würde; die Massen der Körper aber würden im ganzen Weltraum stets unveränderlich dieselben sein.

Gewichtsmaße. Als Massen- oder Gewichtseinheit hat man dasjenige Gewicht gewählt, welches ein Kubikcentimeter reinen (destillierten) Wassers unter gewissen Bedingungen besitzt, nämlich wenn es sich 1. im Zustande der größten Dichtigkeit (bei $+4^{\circ}\text{C}$), 2. unter 45° geographischer Breite, 3. im Meeresniveau und 4. im luftleeren Raume befindet. Dieses Gewicht heißt ein Gramm. — Die genannten Bedingungen sind erforderlich, weil sich das Gewicht eines und desselben Körpers mit der Dichtigkeit,

der geographischen Breite (vgl. Kapitel 4, Abschnitt „Fallbeschleunigung“), der Höhe über dem Meeresspiegel und der Luftbeschaffenheit (Luftdichte) ändert.

1 Gramm (g) = 10 Decigramm (dg) = 100 Centigramm (cg) = 1000 Milligramm (mg). 1 Kilogramm (kg) = 1000 g. 1 Tonne (t) = 1000 kg. 1 Mikrogramm (μ) = 1 Milliontel g = 1 Tausendstel mg. 1 preuß. Pfund (℔) = $\frac{1}{2}$ kg = 500 g.

1 l Wasser (= 1000 cbem) wiegt 1000 g oder 1 kg.

Außer den genannten Gewichten waren früher noch besondere Medizinalgewichte im Gebrauch: das Medizinal-Pfund (libra), die Unze (uncia), die Drachme (drachma), der Skrupel (scrupulus), das Gran (granum). Das Pfund hatte 12 Unzen; die Unze 8 Drachmen; die Drachme 3 Skrupel; der Skrupel 20 Gran. Die Anzahl der Gewichtseinheiten wurde in römischen Ziffern hinter das betreffende Gewichtszeichen geschrieben.

1 Skrupel (Ϟ Ḳ) = 20 Gran (gr. XX).

1 Drachme (Ϟ Ḳ) = 3 Skrupel = 60 Gran.

1 Unze (Ϟ Ḳ) = 8 Drachmen = 24 Skrupel = 480 Gran.

Umrechnung in neueres Gewicht: 1 Unze = 30,00 g; 1 Drachme = 3,75 g; 1 Skrupel = 1,25 g; 1 Gran = 0,06 g.

Das gewöhnliche preuß. Pfund wurde in 32 Lot (1 Lot = 15 g), das Lot in 4 Quentchen (1 Qu. = $3\frac{3}{4}$ g) eingeteilt.

Nach dem Angegebenen war: 1 Lot = $\frac{1}{2}$ Unze, 1 Quentchen = 1 Drachme.

Absolutes Maßsystem. Auf die physikalischen Größen Raum, Masse (bzw. Gewicht) und Zeit, und zwar auf deren Einheiten Centimeter, Gramm und Sekunde hat man das sogenannte absolute Maßsystem gegründet (Paris, 1884), das jetzt bei wissenschaftlichen Messungen und Rechnungen an Stelle des früheren, von Gauß und Weber gewählten, auf Millimeter, Milligramm und Sekunde gegründeten Maßsystems in Anwendung ist. Man bezeichnet es als das Centimeter-Gramm-Sekunden-System oder kurz als das C.G.S.-System. — Eine Sekunde ist der 86400ste Teil des mittleren Sonnentages, d. h. der im Verlaufe eines Jahres mittleren oder durchschnittlichen Dauer des Sonnentages (der Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Kulminationen oder Mittagsstellungen der Sonne).

Von den Grundmaßen Centimeter, Gramm und Sekunde werden alle anderen in der Physik vorkommenden Maße abgeleitet, so daß dieselben auch in gegenseitiger Abhängigkeit stehen.

Für technische Messungen kommt außer dem C.G.S.-System noch das Meter-Kilogramm-Sekunden-System (M.K.S.-System) zur Anwendung, weil hier die niedrigeren Einheiten des C.G.S.-Systems nicht genügen.

Gravitationsgesetz. Die Gravitation ist nicht für alle Körper und alle Entfernungen derselben voneinander die gleiche, sie hängt vielmehr von der Masse der anziehenden Körper und ihrer Entfernung in gesetzmäßiger Weise ab. Hierüber gibt das Newton'sche Gravitationsgesetz Aufschluß, zu dessen Erkenntnis und Feststellung Newton durch die von den Bewegungen der Himmelskörper handelnden Kepler'schen Gesetze (1618) gelangte.

Das Gravitationsgesetz lautet: Je zwei materielle Körper ziehen einander an mit einer Kraft, die den anziehenden Massen direkt und dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional ist. (1686.)

Zur näheren Erläuterung dieses Gesetzes diene folgendes:

Wenn ein Körper *A* einmal von einem Körper *B* und ein anderes Mal von einem Körper *C* angezogen wird, der die doppelte oder dreifache oder vierfache oder *n*-fache Masse hat wie *B*, so ist die Anziehungskraft, welche *C* ausübt, doppelt oder dreimal oder viermal oder *n*-mal so groß wie die Anziehungskraft des Körpers *B* — vorausgesetzt, daß die Entfernung von dem Körper *A* jedesmal dieselbe ist. Dies leuchtet ohne weiteres ein. Umgekehrt wächst die Anziehungskraft, die zwischen den beiden Körpern *A* und *B* wirksam ist, auch, wenn der angezogene Körper (*A*) durch einen Körper von größerer Masse ersetzt wird; und zwar entspricht auch in diesem Falle der doppelten Masse die doppelte Anziehungskraft u. s. f.

Wird die Entfernung zwischen den beiden anziehenden Körpern größer, so nimmt die Anziehungskraft ab. Daß die Abnahme entsprechend dem Quadrat der Entfernung erfolgt, geht daraus hervor, daß die Anziehungskraft sich allseitig im Raume verbreitet, also auf eine mit der Entfernung wachsende Kugeloberfläche sich verteilt. Da diese aber $= 4r^2\pi$, also direkt proportional dem Quadrat des Radius oder der Entfernung vom Anziehungsmittelpunkt ist, so muß die auf jedes Flächenelement entfallende Anziehungskraft proportional jenem Quadrat abnehmen.

Bezeichnet man die Massen zweier einander anziehender Körper mit M_1 und M_2 , ihre gegenseitige Entfernung mit R und die zwischen beiden wirksame Anziehungskraft mit A , die Massen zweier anderer einander anziehender Körper mit m_1 und m_2 , ihre gegenseitige Entfernung mit r und die zwischen ihnen wirksame Anziehungskraft mit a , so verhält sich:

$$\frac{A}{a} = \frac{M_1 \cdot M_2}{m_1 \cdot m_2} \cdot \frac{r^2}{R^2} \text{ oder: } A : a = \frac{M_1 \cdot M_2}{R^2} : \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Betrachtet man nun diejenige Anziehungskraft als Einheit, welche zwischen Massen-Einheiten wirkt, deren gegenseitige Entfernung die Längen-Einheit ist (also $a = 1$ für den Fall, daß $m_1 = m_2 = 1$ und $r = 1$ ist), so folgt:

$$A = \frac{M_1 \cdot M_2}{R^2} \quad (1).$$

Die nach vorstehender Annahme $= 1$ gesetzte Anziehungskraft hat natürlich einen gewissen wirklichen Wert (wie jede — im Vergleiche mit anderen gleichartigen Größen — als Einheit angenommene Größe). Sie wird als

Gravitationskonstante bezeichnet. Dieselbe ist also nach dem C.G.S.-System die anziehende Wirkung zwischen zwei Massen von je 1 g, die (oder genauer: deren Massenmittelpunkte) 1 cm weit voneinander entfernt sind.

Kohäsion und Adhäsion. Während die Attraktion eine Kraft ist, die zwischen je zwei beliebigen getrennten Körpern nach demselben Gesetze wirksam ist, gibt es Kräfte, die entweder zwischen den Teilen eines und desselben Körpers (in seinem Innern) oder an der Grenze zweier sich berührender Körper auftreten und gleichfalls ein Annäherungsstreben verschiedener Teile der Materie herstellen; zu diesen Kräften gehören die (S. 9 erwähnte) Kohäsion und die Adhäsion. Ihre Wirksamkeit hängt von der Natur der Körper ab. Und da sie nur auf sehr kleine Entfernungen hin wirken — von Molekül zu Molekül —, so hat man sie Molekularkräfte genannt. — Die Wirkungssphäre der Molekularkräfte ist eine kleine, während diejenige der Attraktion als unbegrenzt gedacht wird.

Kohäsion. Die Kohäsion äußert sich in dem Zusammenhang zwischen den Teilen eines und desselben Körpers; sie wirkt einer Trennung der Teile (durch Zerreißen, Zerschneiden, Erwärmen usw.) entgegen. Die Kohäsion des Eisens ist größer als z. B. die des Wachses, diese größer als die Kohäsion des Wassers. Der Luft und allen luftförmigen Körpern fehlt die Kohäsion ganz.

Wird ein Körper zusammengedrückt (komprimiert), so stellt sich — bei manchen Körpern spät, bei manchen schon sehr bald — eine Grenze heraus, jenseits welcher eine weitere Kompression unmöglich ist. Man führt diese Erscheinung auf die Wirksamkeit einer entgegengesetzt wie die Kohäsion wirkenden besonderen Kraft: der abstoßenden oder Repulsivkraft, auch Expansionskraft genannt, zurück; die Annahme derselben ist aber nicht zu empfehlen, da die Stöße der im Innern der Körper (in den molekularen Zwischenräumen) sich bewegenden Ätheratome, die Rückstöße der aufeinander prallenden Körpermoleküle selbst, ferner ihre Trägheit, welche sie, wenn sie einmal in Bewegung sind, immer weiter nach außen zu führen sucht, sowie letzten Endes die Undurchdringlichkeit der Materie als die Ursachen dafür anzusehen sind, daß die Kompression eines Körpers nicht unbegrenzt vor sich gehen kann.

Aggregatzustände. Je nach der Größe der Kohäsion, welche den Körpern eigen ist, teilt man diese in drei Hauptklassen ein: 1. feste, 2. flüssige (oder tropfbar flüssige) und 3. luftförmige (gasförmige oder auch elastisch flüssige) Körper; die flüssigen

Körper nennt man auch kurzweg Flüssigkeiten, die luftförmigen Gase. Die inneren Zustände, durch welche die einer jeden Klasse angehörigen Körper gekennzeichnet sind, heißen die Aggregatzustände. (Die Aggregatzustände der Körper beruhen also auf dem Zusammenhang ihrer Teile.) Die meisten Körper kann man, hauptsächlich durch Vermittlung der Wärme, aus einem Aggregatzustand in den benachbarten überführen, sie kommen also in zwei Aggregatzuständen und viele Körper sogar in allen drei Aggregatzuständen vor (z. B. das Wasser, der Schwefel u. a.). — Hervorgehoben möge noch werden, daß — wie überall in der Natur — die Grenzen zwischen den verschiedenen Aggregatzuständen keine scharfen sind, sondern daß es Übergänge gibt.

Feste Körper. Die festen Körper haben die größte Kohäsion. Sie setzen der gewaltsamen Trennung oder Lagenveränderung ihrer Teile (mehr oder minder großen) Widerstand entgegen, zu dessen Überwindung eine besondere äußere Kraft von gewisser Stärke erforderlich ist. Die festen Körper haben daher eine selbständige Gestalt. Ferner bieten sie gewisse Erscheinungen dar, welche teils unmittelbar auf die Kohäsion, teils auf die besondere Anordnung oder Lagerung der Moleküle zurückzuführen sind: die Festigkeit; die Härte; die Elastizität; die Biegsamkeit, Dehnbarkeit und Geschmeidigkeit; die Sprödigkeit (einschließlich der Spaltbarkeit).

Festigkeit heißt der Widerstand, welchen ein Körper der gänzlichen Trennung seiner Teile entgegensetzt. Man unterscheidet: Zugfestigkeit oder absolute Festigkeit (die dem Zerreißen entgegenwirkt), Bruchfestigkeit oder relative Festigkeit (die dem Biegen und Zerbrecen entgegenwirkt), Druckfestigkeit oder rückwirkende Festigkeit (die dem Zerdrücken entgegenwirkt), Torsions- oder Drehfestigkeit (die dem Zerdrehen entgegenwirkt), Schub- oder Scherfestigkeit (die einer Trennung der Teile in seitlicher Richtung entgegenwirkt). — Die absolute Festigkeit ist größer als die relative, da ein Stab sich schwerer zerreißen als zerbrecen läßt. — Außer den vorgenannten Arten der Festigkeit, den sogen. statischen Festigkeiten, gibt es noch eine dynamische Festigkeit: die Stoßfestigkeit, die in dem Widerstand gegen Stoß, d. h. gegen die Einwirkung einer bewegten Masse besteht.

Hier bedürfen die Ausdrücke statisch und dynamisch der Erklärung. Statisch heißen die in das Gebiet der Statik, d. h. der Lehre vom Gleichgewicht der Körper fallenden Erscheinungen, dynamisch die zur Dynamik, d. h. zur Lehre von den Bewegungen der Körper gehörenden Erscheinungen.

Härte ist der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines andern in seine Oberfläche (dem Ritzen) entgegensetzt. Niedrige Grade von Härte werden als Weichheit bezeichnet. Der härteste Körper ist der Diamant; er vermag alle anderen Körper zu ritzen. Die mineralogische Härteskala (von Mohs) enthält

10 Körper vom weichsten bis zum härtesten in solcher Anordnung, daß jeder folgende jeden vorgehenden ritzt, ohne von ihm geritzt zu werden. Sie lauten: Talk (1), Steinsalz (2), Kalkspat (3), Flußspat (4), Apatit (5), Feldspat (6), Quarz (7), Topas (8), Korund (9), Diamant (10). — Dem Steinsalz gleichzusetzen ist der Gips. — Anwendung der Härteskala: Wird ein Körper z. B. vom Quarz eben noch geritzt, aber nicht mehr vom Feldspat, so hat er die Härte des Quarzes oder kurz die Härte 7.

Elastizität nennt man diejenige Eigenschaft der Körper, auf Grund welcher sie nach dem Aufhören der Einwirkung äußerer Kräfte, durch die ihre Gestalt oder Größe verändert wurde, die ursprüngliche Gestalt oder Größe wieder annehmen, sofern nicht durch die Größe der Kräfte eine gewisse Grenze in der Änderung der molekularen Lagerung (Anordnung der Teile) überschritten worden ist. Diese Grenze für die Größe der Kräfte heißt Elastizitätsgrenze. In hohem Grade elastische Körper sind z. B. Kautschuk und Stahl.

Wird die Elastizitätsgrenze überschritten, so entsteht bei einigen Körpern eine bleibende Änderung in der Anordnung ihrer Teile, ohne daß der Zusammenhang der Teile gänzlich gelöst wird; bei anderen tritt ein Zerreißen, Zerbrechen oder Zerspringen, d. h. eine plötzliche und vollständige Aufhebung des Zusammenhangs der Teile ein. Jene Körper nennt man biegsam (z. B. Blei), dehnbar (z. B. Gold), geschmeidig (z. B. Wachs); diese heißen spröde (Glas, Antimon). Die genannten Ausdrücke werden insbesondere bei Körpern mit niedriger Elastizitätsgrenze angewendet. Ist die Elastizitätsgrenze eine hohe und wird jenseits derselben der Zusammenhang der Teile aufgehoben, so nennt man die Körper im engeren Sinne elastisch. Doch gibt es auch hier Übergänge. — Eine besondere Art der Sprödigkeit zeigen viele Mineralien, indem sie beim Zerspringen regelmäßig gestaltete Bruchstücke liefern; man bezeichnet diese Eigenschaft als Spaltbarkeit (Beispiel: der Kalkspat).

Die Kohäsionsverhältnisse der festen Körper unterliegen mancherlei Änderungen, welche durch die Wärme, die Art der Bearbeitung, denen man die Körper unterwirft, sowie geringe, fremdartige Zusätze hervorgerufen werden.

Der Einfluß der Temperatur (oder des Wärmegrades) auf die Kohäsion ist sehr bedeutend. Im allgemeinen bewirkt Erniedrigung der Temperatur Zunahme der Kohäsion, Erhöhung der Temperatur Abnahme derselben. — Glas nimmt an der ihm sonst eigenen Sprödigkeit ab und wird zäher, wenn man es, nachdem es gegossen ist, einem längeren Aufenthalt in heißem Öl (bei 300°) unterwirft (Hartglas).

Gehämmertes oder galvanisch niedergeschlagenes Kupfer ist dichter und fester als gegossenes. Ein elastischer Körper verliert durch zu häufige Veränderungen seiner Gestalt an Elastizität.

Eisen weist je nach seinem Kohlenstoffgehalt verschiedene — auf der Kohäsion beruhende — Eigenschaften auf: als Gußeisen, welches am meisten Kohlenstoff enthält, ist es hart und spröde, als Stahl elastisch und als Stab- oder Schmiedeeisen zähe und dehnbar und läßt sich im weißglühenden Zustande schweißen, d. h. es lassen sich getrennte Stücke durch Hämmern vereinigen.

— Ist Zink durch eine geringe Beimengung von Arsen verunreinigt, so läßt es sich nicht zu Zinkdraht ausziehen. — Fremde Metalle enthaltendes Gold büßt erheblich an Dehnbarkeit ein.

Flüssigkeiten. Die tropfbar flüssigen Körper haben zwar noch Kohäsion, aber sie ist nur gering. Sie besitzen noch einen bestimmten Rauminhalt (ein bestimmtes Volum); aber da ihre Teile schon durch die kleinste Kraft verschiebbar sind, so fehlt ihnen die selbständige Gestalt, und sie nehmen die Gestalt des Gefäßes an, in welchem sie sich befinden. Sie lassen sich ferner nur in äußerst geringem Maße komprimieren.

Das Vorhandensein der Kohäsion erkennt man außer an dem Besitz eines bestimmten Volums noch besonders an der Bildung von Flüssigkeitsstrahlen beim Ausfließen; von Flüssigkeitsfäden beim Eintauchen und Herausheben eines festen Körpers aus einer Flüssigkeit; von Tropfen, wenn kleine Mengen einer Flüssigkeit in einer anderen Flüssigkeit oder einem Gase frei verteilt sind.

Flüssigkeiten, welche beim Ausgießen leicht Tropfen bilden, heißen dünnflüssig (Weingeist, Äther, Benzin u. a.); solche, die es nicht leicht tun, sondern die Form, welche sie angenommen haben, mehr zu erhalten streben, dick- oder zähflüssig (fette Öle, namentlich Ricinusöl, konc. engl. Schwefelsäure, Sirup und vor allen die Balsamarten).

Gase. Die Kohäsion der luftförmigen Körper ist gleich Null. Die Folge davon ist, daß die inneren Kräfte (die Ätherstöße, die Stöße der Körpermoleküle und das Beharrungsvermögen der letzteren) sich frei entfalten und das Volum der Körper zu vergrößern streben. Die Gase suchen somit jeden ihnen zur Verfügung stehenden Raum vollkommen auszufüllen. Nur durch allseitigen äußeren Widerstand, durch äußeren Druck, werden sie zusammengehalten. Da die Gase, wenn sie durch besondere äußere Kräfte zusammengedrückt worden sind, nach dem Aufhören der Wirksamkeit dieser Kräfte sich wieder auf ihr früheres Volum ausdehnen, hat man sie auch elastische Flüssigkeiten genannt. (Vgl. S. 13.)

Adhäsion. Die Adhäsion ist die Kraft, mit welcher die Teilchen zweier getrennter Körper aneinander haften, die sich innig berühren (d. h. so berühren, daß die molekularen Wirkungssphären beider Körper an der Berührungs- oder Grenzfläche ineinander greifen).

Eine Adhäsion findet zwischen je zwei Körpern statt, mögen die Körper gleichartig oder ungleichartig sein: Bedingung ist nur, daß es zwei (getrennte) Körper sind.

In je mehr Punkten sich zwei Körper berühren, desto stärker ist die zwischen ihnen herrschende Adhäsion. Weiche Körper (z. B. Wachs, Harze, Pflaster) adhäreren daher, da sie der Form anderer

Körper sich anzuschmiegen instande sind, besser als harte Körper. Zwei Platten aus harten Körpern adhären aneinander, wenn sie möglichst eben und fein geschliffen sind. — Anhängen des Staubes an Möbeln, Wänden, Zimmerdecke. Schreiben mit Bleistift, Kreide, usw. Galvanisches Vergolden und Versilbern. Anhaften der Zinnfolie an den gewöhnlichen Spiegeln.

Da pulverförmige Körper an glatten Flächen weniger leicht adhären als an rauhen, so werden feine Pulver seitens der Apotheker in Kapseln aus möglichst glattem Papier dispensiert.

Flüssige Körper vermögen infolge ihrer Beweglichkeit — ihrer geringen Kohäsion — feste Körper in zahlreichen Punkten zu berühren; daher ist die Adhäsion zwischen beiden im allgemeinen



Abb. 2. Adhäsion beim Ausgießen von Flüssigkeiten.

eine beträchtliche. Die Adhäsion läßt in diesem Falle deutlich erkennen, daß die beiden aneinander adhären den Körper verschiedene Rollen spielen: der eine Körper erscheint dem andern angedrückt, während dieser sich mehr passiv — als Träger des ersteren — verhält. Über diese Beziehungen kann das Nähere erst zur Erörterung gelangen, nachdem der Begriff des spezifischen Gewichts festgestellt ist. (Siehe Kapitel 6, Abschnitt „Spezifisches Gewicht und Adhäsion“.)

Benetzung. Wenn bei der Adhäsion zwischen einem festen und einem flüssigen Körper der letztere dem ersteren angedrückt erscheint und in gewisser Menge daran hängen bleibt, so sagt man: der feste Körper wird von dem flüssigen benetzt. So wird z. B. Glas von Wasser benetzt, von Quecksilber nicht; Wasser, auf eine

saubere Glasplatte gebracht, breitet sich darauf aus, Quecksilber zieht sich in Kugelform zusammen. Trotzdem besteht zwischen Quecksilber und Glas Adhäsion; Beweis dafür ist der Umstand, daß eine gewisse Kraft erforderlich ist, um eine Glasplatte, welche eine Quecksilberoberfläche berührt, von letzterer abzureißen (158 g für eine kreisförmige Glasplatte von 118,366 mm Durchmesser).

Die Benetzung fester Körper durch flüssige ist die Ursache davon, daß Flüssigkeiten beim Ausgießen aus einem Gefäße oft an der Außenwand desselben herablaufen, wenn nicht durch Anbringung eines Abgußrandes, einer Schnibbe (oder Tülle) oder eines Ausgußrohres dafür gesorgt ist, daß sich die Flüssigkeit zu einem mehr oder minder engen Strahl zusammenzieht. Der Gefahr des Vorbeilaufens der Flüssigkeit kann auch dadurch begegnet werden, daß man einen Glasstab, Holzstab, Spatel so gegen den Gefäßrand hält, daß der Flüssigkeitsstrahl dem Stabe adhäreren kann. (Vgl. Abb. 2.) Endlich kann man das Vorbeilaufen der Flüssigkeit in gewissen Fällen (die sich nach der Natur der ausgießenden Flüssigkeit richten) auch durch Bestreichen des äußeren Gefäßrandes mit Talg verhindern. Dies ist z. B. bei Wasser und wässerigen Lösungen angängig, weil Talg von Wasser nicht benetzt wird. (Vgl. Kapitel 6, Abschnitt „Spezif. Gewicht und Adhäsion“.)

Weitere Adhäsions-Erscheinungen. Das Schreiben mit Tinte, das Malen, sowie alles Kitten, Leimen und Kleben (mit Stärkekleister, Gummi arabicum usw.) beruht auf Adhäsion, und zwar in erster Linie auf der Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern; dadurch, daß der Klebstoff, um eins der Beispiele herauszugreifen, in einer Flüssigkeit verteilt wird, schmiegt er sich den Körpern, welche geklebt werden sollen, innig an und dringt in ihre Poren ein, so daß er sie nach dem Trockenwerden fest zusammenhält. — Auch das Löten gehört hierher.

Damit pulverförmige Körper nicht an Gefäßen, in die sie geschüttet werden, hängen bleiben, müssen diese zuvor trocken gewischt werden. Als Wischtuch dient ein leinenes Tuch, weil diesem die Feuchtigkeit besser abhärert als einem baumwollenen oder wollenen.

Daß auch zwischen verschiedenen flüssigen Körpern Adhäsion stattfindet, sieht man daran, daß eine Flüssigkeit oft auf einer anderen auseinanderfließt und sie weit überzieht (z. B. Petroleum auf Wasser).

Endlich adhäreren auch die gasförmigen Körper sowohl an festen Stoffen wie an Flüssigkeiten. So haften Riechstoffe oft lange Zeit an und in Gefäßen und Seihetüchern trotz gründlichen Auswaschens. Auf Glasplatten, die längere Zeit im Laboratorium gelegen haben, lagert sich eine Gasschicht ab; zeichnet man mit

einem Knochenstift oder dgl. darauf und haucht dann dagegen, so entstehen infolge der ungleichen Kondensation des Wasserdampfs die sogenannten Hauchfiguren.

Besondere Erscheinungen, welche größtenteils auf Adhäsion beruhen, sind die Mischung, die Diffusion, die Emulsion, die Auflösung fester Körper in flüssigen, das Aufschwemmen und die Absorption der Gase durch Flüssigkeiten und poröse (feste) Körper.

Schichtet man zwei Flüssigkeiten vorsichtig übereinander, so tritt dennoch nach einiger Zeit eine Mischung ein, wenn sie überhaupt mischbar sind. Die Mischbarkeit hängt noch von besonderen Faktoren der inneren Konstitution (Beschaffenheit und Lagerung der Teilchen) ab, die sich in der Zähigkeit usw. offenbaren, welche letztere nicht ausschließlich eine Kohäsionserscheinung ist. — Die von selbst sich vollziehende Mischung von Flüssigkeiten wird als Diffusion bezeichnet; sie kann auch durch trennende — poröse — Wände hindurch stattfinden. — Die gleichmäßige Durchdringung und Mischung von Gasen, geschehe sie unmittelbar oder durch eine poröse Wand, heißt gleichfalls Diffusion. Nach dem Daltonschen Gesetz breitet sich jedes Gas innerhalb eines andern allmählich ebenso aus wie in einem leeren Raume. Es scheint, daß sich bei der Diffusion der Gase (und auch der Flüssigkeiten) neue Moleküle bilden, da — was hier vorweg erwähnt sein möge — ein Gemisch zweier Gase, z. B. Wasserstoff und Sauerstoff, den Schall, das Licht, die Wärme und die Elektrizität gleichmäßig leitet; bei einem getrennten Nebeneinander der Moleküle des Wasserstoffs und des Sauerstoffs müßten die Schallwellen usw. zuerst von dem einen und etwas später von dem andern Stoff von einem Ende einer bestimmten Strecke an das entgegengesetzte geleitet werden. (Vgl. hierzu auch den Abschnitt „Dampfsättigung; Daltonsches Gesetz“ im 11. Kapitel: „Wärmelehre.“) — Eine besondere, der völligen Mischung nicht gleichzusetzende Adhäsionserscheinung ist die Emulsion. Sie tritt ein, wenn man beispielsweise Öl und eine Lösung von Gummi arabicum durch Schütteln oder Rühren innig durch- und ineinander bringt; hierdurch löst sich das Öl in äußerst feine Tröpfchen auf, die sich in der wäßrigen Flüssigkeit gleichmäßig verteilen. Die Milch ist eine Emulsion des Butterfettes in der wäßrigen, Salze usw. enthaltenden Milchflüssigkeit. In reinem Wasser verteilt sich Öl nicht — wenigstens nicht dauernd — in gleicher Weise: die Adhäsion zwischen beiden Flüssigkeiten ist dazu zu gering.

Die Auflösung oder kurz Lösung von festen Körpern in Flüssigkeiten kommt (hinsichtlich der Innigkeit der Verschmelzung) einer Mischung zwischen zwei Flüssigkeiten gleich. Daß beide Arten von Vorgängen keine reinen Adhäsionserscheinungen sind, sondern in gewisser Hinsicht den chemischen Vorgängen nahe stehen, erkennt man — abgesehen von der zuvor angeführten Betrachtung — unter andern an den auftretenden Wärmeerscheinungen. — Wenn sich beim Lösungsprozeß konzentriertere (d. h. an gelöstem Stoff reichere) Schichten mit verdünnteren mischen, so entstehen infolge verschiedener Lichtbrechung Flüssigkeitsstreifen: die sogenannten Schlieren. — Als eine Art der Lösung ist auch das Amalgamieren, d. h. das Verschmelzen von Metallen mit Quecksilber,

anzusehen. Die meisten Legierungen der Metalle dagegen sind als chemische Verbindungen zu erachten, da dieselben vorwiegend in bestimmten Mengen-Verhältnissen stattfinden. — Das Aufschwemmen oder Suspendieren besteht darin, daß man einen festen (oder auch flüssigen) Körper, fein verteilt, mit einer Flüssigkeit mischt, in der er sich nicht löst. Man kann demnach auch sagen, daß in den Emulsionen eine Flüssigkeit in einer anderen suspendiert ist. — Besondere hierher gehörige Operationen sind das Schlämmen, Klären oder Schönen und das Dekantieren; beim Klären und Dekantieren handelt es sich darum, einen suspendierten Körper von seinem Suspensionsmittel zu trennen.

Einer Auflösung gleich zu erachten ist die Absorption der Gase durch Flüssigkeiten. Wasser absorbiert Luft, Kohlensäure und andere Stoffe. (Luftperlen in abgestandenem Wasser, Kohlensäure im Selterser Wasser oder Selterwasser). Erhöhter Druck verstärkt die Auflöslichkeit der Gase in Flüssigkeiten, Erwärmung vermindert sie. Wasser absorbiert bei gewöhnlicher Temperatur und gewöhnlichem Atmosphärendruck etwa sein gleiches Volum Kohlensäure; bei doppeltem Atmosphärendruck sein doppeltes Volum u. s. f. In der Siedehitze verliert es alles absorbierte (oder verschluckte und gelöste) Gas.

Poröse feste Körper wie Holzkohle, Platinschwamm u. a. verdichten manche Gase durch Absorption in außerordentlichem Maße, oft bis zum Hundertfachen ihres eigenen Volums. (Döbereinersches Feuerzeug oder Wasserstoff-Zündmaschine.) — Im Unterschiede von dieser Erscheinung der Absorption bezeichnet man das zuvor erwähnte Adhären von Gasen an der Oberfläche fester Körper, worauf die Hauchfiguren zurückzuführen sind, wohl auch als Adsorption.

Körper, welche leicht Wasserdampf aus der Luft anziehen, heißen hygroskopisch. Stark hygroskopisch sind Schwefelsäure und Chlorcalcium.

Daß Adhäsion und Kohäsion verwandte Kräfte sind, zeigt sich darin, daß in gewissen Fällen die Adhäsion zwischen zwei Körpern in Kohäsion übergeht; so können zwei durch starken Druck aufeinander gepreßte Bleiplatten oder zwei in der Glühhitze aneinander geschweißte Eisenstäbe zu einem einzigen Körper vereinigt werden.

Veränderlichkeit des Körpervolums. Der Rauminhalt eines Körpers (oder sein Volum) kann auf mehrfache Weise verändert werden; hauptsächlich durch Druck oder Wärme. Daß die Erscheinung überhaupt möglich ist, beruht darauf, daß zwischen den Teilchen, aus denen ein Körper zusammengesetzt ist, Zwischenräume vorhanden sind, die sich vergrößern und verkleinern können. Durch Vermehrung des äußeren Drucks ist es möglich, nicht nur den Rauminhalt (oder das Volum) eines Körpers unter Beibehaltung seiner Eigenschaften zu verkleinern, sondern auch den Körper aus einem Aggregatzustande in den benachbarten überzuführen: z. B. Wasserdampf zu verflüssigen. Dasselbe wird durch Entziehung von Wärme oder Abkühlung erreicht, während umgekehrt Zuführung von Wärme das Volum vergrößert, sowie den festen Aggregat-

zustand durch den flüssigen und schließlich durch den gasförmigen zu ersetzen imstande ist. Näheres hierüber sowie über wichtige Ausnahmen von diesem Verhalten der Körper gegenüber der Wärme bringt die Wärmelehre.

3. Kristallographie.

(Lehre von den Kristallformen.)

Kristallisation; Begriff des Kristalls. Wenn man einen festen Körper in einer Flüssigkeit, z. B. Alaun in Wasser, aufgelöst hat, so kann man jenen dadurch wiedererhalten, daß man die Flüssigkeit — das sogenannte Lösungsmittel — aus der Lösung beseitigt. Dies geschieht entweder durch offenes Stehenlassen der Lösung an der Luft — in diesem Falle verdunstet die Flüssigkeit allmählich — oder durch Erwärmen der Lösung, wobei die Flüssigkeit schneller verdampft und unter Umständen (bei geeigneter Temperatur und geeignetem äußeren Druck) siedet oder kocht. (Vgl. darüber Genaueres im 11. Kapitel, Abschnitt „Änderung des Aggregatzustandes“.)

Hier wird die Rolle ersichtlich, welche die Zeit bei physikalischen Prozessen spielt. Während im zweiten Falle die höhere Wärme eine Kraft darstellt, die mehr oder minder schnell die Umwandlung des flüssigen Lösungsmittels in Dampf bewirkt, übt im ersten Falle, wo die die Umwandlung bewirkende Kraft (die Wärme der Umgebung) kleiner ist, die Länge der Zeit eine Summationswirkung aus (natürlich ohne selbst eine Kraft im physikalischen Sinne darzustellen). Allgemein kann die kleinste Kraft die größte Kraftleistung oder Arbeit vollbringen, wenn nur die Zeit, während welcher sie wirkt, lang genug ist.

Das Wiedererscheinen eines gelöst gewesenen festen Körpers im festen Zustande innerhalb der Lösung nennt man das Ausscheiden des Körpers.

Vielfach beobachtet man, daß die festen Körper beim Ausscheiden aus einer Lösung bestimmte regelmäßige Gestalten annehmen; dies ist z. B. beim Alaun der Fall, wenn er aus seiner wäßrigen Lösung gewonnen wird. Ein Körper, der eine bestimmte regelmäßige, ihm eigentümliche (oder wesentliche) äußere Gestalt besitzt, heißt ein Kristall; seine Gestalt wird als Kristallform bezeichnet. Körper ohne eine derartige bestimmte äußere Form nennt man amorphe (gestaltlose) Körper.

Zu der Begriffsbestimmung eines Kristalls gehören aber noch weitere Umstände. Ein kristallisierter Körper besitzt nicht nur eine bestimmte äußere Gestalt, die ihm eigentümlich ist und mit seiner chemischen Natur im Zusammenhang steht, sondern es offenbart sich in ihm auch eine bestimmte gesetzmäßige Anordnung seiner Moleküle oder größerer Molekülgruppen (Molekular-Aggregate — vgl. S. 31), und zwar insofern, als er nach gewissen Richtungen Unterschiede in der Elastizität und Kohäsion (Härte, Spaltbarkeit), sowie in dem Verhalten gegen das Licht, die Wärme, die Elektrizität und den Magnetismus aufweist. Ein amorpher Körper ist nach allen Richtungen von gleichartiger Beschaffenheit.¹⁾

Ein und derselbe Körper kann im amorphen und im kristallisierten Zustande auftreten. (Beispiele: Schwefel, Kohlenstoff; Kieselsäure, kohlensaurer Kalk u. a.) Es sind dann in beiden Zuständen die physikalischen Eigenschaften des Körpers verschiedene, so z. B. die Farbe, das Verhalten gegen den Eintritt und Durchtritt von Licht, die Wärmeleitung, die Löslichkeit in gewissen Mitteln usw.

Unter geeigneten Bedingungen, häufig unter dem Einfluß der Wärme, vermag der eine Zustand in den andern überzugehen. So wird kristallisierter Schwefel durch Schmelzen und rasches Abkühlen amorph.

Körper, welche bei dem Mangel einer äußeren Kristallform doch eine regelmäßige innere Struktur besitzen oder welche aus unvollkommenen und in ihrer Form unbestimmbaren (kleinen) Kristallen zusammengesetzt sind, heißen kristallinische Körper. (Beispiele: Marmor = kristallinisches kohlensaures Calcium, Alabaster = kristallinisches schwefelsaures Calcium, Hut Zucker.)

Sehr kleine Kristalle, welche in ihrer Zusammenhäufung einem Pulver gleichen, nennt man Kristallmehl (auch kristallinisches Pulver).

Nicht immer entstehen die Kristalle durch Ausscheidung aus einer Lösung. Andere Entstehungsarten sind die Erstarrung (d. h. das Festwerden) flüssiger Körper und die Erstarrung gasförmiger Körper oder die Sublimation. Der Schnee bildet sich beispielsweise infolge von Erstarrung atmosphärischen Wassers.

Jedes Lösungsmittel vermag nur eine gewisse Menge eines festen Körpers zu lösen, die außer von der Natur des Lösungs-

¹⁾ O. Lehmann hat den Begriff des Kristalls etwas anders gefaßt. Nach ihm ist ein Kristall jeder chemisch homogene (gleichartige) Körper, welcher bei Abwesenheit eines durch äußere oder innere Spannungen hervorgerufenen Zwanges anisotrop ist, d. h. nicht nach allen Richtungen hin die gleichen physikalischen Eigenschaften besitzt. Es gibt hiernach auch flüssige Kristalle. — Wir beschränken uns auf die oben gegebene Begriffsbestimmung. — (Über Isotropie und Anisotropie vgl. den letzten Abschnitt dieses Kapitels: Dimorphie und Isomorphie; Isogonie; Isotropie.)

mittels und des gelösten Stoffes auch von dem Wärmegrade oder der Temperatur abhängig ist. Eine Lösung, welche die unter den herrschenden Bedingungen größtmögliche Menge des gelösten Stoffes enthält, heißt gesättigt. — Als Löslichkeit bezeichnet man die Fähigkeit eines festen Körpers, sich in gewisser Menge in einer Flüssigkeit zu lösen. — Die Löslichkeit der meisten Stoffe wächst mit steigender Temperatur des Lösungsmittels. Aus einer gesättigten Lösung kann man daher im allgemeinen den gelösten Körper durch Abkühlung erhalten. Körper, deren Löslichkeit in einem gewissen Lösungsmittel mit steigender Temperatur nicht zunimmt (z. B. Kochsalz in Wasser), können nicht durch Abkühlen, sondern nur durch Verdampfen des Lösungsmittels — durch Verdunsten oder Abdampfen der Lösung — zum Ausscheiden bzw. Auskristallisieren gebracht werden.

Je langsamer und ungestörter die Ausscheidung eines gelösten Stoffes erfolgt, desto größer und schöner werden die entstehenden Kristalle. Solche Kristalle schließen aber mehr von dem Lösungsmittel nebst den etwa sonst noch darin enthaltenen Stoffen — mehr von der sogenannten Mutterlauge — in sich ein als das Kristallmehl. Da letzteres somit reiner ist, wird seine Bildung häufig dadurch absichtlich herbeigeführt, daß man die erkaltende Lösung mit einem Stabe lebhaft umrührt.

Vielfach enthalten die Kristalle bestimmte Gewichtsmengen Wasser, das sie nicht nur mechanisch einschließen, sondern mit dem sie nach der Art der Lösung verbunden sind. Dieses Wasser wird Kristallwasser genannt. Das Verwittern mancher Kristalle besteht darin, daß dieselben beim Liegen in trockener Luft ganz oder teilweise ihr Kristallwasser verlieren. Soda, Bittersalz, Glaubersalz verwittern nach und nach vollständig, indem sie in ein weißes Pulver zerfallen, wobei sie die Hälfte ihres ursprünglichen Gewichtes einbüßen. Andere Kristalle verlieren ihr Kristallwasser erst, wenn sie erwärmt werden; in der Siedehitze des Wassers geben die meisten Kristalle ihr Kristallwasser ab; einige Körper behalten aber auch dann noch einen Rest desselben, wie Alaun, Eisenvitriol u. a.; erst in schwacher Glühhitze geht auch ihnen die letzte Spur des Kristallwassers verloren. In vielen Fällen ist mit dem Verlust des Kristallwassers ein Farbenwechsel verbunden; der wasserfreie Körper erscheint weiß oder doch weißlich gefärbt; recht auffallend zeigt sich dies am Kupfervitriol.

Kristallform. Die Kristallform eines Körpers besteht darin, daß der Körper von einer bestimmten Anzahl von Flächen begrenzt wird, die unter bestimmten Winkeln gegeneinander geneigt sind und bestimmte physikalische (untereinander gleiche oder ungleiche) Beschaffenheit haben.

Die Gestalt der Flächen kommt erst in zweiter Linie in Betracht; sie ist veränderlich und mithin unwesentlich.

Eine jede Kristallfläche wird theoretisch als eine Ebene be-

trachtet; in Wirklichkeit ist sie keineswegs unbedingt eine Ebene, sondern sie kommt einer solchen nur bald mehr, bald weniger nahe.

Jeder Fläche am Kristall entspricht eine Parallelfäche oder Gegenfläche (eine Ausnahme hiervon machen gewisse halbflächige Kristalle oder Halbflächner); und nicht nur an der Außenseite eines Kristalls hat jede Fläche und ihre Parallele ein Dasein, sondern auch überall im Innern, in paralleler Lage. Dementsprechend vermag ein Kristall in seiner Mutterlauge durch Anlagerung neuen Stoffes an die Flächen (und somit Bildung neuer Außenflächen) zu wachsen. — Wenn man einen Kristall parallel einer seiner Flächen teilt, so hat man die Bruchstücke (Spaltungsstücke) ihrem Wesen nach nicht als Teile, sondern als vollständige Kristalle zu erachten. Die dabei entstehenden Spaltungsflächen sind die den ursprünglichen äußeren Flächen des Kristalls entsprechenden inneren Flächen, die nun zu äußeren Begrenzungsflächen geworden sind. Hat ein Kristall Sprünge, so lassen sich die spätern Spaltungsflächen bereits im Inneren des Kristalls erkennen, ehe derselbe in Stücke zerfallen ist.

Längs der Spaltungsrichtungen ist die Kohäsion eine geringere als nach den übrigen Richtungen im Kristall; und hierin hat die Spaltbarkeit ihren Grund. (Vgl. S. 15.) Nach den verschiedenen, durch die äußeren Kristallflächen dargestellten Richtungen ist die Spaltbarkeit häufig ungleich groß; bisweilen ist die Spaltbarkeit in gewissen Richtungen so gering, daß den äußeren Flächen überhaupt keine Spaltungsfläche entspricht. Spaltungsrichtungen von gleicher Vollkommenheit sind äußeren Flächen von gleicher physikalischer Beschaffenheit parallel.

Je zwei zusammenstoßende Kristallflächen bilden eine Kante; drei oder mehr zusammenstoßende Kanten bilden eine Ecke. An der Bildung einer Ecke beteiligen sich außer den Kanten die zwischen ihnen liegenden Flächen, und zwar sind dies mindestens drei.

Der Winkel zwischen zwei längs einer Kante zusammenstoßenden Flächen heißt Kantenwinkel. Die Kantenwinkel der Kristalle haben bestimmte (konstante) Werte. Sie sind von hervorragender Wichtigkeit für die Erkennung der Kristallform. (Siehe S. 23.) Sie werden mit dem Goniometer gemessen.

Ein von zwei zusammenstoßenden Kanten gebildeter Winkel heißt Flächenwinkel, weil sein Winkelraum in einer Kristallfläche liegt.

Man teilt die Kristallformen in einfache und zusammengesetzte ein, je nachdem alle Flächen des Kristalls einander gleichwertig (von gleicher physikalischer Beschaffenheit) sind oder (physikalisch) verschiedenartige Flächen an demselben Kristall vorkommen. Die zusammengesetzten Formen heißen auch Kom-

binationen; sie lassen sich als aus mehreren einfachen Kristallformen zusammengesetzt betrachten.

Kristallsysteme. Alle diejenigen einfachen Kristallformen, deren Kombinationen an demselben Kristall vorkommen können, lassen sich auf geometrischem Wege (durch Abstumpfen oder Zuschärfen der Kanten, Abstumpfen, Zuschärfen oder Zuspitzen der Ecken) von einer gemeinsamen Grundform ableiten. Sie werden zu einem besonderen Kristallsystem vereinigt. — Auf diese Weise gelangt man zur Aufstellung von sechs verschiedenen Kristallsystemen.

Zum besseren Verständnis der verschiedenen Formen eines und desselben Kristallsystems und ihrer Beziehungen zueinander, sowie zur deutlicheren Hervorhebung der Eigentümlichkeiten der verschiedenen Systeme denkt man sich im Innern der Kristalle gewisse gerade Linien — die Kristallachsen oder kurz Achsen — gezogen, welche entweder zwei gegenüberliegende Ecken oder die Mitten gegenüberliegender Flächen oder Kanten verbinden. Die Achsen innerhalb eines Kristalls schneiden sich in einem Punkte und bilden zusammen das Achsenkreuz. Ihre Anzahl ist drei oder vier. Eine durch zwei Achsen gelegte Ebene heißt Achsen-ebene.

Eine bestimmte Kristallform wird auf die Weise gekennzeichnet, daß man die Lage ihrer Flächen zu den Achsen angibt.

Ehe wir an die Betrachtung der verschiedenen Kristallsysteme und ihrer Kristallformen gehen, müssen wir noch des Begriffs der Zone und der Zonenachse Erwähnung tun.

Eine Zone bilden solche Flächen eines Kristalls, welche sich in parallelen Kanten schneiden. Jede dieser Kanten sowie jede ihnen parallele Linie heißt eine Zonenachse.

Die Kristallachsen sind gewissen Zonenachsen parallel, bzw. fallen mit ihnen zusammen.

Eine Gesamtheit von zwei oder mehr Flächen nebst ihren Gegenflächen oder Parallellflächen, welche zu einer und derselben Zone gehören, heißt ein Prisma. Ein Prisma ist ein offener Kristallraum. Es wird zu einer geschlossenen Form, wenn noch eine Fläche (nebst Gegenfläche) hinzutritt, die alsdann mit jeder Prismenfläche (nebst Gegenfläche) eine neue Zone bildet. Ein jeder Kristall wird hiernach von mindestens drei Flächen (nebst ihren Gegenflächen) gebildet. Bei den Halbfächern können die Gegenflächen fehlen; sie werden durch mindestens vier (einfache) Flächen gebildet.

Wenn man sich die Flächen eines Kristalls in dem Maße vergrößert bzw. verkleinert (und zugleich die Parallellflächen einander genähert bzw. voneinander entfernt) denkt, daß alle gleichwertigen Flächen die gleiche Gestalt und

Größe erhalten, so hat man die ideale Kristallform des betreffenden Körpers vor sich. Da solche idealen Kristallformen aber in der Natur gar nicht oder bloß ausnahmsweise vorkommen, darf man die in der Mehrzahl wirklich anzutreffenden Formen nicht als Verzerrungen bezeichnen und ihr Studium nicht vernachlässigen. — Aus Raummangel werden wir jedoch im folgenden nur den idealen Kristallformen unsere Aufmerksamkeit zuwenden. Die Abbildungen 3a, 3b und 3c zeigen drei Kristallformen des Alauns, wie sie die Wirklichkeit häufig darbietet; Abb. 4 ist die ideale Kristallform des Alauns.

Unter der Voraussetzung, daß wir es mit idealen Kristallformen zu tun haben, können wir nach der Anzahl, der gegenseitigen Stellung und dem Längen-

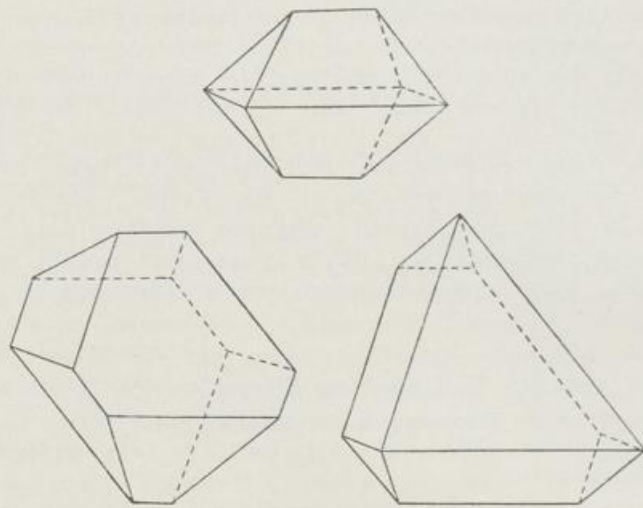


Abb. 3a—3c. Verschieden gestaltete Alaunkristalle.

verhältnis der Kristallachsen die folgenden sechs Kristallsysteme unterscheiden (siehe S. 25):

I. Das **reguläre**, tesserale, gleichachsige oder gleichgliedrige System. — Drei gleichlange, einander rechtwinklig schneidende Achsen. — Die Symmetrie der Kristalle ist in bezug auf jede der drei Achsenebenen oder, was dasselbe besagt, in der Richtung jeder der drei Achsen die gleiche.

(Erklärung des Ausdrucks „Glieder“ siehe unter dem monoklinen System.)

A. Vollflächner.

Die wichtigsten Formen dieses Systems sind:

a) Das reguläre Oktaeder, begrenzt von acht gleichen, gleichseitigen Dreiecken; die Achsen verbinden je zwei gegenüberliegende Ecken miteinander. (Alaun.) Abb. 4, sowie Abb. 3a, 3b und 3c.

b) Der Würfel (Kubus) oder das reguläre Hexaeder, begrenzt von sechs gleichen Quadraten; die Achsen verbinden die Mitten je zweier gegenüberliegender Flächen miteinander. (Kochsalz, Jodkalium.) Abb. 5.

c) Das Granatoeder oder Rhombendodekaeder, begrenzt von zwölf gleichen Rhomben; der Körper hat zwei Arten von Ecken; die Achsen verbinden je zwei gegenüberliegende vierkantige (oder Oktaeder-) Ecken miteinander. (Granat.) Abb. 6.

B. Halbflächner.

Die Halbflächner oder hemiedrischen Formen kann man sich aus voll-

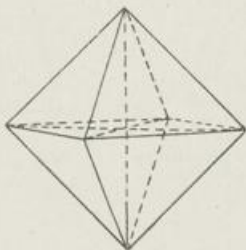


Abb. 4. Ideale Kristallform des Alauns. — Oktaeder.

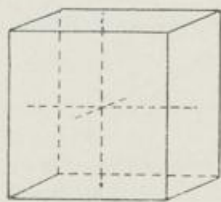


Abb. 5. Würfel.

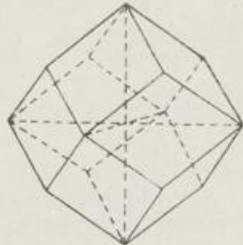


Abb. 6. Granatoeder.

flächigen oder holoedrischen Formen auf die Weise entstanden denken, daß die abwechselnden Flächen eines Vollflächners sich bis zum Verschwinden der übrigen — zwischenliegenden — Flächen (also der Hälfte aller Flächen) ausdehnen.

Aus dem regulären Oktaeder entsteht auf diese Weise

das Tetraeder; dasselbe ist also der Halbflächner des Oktaeders. Es wird von vier gleichen, gleichseitigen Dreiecken begrenzt. Es ist nicht parallellächig; die Achsen verbinden die Mitten der Kanten. Abb. 7a und 7b. (Abb. 7a zeigt die Entstehung bzw. Ableitung des Tetraeders aus dem Oktaeder; die Flächen a, b und eine auf der Rückseite des Oktaeders befindliche wachsen bis zum Verschwinden der übrigen.)

2. Das **quadratische**, tetragonale, zwei- und einachsige oder viergliedrige System. — Drei senkrecht aufeinander stehende Achsen, von denen zwei einander gleich sind, die dritte länger oder kürzer ist als jene. Die ungleiche Achse heißt Hauptachse, die beiden andern Nebenachsen. Man stellt die Kristalle bei ihrer Betrachtung — hier wie in den übrigen Systemen — so, daß die Hauptachse eine senkrechte Lage erhält. — Die Symmetrie der Kristalle ist in der Richtung der Hauptachse verschieden von der Symmetrie in den Richtungen der beiden Nebenachsen.

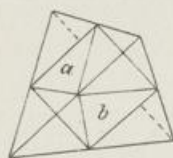


Abb. 7a. Oktaeder mit dem daraus entstehenden Tetraeder.

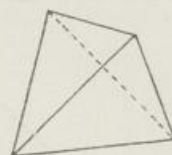


Abb. 7b. Tetraeder.

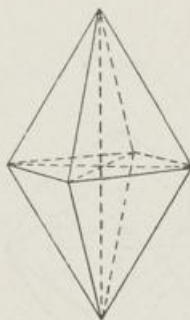


Abb. 8a. Spitzes Quadratoktaeder.

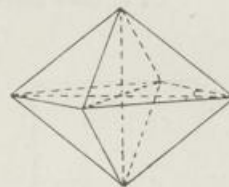


Abb. 8b. Stumpfes Quadratoktaeder.

Die wichtigsten Formen des Systems sind:

Das Quadratoktaeder, welches auch als eine vierseitige Doppelpyramide mit quadratischer Grundfläche angesehen werden kann. Es hat zweierlei Kanten (Mittel- und Endkanten) und zweierlei Ecken (Mittel- und Endecken).

Je weniger die Hauptachse von den Nebenachsen verschieden ist, um so mehr gleicht ein Quadratoktaeder dem regulären Oktaeder (um so geringer wird der Unterschied zwischen den Mittel- und den Endkantenwinkeln). (Zinnstein.) Abb. 8a und 8b.

Die quadratische Säule (oder das quadratische Prisma) ist für sich eine offene Kristallform und besitzt vier zur Hauptachse parallele Kristallflächen. Begrenzt kann es oben und unten werden durch eine vierseitige Pyramide (Kombination mit dem Quadratoktaeder) oder durch die Endflächen (Pinakoid), die zu beiden Nebenachsen parallel sind. Die letztere Kombination (quadratische

Säule mit Endflächen) kann genau das Aussehen eines — nicht idealen — Würfels haben; doch sind die Endflächen physikalisch verschieden von den Säulenflächen.

3. Das **rhombische**, ein- und einachsige oder zweigliedrige System. — Drei senkrecht aufeinander stehende Achsen, die alle verschieden lang sind. Eine derselben — gleichgültig, welche — wird als Hauptachse angesehen, die beiden andern als Nebenachsen. — Die Symmetrie der Kristalle ist in allen drei durch die Achsen angegebenen Richtungen verschieden. Es gibt somit drei verschiedene Symmetrieebenen (Achsenebenen).

In diesem System kristallisieren:

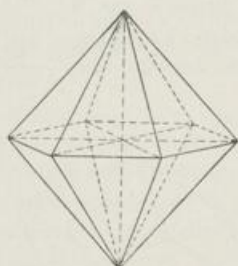


Abb. 9. Dihexaeder.

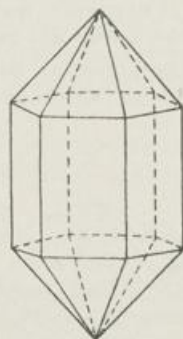


Abb. 10. Bergkristall.
(Sechseckige Säule mit Dihexaeder.)

Schwefel (Rhombenoktaeder), Bittersalz (rhombische Säule), Schwerspat, Kalisalpeter u. v. a.

4. Das **monokline**, monosymmetrische, klinorhombische oder zwei- und eingliedrige System. — Drei verschieden lange Achsen, von denen zwei senkrecht aufeinander stehen, während die dritte auf einer von jenen senkrecht, auf der anderen aber schief steht. — Nennt man die drei Achsen a , b , und c und stehen a und b sowie b und c aufeinander senkrecht, a und c aber nicht, so teilt nur die Achsenebene ac einen diesem System angehörenden Kristall in zwei symmetrische Hälften; es gibt also nur eine Symmetrieebene (ac), und nur beiderseits dieser stellt der Kristall zwei Glieder (symmetrische Hälften) dar; beiderseits der anderen Achsenebenen zeigt er je ein Glied. (Augit, Feldspat, Gips, Glaubersalz, Soda, Zucker u. a.)

5. Das **trikline**, asymmetrische, klinorhomboidische oder eingliedrige System. — Drei verschieden lange Achsen, die sämtlich schiefwinklig aufeinander stehen. (Kupfervitriol.)

6. Das **hexagonale**, drei- und einachsige oder sechsgliedrige System. — Vier Achsen, von denen drei gleichlang sind, in einer Ebene liegen und sich unter Winkeln von 60° schneiden, während die vierte von jenen verschieden ist und senkrecht auf ihnen steht; die letztere wird als Hauptachse

angesehen. — Die Symmetrie der Kristalle ist in drei Richtungen, die in einer Ebene liegen, die gleiche; diese Ebene ist die Ebene der Nebenachsen, sie steht senkrecht zur Hauptachse. Die Hauptachse selbst bezeichnet eine andere Symmetrierichtung; sie ist zugleich in optischer Hinsicht ausgezeichnet (optische Achse). — Die Kristalle dieses Systems haben wie die des viergliedrigen kein vorn und hinten, kein rechts und links, sie können vielmehr um die Hauptachse um 60° (die viergliedrigen Kristalle um 90°) gedreht werden, ohne ihre Stellung zu ändern.

Die wichtigsten Formen dieses Systems sind:

A. Vollflächner.

a) Das Dihexaeder, begrenzt von zwölf gleichen, gleichschenkligen Dreiecken; zweierlei Kanten und zweierlei Ecken. (Quarz.) Abb. 9.

b) Die sechseckige Säule. (Bergkristall; Kombination mit dem Dihexaeder, durch welches die an sich offene Säule oben und unten einen Abschluß erhält. Abb. 10.)

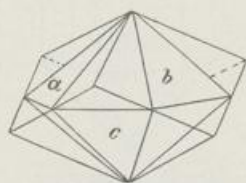


Abb. 11 a. Dihexaeder mit dem daraus entstehenden Rhomboeder.

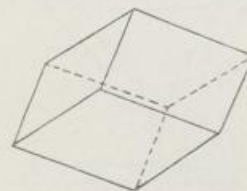


Abb. 11 b. Rhomboeder.

B. Halbflächner.

Das Rhomboeder ist der Halbflächner des Dihexaeders und wird begrenzt von sechs gleichen Rhomben (Abb. 11 a und 11 b). Das Rhomboeder in Abb. 11 a entsteht durch Wachsen der Flächen a, b und c und drei auf der Rückseite des Dihexaeders befindlicher Flächen, die übrigen Flächen verschwinden. (Kalkspat.)

Dimorphie und Isomorphie; Isogonie; Isotropie. Für die meisten Körper gilt das Gesetz, daß sie nur in den Formen eines und desselben Kristallsystems kristallisieren. Häufig kommen sie sogar nur in einer bestimmten Kristallform vor; in anderen Fällen kristallisieren sie in zwei oder drei Formen, die sich dann auseinander herleiten lassen. Nur selten findet es sich, daß ein Körper mehreren Kristallsystemen angehört.

Die Eigenschaft eines Körpers, in zwei (oder mehr) verschiedenen (nicht aufeinander zurückführbaren) Kristallformen auftreten zu können, heißt Dimorphie (bzw. Heteromorphie). Dimorphe Körper sind z. B. der Schwefel, welcher sowohl in rhom-

bischen Oktaedern wie in monoklinen Säulen, und der kohlensaure Kalk, welcher als Kalkspat im hexagonalen, als Arragonit im rhombischen System kristallisiert.

Das Gegenstück zu den dimorphen bzw. heteromorphen Körpern bilden solche Stoffe, welche bei verschiedener, wengleich ähnlicher chemischer Zusammensetzung dieselbe Kristallform haben; man nennt sie isomorph. Sie vermögen in jedem beliebigen Mischungsverhältnis zusammen zu kristallisieren, und das spezifische Gewicht (siehe später) der Mischkristalle läßt erkennen, daß bei der Kristallisation weder eine Vergrößerung noch eine Verringerung des Volums eintritt. Die physikalischen Eigenschaften der Mischkristalle sind kontinuierliche Funktionen ihrer chemischen Zusammensetzung. — Der Entdecker der Isomorphie ist Mitscherlich.

Es kommt auch vor, daß Stoffe von verschiedenartiger chemischer Zusammensetzung dieselbe Kristallform besitzen; sie heißen isogon (J. W. Retgers). Beispiel: Bleiglanz und Natriumchlorat.

Isomorphe Körper sind z. B. die schwefelsauren, selen-sauren, chromsauren und mangansauren Salze derselben Base oder Basis, wie: K_2SO_4 , K_2SeO_4 , K_2CrO_4 , K_2MnO_4 ; ferner Tonerde, Eisenoxyd und Chromoxyd (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3), Kristallform: Rhomboeder; desgleichen Tonerde-, Chrom-, Eisenalaun, Kristallform: reguläres Oktaeder; Kalkspat, Magnesit, Manganspat, Spateisenstein und Zinkspat (Rhomboeder); Arragonit, Barium-, Strontium-, Bleikarbonat usw.

Der Umstand, daß der dimorphe kohlensaure Kalk einerseits — als Kalkspat — mit Magnesit, Manganspat usw., anderseits — als Arragonit mit Barium- und anderen Karbonaten isomorph ist, lehrt, daß die Ursache der Isomorphie nicht in der gleichen Konstitution der Körper, dem inneren Bau der Moleküle, zu suchen ist (denn Kalkspat und Arragonit müssen gleiche Molekularkonstitution besitzen), sondern in der Gruppierung der Moleküle, dem Bau der Molekular-Aggregate.

Da nicht isomorphe Körper nicht zusammen kristallisieren, so kann ein Salz von geringen Mengen eines andern durch Umkristallisieren gereinigt werden; man löst das unreine Salz auf und läßt Kristallisation eintreten; während dann das reine Salz in kristallisierter Form ausgeschieden wird, verbleibt das verunreinigende Salz in der rückständigen Salzlösung, der Mutterlauge.

Isomorphe Stoffe können auf diese Weise nicht voneinander geschieden werden.

Als isotrop bezeichnet man solche Körper, die nach allen Richtungen hin dieselben physikalischen Eigenschaften besitzen.

Es gehören dahin außer den amorphen Körpern (z. B. Glas und den Flüssigkeiten) die im regulären System kristallisierenden Stoffe. Körper, die in verschiedenen Richtungen verschiedene physikalische Eigenschaften aufweisen, heißen anisotrop (oder heterotrop). Alle nicht regulär kristallisierenden Stoffe sind anisotrop. Das verschiedene Verhalten derselben in verschiedenen Richtungen gibt sich kund in bezug auf Festigkeit, Härte, Elastizität, Wärmeleitung, Lichtfortpflanzung usw. (Vgl. Näheres in letzterer Hinsicht in der Lehre vom Licht, Abschnitt „Polarisation des Lichtes“ u. f.)

4. Wirkungen der Schwerkraft auf alle Arten von Körpern.

(Allgemeine Mechanik.)

Der freie Fall und die Fallrichtung. Läßt man einen Stein, den man vom Erdboden aufgehoben hat, in der Luft los, so daß er keine Unterstützung mehr hat, so bewegt er sich nach dem Erdboden hin, soweit es möglich ist; man sagt: der Stein fällt. (Vgl. S. 9.)

Läßt man zwei Steine (oder auch andere Körper) nebeneinander fallen, so ist die Richtung, in welcher sie sich der Erde nähern, für beide nahezu dieselbe. Diese Richtung kann durch ein einfaches Werkzeug angegeben werden; dasselbe besteht aus einem Faden (oder einer Schnur) und einer an dem einen Ende desselben befestigten Bleikugel; es heißt ein Lot oder Bleilot (Abb. 12). Wenn man das freie Ende des Fadens emporhält, so spannt sich infolge der Schwere der Bleikugel der Faden und nimmt, sobald er ruhig hängt, eine bestimmte Richtung an. Läßt man nun neben dem so aufgehängten Lote einen Stein fallen, so lehrt der Augenschein, daß sich der Stein parallel dem Faden, also in gleicher Richtung, wie dieser sie hat, der Erde nähert.



Abb. 12. Lot.

Diese Richtung heißt lotrecht, senkrecht oder vertikal.

Sie ist, genau genommen, für jeden Punkt der Erdoberfläche eine andere, da sie annähernd¹⁾ nach dem Erdmittelpunkte hinweist und sich somit alle Fallrichtungen in demselben schneiden. Für nahe gelegene

¹⁾ Annähernd, weil der Stein am Ausgangspunkte seiner Fallbewegung die Umdrehung der Erde um ihre Achse auf einem größeren Kreise mitmacht als in dem Augenblicke, wo er auf dem Erdboden anlangt, so daß er anfänglich eine größere seitliche Geschwindigkeit (von Westen nach Osten) besitzt und daher, seiner Trägheit zufolge, nach Osten vorausfällt.

Punkte der Erdoberfläche ist aber der Unterschied der Fallrichtungen so klein, daß man ihn gleich Null erachten, also vernachlässigen kann.

In seinen wesentlichen Teilen dem Lote ähnlich ist das Senkblei, welches die Schiffer in das Meer hinablassen, um — an der Schnur, die mit einer durch Knoten hergestellten Einteilung versehen ist — die Tiefe des Meeres zu messen.

Hält man ein Lot über die Oberfläche eines ruhigen Gewässers, so bildet der Faden des Lotes mit jeder geraden Linie, die man in der Ebene des Wasserspiegels durch den Fußpunkt des Lotes ziehen kann, rechte Winkel. Eine derartige Ebene heißt wagerecht oder horizontal. Solche geraden Linien und gestreckten Körper (Stangen, Balken usw.), durch deren Richtung man eine wagerechte Ebene legen kann, heißen gleichfalls wagerecht oder horizontal.

Zur Bestimmung der wagerechten Stellung oder Richtung dient die Setzwage (Abb. 13). Sie besteht aus einem Lineal (ab) und einem damit verbundenen gleichschenkligen Dreieck (abc), in welches die Höhe (cd) eingeschnitten ist. Von der Spitze des Dreiecks hängt ein Lot herab (cd). Wenn dieses, das sich stets senkrecht einstellt, mit der Höhe zusammenfällt, so hat das zur Höhe rechtwinklige Lineal eine wagerechte Richtung, desgleichen ein Balken usw., auf den die Setzwage gesetzt oder gestellt worden ist.

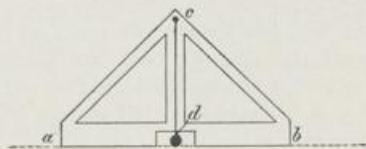


Abb. 13. Setzwage.

Erstes Fallgesetz. Wenn an einer Ramme der Rammklotz oder Rammbar aus einer größeren Höhe herabfällt, so ist der Schlag, den er ausübt, gewaltiger, als wenn er aus einer geringeren Höhe niederfällt. Etwas Ähnliches zeigt sich, wenn ein Mensch aus verschiedenen Höhen auf die Erde fällt: man vergleiche die Wirkungen, welche eintreten, wenn der Fall von einem Stuhl, von dem Dache eines Hauses oder einem 1000 Meter hoch schwebenden Luftballon stattfindet.

Worin liegt der Grund für diese Erscheinung? — Die Masse des fallenden Körpers ist in den genannten Beispielen bei dem Fall aus großer und aus geringer Höhe die gleiche, also kann sie nicht die Verschiedenheit der Wirkung verursachen; die ursprüngliche Höhe des fallenden Körpers kann dies an sich gleichfalls nicht, denn bei einem später erfolgenden Aufprall spielt dieselbe keine Rolle mehr. Es muß somit ein Umstand hier in Betracht kommen, den der Körper auf Grund seiner ursprünglichen Höhe

erlangt hat und den er beim Aufprall noch besitzt. Dieser Umstand ist die Geschwindigkeit des Körpers. (Vgl. S. 3.)

Daß ein bewegter Körper auf einen andern Körper, auf welchen er trifft, eine größere Wirkung ausübt, wenn seine Geschwindigkeit größer ist, zeigt auch die sonstige Erfahrung in zahlreichen Beispielen. (Anrempeln, Einrennen einer Tür oder Mauer, Hämmern, Rudern usw.)

Die obigen Beispiele lehren somit, daß ein fallender Körper eine um so größere Geschwindigkeit hat, je höher er herabfällt, oder mit anderen Worten: je länger er unterwegs ist.

Hiernach nimmt die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers fortwährend zu, und zwar geschieht dies in jeder Sekunde um den gleichen Betrag.

Diese Tatsache erklärt sich folgendermaßen: Die Ursache des Fallens eines nicht unterstützten Körpers ist die Schwerkraft. Sie erteilt dem Körper, der im Beginne des Falls die Geschwindigkeit 0 besitzt, eine Geschwindigkeit, die am Ende der ersten Sekunde g m betragen möge. In der zweiten Sekunde wirkt die Schwerkraft nahezu¹⁾ ebenso wie in der ersten; der Körper erhält also während derselben wiederum eine Geschwindigkeit von g m; da er aber bereits eine Geschwindigkeit von g m hatte, die ihm nach dem Trägheitsgesetz (S. 2) nicht verloren gehen kann, so besitzt er tatsächlich am Ende der zweiten Sekunde eine Geschwindigkeit von $2g$ m. Desgleichen am Ende der dritten Sekunde eine Geschwindigkeit von $3g$ m und so fort.

Wegen der gleichen Zunahme der Geschwindigkeit in jeder Sekunde — mit anderen Worten: wegen der gleichbleibenden Beschleunigung — gehört der freie Fall der Körper (nach S. 3) zu den gleichmäßig beschleunigten Bewegungen.

Die Beschleunigung beträgt für den freien Fall:

$$g = 9,808 \text{ m (rund} = 10 \text{ m)}$$

oder, nach dem C.G.S.-System, in Centimetern ausgedrückt, rund:

$$g = 981 \text{ cm.}$$

Aus dem Erörterten ergibt sich die folgende genaue Form für das

1. Fallgesetz: Beim freien Fall eines Körpers verhalten sich die Fallgeschwindigkeiten wie die Fallzeiten.

Als Fallgeschwindigkeiten bezeichnet man die Geschwindigkeiten am Ende der einzelnen Sekunden, oder noch schärfer ausgedrückt: Die Fallgeschwindigkeit eines Körpers am Ende irgend einer

¹⁾ Nahezu und nicht genau ebenso, weil wegen der Annäherung des fallenden Körpers an die Erde (bzw. den Erdmittelpunkt) die Schwerkraft und damit die Beschleunigung, die diese ausübt, wächst. (Vgl. S. 12 und S. 39.)

Sekunde ist diejenige Geschwindigkeit, welche der Körper in der nächsten und allen weiterfolgenden Sekunden haben würde, wenn von diesem Momente ab die Schwerkraft aufhörte zu wirken, der Körper sich also nur auf Grund seines Beharrungsvermögens weiterbewegte und seine Bewegung aus einer gleichmäßig beschleunigten in eine gleichförmige überginge. (Vgl. S. 3.)

Zweites Fallgesetz. Ein fallender Stein hat nach dem eben Erörterten am Anfang der ersten Sekunde die Geschwindigkeit 0, am Ende der ersten Sekunde die Geschwindigkeit g . Der Weg, den er während der ersten Sekunde zurücklegt, ist somit nicht $= g$, sondern, da die Geschwindigkeit ganz gleichmäßig von 0 auf g anwächst, so groß, als wenn der Stein sich während der ganzen Sekunde mit gleichbleibender Geschwindigkeit von der mittleren Größe $\frac{g}{2}$ bewegt hätte. Dieser Weg ist nach Formel (1) a. S. 3:

$$s = \frac{g}{2} \cdot 1 = \frac{g}{2}.$$

Für die zweite Sekunde ist die Anfangsgeschwindigkeit $= g$, die Endgeschwindigkeit $= 2g$, die mittlere Geschwindigkeit also $= \frac{3g}{2}$ oder $= 3 \cdot \frac{g}{2}$; der zurückgelegte Weg ist dann $= 3 \cdot \frac{g}{2} \cdot 1 = 3 \cdot \frac{g}{2}$.

Für die 3., 4., 5. Sekunde usw. ergeben sich auf gleiche Weise die Wege $5 \cdot \frac{g}{2}$, $7 \cdot \frac{g}{2}$, $9 \cdot \frac{g}{2}$ usw.

Diese Wege verhalten sich zueinander wie 1:3:5:7:9 usw., d. h. wie die ungeraden Zahlen. Somit ergibt sich als

2. Fallgesetz: Die Wege, die ein fallender Körper in den einzelnen Sekunden zurücklegt, verhalten sich wie die ungeraden Zahlen.

Drittes Fallgesetz. Will man nun die Größe der gesamten Fallstrecke in zwei, drei, vier Sekunden usw. ermitteln, so hat man nur nötig, die Wege in den einzelnen Sekunden zu addieren.

In zwei Sekunden beträgt die Fallstrecke $\frac{g}{2} + 3 \cdot \frac{g}{2} = 4 \cdot \frac{g}{2}$; in drei Sekunden $4 \cdot \frac{g}{2} + 5 \cdot \frac{g}{2} = 9 \cdot \frac{g}{2}$; in vier Sekunden $9 \cdot \frac{g}{2} + 7 \cdot \frac{g}{2} = 16 \cdot \frac{g}{2}$ usw.

Diese Fallstrecken verhalten sich wie 1:4:9:16 $= 1^2:2^2:3^2:4^2$ usw., d. h. wie die Quadrate der Fallzeiten. — Somit gilt als

3. Fallgesetz: Die gesamten Fallstrecken, die ein fal-

lender Körper zurücklegt, verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.

Nennt man den in einer beliebigen Fallzeit (t) zurückgelegten Weg s und die am Ende dieser Zeit erlangte Fallgeschwindigkeit v , so lassen sich das 1. und das 3. Fallgesetz durch folgende Formeln wiedergeben:

$$v = g \cdot t \quad (1)$$

$$\text{und} \quad s = \frac{1}{2} g t^2 \quad (2).$$

Hieraus ergibt sich ferner:

$$s = \frac{v^2}{2g} \quad \text{und} \quad v = \sqrt{2gs} \quad (3).$$

Das dritte Fallgesetz kann auch unmittelbar aus dem ersten in folgender Weise abgeleitet werden:

Da die Geschwindigkeit des fallenden Körpers in der Zeit t ganz gleichmäßig von 0 auf gt anwächst, so ist der Weg derselbe, als wenn der Körper sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit von der mittleren Größe $\frac{gt}{2}$ bewegt hätte. Dieser Weg ist nach der auf S. 3 angegebenen Formel (1) $= \frac{gt}{2} \cdot t$. Also:

$$\begin{aligned} s &= \frac{gt}{2} \cdot t = \frac{v}{2} \cdot t \quad (4) \\ &= \frac{1}{2} g t^2. \end{aligned}$$

Die Formeln (1) bis (4) gelten, wie für den freien Fall im besonderen, so allgemein für jede Art einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

Fallmaschine. Die drei Fallgesetze sind um das Jahr 1600 von Galilei entdeckt worden. Man kann sie mittels der 1784 erfundenen Atwoodschen Fallmaschine (Abb. 14) nachweisen.

An einem für sich frei fallenden Körper kann man die Fallgesetze deswegen nicht untersuchen, weil die Fallgeschwindigkeiten und daher die Fallstrecken im Verhältnis zu den Fallzeiten zu groß sind. Beträgt doch z. B. die Fallgeschwindigkeit bereits am Ende der dritten Sekunde rund 30 m und die Fallstrecke, die bis dahin durchlaufen wird, 45 m. Das Prinzip, auf welchem die Einrichtung der Atwoodschen Fallmaschine beruht, besteht daher darin, daß die Fallbeschleunigung verringert wird, so daß die Fallwege übersehbar werden. Dies geschieht, wie die nachfolgende Beschreibung der Fallmaschine zeigt, auf die Weise, daß der fallende Körper noch andere Körpermassen mitbewegt. Galilei erreichte dasselbe durch seine Fallrinne, bei welcher der fallende Körper nicht frei senkrecht fiel, sondern auf einer schiefen Ebene herabrollte. Hierbei kam aber als störendes Moment die große Reibung in der Fallrinne in Betracht.

Die Atwoodsche Fallmaschine: Über eine leicht um ihre Achse drehbare Rolle (R) läuft eine Schnur, die an ihren beiden freien Enden zwei voll-

kommen gleich schwere Gewichte (G und G') trägt. Dieselben halten sich das Gleichgewicht und geraten daher von selbst nicht in Bewegung. Diese tritt vielmehr erst dann ein, wenn auf eins der Gewichte (G') ein Übergewicht gelegt wird. Die Beschleunigung, welche infolge des — dem Einfluß der Schwerkraft nicht entzogenen — Übergewichtes das ganze System der drei Gewichte erfährt, ist nun aus dem Grunde eine geringe, weil der auf das Übergewicht einwirkende Teil der Schwerkraft nicht nur dieses, sondern auch die Massen der beiden anderen Gewichte in Bewegung versetzen muß. Es verteilt sich somit die Wirkung der Schwerkraft auf eine größere Masse, und daher wird die zutage tretende Beschleunigung geringer: und zwar beträgt die Beschleunigung, wenn das Übergewicht mit x bezeichnet wird, $\frac{x}{2G+x}$ mal der Beschleunigung (g) beim freien Fall, d. h. rund $\frac{x}{2G+x} \cdot 10$ m.

Einfluß der Masse auf die Größe der mechanischen Wirkung. Aus dem Letztesagten geht hervor, daß eine mechanische Wirkung nicht nur von der Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung — wie schon vorhin (S. 33—34) erwähnt — sondern auch von der (sich bewegenden oder bewegten) Masse abhängt.

Versuche mit der Fallmaschine. An dem vertikal stehenden Stativ (oder Ständer), der oben die Rolle R trägt, sind, wie Abb. 14 zeigt, eine Klappe, eine durchbrochene Scheibe (oder Ring) und eine undurchbrochene Scheibe (oder Teller) befestigt. Die Klappe befindet sich am oberen Ende des Stativs, am Anfange einer an demselben angebrachten, in Centimeter eingeteilten Skala. Die beiden Scheiben lassen sich längs dieser Skala verschieben. Mit Hilfe dieser Einrichtung kann man 1. die Fallstrecken feststellen, die das Gewicht G' in bestimmten Zeiten, die man an dem Ticktick eines Sekundenpendels erkennen kann, zurücklegt, und 2. die Endgeschwindigkeit, die G' nach einer bestimmten Anzahl von Sekunden erlangt hat. Man muß zu dem Ende aus der Schwere des Übergewichtes und der beiden Gewichte G und G' zuerst die Beschleunigung, der das Übergewicht (nebst G') unterliegt, bestimmen und sodann 1. die Fallstrecken berechnen, die das Übergewicht auf Grund dieser Beschleunigung in 1, 2, 3 usw. Sekunden durchläuft, sowie 2. die Endgeschwindigkeiten, die es nach 1, 2, 3 usw. Sekunden erlangt hat. Die Fallmaschine gestattet nun auf folgende Art eine Kon-

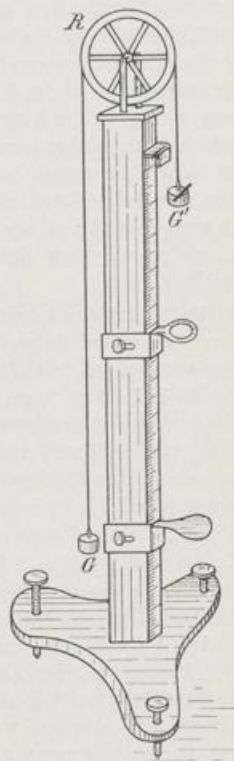


Abb. 14. Atwoodsche Fallmaschine.

trolle dieser berechneten Fallstrecken und Endgeschwindigkeiten. Man entfernt 1. die durchbrochene Scheibe, stellt die undurchbrochene Scheibe auf denjenigen Teilstrich der Skala, der z. B. der Fallstrecke in drei Sekunden entspricht, läßt dann das Gewicht G' nebst Übergewicht von der Klappe herabfallen und beobachtet, ob es mit dem dritten Pendelschlage des Sekundenpendels auf die undurchbrochene Scheibe aufschlägt. 2. stellt man die durchbrochene Scheibe auf einen Teilstrich der Skala, der z. B. der Fallstrecke in zwei Sekunden entspricht, und die undurchbrochene Scheibe um so viel tiefer, als der nach Ablauf von zwei Sekunden erlangten Endgeschwindigkeit entspricht. Läßt man dann G' nebst Übergewicht von der Klappe herabfallen, so langt es nach zwei Sekunden bei der durchbrochenen Scheibe an, und es bleibt, während G' durch dieselbe hindurchgeht, das Übergewicht wegen seiner gestreckten Form auf der Scheibe liegen, so daß G' sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit (= der nach zwei Sekunden erlangten Endgeschwindigkeit) weiterbewegt. Man beobachtet nun, ob es mit dem dritten Pendelschlage auf die undurchbrochene Scheibe aufschlägt.

Fallbeschleunigung. Wenn man einen Stein, ein Geldstück oder einen anderen schweren Körper neben einer Flaumfeder, einem Stück Papier oder einem anderen leichten Körper aus gleicher Höhe gleichzeitig zur Erde fallen läßt, so beobachtet man, daß der Stein usw. schneller auf dem Erdboden anlangt als die Flaumfeder usw. Dies ist aber nur der Fall, wenn der schwere und der leichte Körper in Luft oder einem andern widerstehenden Mittel (Wasser, andern Flüssigkeiten oder beliebigen Gasen) fallen. Läßt man verschieden schwere Körper in einer luftleer gepumpten Glasröhre, einer sogenannten Fallröhre, fallen, so erkennt man, daß sie stets gleich schnell vom einen Ende bis zum andern gelangen. Hieraus ergibt sich der Satz: Im leeren Raume fallen alle Körper gleich schnell.

Diese Tatsache kann man sich folgendermaßen verständlich machen:

Die Schwerkraft, welche zwischen der Erde und einem schweren Körper wirkt, ist zwar größer als die zwischen der Erde und einem leichten Körper, und zwar entsprechend dem Verhältnis der Massen der beiden Körper (vgl. S. 10 und 12); aber dafür hat auch die Schwerkraft im ersten Fall eine größere Masse fortzubewegen als im zweiten, oder mit anderen Worten: eine im gleichen Verhältnis (wie sie selbst größer ist) größere Leistung zu vollbringen, so daß die sichtbare Wirkung in beiden Fällen die gleiche sein muß.

Auch folgendes Gleichnis kann passend zur Veranschaulichung der Sache herangezogen werden. Wenn elf Rennpferde von gleicher Leistungsfähigkeit auf zwei Bahnen laufen, und zwar zehn auf der einen und eins auf der andern, so werden alle gleichzeitig ans Ziel gelangen und nicht etwa die zehn Pferde zehn mal so schnell als das eine. Ebenso müssen zwei verschieden schwere Massen, welche etwa aus 1000 und aus 100 Masseneinheiten zusammengesetzt sind, im leeren Raume gleich schnell fallen, da die Schwerkraft auf alle Masseneinheiten in gleicher Weise einwirkt, also jede einzelne Masseneinheit dieselbe Beschleunigung erfährt.

Anders gestaltet sich die Sache nur dann, wenn es ein Hindernis zu überwinden gilt: im luftgefüllten Raume die Teilchen der Atmosphäre, welche dem

fallenden Körper entgegenstehen. Hier ist der Körper mit größerer Masse wirksamer (vgl. S. 37), er wird also den Widerstand besser überwinden und keine so weitgehende Verzögerung erfahren wie der Körper mit kleinerer Masse, d. h. der leichtere Körper. (Ähnlich wie zehn Pferde mehr zu ziehen vermögen als eins.) — Daß die Ursache dafür, daß verschieden schwere Körper im luftgefüllten Raum verschieden schnell fallen, wirklich nur im Luftwiderstande zu suchen ist, dem die Körper mit ungleich großen Kräften entgegentreten, zeigt auch folgender Versuch:

Man lege auf eine Münze ein Stück Papier, welches etwas kleiner geschnitten ist als jene, so daß es den Rand der Münze nicht überragt, und lasse beide Gegenstände (die Münze unten, das Papier oben) auf den Tisch fallen: beide kommen gleichzeitig auf der Tischplatte an; in diesem Falle wird der Luftwiderstand durch die Münze überwunden, so daß das Papier durch ihn nicht in erheblicherem Maße aufgehalten werden kann als die Münze.

Dem Gravitationsgesetz (S. 12) entsprechend, muß die Wirkung der Schwerkraft mit der Entfernung vom Erdmittelpunkte abnehmen, da dieser, weil ihm die fallenden Körper zustreben, als Wirkungsmittelpunkt der irdischen Schwerkraft oder Gravitationsmittelpunkt zu erachten ist. Die Beobachtung lehrt in der That, daß auf hohen Bergen die Schwerkraft eine geringere Wirkung ausübt, und ferner, daß sie am Äquator schwächer wirkt als an den beiden Polen. (Daher ändert sich das Gewicht eines Körpers mit der geographischen Breite, vgl. S. 10—11.) Letzterer Umstand erklärt sich aus der Form der Erde, die als eine an den Polen abgeplattete Kugel bezeichnet werden kann; die Abplattung beträgt nach Bessel $\frac{1}{299}$, d. h. der kleinste Erdhalbmesser (der Polarhalbmesser) ist gleich dem größten (dem Äquatorial-)Halbmesser, vermindert um $\frac{1}{299}$ der Länge des letzteren.

Die geringere Wirkung der Schwerkraft am Äquator wurde zuerst daran erkannt, daß ein und dasselbe Pendel in der gleichen Zeit nahe dem Äquator weniger Schwingungen machte als in nördlicheren (höheren) Breiten. (Astronom Richer i. J. 1672, Cayenne—Paris.) Ferner ist festgestellt worden, daß am Äquator die Körper eine geringere Fallbeschleunigung erfahren als an den Polen, so daß sie an den Polen schneller fallen.

Senkrechter Wurf. Wird ein Körper senkrecht nach unten geworfen, so ist seine Fallgeschwindigkeit am Ende einer jeden Sekunde um eine von der Gewalt des Wurfes abhängige, gleichbleibende Wurfgeschwindigkeit größer als beim gewöhnlichen freien Fall.

Wird umgekehrt ein Körper senkrecht in die Höhe geworfen, so verringert sich seine Anfangsgeschwindigkeit im Verlaufe einer jeden Sekunde um einen der Beschleunigung beim freien Fall gleichkommenden Betrag. Derselbe wird Verzögerung genannt. Der senkrechte Wurf ist also das Beispiel einer gleichmäßig verzögerten Bewegung. Hat die Geschwindigkeit des Körpers auf diese Weise bis zum Werte Null abgenommen, so fällt

er wieder abwärts; die Endgeschwindigkeit, die er alsdann erlangt, ist gleich der Anfangsgeschwindigkeit, die ihm beim Beginn der Wurfbewegung nach oben hin erteilt worden war. Die Steigezeit beim Wurf ist der späteren Fallzeit gleich.

Wagerechter Wurf. Wird ein Körper wagerecht geworfen, so ist seine Bahn keine gerade Linie wie in den vorhergehenden Fällen, sondern eine (halbe) Parabel. Es wirken nämlich in diesem Falle zwei Kräfte auf den Körper ein (die Wurfkraft und die Schwerkraft), deren Richtung verschieden ist, die also einen Winkel miteinander bilden. Dieselben setzen sich nach dem Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte zusammen.

Arten der Kräfte. Ehe wir diesem Gesetze näher treten, ist es notwendig, zweierlei Arten von Kräften zu unterscheiden: die momentan oder einmalig wirkenden und die dauernd wirkenden, deren Einwirkung auf einen Körper in jeder folgenden Zeiteinheit (Sekunde, Minute usw.) dieselbe ist wie in der vorhergehenden, so daß die hervorgebrachte Leistung von Zeiteinheit zu Zeiteinheit wächst. Zu den momentanen Kräften gehört z. B. die Stoßkraft (als welche auch die Wurfkraft anzusehen ist), zu den dauernd wirkenden Kräften gehört die Schwerkraft. (Vgl. über Momentankräfte auch S. 5.)

Jede Kraft läßt sich, da ihre Wirkung in irgend einer Bewegung einer Masse besteht, durch eine gerade Linie von bestimmter Richtung und bestimmter Länge darstellen. Diese Länge entspricht bei momentan und bei dauernd wirkenden Kräften einerseits der bewegten Masse; bei den momentan wirkenden Kräften außerdem der Größe der Geschwindigkeit, welche sie dieser Masse erteilen; bei den dauernd wirkenden Kräften muß man die Einwirkung der Kräfte auf die bewegte Masse und die von dieser etwa ausgehende (auf andere Körper ausgeübte) Wirkung unterscheiden. Erstere ist stets dieselbe und entspricht der in jeder Zeiteinheit der bewegten Masse zuteil werdenden Beschleunigung; letztere ist von Zeiteinheit zu Zeiteinheit in Zunahme (oder — bei verzögernden Kräften — in Abnahme) begriffen und entspricht der jedesmaligen Geschwindigkeit der bewegten Masse.

Hiernach ist eine momentan oder einmalig wirkende Kraft dem Produkt aus Masse mal Geschwindigkeit proportional. Setzt man abgekürzt statt der Proportionalität die Gleichheit, so gilt folgende Formel:

$$k = m \cdot v \quad (1)$$

oder, da nach Formel (1) S. 3: $v = \frac{s}{t}$ ist:

$$k = m \cdot \frac{s}{t} \quad (1a).$$

Eine derartige momentan oder einmalig wirkende Kraft wird auch Kraftimpuls und ferner Bewegungsgröße genannt.

Eine dauernd wirkende Kraft ist, insofern sie an der Einwirkung der Kraft auf eine bewegte Masse zu messen ist, dem Produkt aus Masse mal Beschleunigung proportional; also, wenn wieder abgekürzt statt der Proportionalität die Gleichheit gesetzt wird:

$$k = m \cdot g \quad (2)$$

oder, da nach Formel (2) S. 36: $g = \frac{2s}{t^2}$ ist:

$$k = m \cdot \frac{2s}{t^2} \quad (2a).$$

Die dauernd wirkenden Kräfte werden — im Unterschied von den Kraftimpulsen — häufig auch schlechtweg Kräfte (ohne weiteren Zusatz) genannt. Als Einheit derselben ist nach dem C.G.S.-System eine Kraft zu betrachten, die einer Masse von 1 Gramm eine Beschleunigung von 1 cm pro Sekunde zu erteilen vermag. Sie heißt das Dyn (oder die Dyne).

Die auf ein Gramm ausgeübte Schwerkraft beträgt hiernach rund 981 Dyn, genauer: an den Polen 983 Dyn, am Äquator 978 Dyn.

Von dem Begriff der Kraft ist derjenige der Energie zu unterscheiden. Während bei der Kraftwirkung die bloße Veränderung im Bewegungszustand eines Körpers in Betracht kommt, wird bei der Energieäußerung die durch die Kraft hervorgerufene bestimmte Kraftleistung (Arbeit) berücksichtigt. Energie heißt demgemäß alles, was disponibler Arbeit äquivalent ist. (Vgl. den Abschnitt „Arbeit und Effekt“, S. 47.)

Die von einer Masse, welche durch eine dauernd wirkende Kraft bewegt wird, auf einen andern Körper ausgehende Wirkung, die diesem gegenüber als momentane Kraft erscheint, ist (gleich den sonstigen momentan wirkenden Kräften) dem Produkt aus Masse mal Geschwindigkeit proportional, wobei aber die Geschwindigkeit eine entsprechend der Zeit, während welcher die dauernd wirkende Kraft in Tätigkeit war, sich ändernde Größe ist. Formel:

$$k = m \cdot v \quad (3)$$

oder, da unter der Annahme, daß die dauernd wirkende Kraft t Sekunden lang in Tätigkeit war, nach Formel (1) S. 36: $v = g \cdot t$ ist:

$$k = m \cdot g \cdot t \quad (3a)$$

und unter Anwendung der Formel (2) S. 36:

$$k = m \cdot \frac{2s}{t} \quad (3b).$$

Eine dauernd wirkende Kraft kommt im zuletzt erörterten Sinne beispielsweise beim freien Fall zur Geltung, wenn der niederfallende Körper auf einen andern Körper aufschlägt.

Gewicht. Nach den vorhergehenden Auseinandersetzungen, insbesondere denen über die Fallbeschleunigung (S. 38 u. f.), kann nun eine genauere Begriffsbestimmung des Gewichtes gegeben werden. Das Gewicht wurde S. 9 als die Größe der Schwere eines Körpers bezeichnet. Hiernach ist es eine durch die Schwerkraft bestimmte Größe. Das Gewicht wird erkennbar, wenn die auf einen Körper einwirkende Schwerkraft verhindert wird, denselben zum Fallen zu bringen, d. h. wenn beispielsweise eine Unterlage den Körper am Fallen verhindert. Alsdann übt der Körper auf seine Unterlage einen Druck aus, den man eben die Schwere des Körpers nennt. Hervorgehoben wurde bereits, daß die Größe der Schwere (oder das Gewicht) einerseits von der Masse des Körpers und andererseits von der Natur der wirkenden Kraft oder genauer: der Intensität (d. h. der Stärke) der Schwerkraft abhängt. Je größer die Masse des Körpers, desto größer sein Gewicht (das Gewicht ist ein Maß der Masse); und ferner: je größer die Intensität der Schwerkraft (was z. B. an den Polen im Vergleich zum Äquator der Fall ist — und ebenso bieten andere Weltkörper als die Erde andere Verhältnisse dar), desto größer das Gewicht des Körpers. Da sich nun nach den vorstehenden Erörterungen die Intensität der Schwerkraft in der Beschleunigung äußert, die sie einem fallenden Körper erteilt, so ist das Gewicht (p) sowohl der Masse (m) als auch der durch die Schwerkraft bewirkten Beschleunigung (g) proportional, oder es ist, wenn man statt der Proportionalität die Gleichheit setzt:

$$p = m \cdot g \quad (1),$$

wonach wegen Formel (2) S. 41 das Gewicht eines Körpers von der Masse m von gleicher Art ist wie die auf die Masse m sich erstreckende dauernd wirkende Kraft der Erdanziehung. — Dies ist auch ganz erklärlich, da das Fallen eines Körpers und sein Gewichtsdruck Erscheinungen sind, die auf dieselbe Ursache (die Schwerkraft) zurückzuführen sind und deren äußerer Unterschied nur auf den verschiedenen Bedingungen beruht, denen diese Ursache gegenübertritt.

Aus Formel (1) folgt:

$$m = \frac{p}{g} \quad (2),$$

d. h.: Die Masse ist gleich dem Gewicht, dividiert durch die Beschleunigung, welche die Schwerkraft bewirkt.

Zusammensetzung der Kräfte. Fragen wir uns, indem wir nun an die Frage der Zusammensetzung der Kräfte herantreten, zunächst, wie sich einmalig wirkende Kräfte zusammensetzen.

Wenn sie in derselben Richtung und in demselben Sinne (nach derselben Seite hin) wirken, so addieren sie sich einfach (wie Strecken geometrisch addiert werden). Wirken sie zwar in derselben Richtung, aber in entgegengesetztem Sinne (also entweder voneinander fort oder aufeinander zu), so subtrahieren sie sich.

Ein besonderer Fall ist der, daß zwei in derselben Richtung, aber einander entgegengesetzt wirkende Kräfte gleich groß sind. Sie heben sich auf, ihre Wirkung ist also — in der Art, wie sie erwartet werden konnte — gleich Null. Irgend eine Wirkung aber, nur von anderer Art, als erwartet war, findet trotzdem statt; z. B. wird durch zwei Hämmer, die aneinander geschlagen werden, Wärme erzeugt, wenngleich die sichtbare Bewegung jedes Hammers beim Zusammentreffen beider ein Ende erreicht: Die molare Bewegung (d. h. die Bewegung der sichtbaren Massen) geht in eine molekulare Bewegung (d. h. eine Bewegung der unsichtbaren Bestandteile der Massen — Moleküle) über. (Vgl. hierzu Kap. 11, die Abschnitte „Natur der Wärme“, „Mechanisches Wärme-Äquivalent“ und „Erhaltung der Kraft“.)

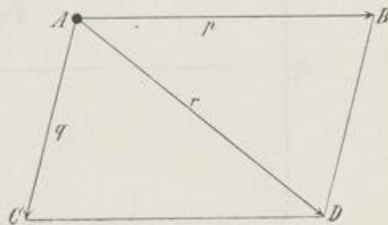


Abb. 15. Parallelogramm der Kräfte.

Parallelogramm der Kräfte. Wenn zwei einmalig wirkende Kräfte (p und q , siehe Abb. 15) unter einem gewissen Winkel auf einen Körper (A) einwirken, so daß z. B. die Kraft p den Körper in einer Sekunde von A nach B und die Kraft q den Körper in der gleichen Zeit von A nach C bewegen würde, so geht der Körper weder nach B noch nach C , sondern er bewegt sich längs einer Linie zwischen AB und AC bis zu einem Punkte D , der so weit von AC entfernt liegt wie der Punkt B und so weit von AB wie der Punkt C , oder mit anderen Worten: der auf einer durch B zu AC und auf einer durch C zu AB gezogenen Parallelen liegt. Dieser Punkt D ist der vierte Eckpunkt des durch AB und AC oder durch p und q bestimmten Parallelogramms. Der Erfolg ist somit der, als hätte weder p noch q eine Wirkung auf A ausgeübt, sondern statt ihrer eine Kraft $r=AD$, welche die Diagonale im Parallelogramm $ABDC$ ist. Es ergibt sich also folgendes Gesetz:

Wirken auf einen Körper zwei Kräfte unter einem Winkel ein, so setzen sie sich zu einer mittleren Kraft

(oder einer Resultierenden) zusammen, welche nach Richtung und Größe durch die Diagonale des von den beiden ersten Kräften (den Komponenten) bestimmten Parallelogramms dargestellt wird. (Newton, 1686.)

Was hier von einmalig wirkenden Kräften gesagt ist, läßt sich dem Wortlaute nach unmittelbar auf dauernd wirkende Kräfte übertragen; es besteht nur insofern ein Unterschied, als bei den letzteren die absolute Größe der Kraftwirkung in jeder folgenden Zeiteinheit (gleichmäßig) wächst.

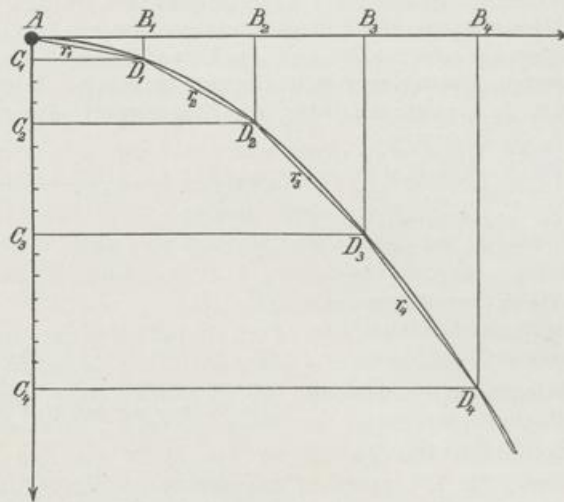


Abb. 16. Wurfbahn eines wagrecht geworfenen Körpers.

Wurfbahnen. Die auf einen wagrecht geworfenen Körper (S. 40) einwirkenden Kräfte sind nun von verschiedener Art; die Wurfkraft ist eine einmalig wirkende, die Schwerkraft eine dauernd wirkende Kraft. Beide bilden einen rechten Winkel miteinander, da die Wurfkraft wagerecht, die Schwerkraft senkrecht wirkt.

Die Wirkung der Wurfkraft ist für jede Sekunde dieselbe, die Wirkung der Schwerkraft wächst in den einzelnen aufeinander folgenden Sekunden (nach dem 2. Fallgesetz, S. 35) im Verhältnis der ungeraden Zahlen. Auf Grund dieser Tatsachen lassen sich die Resultierenden in den einzelnen Sekunden (r_1, r_2, r_3, r_4 usw.) auf die aus Abb. 16 ersichtliche Art ermitteln. Der Weg, welchen der geworfene Körper durchläuft, die Wurfbahn, ist die durch die

Punkte D_1, D_2, D_3, D_4 usw. gehende Kurve: eine halbe Parabel. (Die gebrochene Linie $D_1D_2D_3D_4 \dots$ ist aus dem Grunde nicht die Wurfbahn, weil die Wirkung der Schwerkraft nicht ruckweise von Sekunde zu Sekunde, sondern ganz allmählich im Fortgange der Zeit anwächst.)

In ähnlicher Weise läßt sich die Wurfbahn eines schräg aufwärts geworfenen Körpers feststellen. Sie ist eine vollständige Parabel mit im allgemeinen ungleichlangen Ästen.

Der Scheitel der Parabel liegt beim wagerechten oder horizontalen Wurf im Anfangspunkte der Bewegung, beim schiefen Wurf vom Anfangspunkte entfernt; es ist der höchste Punkt der Bahn.

Fall auf der schiefen Ebene. Wenn ein Körper eine gegen die Horizontalebene geneigte Ebene — eine sogenannte schiefe Ebene

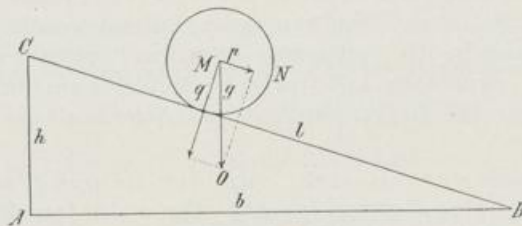


Abb. 17. Schiefe Ebene.

— herabrollt, so ist die Geschwindigkeit, die er erlangt, stets kleiner, als wenn er (unter Zurücklegung desselben Weges) frei fällt, und zwar gilt dies auch bei einem fast völligen Ausschluß aller Reibung (ein absoluter Ausschluß der Reibung ist nicht erzielbar). Je steiler die Ebene ist, desto schneller rollt der Körper herab.

Der Grund für diese Erscheinung ist der, daß der Körper der Schwerkraft nicht frei zu folgen vermag; ein Teil seiner Schwere wird durch die (von der schiefen Ebene gebildete) Unterlage aufgehoben und äußert sich als Druck auf dieselbe. Je steiler die schiefe Ebene, desto geringer dieser Druck, desto weniger trägt die Ebene den Körper; desto vollkommener folgt er also der Wirkung der Schwerkraft.

Geht die Ebene in die wagerechte Stellung über, so wird der Körper vollständig getragen, sein Druck ist am größten; die Schwerkraft vermag gar nicht frei zu wirken, der Körper bleibt in Ruhe. Geht die Ebene in die senkrechte Stellung über, so wird der Körper gar nicht getragen, er fällt frei neben der Ebene herab.

Der Druck des Körpers auf die schiefe Ebene und seine Fallbeschleunigung stehen im umgekehrten Verhältnis zueinander. Die Größe dieses Verhältnisses läßt sich auf die Weise feststellen, daß man die Schwerkraft (bzw. die senkrecht nach unten wirkende Fallbeschleunigung) nach Maßgabe des Gesetzes vom Parallelogramm der Kräfte als Resultierende zweier Komponenten betrachtet, welche — die eine parallel zur schiefen Ebene, die andere senkrecht dazu wirken. (Vgl. Abb. 17.)

Ist g die Schwerkraft, welche den auf der schiefen Ebene BC herabrollenden Körper im Punkte M angreift, so sind ihre Komponenten p und q . Diese verhalten sich wie $h:b$, was aus der Gleichheit von q und NO und der Ähnlichkeit der beiden Dreiecke MNO und CAB folgt.

Man bezeichnet nun $l=BC$ als die Länge, $b=AB$ als die Basis und $h=AC$ als die Höhe der schiefen Ebene. (Definition: Die Höhe einer schiefen Ebene ist die senkrechte Entfernung eines Punktes der schiefen Ebene von der horizontalen; die Länge der schiefen Ebene ist die Entfernung desselben Punktes von der Horizontalebene, gemessen auf der schiefen Ebene; die Basis der schiefen Ebene ist die Projektion ihrer Länge auf die Horizontalebene.)

Hiernach verhält sich, von der Reibung abgesehen, die Fallbeschleunigung (p) auf der schiefen Ebene zum Druck (q) auf dieselbe wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Basis.

Gleichgewicht auf der schiefen Ebene. Will man verhindern, daß der Körper auf der schiefen Ebene herabrollt, so muß man ihn mit einer Kraft zurückhalten, die gleich p ist, aber im entgegengesetzten Sinne wirkt wie p . Da nun $p:q=h:l$ (Ähnlichkeit der vorhin erwähnten Dreiecke) und q der gesamten Schwere des Körpers, die wir als Last bezeichnen wollen, entspricht, so tritt auf der schiefen Ebene Gleichgewicht ein, wenn sich die Kraft zur Last verhält wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge. (Auch hierbei ist von der Reibung abgesehen.)

Dies Gesetz der schiefen Ebene lehrt, daß die Verwendung der schiefen Ebene bei der Verhinderung eines Körpers am Fallen und ebenso bei der Emporbeförderung eines Körpers eine Ersparnis an Kraft mit sich bringt.

Dafür freilich ist im letzteren Falle der Weg, den der Körper zurückzulegen hat, um auf dieselbe Höhe zu gelangen (von AB

nach C), ein größerer (BC), als wenn man den Körper unmittelbar senkrecht in die Höhe hebt (AC), und desgleichen ist die Zeit — bei gleicher und gleichbleibender Geschwindigkeit — eine längere.

So heben ein mechanischer Vorteil und ein mechanischer Nachteil einander auf, und die Arbeit ist — bei senkrechter Beförderung und bei der Beförderung auf der schiefen Ebene — die gleiche. (Goldene Regel der Mechanik.)

Arbeit und Effekt. Als Arbeit (oder Kraftleistung) bezeichnet man gemeinhin das Produkt aus Kraft mal Weg; wobei man nur die dauernd wirkenden Kräfte als arbeitsleistende ansieht. (Vgl. S. 40—41.)

Da nach Formel (2) S. 41 eine dauernd wirkende Kraft $= m \cdot g$ und nach Formel (2) S. 36 der Weg, den ein fallender oder allgemein in gleichmäßig beschleunigter Bewegung begriffener Körper in t Sekunden zurücklegt, $= \frac{1}{2}gt^2$ ist, so ergibt sich nach der vorstehenden Definition für die Arbeit (A) die Formel:

$$A = k \cdot s = (mg) \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}m(gt)^2 \quad (1)$$

oder, da nach Formel (1) S. 36: $g \cdot t = v$ ist:

$$A = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1a).$$

Diese Größe, also das halbe Produkt aus der Masse mal dem Quadrat der Geschwindigkeit, bezeichnet man, dem Vorgange des Philosophen Leibniz folgend, als lebendige Kraft; sie ist identisch mit dem, was vorher (S. 41) als Energie bezeichnet wurde. Genauer heißt sie kinetische Energie oder Energie der Bewegung, zum Unterschiede von der potentiellen Energie oder Energie der Lage. (Vgl. hierüber den Abschnitt „Erhaltung der Kraft“ im 11. Kapitel: „Wärmelehre“.)

Als Einheit bei der Messung der Arbeit gilt nach dem C.G.S.-System das Erg, d. i. diejenige Arbeit, welche die Krafteinheit $= 1$ Dyn (vgl. S. 41) längs eines Weges von 1 cm leistet. Da diese Arbeitsgröße sehr gering ist, so benutzt man oft das Millionenfache derselben, das als Megerg bezeichnet wird.

Bei praktischen Messungen (im Unterschiede von rein wissenschaftlichen) benutzt man das Gramm-Meter, das Kilogramm-Meter oder Meter-Kilogramm und die Meter-Tonne als Arbeitseinheiten. Da nach S. 41 die auf die Masse eines Gramms ausgeübte Schwerkraft und desgl. die von 1 Gramm als Gewicht repräsentierte Kraft $= 981$ Dyn ist, so ergibt sich für diese Größen folgende Wertbestimmung:

$$1 \text{ Gramm-Meter} = 98100 \text{ Erg,}$$

$$1 \text{ Kilogramm-Meter (kgm)} = 98100000 \text{ Erg} = 98,1 \text{ Megeg,}$$

$$1 \text{ Meter-Tonne} = 98100 \text{ Megeg.}$$

Da nun bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit einer Maschine auch die Zeit in Betracht kommt, in welcher eine bestimmte Arbeit vollbracht wird, und zwar in der Art, daß die Leistungsfähigkeit um so größer ist, je kürzer die auf eine bestimmte Arbeit verwendete Zeit ist, und um so geringer, je länger die Zeit (die Leistungsfähigkeit ist also umgekehrt proportional der Zeit), so hat man diese Leistungsfähigkeit, die auch Arbeitsstärke oder Effekt genannt wird, $= \frac{A}{t}$ (Arbeit dividiert durch Zeit) gesetzt und fügt, um den Effekt auszudrücken, zu einer Arbeitsangabe die Zeit hinzu, in welcher die Arbeit verrichtet wird.

Man definiert (erklärt) demgemäß z. B. den Effekt von 1 Kilogramm-meter als diejenige Arbeit, die bei der vertikalen Hebung (also entgegen der Wirkung der Schwerkraft als einer dauernd wirkenden Kraft) von 1 kg Gewicht um eine Strecke von 1 m innerhalb der Zeit einer Sekunde verrichtet wird. (Sekunden-Kilogramm-meter oder Sekunden-Meterkilogramm.)

Hierbei darf diese Hebung statt der eigentlichen Wirkung der Schwerkraft gesetzt werden, weil nach dem Newtonschen Prinzip von der Gleichheit der Aktion und Reaktion (Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung) jeder Kraft eine ihr gleiche Kraft, aber im umgekehrten Sinne, entgegenwirkt. — Nach diesem Prinzip verliert allgemein ein bewegter Körper, der auf einen andern einwirkt, ebensoviel an Bewegungsgröße (S. 41), als er dem zweiten Körper mitteilt.

Eine weitere praktische Arbeitseinheit ist das Joule = der Arbeit eines Kilometerdyn auf dem Wege von 1 m ($= 10^7$ Erg).

Weitere Einheiten des Effektes sind das Watt = der Arbeit eines Joule in 1 Sekunde und (nach älterem Messungsverfahren) die Pferdekraft (oder Pferdestärke, P.S.) = 75 Kilogramm-Meter in einer Sekunde. Es ist:

$$1 \text{ kgm} = 9,81 \text{ Joule} = 9,81 \cdot 10^7 \text{ Erg,}$$

$$1 \text{ P.S.} = 735,75 \text{ Watt} = 735,75 \cdot 10^7 \text{ Erg in 1 Sekunde.}$$

Anwendungen der schiefen Ebene; Keil und Schraube. Die schiefe Ebene findet mannigfache Anwendung: als Schrotleiter, in der Form der Rampen, Leitern und Treppen, der Zickzackstraßen im Gebirge usw.; ferner als Keil oder bewegliche schiefe Ebene und als Schraube, die als eine um einen Zylinder (oder eine Walze) gewundene schiefe Ebene anzusehen ist. Keilform haben zahlreiche unserer Werkzeuge: Messer, Schere; Meißel, Axt; Nadel; Nagel; Säbel; Pflugschar, Spaten, Egge usw.

Je schmaler ein Keil ist, mit desto geringerer Kraft läßt er sich handhaben. Je größer der Durchmesser (oder der Umfang) einer Schraube ist und je näher die Schraubenwindungen beieinander stehen (oder je kleiner die Gewindehöhe oder Höhe eines Schraubenganges, d. i. der parallel der Zylinderachse gemessene Abstand zweier aufeinander folgender Schraubenwindungen ist), desto leichter läßt sich die Schraube anziehen, aber desto mehr Zeit ist freilich auch zur gleichen Arbeitsleistung erforderlich. Als Schraubengang bezeichnet man den Teil

des Schraubengewindes von einem Punkte bis zum nächsten senkrecht darüberliegenden.

Man unterscheidet zwei Arten von Schraubengewinden: Außengewinde und Innengewinde. Beim Außengewinde liegen die Schraubenwindungen dem Zylinder außerhalb als hervorstehender Grat auf; beim Innengewinde sind sie einem Hohlzylinder innen eingeschnitten. Erst das Zusammenwirken beider bringt die Wirksamkeit der Schraube hervor; wird z. B. eine eiserne Schraube mit Außengewinde in Holz eingeführt, so schafft sie sich selbst ein Innengewinde im Holz.

Eine in einem fertigen Innengewinde laufende Schraube mit Außengewinde heißt Schraubenspindel; ein isoliertes Stück Material mit Innengewinde heißt Schraubenmutter (Plural: Schraubenmutter).

Die Schraube findet teils als Befestigungsschraube (statt der Nägel) Anwendung, teils dient sie als Hebeschraube zum Heben von Lasten oder als Druckschraube in den verschiedenen Arten von Schraubenpressen dazu, einen erheblichen Druck auszuüben; die Schraubenpressen haben entweder eine bewegliche Schraubenspindel (z. B. die Buchdruckerpresse, die Olivenpresse, die Saftpresse, die Tinkturenpresse) oder bewegliche Schraubenmutter (z. B. die Buchbinderpresse). — Zu feinen Messungen dient die Mikrometerschraube.

Zur Erläuterung des Prinzips derselben diene die Schraubenlehre (Abb. 18), mit welcher die Dicke von Drähten oder Platten gemessen wird. Der zu messende Gegenstand wird zwischen die beiden Schraubenbacken *bb* gebracht. Die Ganghöhe der Schraube *s* beträgt 1 mm, und da der Umfang der mit der Schraubenspindel fest verbundenen Trommel oder Scheibe *t* in hundert gleiche Teile geteilt ist, so entspricht eine Drehung der Trommel um einen Teilstrich einem Vorrücken der Schraube um $\frac{1}{100}$ mm. Somit gestattet die Trommel die Ablesung der hundertstel Millimeter, der Maßstab *m* dagegen die Ablesung der ganzen Millimeter, um die man die Schraubenbacken voneinander entfernen mußte, um den zu messenden Gegenstand dazwischen zu klemmen.

Die Schiffsschraube, wie sie sich am hinteren Ende der Schraubendampfer findet, wirkt als Bewegungsschraube. Wenn sie in genügend schnelle Umdrehung versetzt wird, vermag das Wasser, das eine zusammenhängende Masse darstellt, nicht seitlich auszuweichen, noch vermag die Schraube wegen der an ihr hängenden Last des Schiffes sich in die Wassermasse (nach hinten) einzubohren; die Folge ist, daß der Widerstand des Wassers als treibende Kraft auf die Schraube wirkt, und zwar in entgegengesetzter Richtung, als diese sich ins Wasser einbohren will: also nach vorn, und daß die Schraube das ganze Schiff vor sich herschiebt.

Die in der Mechanik Verwendung findenden Schrauben sind rechts gewunden, d. h. jeder Schraubengang steigt, wenn die Schraube vertikal vor un-

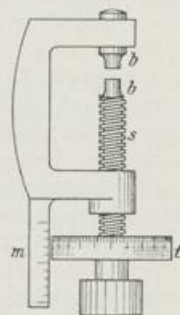


Abb. 18. Schraubenlehre. (Mikrometerschraube.)

serm Auge steht, von links unten nach rechts oben empor, oder: wenn man in Gedanken auf dem Schraubengewinde aufwärts steigt und nach innen blickt, geht die rechte Schulter voran; die Folge des Rechtsgewundenseins ist, daß man jede Schraube beim Hineinschrauben in eine Schraubenmutter, in Holz usw. nach rechts herumdrehen muß, was für uns handlicher ist, als wenn die Drehung umgekehrt erfolgen müßte.

Zentralbewegung. Wenn man eine Kugel, die an dem unteren Ende eines senkrecht hängenden Fadens (nach Art eines Bleilotes) befestigt ist, aus ihrer Ruhelage herauszieht und ihr dann einen seitlichen Stoß versetzt, so bewegt sie sich in einer krummlinigen geschlossenen Bahn — einem Kreis oder einer Ellipse — um die frühere Ruhelage. Damit eine solche Bewegung möglich ist und die Kugel nicht etwa, dem Beharrungsgesetze folgend, in gerader Linie in der Richtung des Stoßes weiterfliegt, muß eine dauernd wirkende Kraft von gleichbleibender Größe die Kugel fortwährend nach demselben Punkte, der als Mittelpunkt der Bahn bezeichnet wird, hintreiben. Diese Kraft ist im angeführten Beispiel die Schwerkraft, welche die Kugel wegen ihrer senkrechten Aufhängung in ihre ursprüngliche tiefste (Ruhe-)Lage zurückzuführen strebt.

Eine derartige Bewegung eines Körpers um einen festen Punkt (bzw. eine feste Achse) heißt Zentralbewegung, die nach dem Mittelpunkte der Bahn gerichtete Kraft Zentralkraft oder Zentripetalkraft. (Die Zusammensetzung der Zentripetalkraft mit der anfänglich ausgeübten Stoßkraft geschieht nach Maßgabe des Gesetzes vom Parallelogramm der Kräfte.)

Eine Zentralbewegung wird auch von einer an dem einen Ende eines Fadens befestigten Kugel ausgeführt, welche man heftig im Kreise schwingt, oder etwa vom Monde, indem er sich im Laufe eines Monats annähernd einmal um die Erde bewegt. Im ersteren Beispiel wird die Zentralkraft durch die Spannung des Fadens, im letzteren durch die Gravitation des Mondes nach der Erde hervorgebracht.

Wenn der Faden der im Kreise geschwungenen Kugel reißt, so fliegt die letztere mit einer der seitlich wirkenden Kraft entsprechenden Geschwindigkeit in der Richtung einer Tangente fort, die man an die Schwungbahn in dem Punkte derselben legen kann, wo sich die Kugel beim Reißen des Fadens gerade befand. Diese Kraft, mit welcher die Kugel seitlich fortfliegt, heißt Tangentialkraft.

Bleibt der Faden ganz, so zerrt die Kugel während ihrer Zentralbewegung an dem sie (in der Richtung nach dem Mittelpunkte der Schwungbahn) festhaltenden Faden mit einer Kraft, welche der Zentripetalkraft gleichkommt, aber im entgegengesetzten Sinne wirkt wie diese; man nennt diese Kraft die Zentrifugalkraft, Schwungkraft oder Fliehkraft. Dieselbe wird aber nicht auf die Kugel ausgeübt, sondern von dieser auf den Faden und den Mittelpunkt der Bahn.

Während im genannten Beispiel durch die Spannung des Fadens der Zentrifugalkraft entgegengewirkt wird, kann letzteres auch durch eine dem schwingenden Körper gesetzte äußere Begrenzung geschehen (Zentrifugal-Trockenmaschine, Zentrifuge).

Die Größe der Zentrifugalkraft wächst 1. proportional der Masse des

schwingenden Körpers, 2. proportional dem Quadrate seiner Geschwindigkeit und 3. umgekehrt proportional dem Radius der Bahn.

$$C = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (1).$$

Von der hier erwähnten Geschwindigkeit, die gemäß der früheren Definition (S. 3) der in der Zeiteinheit zurückgelegte (hier krummlinige) Weg ist, muß die sog. Winkelgeschwindigkeit unterschieden werden.

Unter der Winkelgeschwindigkeit bei einer Zentralbewegung versteht man die Geschwindigkeit eines Punktes, der sich in der Entfernung l (1 cm) von dem Umdrehungsmittelpunkt oder der Umdrehungsachse befindet.

Die Geschwindigkeit eines Punktes in der Entfernung r ist dann r mal so groß: $v = r \cdot \omega$, wenn mit ω die Winkelgeschwindigkeit bezeichnet wird. Vergleicht man somit mehrere Körper, die sich bei gleicher Winkelgeschwindigkeit (oder bei gleicher Gesamtumlaufszeit) in verschiedenen Entfernungen um dieselbe Achse bewegen, so folgt aus einer Kombination der oben angeführten Gesetze 2. und 3. der Zentralbewegung, daß unter dieser Bedingung die Zentrifugalkraft dem Radius der Bahn direkt proportional ist:

$$C = \frac{m \cdot r^2 \cdot \omega^2}{r} = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (2).$$

Auf der geeigneten Ausnutzung der Zentrifugalkraft beruht die Einrichtung des Zentrifugalregulators der Dampfmaschinen, der zuvor genannten Zentrifugal-Trockenmaschinen und der gleichfalls erwähnten, in der Zuckerfabrikation, bei der Honiggewinnung (Schleuderhonig), der Entrahmung der Milch und der Trennung der Harnsedimente verwendeten Zentrifugen; in allen diesen Fällen begeben sich die schwereren Teile der ursprünglichen Masse nach außen, während sich die leichteren Teile in der Mitte des Apparates ansammeln. Auf der Ausnutzung der Tangentialkraft beruht der Gebrauch der Schleuder.

Mancherlei Erscheinungen des praktischen Lebens beruhen auf der Wirksamkeit der Zentrifugalkraft. So muß sich ein Schlittschuhläufer, ein Radfahrer, ein Zirkuspferd und -reiter usw. beim Nehmen einer Kurve nach innen legen, um nicht von der Schwingkraft nach außen geschleudert zu werden. Die auf Kurven schief fahrende Eisenbahn. Das Abspritzen des Schlammes von sich schnell drehenden Rädern ist eine Folge der Tangentialkraft.

5. Wirkungen der Schwerkraft auf feste Körper.

(Mechanik der festen Körper.)

Wegen der bedeutenden Kohäsion, die den festen Körpern eigen ist, brauchen sie nur in einzelnen Punkten unterstützt zu werden, um nicht zu fallen, da die Ablösung einzelner — nicht unterstützter — Teile entweder gar nicht oder (je nach der Kohäsion) doch nur in geringem Maße zu befürchten ist. Auf Grund dessen zeigt die Einwirkung der Schwerkraft auf feste Körper gewisse Besonderheiten, die sich im Hebel, in der Erscheinung des Schwerpunktes und im Pendel offenbaren.

Hebel. Als Hebel bezeichnet man einen um einen festen Punkt oder eine feste Achse drehbaren Körper, auf welchen Kräfte einwirken. — Der feste Punkt heißt Unterstützungspunkt oder Drehpunkt, die Punkte, in denen die Kräfte auf den Hebel wirken, heißen Angriffspunkte; die Entfernung eines Angriffspunktes vom Drehpunkt heißt ein Hebelarm.

Die gewöhnliche Form des Hebels ist die einer Stange. — Durchbohrt man eine solche in der Mitte und steckt sie auf einen Stift, so ist sie zunächst im Gleichgewicht, vorausgesetzt, daß sie in allen ihren Teilen gleich schwer ist. Hängt man dann an ihr eines Ende ein Gewicht, so neigt sich die Stange nach der schwereren Seite hin. Um das frühere Gleichgewicht wieder herzustellen,

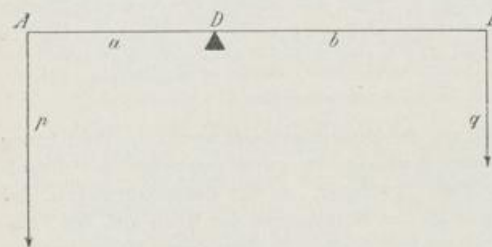


Abb. 19. Zweiarmiger, ungleicharmiger Hebel.

ist es nötig, auch das andere, in die Höhe gegangene Ende der Stange durch ein Gewicht zu beschweren, und zwar muß dieses Gewicht dem ersten gleich sein (sofern beide Gewichte genau in gleicher Entfernung vom Drehpunkt sich befinden).

Die Stange mit den beiden Gewichten stellt einen Hebel dar, den man als zweiarmigen, gleicharmigen Hebel bezeichnet.

Ein zweiarmiger Hebel überhaupt ist ein solcher, dessen Kräfte auf verschiedenen Seiten vom Drehpunkt aus angreifen, oder: dessen Drehpunkt sich zwischen den Angriffspunkten der Kräfte befindet.

Gleicharmig heißt ein zweiarmiger Hebel, wenn seine Hebelarme gleich lang sind, ungleicharmig, wenn seine Hebelarme verschieden lang sind.

Aus dem oben Gesagten ergibt sich das Hebelgesetz: Ein (zweiarmiger) gleicharmiger Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die Kräfte einander gleich sind.

Unterscheidet man die Gewichte voneinander als Kraft und Last, so lautet das Gesetz: Ein (zweiarmiger) gleicharmiger Hebel ist im Gleichgewicht, wenn Kraft und Last einander gleich sind.

Will man einen ungleicharmigen (zweiarmigen) Hebel ins Gleichgewicht bringen, so muß an dem kürzeren Hebelarm eine größere Kraft wirken als an dem längeren Hebelarm, und zwar

muß, wie Versuche lehren, das Verhältnis der Kräfte das umgekehrte sein wie das der Hebelarme. (Hebelgesetz des Archimedes, 287—212 v. Chr., Syrakus.)

Nennt man die Hebelarme a und b (Abb. 19) und die Kräfte p und q , so ist der Hebel im Gleichgewicht, wenn $\frac{p}{q} = \frac{b}{a}$ oder: $pa = qb$. pa und qb sind die Produkte aus jeder der Kräfte und dem zugehörigen Hebelarm. Ein solches Produkt aus einer Kraft und dem zugehörigen Hebelarm heißt das statische Moment oder Drehungsmoment der Kraft. (Leonardo da Vinci, 1452—1519; Guido Ubaldi, 1577.) Ein ungleicharmiger Hebel ist also im Gleichgewicht, wenn die statischen Momente der Kräfte einander gleich sind. Da diese Gleichheit auch beim gleicharmigen Hebel statthat, so gilt das allgemeine Hebelgesetz:

Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die statischen Momente der Kräfte einander gleich sind oder, wenn man wiederum Kraft und Last unterscheidet: Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das Moment der Kraft gleich dem Moment der Last ist.

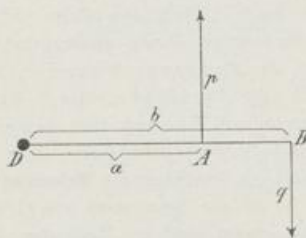


Abb. 20. Einarmiger Hebel.

Derselbe Satz gilt nun auch für den einarmigen Hebel. Ein einarmiger Hebel ist ein Hebel, dessen Kräfte auf einer Seite vom Drehpunkt aus angreifen. Man nennt auch in diesem Falle die Entfernungen der Angriffspunkte vom Drehpunkt die Hebelarme; beide aber fallen zum Teil ineinander (daher der Name „einarmiger“ Hebel).

Ein wichtiger Unterschied besteht zwischen der Wirkungsweise eines zweiarmigen und der eines einarmigen Hebels insofern, als die Kräfte des zweiarmigen Hebels nicht nur parallel gerichtet sind, sondern auch in dem gleichen Sinne wirken, z. B. beide abwärts, während die Kräfte des einarmigen Hebels zwar parallel, aber in entgegengesetztem Sinne wirken müssen, damit Gleichgewicht bestehe. (Siehe Abb. 20.)

Eine besondere Form des Hebels bildet der Winkelhebel, bei welchem die Hebelarme im Drehpunkt gegeneinander geneigt sind, also einen Winkel miteinander bilden.

Hier wie in all den Fällen, wo eine Kraft nicht rechtwinklig gegen den zugehörigen Hebelarm gerichtet ist, hat man im Begriff des statischen Moments den Hebelarm durch den senkrechten Abstand des Drehpunktes von der Richtung der Kraft zu ersetzen, so daß allgemein als statisches Moment oder Drehungsmoment einer Kraft das Produkt aus der Kraft und der senkrechten Entfernung des Drehpunktes von der Richtung der Kraft zu definieren ist.

Anwendung der Hebelgesetze. Die Hebelgesetze finden mannigfache Anwendung. Die wichtigste Anwendung, welche die Wagen darstellen, kann erst erörtert werden, wenn vom Schwerpunkt die Rede gewesen ist. Eine Wage stellt in ihrem wesentlichsten Teil, dem Wagebalken, einen zweiarmigen — gleicharmigen oder ungleicharmigen — Hebel dar.

Als zweiarmiger, ungleicharmiger Hebel wirkt der Hebebaum, wenn man ihn mit dem einen Ende unter die emporzuhebende Last schiebt, mit einer jenem Ende nahe befindlichen Stelle auf die Kante eines festen Gegenstandes legt und das andere Ende niederdrückt. Ebenso wirkt die Brechstange (Brecheisen); der Brunnenschwengel; der Spaten (der Drehpunkt liegt in der einen Hand); die Türklinke; das Schaukelbrett; das Steuer eines Kahns usw.; Scheren und Zangen sind doppelte zweiarmige, ungleicharmige Hebel mit gemeinschaftlichem Drehpunkt. Alle diese Werkzeuge werden so benutzt, daß die Kraft an dem längeren Hebelarm wirkt; dadurch wird es erreicht, daß sie kleiner ist als die Last; man spart also an Kraft. Doch ist diese Kraftersparnis mit einem größeren Zeitaufwand verbunden, da ein längerer Hebelarm an seinem Endpunkte größere Wege zurückzulegen hat als ein kürzerer. — Hier kommt abermals die goldene Regel der Mechanik (vgl. S. 47) zur Geltung.

Ein Hebebaum kann auch als einarmiger Hebel Verwendung finden; es geschieht das, wenn man ihn beispielsweise unter die Räderachse eines Wagens schiebt, sein eines Ende auf der Erde ruhen läßt und das andere emporhebt. Als einarmige Hebel sind ferner anzusehen: die Schubkarre, die Häcksel- und Tabaksschneiden, die Brotmaschine, die Wurzelschneidemaschine, der Hebel der Differentialhebelpresse, das Sicherheitsventil an Dampfmaschinen; das Ruder (der Drehpunkt liegt im Wasser); doppelte einarmige Hebel stellen der Nußknacker und die Zitronenpresse dar. Der menschliche Arm, und zwar der Unterarm, ist ebenfalls ein einarmiger Hebel; der Drehpunkt liegt im Ellbogengelenk, die Kraft liefert der zweiköpfige Armmuskel an der Vorderseite des Oberarms, der an einem unweit des Ellbogengelenks gelegenen Punkte der Speiche angreift, und die Last ist die Hand nebst den von dieser etwa getragenen Gegenständen. In diesem Falle ist der Hebelarm der Kraft kleiner als der Hebelarm der Last; die Kraft also größer als die Last; dafür hat aber die geringe Zusammenziehung des Muskels eine große und schnelle Bewegung der Hand zur Folge.

Rolle. Als Hebel ist ferner die Rolle anzusehen, eine kreisrunde Scheibe, welche an ihrem Umfange eine zur Aufnahme einer Schnur bestimmte Rinne besitzt und sich um eine durch den Mittelpunkt gehende Achse drehen kann. Die

Achse wird von einer Schere getragen oder trägt selbst die letztere (feste und bewegliche Rolle, Abb. 21 und 22, A). Um sich die Hebelwirkung klarzumachen, denke man sich einen wagerechten Durchmesser gezogen. Alsdann erkennt man, daß die feste Rolle (Abb. 21) ein gleicharmiger Hebel ist, dessen Drehpunkt der Mittelpunkt der Rolle ist. Sie befindet sich also im Gleichgewicht, wenn Kraft und Last einander gleich sind. Die bewegliche Rolle (Abb. 22, A) ist ein einarmiger Hebel, dessen Drehpunkt (*D*) im Umfang der Rolle liegt. Sie ist im Gleichgewicht, wenn die Kraft halb so groß ist wie die Last. Eine Verbindung mehrerer fester und beweglicher Rollen ist der Flaschenzug.

Wellrad. Das Wellrad (oder Rad an der Welle), welches aus einer Walze und einem an derselben konzentrisch befestigten Rade besteht, wirkt als zweiarmiger, ungleicharmiger Hebel. Ein Wellrad, welches auf eine einzelne, mit Handgriff versehene Speiche beschränkt ist, heißt eine Kurbel. Sie findet sich z. B. an der Winde (Abb. 23, A; B ist die Welle), der Drehrolle, der Kaffeemühle usw. — Ein Wellrad ist unter anderm das Steuerrad eines Schiffes.

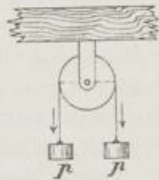


Abb. 21. Feste Rolle.

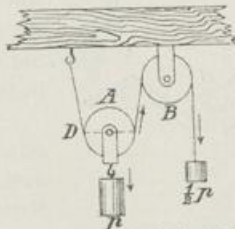


Abb. 22. Bewegliche Rolle (A) in Verbindung mit einer festen (B).

Als Wellräder wirken auch die Zahnräder, Scheiben, welche an ihrem Umfange Vorsprünge — die Zähne — tragen, mit denen sie in die Lücken zwischen den Zähnen anderer Zahnräder oder einer Zahnstange eingreifen.

Schwerpunkt. Wenn man einen Stab quer über einen Finger legt, so kann man ihn in einem Punkte so unterstützen, daß die eine Seite der andern das Gleichgewicht hält. Dies erklärt sich so, daß der ganze Stab aus lauter Massenteilchen besteht, auf welche die Schwerkraft wirkt (und zwar auf alle in nahezu gleicher Richtung — vgl. S. 32-33) und welche zu dem Unterstützungspunkte so liegen, daß die Summe der statischen Momente aller Massenteilchen auf der einen Seite gleich der auf der anderen Seite vom Unterstützungspunkte aus ist.

Wird eine Visitenkarte im Mittelpunkte, d. h. im Schnittpunkte der Diagonalen durchbohrt und mit der Öffnung auf eine Nadel gesteckt, so befindet sie sich in allen Lagen, die man ihr gibt, (nahezu) im Gleichgewicht. Der Grund hiervon ist der, daß, wie man die Karte auch stellen mag, ein durch den Unterstützungs-

punkt gehender senkrechter Schnitt sie stets in zwei gleiche Teile zerlegen würde, derart, daß wie im vorigen Beispiel die Summe der statischen Momente aller Massenteilchen links von diesem Schnitt gleich derjenigen rechts oder kürzer: daß das statische Moment der linken Hälfte der Karte gleich dem der rechten Hälfte sein würde.

Während sich in den beiden vorstehenden Beispielen nur die Massenteilchen links und rechts vom Unterstützungspunkt bzw. von einer durch denselben gehenden senkrechten Ebene das Gleichgewicht halten, besitzt jeder Körper auch einen Punkt von einer derartigen Beschaffenheit, daß alle Massenteilchen rings um ihn herum einander das Gleichgewicht halten. Ein solcher Punkt heißt der Schwerpunkt des Körpers, weil, wenn der Körper in ihm unterstützt wird, die Schwerkraft keine Bewegungswirkung mehr auf den Körper auszuüben vermag, sondern dieser sich so verhält, als wäre seine ganze Schwere (bzw. seine Masse) in dem fraglichen Punkte vereinigt.

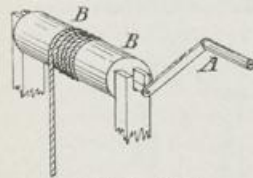


Abb. 23. Winde.

Der Schwerpunkt eines geraden und seiner ganzen Länge nach gleich starken und gleich schweren Stabes liegt in der Mitte im Innern des Stabes; der Schwerpunkt einer Visitenkarte im Schnittpunkte der Diagonalen, aber ebenfalls im Innern,

in der Mitte zwischen beiden Kartenseiten (die Karte hat eine gewisse Dicke oder Stärke!).

Der Schwerpunkt eines Körpers, der in allen seinen Teilen (oder wenigstens in allen den Teilen, die zu einer ihn symmetrisch teilenden Ebene symmetrisch liegen) gleich schwer ist, fällt mit seinem geometrischen Mittelpunkt zusammen. Derselbe braucht nicht immer im Innern des Körpers zu liegen. Das in Abb. 24 dargestellte System, bestehend aus einem Kegel, einem durch denselben gehenden Bügel und zwei an dessen Enden befestigten Kugeln, hat seinen Schwerpunkt auf der punktierten Linie unterhalb der Kegelspitze, also in der freien Luft.

Der Schwerpunkt eines Körpers, der aus verschiedenen Stoffen besteht und daher in seinen verschiedenen Teilen verschiedene Schwere besitzt (oder kürzer, da die Schwere von der mehr oder weniger dichten Anhäufung der Massenteilchen abhängt: der Schwerpunkt eines Körpers von ungleicher Dichtigkeit) liegt (dem Gesetz vom Gleichgewicht des ungleicharmigen, zweiarmigen Hebels entsprechend) vom geometrischen Mittelpunkt aus nach der Seite hin, wo der Körper am schwersten ist.

Arten des Gleichgewichts. Wird ein Körper in einem anderen Punkt als seinem Schwerpunkt unterstützt, so hat die Seite, auf

welcher der Schwerpunkt (vom Unterstützungspunkt aus) liegt, das Übergewicht, und der Körper fällt, bis der Schwerpunkt die tiefste Stelle, die er einnehmen kann, erlangt hat.

Man kann von jedem Körper, insofern er ein Ganzes darstellt, annehmen, daß die Schwerkraft ihn nur in seinem Schwerpunkt angreift.

Je nach der Art der Unterstützung eines Körpers in einem Punkte unterscheidet man drei Arten des Gleichgewichtes des Körpers.

Wird ein Körper in seinem Schwerpunkt unterstützt, so befindet er sich im indifferenten Gleichgewicht (Abb. 25, a); er verharret unverändert in allen Lagen, die man ihm gibt; jede Lage ist eine Gleichgewichtslage.

Wenn der Unterstützungspunkt eines Körpers senkrecht über seinem Schwerpunkt liegt, so befindet sich der Körper im stabilen Gleichgewicht (Abb. 25, b); wird er aus seiner Gleichgewichtslage herausgebracht, so fällt er — der Schwerkraft folgend, die ihn in seinem aus der tiefsten Lage emporgehobenen Schwerpunkt angreift — wieder in die alte Gleichgewichtslage zurück; der Körper hat nur eine Gleichgewichtslage (die dann vorhanden ist, wenn der Schwerpunkt genau senkrecht unter dem Unterstützungspunkt liegt). — Auch der schwebende Kegel (Abb. 24) befindet sich im stabilen Gleichgewicht.

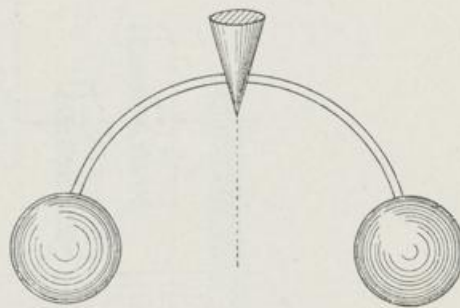


Abb. 24. Schwebender Kegel.

Wenn der Unterstützungspunkt eines Körpers senkrecht unter seinem Schwerpunkt liegt, so befindet sich der Körper im labilen Gleichgewicht (Abb. 25, c); wird er aus seiner Gleichgewichtslage herausgebracht (wozu der geringste Anstoß genügt), so geht er — wiederum der Schwerkraft folgend — in eine neue Gleichgewichtslage über, und zwar in eine derartige, daß der Schwerpunkt die tiefstmögliche Lage erhält; dies ist die stabile Gleichgewichtslage; im labilen Gleichgewicht gibt es nach dem Gesagten auch nur eine Gleichgewichtslage (die dann vorhanden ist, wenn der Schwerpunkt genau senkrecht über dem Unterstützungspunkt liegt).

Beim Balanzieren eines Stabes u. dgl. herrscht labiles Gleichgewicht, und man muß, um das Fallen des Gegenstandes zu verhüten, bei jeder Neigung desselben aus der Gleichgewichtslage den Unterstützungspunkt, z. B. die Hand, stets schnell wieder senkrecht unter den Schwerpunkt bringen.

Wird ein Körper statt in einem Punkte durch eine Fläche unterstützt, so kann von den drei eben besprochenen Gleichgewichtsarten nicht die Rede sein; vielmehr steht in diesem Falle der Körper nur mehr oder weniger stabil (und dementsprechend weniger oder mehr labil).

Jeder durch eine Fläche unterstützte Körper bleibt überhaupt so lange stehen, als sein Schwerpunkt senkrecht über seiner Unter-

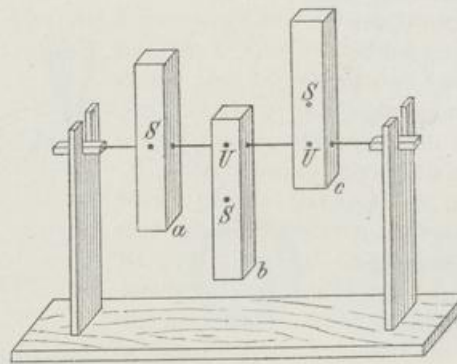


Abb. 25. Indifferentes, stabiles und labiles Gleichgewicht.
S = Schwerpunkt; U = Unterstützungspunkt.

stützungsfläche liegt; er fällt in dem Augenblicke, wo ein durch den Schwerpunkt gezogen gedachtes Lot, in dessen Richtung ja die Schwerkraft auf den Körper wirkt, nicht mehr durch die Unter-
stützungsfläche, sondern seitlich an ihr vorbeigeht, so daß also der Schwerpunkt nicht mehr unterstützt ist.

Je größer daher die Unter-
stützungsfläche eines Körpers ist und je näher sein Schwerpunkt der Mitte der Unter-
stützungsfläche liegt (insbesondere: je tiefer er liegt), desto stabiler ist der Körper, (d. h. desto fester und sicherer steht er).

Hieraus erklären sich viele Erscheinungen des alltäglichen Lebens. Das Stehen (breitbeinig steht man fester), das Gehen; Schlittschuhlaufen; Radfahren. Beim Tragen einer Last auf dem Rücken neigt man sich nach vorn; trägt man eine Last auf einer Seite, so neigt man sich nach der entgegengesetzten. Beim Auf-

stehen von einem Stuhl beugt man entweder den Oberkörper vor oder man setzt die Beine unter den Stuhl. — Die Füße von Lampen und Leuchtern sind breit und möglichst schwer. — Eine Stehleiter steht um so sicherer, je weiter sie auseinander gezogen wird. — Ein Boot schlägt leichter um, wenn man in ihm steht, als wenn man sitzt.

Wage. Ihre wichtigste Anwendung finden die Hebelgesetze in den Wagen (vgl. S. 54). Wir betrachten die gewöhnliche oder gleicharmige Wage, die Schnellwage und die Brückenwage.

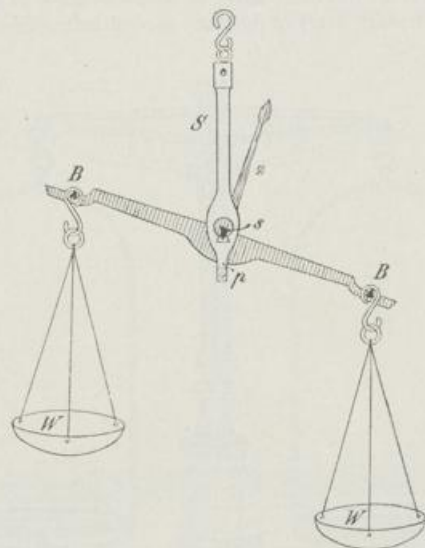


Abb. 26. Gewöhnliche Wage; Form der Handwage.

Gewöhnliche Wage. Die gewöhnliche oder gleicharmige Wage (Abb. 26) besteht aus dem Wagebalken (BB) mit der Zunge (z), der Schneide (s) nebst den Pfannen (p), auf denen die Schneide ruht, und den gleichfalls meist von Schneiden getragenen Bügeln (bei B) mit den Wageschalen (WW). Die Schneiden (auch Zapfen genannt) und die Pfannen sind aus poliertem Stahl hergestellt.

Die Pfannen sind bei der in Abb. 26 abgebildeten Form der gleicharmigen Wage Teile der Schere (S), welche entweder mit der Hand gehalten oder von einem besonderen Gestell (Stativ) getragen wird. Die Einrichtung der Tarierwage zeigt Abb. 27, diejenige der chemischen Wage Abb. 28.

Die Wagen dienen zur Feststellung des Gewichtes eines Körpers. Ihre Handhabung geschieht in der Weise, daß der zu wägende Körper auf die eine Wageschale gelegt wird, die Gewichte auf die andere und daß nun Gleichgewicht hergestellt wird. Dann geben die Gewichte (Maßgewichte) unmittelbar das Gewicht (die Größe der Schwere) des Körpers an. Das Gleichgewicht erkennt man daran, daß sich der Wagebalken wagerecht oder horizontal, die rechtwinklig an ihm befestigte Zunge also senkrecht oder vertikal stellt.

Eine gute Wage muß richtig und empfindlich sein. Richtig ist sie, wenn: 1. beide Hebelarme des Wagebalkens gleiches Gewicht haben, 2. beide Arme gleich lang sind, 3. der Unterstützungspunkt (bei s in Abb. 26) und die beiden Aufhängepunkte (Abb. 26, BB) in gerader Linie liegen, 4. der Wagebalken die erforderliche Festigkeit besitzt, so daß keine Verbiegung stattfindet.

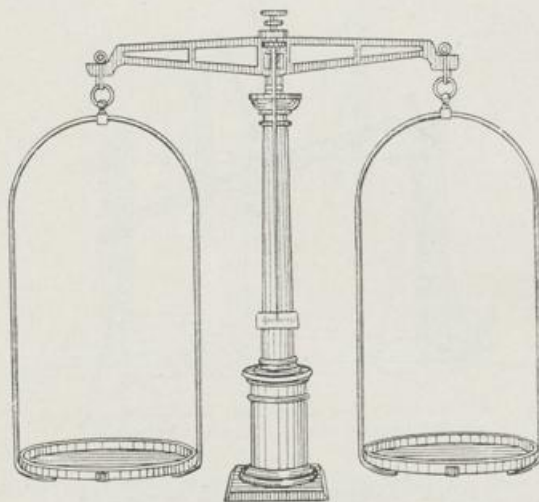


Abb. 27. Gewöhnliche Wage; Form der Tarierwage.

Empfindlich ist die Wage, wenn: 1. der Schwerpunkt des Wagebalkens unter dem Unterstützungspunkte, aber in möglichster Nähe desselben liegt, 2. die Hebelarme möglichst lang sind, 3. ihr Gewicht ein geringes ist, 4. die Reibung zwischen Schneide und Pfannen sowie an der Aufhängevorrichtung der Bügel eine möglichst unbedeutende ist.

Die für die Richtigkeit der Wage aufgestellten Bedingungen erklären sich insofern, als bei ihrer Vernachlässigung die Wage (bzw. der Wagebalken) keinen gleicharmigen Hebel vorstellt; was den 4. Punkt — die Festigkeit des Wagebalkens — anbetrifft, so ist zu bemerken, daß durch Verbiegung eines Hebelarmes eine Verkürzung desselben eintreten würde. Zu ermitteln sind die genannten Bedingungen auf folgende Weise: das gleiche Gewicht der Hebelarme durch Abnahme der Wageschalen; ihre gleiche Länge, indem man sie beide

gleich belastet, dann die Belastung vertauscht und zusieht, ob wieder Gleichgewicht herrscht; die gleich hohe Lage der Unterstützungs- und Aufhängepunkte durch einen ausgespannten Faden.

Die Gründe für die Bedingungen, von denen die Empfindlichkeit der Wage abhängt, sind diese: 1. Das Gleichgewicht des Wagebalkens muß ein stabiles sein; läge der Schwerpunkt im Unterstützungspunkt, so würde sich der Wagebalken in allen Lagen im Gleichgewicht befinden, die man ihm gibt (indifferentes Gleichgewicht) — was natürlich nicht der Fall sein darf; läge der Schwerpunkt gar über dem Unterstützungspunkt, so würde labiles Gleichgewicht herrschen, der Wagebalken würde bei der kleinsten Mehrbelastung auf einer Seite umschlagen, die Wage wäre überempfindlich. 2. Je länger die Hebelarme sind, desto stärker wirkt ein Übergewicht auf einer Seite der Wage, da

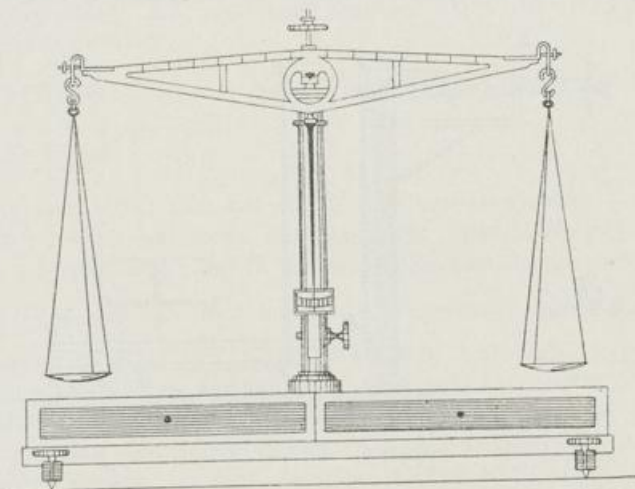


Abb. 28. Chemische Wage.

das statische Moment desselben um so größer ist; desto größer ist also auch der Ausschlag, den es hervorruft. 3. Je leichter der Wagebalken ist, eine desto geringere Kraft genügt, ihn in Bewegung zu versetzen. 4. Je unbedeutender die Reibung ist, desto leichter kann ebenfalls der Wagebalken in Bewegung versetzt werden.

Um den Wagebalken gleichzeitig möglichst lang, leicht und fest zu machen, gibt man ihm (bei den feineren Wagen, Abb. 27 und 28) eine rhombenähnliche Gestalt und stellt ihn durchbrochen her. Herstellungsmaterial: Messing, auch Aluminium. Eine verstellbare Schraube senkrecht ober- oder unterhalb des Schwerpunktes des Wagebalkens ermöglicht es, den Schwerpunkt dem Unterstützungspunkte zu nähern oder von ihm zu entfernen und dadurch die Empfindlichkeit der Wage zu regulieren. Die sogenannte „Arretierung“ ist eine im Stativ angebrachte Vorrichtung, durch welche der Wagebalken mit den Schalen beim Nichtgebrauch

emporgehoben werden kann, so daß die Schneide und die Pfannen sich nicht berühren und somit ihre unnötige Abnutzung vermieden wird.

Den Grad der Empfindlichkeit einer Wage bestimmt man nach dem kleinsten Gewicht, welches bei größter Belastung der Wage noch einen deutlichen Ausschlag bewirkt. Ist das Gewicht = a , die größte (einseitige) Belastung = b , so bedient man sich als Maßes für den Grad der Empfindlichkeit des Bruches $\frac{a}{2b}$; derselbe gibt an, den wievielten Teil das Minimalgewicht von der Maximalbelastung ausmacht.

Um Wägungen bis auf Milligramme genau vornehmen zu können, verwendet man, da sich kleinere Gewichte als ein Centigramm nicht genau herstellen lassen, folgenden Kunstgriff. Man teilt die Arme des Wagebalkens in je zehn gleiche Teile ein (Abb. 28) und verwendet ein Centigramm in Form eines ge-

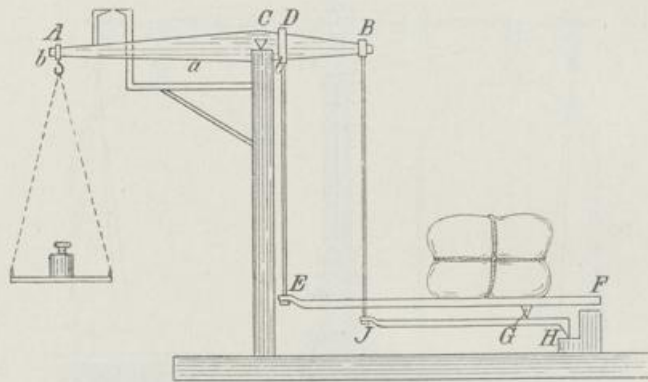


Abb. 29. Dezimalwaage.

bogenen Drahtes (Reiter) so, daß man es auf den Wagebalken in beliebigen Abständen vom Unterstützungspunkte aufsetzt. Während es dann am Ende des Wagebalkens als ein Centigramm wirkt, wirkt es in $\frac{1}{10}$ der Entfernung vom Unterstützungspunkt als $\frac{1}{10}$ cg = 1 mg, in $\frac{2}{10}$ der Entfernung als $\frac{2}{10}$ cg = 2 mg usw.

Schnellwaage. Zum raschen Wägen, namentlich größerer Lasten, bei dem es nicht auf große Genauigkeit ankommt, bedient man sich der Schnellwaage, welche einen ungleicharmigen Hebel darstellt, an dessen kürzeren Arm die Last gehängt wird, während auf dem mit einer Einteilung versehenen längeren Arm das sogenannte Laufgewicht in solche Entfernung vom Unterstützungspunkt gebracht werden kann, daß Gleichgewicht herrscht. Tritt dieses z. B. ein, wenn das — sagen wir: 500 g schwere — Laufgewicht sich dreimal so weit vom Unterstützungspunkte befindet als die Last, so wiegt die letztere $3 \cdot 500 = 1500$ g.

Brückenwage. Um sehr umfangreiche und schwere Lasten zu wägen, bedient man sich der Brückenwagen, die teils Decimalwagen, teils Centesimalwagen sind. Nur die ersteren, welche die häufiger vorkommenden sind, wollen wir betrachten.

In Abb. 29 ist AB der Wagebalken, der einen zweiarmigen, ungleicharmigen Hebel darstellt, C der Unterstützungspunkt und EF die Brücke, auf welche die Last gebracht wird. Diese Brücke ist in zwei Punkten unterstützt: in E durch eine Stange, welche von dem kürzeren Arm des Wagebalkens CB in D getragen wird, und in G durch den unter der Brücke befindlichen einarmigen Hebel JH , dessen Drehpunkt H ist, während sein Endpunkt J durch die feste Verbindung BJ von dem kürzeren Arm des Wagebalkens emporgehalten wird.

$$\text{Die Wage ist derartig gebaut, daß } CB = \frac{1}{2} CA; CD = \frac{1}{10} CA \\ = \frac{1}{5} CB; HG = \frac{1}{5} HJ.$$

Die Last wirkt nun mit einem Teil ihres Gewichtes — nennen wir ihn p — niederziehend auf den einen Unterstützungspunkt der Brücke: E und damit auf D . Diesem Zuge wird durch ein Gewicht $= \frac{1}{10} p$, das auf die in A hängende Wageschale gelegt wird, das Gleichgewicht gehalten, da $CA = 10 \cdot CD$. Mit dem Reste ihres Gewichtes — nennen wir ihn q — wirkt die Last auf den andern Unterstützungspunkt der Brücke: G und damit an der gleichen Stelle auf den einarmigen Hebel. Soll ein Niedersinken desselben verhindert werden, so muß derselbe in J bzw. B mit einer Kraft $= \frac{1}{5} q$ emporgehalten werden, da $HJ = 5 \cdot HG$. Diese Wirkung wird erreicht, wenn man auf die Wageschale links ein Gewicht $=$ der Hälfte dieser Kraft $= \frac{1}{10} q$ setzt, da $CA = 2 \cdot CB$.

Es ist hiernach ersichtlich, daß auf der beschriebenen Wage eine Last $p + q$ mit einem Gewicht $= \frac{1}{10} (p + q)$ — d. h. mit einem Gewicht, das nur den 10. Teil der Last beträgt — gewogen werden kann; daher der Name Decimalwage.

Die Einrichtung der Centesimalwagen ist eine derartige, daß die Gewichte nur den 100. Teil der zu wiegenden Lasten betragen.

Pendel. Wenn man die Bleikugel eines Lotes, wie wir es auf S. 32 beschrieben haben, aus ihrer Lage senkrecht unter dem Aufhängepunkte des Lotes heraushebt und dann losläßt, so fällt sie — der Schwerkraft folgend — zunächst wieder in ihre frühere — tiefste — Lage zurück (vgl. stabiles Gleichgewicht), geht aber — auf Grund des Beharrungsgesetzes — über diese Lage hinaus und erhebt sich nach der entgegengesetzten Seite bis zu einem Punkte, der in gleicher Höhe über der Horizontalebene liegt wie derjenige, in welchem man zuvor die emporgehobene Kugel losgelassen hatte. Hierauf führt die Bleikugel die entgegengesetzte Bewegung aus und so fort, bis sie durch den Luftwiderstand und die Reibung des Fadens am Aufhängepunkte nach kürzerer oder längerer Zeit in ihrer tiefsten Lage zur Ruhe gelangt.

Wie die Kugel, führt aber auch das ganze Lot hin- und hergehende Bewegungen aus, und zwar um seine ursprüngliche senkrechte Stellung als mittlere Gleichgewichtslage; derartige hin- und hergehende Bewegungen eines Körpers um eine mittlere Gleichgewichtslage nennt man Schwingungen, den schwingenden Körper ein Pendel. Das in der geschilderten Weise schwingende Lot ist die einfachste Art eines Pendels: ein sog. Fadenpendel.

Ist der schwere Körper (hier die Bleikugel) an einer starren Stange befestigt, so haben wir es mit einem Stangenpendel zu tun, wie es die Pendeluhren besitzen. Der schwere Körper der Stangenpendel hat meist linsenförmige Gestalt, weil er dadurch besser in den Stand gesetzt ist, die Luft zu durchschneiden; er heißt Pendellinse.

Fadenpendel und Stangenpendel werden als physische oder zusammengesetzte Pendel bezeichnet. Unter einem mathematischen oder einfachen Pendel (das es nur in Gedanken gibt) versteht man ein Pendel, bei dem die Masse des schweren Körpers in einem Punkte vereinigt ist, der an einem unausdehnbaren und gewichtslosen Faden hängt.

Folgende Begriffe, die sich auf das Pendel und die Pendelbewegung beziehen, sind noch besonders zu merken.

Als Pendellänge bezeichnet man die Entfernung des Aufhängepunktes — oder Schwingungsmittelpunktes — vom Schwerpunkte des Pendelkörpers.

Eine Schwingung ist die Bewegung dieses Schwerpunktes (bzw. des Pendelkörpers oder des ganzen Pendels) von einer äußersten Lage bis zur entgegengesetzten; eine Doppelschwingung ist die Bewegung des Schwerpunktes usw. von einer äußersten Lage bis zur entgegengesetzten und wieder zurück.

Der Weg — ein Kreisbogen —, den der Schwerpunkt des Pendelkörpers bei einer Schwingung zurücklegt, heißt Schwingungsbogen; der Winkel,

den das Pendel in einer äußersten Lage mit der Gleichgewichtslage (oder der Vertikalen) bildet, wird als Schwingungsweite (oder Amplitude der Oszillation) bezeichnet.

Die Zeit, in welcher der Schwerpunkt (bzw. der Pendelkörper oder das Pendel) eine Schwingung zurücklegt, heißt Schwingungsdauer.

Die Anzahl der Schwingungen in einer Zeiteinheit (gewöhnlich 1 Minute, aber bei schnellen Schwingungen auch 1 Sekunde) wird Schwingungszahl genannt.

Pendelgesetze. Je größer die Schwingungsdauer eines Pendels — oder allgemeiner: eines schwingenden Körpers überhaupt —, desto kleiner die Schwingungszahl. Schwingungsdauer und Schwingungszahl stehen im umgekehrten Verhältnis zueinander; ihr Produkt ist (unter der Voraussetzung derselben Zeiteinheit für beide) = 1.

Wenn man ein Pendel derartig in schwingende Bewegung versetzt, daß die Schwingungsweite eine geringe bleibt, so ist die Schwingungsdauer (und damit auch die Schwingungszahl) fortwährend dieselbe, während die Schwingungsweite allmählich abnimmt. (Gesetz vom Isochronismus der Schwingungen.) — Dies erklärt sich auf die Weise, daß der Pendelkörper bei größerer Schwingungsweite (unterhalb einer gewissen Grenze), wo er also aus größerer Höhe herabfällt, durch die Gleichgewichtslage mit größerer Geschwindigkeit hindurchgeht (vgl. die entsprechende Erscheinung beim freien Fall der Körper — 1. Fallgesetz, S. 33—34). Größere Geschwindigkeit bei größerem Wege — dies ergibt gleiche Zeitdauer für die Zurücklegung des gesamten Weges, d. h. gleiche Schwingungsdauer.

Die Schwingungsdauer des Pendels ist ferner von der Masse und Stoffart (oder Substanz) des Pendelkörpers unabhängig. — Diese Tatsache entspricht dem Gesetz, daß alle Körper (im leeren Raume) gleich schnell fallen. (Vgl. S. 38.)

Wohl aber ändert sich die Schwingungsdauer (und damit die Schwingungszahl) mit der Pendellänge; und zwar verhalten sich die Schwingungsdauern ungleich langer Pendel wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen. — Auch dies Gesetz erklärt sich durch den Hinweis auf den freien Fall der Körper. Bei diesem ist nach dem 3. Fallgesetz der gesamte Fallweg proportional dem Quadrate der Zeit, die Zeit also proportional der Quadratwurzel aus dem Fallweg. An Stelle des Fallweges tritt beim Pendel der halbe Schwingungsbogen; dieser aber ist bei gleicher Schwingungsweite oder Amplitude um so größer, je länger das Pendel ist, mit anderen Worten: er ist proportional der Pendellänge. Hieraus ergibt sich, daß die Zeit, d. h. die halbe

und damit auch die ganze Schwingungsdauer des Pendels proportional der Quadratwurzel aus der Pendellänge ist.

Es gilt die Formel:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1),$$

worin t die Schwingungsdauer, l die Pendellänge und g die Fallbeschleunigung bedeutet.

Aus dieser Formel folgt, daß die Länge eines Pendels, dessen Schwingungsdauer eine Sekunde beträgt, $= \frac{g}{\pi^2}$ ist, was für $g = 981$ cm den Wert 99,4 cm ergibt. Ein solches Pendel heißt ein Sekundenpendel: dasselbe ist also (in Europa, in Höhe des Meeresspiegels) nahezu ein Meter lang.

Da die Pendelbewegung in erster Linie durch die Schwerkraft hervorgerufen wird, so nimmt die Schwingungsdauer zu (die Schwingungszahl ab), wenn die Größe der Schwerkraft abnimmt: z. B. auf hohen Bergen und mit wachsender Annäherung an den Äquator. (Abplattung der Erde an den Polen. — Vgl. S. 39.)

Da in einem physischen Pendel, besonders einem Stangenpendel, jedes Teilchen Schwere hat, so ist das Pendel gewissermaßen aus einer unendlichen Anzahl mathematischer Pendel von ungleicher Länge zusammengesetzt. Die dem Aufhängepunkte näheren Teilchen haben das Bestreben, ihre Schwingungen schneller zu vollziehen als die entfernteren. Hieraus muß sich eine mittlere Schwingungsdauer des gesamten Pendels ergeben, die der Schwingungsdauer eines mathematischen Pendels gleichkommt, das kleiner ist als das physische Pendel. Die Länge desselben wird als die reduzierte Länge des physischen Pendels bezeichnet. Trägt man dieselbe vom Aufhängepunkt aus auf dem physischen Pendel ab, so nennt man den erhaltenen Endpunkt den Schwingungspunkt.

Durch Pendelversuche kann mit Hilfe der Formel (1) die Größe der Fallbeschleunigung (g) ermittelt werden.

Die Pendelgesetze wurden um 1600 von Galilei aufgefunden. An einem ins Schwanken geratenen Kronleuchter im Dome zu Pisa soll er zuerst seine Beobachtungen (über den Isochronismus der Schwingungen) gemacht haben.

Die Anwendung des Pendels in den Uhren verdanken wir dem holländischen Physiker Huyghens (1658 oder 1673).

6. Wirkungen der Schwerkraft auf flüssige Körper.

(Mechanik der flüssigen Körper oder Hydromechanik.)

Flüssigkeitsoberfläche. Die Oberfläche einer in einem Gefäße befindlichen Flüssigkeit ist zufolge der Wirkung der Schwerkraft annähernd eine wagerechte Ebene. Würde nämlich die Flüssigkeit an einer Stelle der Oberfläche schräg begrenzt sein, so würden hier die höher gelegenen Teilchen wie auf einer schiefen Ebene sich abwärts bewegen (was wegen der geringen Kohäsion auf keinerlei Weise verhindert würde), bis alle Teilchen der Flüssigkeit gleich weit vom Erdmittelpunkte entfernt lägen.

Nach dem Letztgesagten ist — streng genommen — die Oberfläche einer Flüssigkeit keine Ebene, sondern ein Stück einer Kugelfläche; aber für die beschränkten Verhältnisse, wie sie sich in Gefäßen darbieten, stimmt für jeden Grad menschlicher Genauigkeit ein solches Stück einer Kugelfläche (welches Kugelkappe oder -Kalotte heißt) mit einer Ebene überein.

Libelle — eine Wasserwaage, mit Hilfe deren sich eine Fläche, auf die das Instrument gesetzt wird, wagerecht einstellen läßt. Sie ist ein mit Wasser gefülltes Rohr bzw. eine ebensolche Dose, die eine Luftblase enthält. Befindet diese sich in der Mitte, so steht das Instrument horizontal.

Ausbreitung des Drucks in einer Flüssigkeit. Man durchlöchere einen Gummiball an verschiedenen Stellen seiner Oberfläche mit einer Nadel und fülle ihn mit Wasser an; dies geschieht auf die Weise, daß man ihn unter Wasser bringt, zusammenpreßt, um die in ihm enthaltene Luft zu entfernen, und dann sich wieder ausdehnen läßt, wobei das Wasser durch die Öffnungen ins Innere eindringt.

Den mit Wasser gefüllten Ball lege man auf einen Tisch und drücke von oben her mit dem Finger darauf. Dann beobachtet man, wie das Wasser aus allen Öffnungen hervor nach verschiedenen Seiten hinspritzt. Es hat sich also der auf die Flüssigkeit ausgeübte Druck nicht nur in der Druckrichtung (von oben nach unten), sondern (da die Öffnungen an beliebigen Stellen angebracht waren) allseitig fortgepflanzt.

Wird auf einen festen Körper ein Druck ausgeübt, so pflanzt sich derselbe, je starrer, d. h. je weniger weich oder je weniger elastisch der Körper ist, um so vollkommener nur in einer Richtung, nämlich der Druckrichtung, weiter fort.

Es erhebt sich jetzt die Frage, mit welcher Stärke sich der auf eine Flüssigkeit ausgeübte Druck in ihr weiter verbreitet. Hierauf antwortet folgender Versuch: Ein vollständig mit Wasser gefülltes Gefäß (Abb. 30), an welches

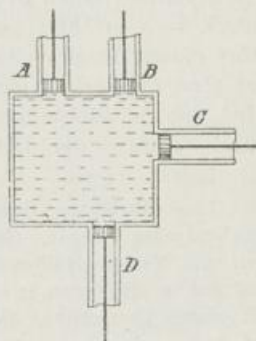


Abb. 30. Verbreitung des Druckes in einer Flüssigkeit.

vier Röhren *A*, *B*, *C* und *D* von gleichem Querschnitt (z. B. 1 qcm) angesetzt sind, werde durch vier Kolben, welche sich in diesen Röhren bewegen können, verschlossen. Wird nun auf den Kolben *A* ein Druck von 1 kg ausgeübt, so muß auf jeden der übrigen Kolben (*B*, *C* und *D*) der gleiche Druck von 1 kg ausgeübt werden, wenn verhindert werden soll, daß sich einer derselben nach außen (und damit der Kolben *A* nach innen) bewegt.

Aus beiden Versuchen erhellt das Gesetz, daß sich ein auf eine Flüssigkeit (senkrecht zur Oberfläche) ausgeübter Druck in derselben nach allen Richtungen mit gleicher Stärke verbreitet.

Wird nun auf eine Flüssigkeit ein derartiger Druck ausgeübt, daß ein bestimmtes Stück der Gefäßwand, z. B. von 1 qcm Flächeninhalt, unter einem Drucke von der Größe a steht, so erfährt nach dem vorstehenden Satze ein Stück der Gefäßwand von 2 qcm Flächeninhalt einen Druck $= 2a$, da jedes einzelne qcm den gleichen Druck $= a$ erfährt; ein Wandstück von 3 qcm Flächeninhalt erfährt einen Druck $= 3a$ usw. Allgemein gilt also der Satz: Wenn auf eine Flüssigkeit (senkrecht zur Oberfläche) ein Druck ausgeübt wird, so ist derjenige Druck, den ein beliebiger Teil der Gefäßwand erfährt, der Größe dieses Wandstücks proportional. (Pascal, 1650.)

Diese Beziehung findet eine Anwendung in der hydraulischen oder Brahmischen Presse. (Brahma, 1797.) Dieselbe besteht im wesentlichen aus zwei mit Wasser gefüllten Zylindern, die durch ein Rohr miteinander verbunden sind und in denen sich je ein Stempel bewegt: der eine mit kleinem, der andere mit großem Querschnitt. Der erstere wird mittels eines einarmigen Hebels in auf- und niedergehende Bewegung versetzt; jeder Niederdruck überträgt sich durch die Flüssigkeit auf den großen Stempel, und zwar, wenn dessen Querschnitt z. B. hundertmal so groß ist als der des kleinen, in hundertfacher Stärke. Diesem Druck entsprechend wird der große Stempel nach oben getrieben. (Anwendung in Ölfabriken, bei der Tuch-Appretur usw.)

Zu beachten ist hierbei, daß der große Stempel sich beträchtlich langsamer emporbewegt, als der kleine Stempel niedergeht. Das Verhältnis der Wege ist das umgekehrte wie das der Druckkräfte.

Bodendruck in Flüssigkeiten. Aus dem soeben Ausgeführten geht hervor, daß der Druck, den eine in einem Gefäß befindliche Flüssigkeit auf den Boden des Gefäßes ausübt, von der Größe des Bodens abhängig ist.

Weitere Versuche lehren, daß die Form des Gefäßes von keinerlei Einfluß auf den Bodendruck ist, wohl aber die Höhe der Wassersäule über dem Boden.

Damit ergibt sich das Gesetz, daß der von einer Flüssigkeit ausgeübte Druck proportional der Bodenfläche (allgemeiner: der Druckfläche) und der Höhe über der gedrückten Fläche — der sogenannten Druckhöhe — ist oder: daß dieser Druck gleich dem Gewichte einer zylindrischen Flüssigkeitssäule ist, deren Grund-

fläche gleich der Bodenfläche (oder Druckfläche) und deren Höhe gleich der Druckhöhe der Flüssigkeit ist.

In der Realschen Extraktresse wird hiernach ein beträchtlicher Druck auf den ausziehenden Stoff bei Anwendung einer geringen Menge ausziehender Flüssigkeit auf die Weise zustande gebracht, daß an das Gefäß, welches den der Extraktion zu unterwerfenden Stoff aufnimmt, ein langes senkrecht Roh von geringer Weite angesetzt ist, so daß also die Druckhöhe der in Gefäß und Rohr gefüllten Flüssigkeit eine große ist. Der der Extraktion zu unterwerfende Stoff befindet sich, fein gepulvert, am Boden des Gefäßes zwischen zwei siebartig durchlöchernten Platten; ein nahe dem Boden angebrachter Hahn dient zum Ablassen der Extraktflüssigkeit.

Kommunizierende Gefäße. Zwei Gefäße, welche entweder unmittelbar oder durch ein unten befindliches Querrohr miteinander verbunden sind, heißen kommunizierende Gefäße; haben sie selbst Röhrenform, so nennt man sie kommunizierende Röhren. (Abb. 31.)

Gießt man in zwei kommunizierende Gefäße eine Flüssigkeit, so beobachtet man, daß sich dieselbe in beiden gleich hoch stellt. Die Überlegung zeigt, daß nur auf diese Weise die Flüssigkeit sich im Gleichgewicht befinden kann; denn da die Druckfläche (d. i. entweder die Grenzfläche an der Stelle, wo ein Gefäß in das andere übergeht, oder irgend eine Fläche im Querrohr — Abb. 31, *f*) für die Flüssigkeit in beiden Gefäßen dieselbe ist, so muß auch die Druckhöhe der Flüssigkeit in jedem der Gefäße die gleiche sein, da sonst der Druck der Flüssigkeit in beiden Gefäßen verschieden wäre und somit kein Gleichgewicht bestehen könnte.

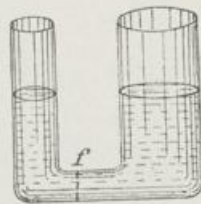


Abb. 31. Kommunizierende Röhren.

Das Gesetz der kommunizierenden Röhren findet vielfache praktische Anwendung; z. B. bei der Nivellier-, Kanal- oder Wasserwage der Feldmesser; bei dem Wasserstandsanzeiger oder Standmesser an Dampfkesseln usw.; bei allen mit Ausguß versehenen Gefäßen, insbesondere der Gießkanne; bei der Wasserleitung, den natürlichen Springbrunnen, den artesischen Brunnen usw.

Eine andere Gestalt nimmt das Gesetz der kommunizierenden Gefäße an, wenn sich in den Gefäßen mehrere Flüssigkeiten befinden, die ungleich schwer sind oder genauer: deren spezifisches Gewicht verschieden ist. (Vgl. den Abschnitt: „Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Gewicht in kommunizierenden Gefäßen“.)

Eine direkte Abweichung vom Gesetz der kommunizierenden Gefäße (infolge der Wirksamkeit besonderer Kräfte) stellt sich ein, wenn Röhren von sehr geringem Durchmesser zur Verwendung kommen. (Vgl. den Abschnitt über „Kapillarität“.)

Ausflußgeschwindigkeit der Flüssigkeiten. Von dem Druck einer in einem Gefäße befindlichen Flüssigkeit hängt die Ausflußgeschwindigkeit ab, mit welcher sie aus einer in dem Boden oder der Wand des Gefäßes vorhandenen Öffnung hervorströmt.

Auf die Größe der Öffnung kommt es hierbei aber nicht an; denn wenn die Öffnung und damit der Druck größer ist, nimmt im gleichen Maße auch die zu bewegendende Flüssigkeitsmenge zu (vgl. S. 37); daher ist die Ausflußgeschwindigkeit

ausschließlich von der Druckhöhe abhängig; nach Torricelli (1641) ist sie gleich der Endgeschwindigkeit, die ein Körper erlangen würde, der von einer der Druckhöhe gleich großen Höhe über dem Erdboden frei auf diesen herabfiel:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (1)$$

[Vgl. Formel (3) a. S. 36.]

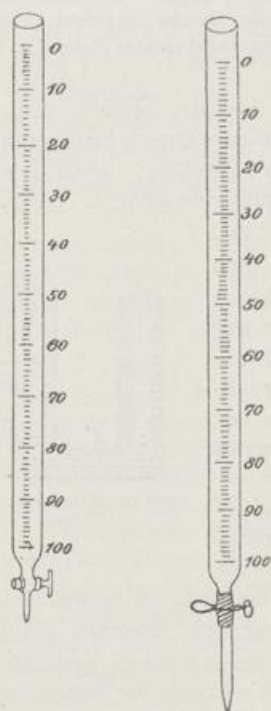


Abb. 32. Glashahn-Bürette.

Abb. 33a. Quetschhahn-Bürette.

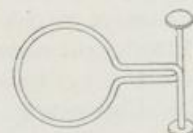


Abb. 33b. Quetschhahn.

Von der Richtung des ausfließenden Flüssigkeitsstrahls ist die Ausflußgeschwindigkeit gleichfalls unabhängig; dies ist eine Folge der nach allen Richtungen gleichmäßigen Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten.

Glashahn und Quetschhahn.

Um das Ausfließen einer Flüssigkeit aus einem Gefäße zu regeln, vor allem, um es zu ermöglichen, daß die Flüssigkeit in kleiner Menge und mit Unterbrechungen ausfließt, bedient man sich eines über der Ausflußöffnung anzubringenden

Glashahns oder Quetschhahns, wie sie die in Abb. 32 und 33 dargestellten, bei der chemischen Maßanalyse Verwendung findenden Büretten zeigen. Büretten sind mit Volumeinteilung versehene Glasröhren, die am unteren Ende verschließbar sind.

Der Glashahn (siehe Abb. 32) ist ein mit Griff versehenes Glasstück, das eine Durchbohrung besitzt, welche das Glasstück parallel dem Griff durchsetzt. Dieses Glasstück ist in eine im unteren Teile der Bürette — einem Ansatzrohr — befindliche Durchbohrung luftdicht eingeschliffen. Wird nun der Glashahn

so gedreht, daß sein Griff senkrecht steht, also der Längsachse der Bürette parallel ist, so fließt die in der Bürette enthaltene Flüssigkeit durch die Durchbohrung des Hahns nach unten ab; steht der Griff wagerecht, so füllt die Durchbohrung des Hahns nicht in den Lauf des Ansatzrohrs, und die Flüssigkeit kann nicht heraus; wird der Hahn allmählich aufgedreht, so kann man die Flüssigkeit tropfenweise austreten lassen.

Der Quetschhahn, den Abb. 33b für sich darstellt, ist ein gebogener Draht, dessen Enden zunächst ein Stückchen nebeneinander hergehen, dann, sich kreuzend, nach außen gehen und in zwei Plättchen enden, die beim Gebrauch zwischen die Finger genommen werden. Soll der Quetschhahn zur Verwendung gelangen, so muß auf das Ansatzrohr der Bürette ein Stückchen Kautschukschlauch aufgeschoben werden, welches am unteren Ende abermals ein kleines Glasrohr trägt. Der Kautschukschlauch wird zwischen die parallelen Stücke des Quetschhahns gebracht, welche ihn — da der Hahn elastisch federnd ist — zusammendrücken; die Flüssigkeit kann jetzt nicht heraus. Drückt man nun die Plättchen des Quetschhahns mit den Fingern zusammen, so entfernen sich die parallelen Stücke des Hahns voneinander, der elastische Kautschukschlauch bläht sich ein wenig auf, und es tritt Flüssigkeit nach unten hindurch.

Seitendruck der Flüssigkeiten.

Wird ein nahe seinem unteren Ende mit einer seitlichen Öffnung versehenes Glasrohr am oberen Ende frei beweglich aufgehängt und mit Wasser gefüllt, so weicht, wenn das Wasser aus der Seitenöffnung ausfließt, das untere Ende des Rohres nach der der Öffnung entgegengesetzten Seite zurück.

Der Grund hierfür ist der, daß das im Glasrohr enthaltene Wasser auf die der Seitenöffnung gegenüberliegende Stelle der Wandung einen nach außen gerichteten Druck ausübt, während an der Seitenöffnung selbst kein derartiger Druck stattfindet, da hier die Gefäßwand fehlt und das Wasser frei ausfließen kann. — Da der Druck des Wassers im entgegengesetzten Sinne erfolgt, wie es ausfließt, so spricht man auch von einem Rückstoß der Wassers.

Auf den gleichen einseitigen Seitendruck ist die Tätigkeit des Segnerschen Wasserrades (Abb. 34) zurückzuführen. Das senkrechte, um eine Achse drehbare, unten geschlossene Rohr ist mit Wasser gefüllt; aus den seitwärts umgebogenen, offenen Enden des Querrohrs fließt das Wasser heraus und bewirkt eine Drehung des Röhrensystems in einem der Richtung der ausfließenden Wasserstrahlen entgegengesetzten Sinne.

Eine praktische Anwendung des Segnerschen Wasserrades bilden die Turbinen. Man kann sie als Wasserräder mit senkrechter Achse bezeichnen, wäh-

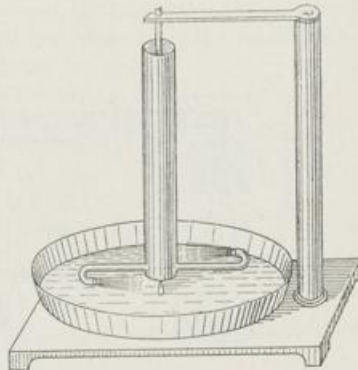


Abb. 34. Segnersches Wasserrad.

rend die gewöhnlichen — ober- oder unterschlächtigen — Wasserräder, wie man sie an Wassermühlen findet, eine wagerechte Achse besitzen.

Auftrieb in Flüssigkeiten. Wird ein an einem Arme eines Wagebalkens aufgehängter Körper, dem durch Gewichte, welche auf den anderen Arm des Wagebalkens wirken, das Gleichgewicht gehalten wird, in Wasser (oder eine andere Flüssigkeit) getaucht, so erfährt das Gleichgewicht eine Störung: der den Körper tragende Arm des Wagebalkens geht in die Höhe.

Der Körper erleidet einen scheinbaren Gewichtsverlust. In Wahrheit übt das Wasser einen nach oben gerichteten Druck auf ihn aus, den man als Auftrieb bezeichnet; das Wasser nimmt hiernach gewissermaßen einen Teil des Gewichtes des Körpers auf sich, es trägt den Körper zum Teil.

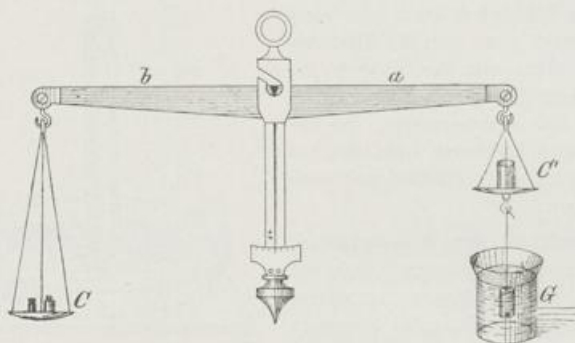


Abb. 35. Hydrostatische Waage.

Dieser Auftrieb ist um so größer, je größer das Volum des Körpers ist, je mehr Wasser er also beim Eintauchen verdrängt.

Die Größe des Auftriebs läßt sich auf folgende Weise ermitteln. Man stellt aus Metall einen Hohlzylinder und einen Vollzylinder her, welcher letzterer genau in jenen hineinpaßt, so daß also das gesamte Volum des Vollzylinders und das Innenvolum des Hohlzylinders gleich sind. Dann hängt man den Vollzylinder an die kürzere Wageschale einer hydrostatischen Waage; eine solche unterscheidet sich dadurch von einer gewöhnlichen Waage, daß die eine Schale höher aufgehängt ist als die andere (so daß ein Gefäß mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit darunter gestellt werden kann) und daß diese kürzere Schale unten einen Haken besitzt, an welchen man einen Körper anhängen kann. (Abb. 35.) Auf die kürzere Wageschale (C') setzt man nun den Hohlzylinder und stellt Gleichgewicht her. Alsdann läßt man den Vollzylinder in Wasser (in dem Gefäße G) eintauchen, und die kürzere Wageschale geht in die Höhe. Wenn man hierauf den Hohlzylinder voll Wasser füllt, stellt sich das Gleichgewicht wieder her.

Hieraus geht hervor, daß der Auftrieb (oder scheinbare Gewichtsverlust) eines in eine Flüssigkeit eingetauchten Körpers gleich dem Gewicht eines gleich großen Volums der Flüssigkeit ist. (Archimedisches Gesetz oder Prinzip, aufgestellt 220 v. Chr. von dem Syrakusaner Archimedes.)

Die Erscheinung des Auftriebs findet in folgender Betrachtung ihre Erklärung. — Denken wir uns in einem Gefäß mit einer beliebigen Flüssigkeit eine bestimmte Raummenge der letzteren besonders abgegrenzt (wie Abb. 36 zeigt), so bleibt diese Flüssigkeitsmenge deshalb in völligem Gleichgewicht an ihrer Stelle, weil sie durch die sie umgebende Flüssigkeit getragen wird. Ersetzt man nun die fragliche Flüssigkeitsmenge durch einen andern Körper von gleichem Volum und gleichem Gewicht, so muß derselbe ebenso getragen werden wie vorher die Flüssigkeitsmenge und unverändert an seiner Stelle bleiben; ist er aber — bei gleichem Volum — schwerer als die verdrängte Flüssigkeitsmenge, so muß wenigstens ein Teil seines Gewichtes von der umgebenden Flüssigkeit getragen werden, nämlich so viel, wie die verdrängte Flüssigkeit wog, da die umgebende Flüssigkeit stets dem gleichen auf ihr lastenden Druck das Gleichgewicht zu halten vermag. Dieser auf Kosten der umgebenden Flüssigkeit kommende Teil des Gewichtes ist nun der scheinbare Gewichtsverlust oder Auftrieb, den der Körper in der Flüssigkeit erfährt.



Abb. 36. Auftrieb in Flüssigkeiten.

Untersinken, Schweben und Schwimmen.

Aus dem eben Ausgeführten ergibt sich, daß ein Körper, der frei in eine Flüssigkeit gebracht wird, ein dreifaches Verhalten darbieten kann.

Ist er genau so schwer wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge, so bleibt er an jeder Stelle, an die man ihn bringt, im vollen Gleichgewicht: er schwebt; ist er schwerer als die verdrängte Flüssigkeitsmenge, so fällt er, da er nicht völlig von der umliegenden Flüssigkeit getragen wird, dem Mehrgewicht der eigenen Schwere entsprechend, auf den Boden des Gefäßes: er sinkt unter; ist er leichter als die verdrängte Flüssigkeitsmenge, so steigt er an die Oberfläche empor und taucht nur so weit ein, daß sein Gesamtgewicht gleich dem Gewicht der von seinem unteren, eintauchenden Teile verdrängten Flüssigkeitsmenge ist: er schwimmt.

Das Untersinken, Schweben oder Schwimmen eines Körpers hängt, um es bestimmter auszusprechen, von dem Verhältnis des Gewichtes des Körpers zu dem Gewicht eines gleich großen Flüssigkeitsvolums ab. Ist dieses Verhältnis größer als 1, so sinkt der Körper unter; ist es = 1, so schwebt er; ist es kleiner als 1, so schwimmt er.

Die Erscheinungen des Untersinkens, Schwebens und Schwimmens lassen sich an einem bekannten Spielzeug: dem Cartesianischen Teufelchen (oder Cartesianischen Taucher) aufs schönste beobachten. (Cartesius oder eigentlich Descartes, ein berühmter französischer Philosoph und Physiker, 1596–1650.) Das Cartesianische Teufelchen ist eine aus Glas geblasene, dünnwandige, innen hohle Figur von der Gestalt eines Teufels oder dgl., deren Schwanzende eine Öffnung hat. Diese Figur befindet sich in einem ganz mit Wasser gefüllten und oben durch eine Gummihaut verschlossenen Glaszylinder. Für gewöhnlich schwimmt das Teufelchen, da es in seinem Innern Luft enthält, mit dem Kopfe an die Gummihaut des Glaszylinders stoßend. Drückt man aber mit dem Finger auf die Gummihaut, so wird die Luft im Innern des Teufelchens zusammengepreßt, und durch die Schwanzöffnung dringt Wasser in das Teufelchen ein, dasselbe wird schwerer und sinkt nun entweder unter oder erhält sich, bei geeigneter Regulierung des Fingerdruckes, schwebend. Ist der Schwanz horizontal um den Körper des Teufelchens gewunden, so werden beim Nachlassen des Druckes rotierende Bewegungen von der Figur ausgeführt (wegen des Seitendrucks oder Rückstoßes der Flüssigkeit beim Ausfließen — vgl. das Segnersche Wasserrad).

Spezifisches Gewicht. Da die auf der Erde verbreitetste, am meisten gebrauchte und am leichtesten zugängliche Flüssigkeit das Wasser ist, so hat man dem erwähnten Verhältnis des Gewichtes eines Körpers zu dem Gewicht eines gleich großen Flüssigkeitsvolums in bezug auf das Wasser einen besonderen Namen gegeben: das spezifische Gewicht.

Das spezifische Gewicht eines Körpers ist also das Verhältnis des absoluten Gewichtes des Körpers zu dem Gewicht eines gleich großen Volums Wasser bei $+4^{\circ}\text{C}$. (Letztere Bestimmung ist nötig, da sich mit der Temperatur das Volum und somit auch das spezifische Gewicht ändert.) — Hiernach ist das spezifische Gewicht eine bloße, d. h. unbenannte Zahl.

Unter „absolutem Gewicht“ des Körpers versteht man sein Gewicht in Luft oder, strenger genommen, im leeren Raum.

Denkt man sich den Körper von der Größe der Volumeinheit = 1 cm, so läßt sich — da das Gewicht von 1 cm Wasser gleich der Gewichtseinheit (1 g) ist — das spezifische Gewicht des Körpers auch als das Gewicht der Volumeinheit erklären (da dann der Nenner in dem Verhältnis wegfällt). Das spezifische Gewicht wird insofern auch als Volumgewicht bezeichnet.

Das spezifische Gewicht des Wassers im destillierten und damit reinen Zustande bei $+4^{\circ}\text{C}$ ist = 1.

Dem spezifischen Gewicht proportional ist die Dichtigkeit oder Dichte der Körper. Man versteht darunter die in der Volumeinheit enthaltene Masse, die ja ihrerseits dem Gewicht proportional ist (vgl. S. 42, Formel 1 und 2). — Ist die in einem bestimmten Volum v enthaltene Masse = m , das Gewicht derselben = p , so ist:

$$\left. \begin{array}{l} \text{die Dichtigkeit} \\ \text{das spezifische Gewicht} \end{array} \right\} = \frac{m}{v} = \frac{p}{v} \quad (1)$$

Es möge hier die Bemerkung vorweggenommen werden, daß man auch von einem spezifischen Gewicht der Gase spricht. Dasselbe wird aber nicht auf Wasser, sondern auf Luft oder — am häufigsten — auf Wasserstoff (als das spezifisch leichteste aller Gase) bezogen. Wählt man als Vergleichsvolum die Volumeinheit, so gibt wiederum das spezifische Gewicht der Gase das Gewicht ihrer Volumeinheit an; man nennt daher das spezifische Gewicht der Gase ebenfalls ihr Volumgewicht. Das Volumgewicht der meisten chemischen Grundstoffe im gasförmigen Zustande ist gleich ihrem Atomgewicht, d. h. dem Gewicht eines Atoms der Grundstoffe, auf das Gewicht eines Wasserstoffatoms als Einheit bezogen; das Volumgewicht der chemischen Verbindungen im gasförmigen Zustande ist gleich dem halben Molekulargewicht, d. h. der Hälfte des Gewichts eines Moleküls der Verbindungen, gleichfalls auf das Gewicht eines Wasserstoffatoms als Einheit bezogen.

Das spezifische Gewicht ist eine sehr wichtige Eigenschaft der Körper, an der man sie neben sonstigen Eigenschaften, wie Farbe, Glanz usw., erkennen oder auf Grund welcher man wenigstens ihre Reinheit bzw. ihren Gehalt an anderen Stoffen feststellen kann. Treten nämlich zu einem Stoffe andere von verschiedenem spezifischen Gewicht hinzu, so wird das spezifische Gewicht des ersteren geändert. Salze und Säuren steigern so das spezifische Gewicht des Wassers, und zwar um so mehr, in je größerer Menge sie darin gelöst enthalten sind, während z. B. Alkohol das spezifische Gewicht bei zunehmendem Gehalte herabsetzt. Es läßt sich jedoch nicht in allen Fällen aus dem spezifischen Gewicht eines Stoffes ohne weiteres ein bestimmter Schluß auf seinen Gehalt an anderen Stoffen ziehen, da beispielsweise beim Mischen zweier Flüssigkeiten häufig Verdichtungen stattfinden (Mischungen von Wasser mit Weingeist, sowie von Wasser mit Schwefelsäure). In solchen Fällen geben Tabellen, die auf Grund von Versuchen aufgestellt wurden, Auskunft darüber, welcher Prozentgehalt einem bestimmten spezifischen Gewicht entspricht.

Bestimmung des spezifischen Gewichts fester Körper.

a) Mittels der hydrostatischen Wage. (Abb. 35.) Man bestimmt zunächst das absolute Gewicht des Körpers. — Derselbe sei ein Stück Eisen von 40 g Gewicht. — Dann läßt man ihn, indem man ihn an die kürzere Wagschale (C') anhängt, in Wasser

eintauchen (destilliertes Wasser von 15°C);¹⁾ hierdurch wird das Gleichgewicht aufgehoben; man stellt es wieder her, indem man die in die Höhe gegangene Wagschale (diejenige, welche das Stück Eisen trägt) mit Gewichten beschwert; diese geben den scheinbaren Gewichtsverlust an, den das Eisen im Wasser erlitten hat. Er betrage in unserm Beispiel 5,26 g. Dann ist das spezifische Gewicht des Eisens $= 40 : 5,26 = 7,6$.

b) Mittels der Nicholsonschen Senkwage (oder des Gewichtsaräometers). Die Nicholsonsche Senkwage (Abb. 37) besteht aus einem zylindrischen Hohlkörper aus Blech, der oben und unten je eine, zur Aufnahme des zu untersuchenden Körpers und der Gewichte dienende Schale trägt. Die untere (*u*) ist durch eine unten daran befestigte Bleimasse in dem Maße beschwert, daß der

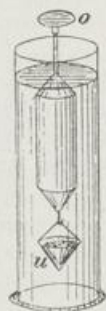


Abb. 37. Nicholsonsche Senkwage.

Apparat, ins Wasser gebracht, in senkrechter Lage in stabilem Gleichgewicht schwimmt; zwischen der oberen Schale (*o*) und dem Hohlkörper befindet sich ein Hals (ein Draht oder Eisenstab), an welchem eine Marke angebracht ist.

Nachdem die Senkwage in einen mit Wasser gefüllten Glaszylinder gebracht worden ist, wird der zu untersuchende Körper zuerst auf die obere Schale gelegt und so viel Gewichte dazu, daß die Senkwage bis zur Marke ins Wasser einsinkt. Hierauf wird der Körper von der Schale entfernt, und statt seiner wird dieselbe mit Gewichten beschwert, bis die Wage wiederum bis zur Marke einsinkt. Diese Gewichte geben das absolute Gewicht des Körpers an. Dann wird, nachdem die zuletzt genannten Gewichte entfernt worden sind, der Körper auf die untere Schale gelegt, so daß er sich also unter Wasser befindet; die Senkwage steigt. Durch Auflegen von Gewichten auf die obere Schale bringt man sie wieder so weit zum Sinken, daß die Marke mit dem Wasserspiegel ab-

¹⁾ Die Temperatur muß — wenigstens wenn man genaue Ergebnisse erzielen will — berücksichtigt werden, da das spezifische Gewicht der Körper sich mit der Temperatur ändert, wie auf S. 74 bereits erwähnt wurde; man wählt aber häufig nicht die daselbst angegebene Temperatur von $+4^{\circ}\text{C}$ (bei welcher das Wasser seine größte Dichtigkeit hat) zur Bestimmung des spezifischen Gewichts, sondern — aus Bequemlichkeitsrücksichten — die mittlere Zimmertemperatur. Die bei dieser Temperatur bestimmten spezifischen Gewichte wären nur dann vollkommen genau, wenn — was nicht der Fall ist — die spezifischen Gewichte aller Körper sich mit der Temperatur gleichmäßig, ihr proportional, ändern würden.

schneidet; diese Gewichte geben den scheinbaren Gewichtsverlust des Körpers oder das Gewicht der von ihm verdrängten Wassermenge an. Die Division des absoluten Gewichts durch die letztere Größe liefert das spezifische Gewicht des Körpers. —

Soll das spezifische Gewicht eines Körpers bestimmt werden, der spezifisch leichter ist als Wasser und also nicht in letzteres einsinkt, so befestigt man ihn an einem Körper von hohem spezifischen Gewicht, z. B. Blei, und stellt dessen absolutes Gewicht und scheinbaren Gewichtsverlust im Wasser durch einen besonderen Versuch vor der eigentlichen Bestimmung fest.

In Wasser lösliche Körper untersucht man hinsichtlich ihres spezifischen Gewichts in einer anderen Flüssigkeit (z. B. Öl), deren spezifisches Gewicht in bezug auf Wasser man kennt.

Besondere Schwierigkeit macht die Bestimmung des spezifischen Gewichts poröser Körper. Diese nehmen wegen der in ihnen enthaltenen luftgefüllten Zwischenräume ein größeres Volumen ein, als ihrer festen Masse allein zukommt. Will man das spezifische Gewicht der festen Masse ausschließlich der in den Poren befindlichen Luft ermitteln, so muß man aus den Körpern die Luft durch Auskochen entfernen oder sie in fein gepulvertem Zustande verwenden; im letzteren Falle bedient man sich zur Bestimmung des spezifischen Gewichts am besten des Volumenometers (oder Volumeters oder Stereometers), das erst im nächsten Kapitel („Wirkungen der Schwerkraft auf luftförmige Körper“) zur Besprechung gelangen kann.

Will man das spezifische Gewicht eines porösen Körpers einschließlich der in ihm enthaltenen Luft bestimmen, so überzieht man ihn mit einer dünnen Schicht eines vom Wasser nicht auflösbaren Stoffes (z. B. eines geeigneten Lackes). —

Hier möge die Bemerkung Platz finden, daß ein hohler Körper auch dann in einer Flüssigkeit schwimmen kann, wenn das spezifische Gewicht der festen Stoffe, aus denen er zusammengesetzt ist, beträchtlich größer ist als das der Flüssigkeit; erforderlich ist nur, daß der Körper so umfangreich ist und infolgedessen so viel Luft enthält, daß er mit dieser Luft weniger wiegt als die von ihm verdrängte Flüssigkeit. (Beispiel: die schweren Panzerschiffe.)

Bestimmung des spezifischen Gewichts von Flüssigkeiten.

a) Mittels der Mohrschen oder Dichtigkeits-Wage. Dieselbe unterscheidet sich von der hydrostatischen Wage dadurch, daß an dem Arme des Wagebalkens, der bei dieser die kürzere Wageschale trägt (Abb. 38, a), ein oben und unten geschlossenes zum Teil mit Quecksilber gefülltes Glasröhrchen, das sogenannte Senkgläschen (Abb. 38, S) befestigt wird, welchem durch die Wageschale C das Gleichgewicht gehalten wird. Wenn man nun das Senkgläschen in ein Gefäß (G) eintaucht, das nacheinander mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt wird, so werden verschiedene an den Wagebalken a zu hängende Gewichte vonnöten sein, um

die Wage ins Gleichgewicht zu bringen, weil der Auftrieb, den ein Körper in einer Flüssigkeit erleidet, um so größer ist, je größer das spezifische Gewicht der Flüssigkeit ist, wie es aus der Erklärung der Erscheinung des Auftriebs (S. 73) unmittelbar hervorgeht. Als Gewichte für die Wage benutzte Mohr mehrere Häkchen (Reiter) von der in Abb. 38, *B* dargestellten Form und von dreifach verschiedener Größe. Die größten Häkchen wiegen genau soviel, wie der Gewichtsverlust des Senkgläschens im Wasser beträgt; eine zweite Sorte wiegt $\frac{1}{10}$ soviel, eine dritte $\frac{1}{100}$ soviel. — Will man das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit, z. B. Alkohol, ermitteln, so läßt man das Senkgläschen in dieselbe eintauchen und verteilt an dem in zehn gleiche Teile eingeteilten Arm *a* des Wage-

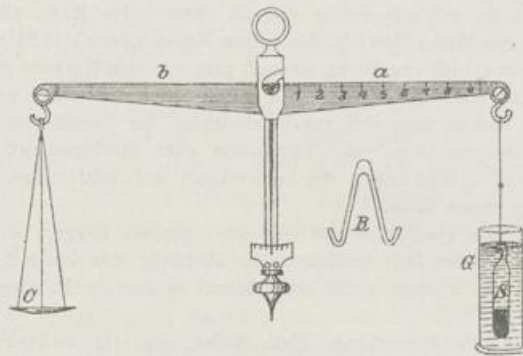


Abb. 38. Mohrsche Wage.

balkens die Gewichtshäkchen so, daß Gleichgewicht eintritt. Es findet sich, daß man (in unserm Beispiel) das größte Häkchen beim Teilstrich 7, das mittelgroße bei 9 und das kleinste bei 5 aufhängen muß; hiernach ist der Gewichtsverlust, den das Senkgläschen im Alkohol erleidet, $= 0,7 + 0,09 + 0,005 = 0,795$ von dem Gewichtsverlust im Wasser; oder mit anderen Worten: ein Volum Alkohol = *S* wiegt 0,795mal soviel wie ein gleich großes Volum Wasser; das heißt aber: das spezifische Gewicht des Alkohols ist $= 0,795$. — Das Senkgläschen kann zugleich ein Thermometer sein — behufs gleich vorzunehmender Reduktion von Temperaturdifferenzen.

Die Westphalsche Wage, welche im Prinzip der Mohrschen gleich gebaut ist, unterscheidet sich von dieser insofern, als sie der (von dem Arm *b* des Wagebalkens getragenen) Schale entbehrt und das Gleichgewicht statt durch die Zunge dadurch angezeigt wird, daß sich der in diesem Falle spitz zu-

laufende Arm *b* des Wagebalkens gegen eine ihm gegenüber befindliche feste Spitze einstellt.

b) Mittels des Pyknometers. Das Pyknometer (Abb. 39) ist ein durch einen durchbohrten Glasstöpsel verschließbares Fläschchen, welches bei 15°C genau 10 bzw. 100 g destilliertes Wasser faßt. (Die Durchbohrung im Stöpsel soll die genaue Füllung des Gefäßes gestatten sowie bei etwaiger Erwärmung den Austritt der sich ausdehnenden Flüssigkeit ermöglichen und so ein Emporheben des Stöpsels oder gar ein Zersprengen des Gefäßes verhindern.)



Abb. 39. Pyknometer.



Abb. 40. Skalen-Aräometer.



Abb. 41. Pykno-Aräometer.

Die zu untersuchende Flüssigkeit wird in das Pyknometer eingefüllt und mit demselben gewogen; zieht man von dem so ermittelten Gewicht die Tara (das Gewicht des Glases) ab, so erhält man das absolute Gewicht der Flüssigkeit. Durch Division dieses Gewichts durch 10 bzw. 100 g ergibt sich das spezifische Gewicht der Flüssigkeit.

c) Mittels des Aräometers (Volum- oder Skalen-Aräometers oder Densimeters). Das Skalen-Aräometer (Abb. 40) besteht aus einem Hohlzylinder aus Glas (*A*), der als Schwimmer bezeichnet wird und an welchen unten zur Herstellung einer stabilen Lage des Apparats eine mit Quecksilber gefüllte Kugel (*B*) angeschmolzen ist, die zugleich Thermometerkugel sein kann. Nach

oben läuft der Schwimmer in eine längere, oben geschlossene Glasröhre aus: die Spindel (C), welche im Innern einen mit einer Skala versehenen Papierstreifen enthält. Diese Skala gibt durch Zahlen unmittelbar an, wie groß das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit ist, in welche das Aräometer bis zu einem bestimmten Teilstrich einsinkt. Diese Einrichtung beruht auf dem Umstande, daß ein Körper in dem Maße tiefer in eine Flüssigkeit einsinkt, als ihr spezifisches Gewicht geringer ist.

Die Einteilung läßt sich entweder ohne jede Berechnung durch eine Reihe von Versuchen mit solchen Flüssigkeiten gewinnen, deren spezifische Gewichte anderweitig bestimmt worden sind; oder auf folgende Weise: Das Aräometer wiege a g; dann sinkt es in Wasser so tief ein, daß das verdrängte Wasser a g wiegt oder a ccm Volum hat; man schreibe an den Punkt, bis zu dem das Aräometer einsinkt, die Zahl 1, da das spezifische Gewicht des Wassers = 1 ist. Jetzt bringe man das Aräometer in eine zweite Flüssigkeit und kennzeichne den Punkt, bis zu welchem es einsinkt; man bestimme hierauf das Volum des Aräometers bis zu diesem Punkte = b ccm. (Dies geschieht z. B. auf die Weise, daß man das Aräometer bis zu diesem Punkte in einen mit Volumeinteilung versehenen und bis zu einer bestimmten Marke mit Wasser gefüllten Glaszylinder eintaucht und beobachtet, um wieviel das Wasser steigt. Oder auf die Weise, daß man die Gewichtszunahme eines mit Wasser gefüllten Gefäßes feststellt, in welches das Aräometer bis zu dem genannten Punkte eingetaucht wird; diese Gewichtszunahme ist = dem Gewichtsverlust des eingetauchten Aräometers = dem Gewicht des verdrängten Wassers; ist dies Gewicht = b g, so ist das Volum des verdrängten Wassers = b ccm.) Hat die zweite Flüssigkeit nun das spezifische Gewicht x , so wiegen die b ccm = bx g. Dies ist aber = a g, da ja diese Menge Flüssigkeit durch das a g schwere Aräometer ersetzt ist. Also $bx = a$ oder $x = \frac{a}{b}$. Man schreibe an den gekennzeichneten Punkt die Zahl $\frac{a}{b}$.

Ermittelt man auf dieselbe Weise die spezifischen Gewichte einer dritten und vierten Flüssigkeit: $y = \frac{a}{c}$ und $z = \frac{a}{d}$ und nehmen die spezifischen Gewichte 1, x , y und z stets um dieselbe Größe $\frac{1}{n}$ zu (also $x = 1 + \frac{1}{n}$, $y = 1 + \frac{2}{n}$, $z = 1 + \frac{3}{n}$), so ist: $a - b = a - \frac{a}{x} = a - \frac{a}{1 + \frac{1}{n}} = \frac{a}{n+1} = a \frac{n}{n(n+1)}$; $b - c = \frac{a}{x} - \frac{a}{y} = \frac{a}{1 + \frac{1}{n}} - \frac{a}{1 + \frac{2}{n}} = a \frac{n}{(n+1)(n+2)}$; $c - d$ desgl. = $a \frac{n}{(n+2)(n+3)}$.

Es nehmen hiermit die Volumunterschiede, welche gleichen Unterschieden der spezifischen Gewichte entsprechen, nach einem bestimmten Gesetze ab. Hat nun die Aräometerspindel überall gleiche Weite, so nehmen die Entfernungen der die spezifischen Gewichte 1, $1 + \frac{1}{n}$, $1 + \frac{2}{n}$, $1 + \frac{3}{n}$ bezeichnenden Teilstriche

der Skala nach demselben Gesetze ab; da man nun die Entfernung von 1 bis $\frac{a}{b}$, dem Volumunterschied $a - b$ entsprechend, kennt, so lassen sich die Entfernungen der übrigen Teilstriche der Skala mit Hilfe des entwickelten Gesetzes ermitteln.

Die an die Teilstriche zu schreibenden Zahlen $1, 1 + \frac{1}{n}, 1 + \frac{2}{n}, 1 + \frac{3}{n}$ usw. geben dann an, wie groß das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit ist, in welche das Aräometer bis zu dem durch die Zahl gekennzeichneten Teilstrich der Skala einsinkt.

Man hat gewöhnlich für solche Flüssigkeiten, die spezifisch leichter, und für solche, die spezifisch schwerer sind als Wasser, besondere Aräometer. Bei jenen befindet sich der Teilpunkt 1 unten, bei diesen oben an der Skala.

Das Pykno-Aräometer (Abb. 41) unterscheidet sich von einem gewöhnlichen Aräometer dadurch, daß es noch einen zweiten, zu einer Kugel ausgeblasenen Hohlraum besitzt, der sich unmittelbar über der Quecksilberkugel befindet und mit einem mit Stöpsel verschließbaren Ansatzrohr versehen ist. Dem letzteren gegenüber ist ein Glasknopf angeschmolzen, welcher an Gewicht dem Ansatzrohr samt Stöpsel gleichkommt und den Zweck hat, den Apparat beim Einsenken in Wasser senkrecht schwimmend zu erhalten. Wird nun der Hohlraum ganz mit destilliertem Wasser gefüllt und mit dem Stöpsel verschlossen und der Apparat in destilliertes Wasser gebracht, so sinkt er bis zu der (oben oder unten an der Skala befindlichen) Marke 1 unter. Je nach der Füllung des Hohlrums mit anderen Flüssigkeiten wird der Apparat steigen oder sinken, und das zu ermittelnde spezifische Gewicht ergibt sich einfach durch Ablesen an der Skala.

Aräometer, welche nicht das spezifische Gewicht, sondern unmittelbar den Gehalt einer Flüssigkeit an gelösten Stoffen angeben (durch den das spezifische Gewicht geändert wird), heißen Prozent-Aräometer. Je nach ihrer besonderen Bestimmung unterscheidet man sie in Saccharometer, Galaktometer (oder Laktometer), Alkoholometer, Säuren- und Laugenspindeln.

Beim Gebrauch des Aräometers muß ganz besonders auf die Temperatur acht gegeben werden; jedes Aräometer liefert nur für eine bestimmte Temperatur zutreffende Angaben; weicht von dieser die Beobachtungstemperatur ab, so hat eine Korrektion einzutreten, über die ein für allemal ausgerechnete Tabellen Auskunft erteilen.

Tabelle der spezifischen Gewichte einiger Körper.

| | | | |
|------------------|------|-------------------------------------|---------|
| Platin | 21,5 | Messing (Kupfer und Zink) | 8,4 |
| Gold | 19,3 | Gußeisen | 7,4 |
| Blei | 11,4 | Aluminium | 2,7 |
| Silber | 10,5 | Glas | 2,5—3,5 |
| Kupfer | 8,9 | Wachs | 0,96 |

| | | | |
|-----------------------|-------|-------------------------------|-------|
| Tannenholz | 0,5 | Olivenöl | 0,91 |
| Kork | 0,24 | Petroleum | 0,89 |
| | | Terpentinöl | 0,87 |
| | | Benzol (Benzin) | 0,85 |
| Quecksilber | 13,59 | Alkohol (absoluter) | 0,794 |
| Milch | 1,03 | Äther | 0,720 |

Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Gewicht in kommunizierenden Röhren. Eine Abweichung von dem oben (S. 69) angegebenen Gesetz der kommunizierenden Röhren tritt ein, wenn sich in diesen (statt einer) zwei Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Gewicht (z. B. Quecksilber und Wasser) befinden. Es wird alsdann der untere (zusammenhängende) Teil der Röhren von der spezifisch schwereren Flüssigkeit ausgefüllt (siehe Abb. 42); darüber setzt sich in die eine Röhre die spezifisch schwerere Flüssigkeit fort (*AC*), in der anderen Röhre sammelt sich die spezifisch leichtere Flüssigkeit an (*BD*).

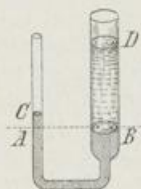


Abb. 42. Kommunizierende Röhren mit verschiedenen Flüssigkeiten.

Letztere steht höher als die spezifisch schwerere Flüssigkeit, und zwar verhalten sich die Höhen der Flüssigkeitssäulen in beiden Röhren, vom unteren Niveau (d. h. der unteren Grenze) der spezifisch leichteren Flüssigkeit aus gemessen, (*AC:BD*) umgekehrt wie die spezifischen Gewichte der beiden Flüssigkeiten.

Spezifisches Gewicht und Adhäsion. Wir wollen nunmehr einiges aus dem Gebiet der Adhäsionserscheinungen nachholen, was früher noch nicht besprochen werden konnte, weil der Begriff des spezifischen Gewichtes unbekannt war.

Angeführt wurde schon (S. 16 u. 17), daß zwischen je zwei Körpern eine Adhäsion stattfindet, daß aber die Rollen, welche die beiden Körper beim Vorgange der Adhäsion spielen, verschiedene sind.

Derjenige Körper nun, dessen spezifisches Gewicht das geringere ist, wird dem anderen, spezifisch schwereren, Körper angedrückt. (K. F. Jordan, 1889.)

Hat man es mit zwei flüssigen Körpern zu tun, so breitet sich der spezifisch leichtere, in geringer Menge auf den spezifisch schwereren gebracht, auf diesem in dünner Schicht aus (vgl. S. 18); wird umgekehrt die spezifisch schwerere Flüssigkeit in geringer Menge auf die spezifisch leichtere gebracht, so sinkt sie annähernd in Kugelform in der letzteren zu Boden.

Ist der spezifisch schwerere Körper fest, der spezifisch leichtere flüssig, so wird jener von diesem benetzt (vgl. S. 17); Beispiel: Glas und Wasser; ist dagegen der spezifisch leichtere Körper fest, der spezifisch schwerere flüssig, so tritt keine Benetzung ein; Beispiel: Glas und Quecksilber. — Diese vom spezifischen Gewicht abhängigen Beziehungen treten aber nur dann ausgeprägt hervor, wenn chemische, Lösungs- und Mischungseinflüsse ausgeschlossen sind. Ferner muß die Oberfläche der zu untersuchenden Körper rein sein, d. h. es darf daran kein anderer Stoff — sei es auch nur in äußerst dünner Schicht — adhären, dessen spezifisches Gewicht eine Störung des zu erwartenden Phänomens bedingt. Endlich ist, wenn poröse Körper zur Beobachtung gelangen, unter dem

spezifischen Gewicht dasjenige der festen Masse (ausschließlich der in den Poren enthaltenen Luft) zu verstehen.

Kapillarität. Besondere Erscheinungen treten auf, wenn sich eine Flüssigkeit in einem Gefäß (Becher, Röhre usw.) befindet oder — einfacher — wenn die Flüssigkeit auf einer Seite durch eine feste Platte begrenzt wird.

Nehmen wir zunächst den letzteren Fall! Die Platte bestehe aus Glas. Ist dann die Flüssigkeit spezifisch leichter als Glas (z. B. Wasser, Öl usw.), so steht ihre Oberfläche an der Berührungsstelle mit der Platte nicht senkrecht zu derselben, sondern sie zieht sich bogenförmig an der Platte hinauf. (Abb. 43a.) — Ist die Flüssigkeit spezifisch schwerer als Glas (z. B. Quecksilber), so zieht sie sich von der Platte in gewölbter Form nach unten zurück. (Abb. 43b.) Die letztere Erscheinung erklärt sich so, daß nicht das Quecksilber dem Glase angedrückt wird, sondern — wenn es möglich wäre — das Glas dem Quecksilber

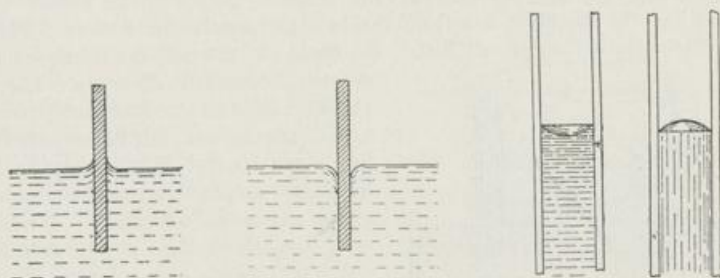


Abb. 43a. Abb. 43b.
Verschiedene Arten der Adhäsion.

Abb. 44a. Abb. 44b.
Konkaver und konvexer Meniskus.

angedrückt würde, und da dies nicht geht, weil das Glas ein fester Körper ist, wenigstens ein Zurückweichen der Flüssigkeit an der Grenze stattfindet.

In Gefäßen zeigt sich ein ähnliches Aufwärts- oder Abwärtswölben von Flüssigkeiten. In engen Gefäßen — insbesondere Röhren — bildet sich eine kuppenartige Einsenkung oder Erhebung der Flüssigkeit, die als konkaver oder konvexer Meniskus bezeichnet wird. (Abb. 44a und 44b.)

Taucht man das Ende eines sehr engen Glasrohrs, eines sogenannten Kapillar- oder Haarrohrs, in eine Flüssigkeit ein, so beobachtet man noch eine besondere Erscheinung. Die Flüssigkeit stellt sich nämlich in dem Glasrohr nicht gleich hoch mit der außerhalb befindlichen Flüssigkeit, wie es das Gesetz der kommunizierenden Gefäße verlangt, sondern entweder höher (wenn die Flüssigkeit das Glasrohr benetzt, also spezifisch leichter als Glas ist) oder tiefer (wenn die Flüssigkeit das Glasrohr nicht benetzt, also spezifisch schwerer als Glas ist). (Abb. 45a und 45b.)

Diese Erscheinungen der Hebung oder Senkung werden Kapillarerscheinungen oder Erscheinungen der Kapillarität genannt, wobei mit dem Worte „Kapillarität“ die Kraft gemeint wird, welche die Erscheinungen

hervorrufft und die das Ergebnis der Adhäsion der Flüssigkeitsteilchen an festen Körpern und ihrer Kohäsion untereinander ist.

Je enger ein Kapillarrohr ist, desto größer ist der Höhenunterschied der Flüssigkeit innerhalb und außerhalb des Rohres.

Auf die Kapillarität zurückzuführen ist das Eindringen und Aufsteigen von Flüssigkeiten in porösen Körpern, wie Lampendochten, Lösch- und Filtrierpapier, Schwämmen, Wischlappen, Zucker u. a. m. Hier wirken die feinen Porengänge als Haarröhrchen. Auch die feinen Adern im tierischen Körper sowie die Bestandteile der Gefäßbündel in den Pflanzen sind Kapillargefäße.

Kapillaranalyse. Eine praktische Anwendung wird von den Kapillaritätserscheinungen in der von Friedr. Goppelsroeder 1888 begründeten Kapillaranalyse gemacht. Da die Kapillarität verschiedener Stoffe, seien dieselben nun einfache Flüssigkeiten oder Lösungen, gegenüber einem bestimmten porösen Körper (z. B. Filtrierpapier) verschieden ist, so ergibt sich eine verschiedene Steighöhe für die Stoffe innerhalb des in sie eintauchenden porösen Körpers. Diese Steighöhe ist daher ein Mittel, die Stoffe zu unterscheiden, insbesondere

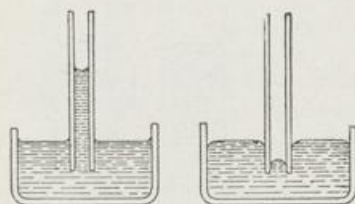


Abb. 45a. Abb. 45b.
Kapillarescheinungen.

mehrere Bestandteile, die in einer Lösung enthalten sind, voneinander zu trennen und so zu erkennen. Es ist nur erforderlich, einen Streifen Filtrierpapier in die betreffende Lösung hineinzuhängen; nach einem gewissen Zeitraum (der aber je nach den Umständen sehr verschieden sein kann) bilden sich auf dem aus der Flüssigkeit hervorragenden Teile des Papierstreifens verschiedene Zonen der in der Flüssigkeit enthaltenen gelösten Stoffe, die, wenn es sich um Farbstoffe handelt, schon dem Auge erkennbar sind. Wird dann der Filtrierpapierstreifen den Zonen entsprechend zerschnitten und werden die in den Zonen abgesetzten Stoffe mit geeigneten Lösungsmitteln ausgezogen, so können sie (nachdem sie eventuell noch ein oder mehrere Male einer weitergehenden Kapillaranalyse unterworfen wurden) durch chemische Reagentien ihrer Natur nach erkannt werden.

Oberflächenspannung der Flüssigkeiten. Die auf S. 82—84 geschilderten Adhäsionserscheinungen können bis zu einem gewissen Grade eine Störung erleiden durch die sogenannte Oberflächenspannung der Flüssigkeiten. Man versteht darunter den stärkeren Zusammenhang, welchen die Teilchen an der freien Oberfläche einer Flüssigkeit gegenüber den im Innern befindlichen Teilchen besitzen — ein Zusammenhang, durch welchen der Zerreißung oder Zerrung der Oberfläche, wie dem Eindringen fremder Körper in sie ein gewisser Widerstand geboten wird.

Die beruhigende Wirkung des Öls auf eine bewegte Wasseroberfläche, z. B. die Wellen des Meeres, beruht darauf, daß sich 1. das Öl auf dem Wasser ausbreitet und 2. die Oberflächenspannung des Öls gegenüber der Luft geringer ist als die des Wassers gegenüber der Luft, so daß dem Winddruck seitens der mit Öl über-

zogenen Oberfläche leichter nachgegeben und das Aufstauen der Flüssigkeit geringer wird.

Diosmose. Auf S. 19 war von der von selbst erfolgenden Mischung oder der Diffusion übereinander geschichteter Flüssigkeiten die Rede. Dieselbe läßt sich z. B. bei Wasser und Alkohol beobachten, während Wasser und Öl, selbst wenn sie durch Schütteln gewaltsam durcheinander gebracht werden (Emulsion, S. 19), sich nach längerem Stehenlassen wieder voneinander sondern und nach Maßgabe ihrer spezifischen Gewichte übereinander lagern.

Werden nun zwei mischbare Flüssigkeiten durch eine poröse Wand (Schweinsblase, Pergamentpapier, Tonzylinder) voneinander getrennt, so geht auch durch deren Poren hindurch eine Mischung, ein Austausch beider Flüssigkeiten vor sich; dieser Vorgang (also eine Diffusion von flüssigen Körpern, die entweder Flüssigkeiten an sich oder Lösungen fester Körper in Flüssigkeiten sein können, durch poröse Wände) heißt Diosmose oder kurzweg Osmose. Dieselbe wird in Endosmose und Exosmose unterschieden. Von Endosmose spricht man, wenn man das Eindringen einer Flüssigkeit in einen von porösen Wänden umschlossenen Raum aus der Umgebung desselben ins Auge faßt, von Exosmose, wenn es sich um den Austritt einer Flüssigkeit aus einem solchen Raum in die Umgebung handelt.

Das Eindringen des Wassers in die Pflanzenwurzeln und der Austausch der Säfte in der Pflanze selbst sowie im tierischen Körper (von Zelle zu Zelle durch die Wandungen derselben hindurch) sind osmotische Vorgänge.

Da verschiedene Körper durch dieselbe poröse Wand verschieden schnell hindurchtreten, so kann mittels der Diosmose eine Trennung von Körpern vorgenommen werden. Es geschieht dies bei der Dialyse mit Lösungen aus Kolloid- und Kristalloidsubstanzen. Zu ersteren gehören alle die Stoffe, welche unfähig sind zu kristallisieren und in Verbindung mit Wasser gallertartige Massen bilden (wie Stärkemehl, Dextrin, die Gummiarten, Leim; Kieselsäurehydrat, die Hydrate der Tonerde usw.), während die Kristalloidsubstanzen kristallisierbar und glatt löslich sind.

Da die Kolloidsubstanzen durch eine poröse Wand erheblich langsamer diffundieren als die Kristalloidsubstanzen, so werden aus einem Lösungsgemisch beider, das in einen unten mit Pergamentpapier verschlossenen und in ein Gefäß mit Wasser eintauchenden hohen Guttaperchareifen (Dialysator — Abb. 46, *d*) gefüllt worden ist, die Kristalloidsubstanzen in großer Menge austreten und sich in dem Wasser lösen, während die Kolloidsubstanzen größtenteils in dem Dialysator zurückbleiben.

Auf osmotische Vorgänge ist die Eigenschaft poröser Körper (Knochenkohle,

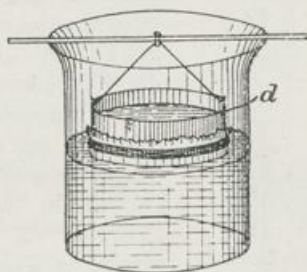


Abb. 46. Dialysator, in ein Gefäß mit Wasser eingehängt.

Ackererde u. a.) zurückzuführen, beim Durchfiltrieren von Flüssigkeiten die in denselben gelösten Farbstoffe, Salze usw. zurückzuhalten, so daß die Lösung im entfärbten oder verdünnten Zustande abfließt. (Vgl. über die bei der Osmose herrschenden Gesetzmäßigkeiten den Abschnitt „van't Hoff'sche Lösungstheorie“ im 11. Kapitel.)

7. Wirkungen der Schwerkraft auf luftförmige Körper.

(Mechanik der luftförmigen Körper oder Pneumatik.)

Spannkraft der Gase. Auf S. 16 ist bereits der Elastizität der luftförmigen Körper oder Gase Erwähnung getan. Dieselbe wird auch Spannkraft (Tension oder Expansivkraft) genannt, da sie es ist, welche die Gase nach dem Aufhören eines auf sie ausgeübten und ihr Volum verkleinernden Druckes wieder auseinandertreibt oder gleichsam ausspannt.

Während des äußeren Druckes offenbart sich die Spannkraft als ein innerer Widerstand, der jenem entgegenwirkt. Die Spannkraft der Gase läßt sich an folgenden beiden Versuchen in überzeugendster Weise erkennen:



Abb. 47. Pneumatisches Feuerzeug.

1. In einem unten geschlossenen Rohre (Abb. 47, *R* — die Abbildung stellt ein pneumatisches Feuerzeug dar), bewege sich, luftdicht schließend, ein Stempel (*S*). Diesen drücke man nach unten, gegen das geschlossene Ende des Rohrs hin und lasse ihn dann los. Als bald wird er wieder durch die zusammengedrückte oder komprimierte Luft emporgetrieben werden.

2. Ein ringsum geschlossener, wenig Luft enthaltender und daher schlaffer Ball (oder Blase) wird unter die Glocke einer Luftpumpe gebracht und die Luft aus der Glocke ausgepumpt. Dann bläht sich der Ball (infolge des verminderten Drucks der ihn umgebenden Luft) bedeutend auf.

Auch folgende Erscheinungen bzw. Wirkungen von Apparaten sind auf die Spannkraft der Luft zurückzuführen.

In der Knallbüchse wird die Luft zusammengepreßt und sucht sich da einen Ausweg, wo der geringste Widerstand ist: an der Mündung, an der das Papier zersprengt oder aus der der Kork herausgeschleudert wird.

Im Anschluß hieran sei die Windbüchse erwähnt, in deren hohlem Kolben sich komprimierte Luft befindet, die durch Losdrücken des Hahns zum Teil herausgelassen werden kann, sich dabei ausdehnt, in den Büchsenlauf stürzt und die Kugel mit großer Geschwindigkeit herausschleudert.

Die Taucherglocke ist ein unten offener großer Kasten, der in das Meer hineingesenkt wird und in den das Wasser von unten her nicht eindringen kann, weil die in ihm enthaltene Luft wegen ihrer Spannkraft dem andrängenden Wasser Widerstand entgegensetzt.

Man verschließe eine Flasche durch einen Kork, der eine Durchbohrung besitzt, durch welche ein Trichter mit engem Trichterrohre gesteckt ist. Gießt man dann Wasser in den Trichter, so fließt es nicht durch das Trichterrohr in die Flasche hinein, sondern bleibt im Trichter. Erst wenn man den Kork lüftet, fließt das Wasser hindurch. Ist das Trichterrohr weit, so fließt das Wasser ebenfalls hindurch, weil alsdann die in der Flasche enthaltene Luft in Blasenform im Trichterrohre emporsteigen kann.

Die Spritzflasche (Abb. 48) ist eine Glasflasche, die durch einen doppelt durchbohrten Kork (oder Gummistöpsel) verschlossen ist; durch die eine Durchbohrung geht ein Glasrohr (*a*), welches bis fast auf den Boden der Flasche reicht, außerhalb derselben (in einem spitzen Winkel) schräg nach unten gebogen ist und in eine Spitze ausläuft, während in der anderen Durchbohrung ein unmittelbar unter dem Kork endigendes Glasrohr (*b*) steckt, das außerhalb der Flasche (in einem stumpfen Winkel) schräg nach oben gebogen ist.

Bläst man nun in das kurze Rohr (*b*) mit dem Munde Luft hinein, so wird die in der Flasche befindliche Luft komprimiert, drückt daher infolge ihrer Spannkraft auf das Wasser und treibt dieses in das lange Rohr (*a*) hinein und darin weiter, bis es aus der Spitze desselben in feinem Strahle ausfließt.



Abb. 48. Spritzflasche.

Die vorstehend beschriebenen Versuche liefern auch den Beweis, daß die Luft und damit die Gase überhaupt Körperlichkeit besitzen, insofern, als aus ihnen die Eigenschaft der Raumerfüllung für die Luft hervorgeht. Weitere Beweise für die Körperlichkeit der Luft sind ihre Schwere, wovon später die Rede sein wird, und die Kraftwirkungen, welche sie im Zustande der Bewegung (als Wind oder Sturm) ausübt.

Daß man eine Flüssigkeit aus einem Gefäß in ein anderes, das doch nicht leer, sondern mit Luft gefüllt ist, gießen kann, beruht darauf, daß die Luft verdrängt wird und nun im ersteren Gefäß den Raum der ausgegossenen Flüssigkeit einnimmt.

Mariotte-Boylesches Gesetz. Wenn man eine abgeschlossene Menge eines Gases, z. B. die in dem kurzen Schenkel (*A*) eines U-förmig gebogenen Rohres (Abb. 49) enthaltene Luft, welche durch Quecksilber darin abgesperrt ist, dem doppelten äußeren Druck aussetzt, auf die Weise, daß man in den längeren Schenkel (*B*) des Rohres mehr Quecksilber hineingießt, so findet man, daß die Luft annähernd auf das halbe Volum zusammengedrückt wird. Da jenem doppelten äußeren Drucke eine doppelte (innere) Spannkraft der Luft entgegen-

steht, so läßt sich sagen, daß dieselbe Luftmenge, auf das halbe Volum — und damit auf die doppelte Dichtigkeit (das doppelte spezifische Gewicht) — gebracht, die doppelte Spannkraft besitzt. Da die gleiche Beziehung (zwischen dem äußeren Druck oder der Spannkraft einerseits und dem Volum andererseits) obwaltet, wenn man den Druck auf das Dreifache, Vierfache usw. erhöht, so gilt allgemein das Gesetz:

Die Spannkraft eines Gases (oder der auf dasselbe ausgeübte Druck) ist der Dichtigkeit direkt, dem Volum umgekehrt proportional. (Mariotte-Boylesches Gesetz; aufgestellt 1662 von Boyle und unabhängig von ihm 1679 von Mariotte.)

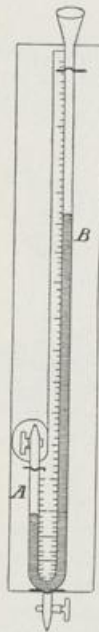


Abb. 49. Nachweis des Mariotte-Boyleschen Gesetzes.

Zum Verständnis der Wirkung des Apparates sei noch bemerkt, daß der Druck, unter welchem die in A abgesperrte Luft steht, nicht allein dem Höhenunterschiede des Quecksilbers in A und B entspricht, sondern daß zu diesem noch der Druck der auf B lastenden atmosphärischen Luft hinzukommt, dessen Wirkung (im Mittel) gleich der einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe ist. Hiervon wird sogleich des weiteren die Rede sein.

Bezeichnet man das Volum einer bestimmten Gasmenge, die unter dem Drucke p_1 steht und die Dichtigkeit d_1 besitzt, mit v_1 , das Volum derselben Gasmenge bei dem Drucke p_2 , wobei die Dichtigkeit $= d_2$ geworden sein möge, mit v_2 , so ist nach dem Mariotte-Boyleschen Gesetz:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{d_1}{d_2} \quad (1)$$

oder: $p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2 \quad (2)$

sowie: $p_1 \cdot d_2 = p_2 \cdot d_1 \quad (2a)$

und: $v_1 \cdot d_1 = v_2 \cdot d_2 \quad (2b).$

Für die Volume $v_3, v_4 \dots$ derselben Gasmenge mit den zugehörigen Dichtigkeiten $d_3, d_4 \dots$ und den zugehörigen Drucken $p_3, p_4 \dots$ gilt in gleicher Weise:

$$p_1 \cdot v_1 = p_3 \cdot v_3 = p_4 \cdot v_4 \dots$$

und

$$v_1 \cdot d_1 = v_3 \cdot d_3 = v_4 \cdot d_4 \dots$$

Das heißt: Das Produkt aus Druck und Volum (oder Spannkraft und Volum) einer bestimmten Gasmenge hat stets denselben Wert (oder ist konstant) und: Das Produkt aus Volum und Dichtigkeit einer bestimmten Gasmenge hat ebenfalls stets denselben Wert (oder ist konstant).

Formeln:
$$\left. \begin{array}{l} p \cdot v = C \\ v \cdot d = C' \end{array} \right\} (3),$$

worin C und C' unveränderliche Größen (oder Konstanten) sind, die sich nur nach der Größe der in Frage stehenden Gasmenge richten.

Genau messende Beobachtungen von Regnault, Amagat und Natterer sowie von Mendelejeff haben nun — zumal bei hohen Drucken — beträchtliche Abweichungen von dem Mariotte-Boyleschen Gesetz ergeben. Eugen und Ulrich Dühring haben zur Erklärung dieser Abweichungen (1878 und 1886) darauf hingewiesen, daß sich jedes Gasvolum aus zwei Bestandteilen zusammensetzt: dem Volum der in ihm enthaltenen Gasmoleküle und dem lediglich von den Atomen des Welt- oder Lichtäthers erfüllten Zwischenvolum. Nach ihnen ist die Spannkraft eines Gases (bzw. der äußere Druck) diesem Zwischenvolum, und nicht dem Gesamtvolum, umgekehrt proportional, da beim Zusammendrücken oder Ausdehnen eines bestimmten Gasvolums das Volum der Gasmoleküle ungeändert bleibt, dagegen der Abstand der Gasmoleküle (damit also das Zwischenvolum und erst infolgedessen das Gesamtvolum) verringert oder vergrößert wird.

Bezeichnet man das Volum der Gasmoleküle in einer bestimmten Gasmenge mit x und die Volume dieser Gasmenge bei den Drucken p_1 und p_2 mit v_1 und v_2 , so ist nach dem Angeführten:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2 - x}{v_1 - x} \quad (4)$$

oder:

$$p(v - x) = C \quad (5),$$

worin C eine Konstante bedeutet.

Bei niedrigen Drucken weicht $v - x$, das Zwischenvolum, nicht erheblich vom Gesamtvolum v ab, das Verhältnis beider ist nahezu $= 1$, das Verhältnis von x zu v nur gering; bei hohen Drucken dagegen, wo der Abstand der Gasmoleküle bedeutend verkleinert wird, ist das Verhältnis $\frac{x}{v}$ größer, $\frac{v - x}{v}$ kleiner, das Zwischenvolum weicht beträchtlicher vom Gesamtvolum ab, und es kann sich, wenn das Dühringsche Gesetz richtig ist, das wahre Verhalten [Formel (5)] nicht mit dem Mariotte-Boyleschen Gesetz [Formel (3)] decken.

Die Größe x läßt sich aus mehreren Bestimmungen von Druck und Gesamtvolum, wie folgt, berechnen:

Da nach Formel (4):

$$p_1 (v_1 - x) = p_2 (v_2 - x) \text{ ist, so folgt:}$$

$$p_1 \cdot v_1 - p_1 \cdot x = p_2 \cdot v_2 - p_2 \cdot x$$

oder:

$$x (p_2 - p_1) = p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1$$

und:

$$x = \frac{p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1}{p_2 - p_1} \quad \left(\text{bzw.} = \frac{p_1 \cdot v_1 - p_2 \cdot v_2}{p_1 - p_2} \right).$$

Hat man x , so findet man ohne weiteres das Verhältnis $\frac{x}{v}$, d. h. das Verhältnis des Volums der Gasmoleküle zu dem Gesamtvolum einer bestimmten Gasmenge (bei einer bestimmten inneren Spannung, bzw. einem bestimmten äußeren Druck). So ergab sich bei gewöhnlichem Druck dies Verhältnis für Wasserstoff = $\frac{1}{1600}$, für Sauerstoff = $\frac{1}{1300}$, für Stickstoff und Luft = $\frac{1}{1000}$. Dies besagt — z. B. in bezug auf Wasserstoff: daß in 1600 l Wasserstoff von den Gasmolekülen 1 l eingenommen wird, während die übrigen 1599 l (das Zwischenvolum) von Äther erfüllt sind.

Noch eine andere Fassung als die beiden Dühring hat van der Waals dem Mariotte-Boyleschen Gesetz gegeben. Er bringt noch den sogenannten „inneren Druck“, d. h. die gegenseitige Anziehung der Moleküle, in Rechnung, durch die ein Teil der (nach außen gerichteten) Spannkraft aufgehoben wird. Nach ihm ist:

$$\left(p + \frac{a}{v^2} \right) (v - x) = C,$$

worin p die Spannkraft, v das Volum einer bestimmten Gasmenge, x das Zwischenvolum und a und C Konstanten bedeuten. Die Konstante a stellt die Größe des molekularen Zuges nach innen (bedingt durch die gegenseitige Anziehung der Gasmoleküle) pro Flächeneinheit und unter normalen äußeren Bedingungen des Druckes und der Temperatur dar.

Schwere der Luft. Die Luft (sowie jedes andere Gas) besitzt gleich den festen und flüssigen Körpern eine gewisse Schwere. (Vgl. S. 87.) Dies läßt sich unmittelbar durch Wägung nachweisen. Bestimmt man nämlich das Gewicht einer Glaskugel, wenn sie einmal mit Luft gefüllt und ein zweites Mal luftleer gepumpt ist, so stellt sich im zweiten Falle ein erheblich geringeres Gewicht heraus als im ersten.

Das spezifische Gewicht eines Gases (auf Wasser als Einheit bezogen) kann ermittelt werden, indem man, an den eben genannten Versuch anknüpfend, die Glaskugel drittens mit Wasser

füllt und wägt. Man dividiert dann das Gewicht des Gases durch das des Wassers (beide erfüllten dasselbe Volum).

Das spezifische Gewicht der Luft, auf Wasser bezogen, ist $= 0,001293$. Das heißt zugleich: 1 ccm Luft wiegt (bei 0° und 760 mm Barometerstand — vgl. das Folgende) 0,001293 g; 1 l Luft wiegt somit 1,293 g.

Luftdruck. Die Schwere der Luft äußert sich in einem Druck, den die Atmosphäre (die Lufthülle der Erde) auf die an der Erdoberfläche befindlichen Körper ausübt. Dieser Druck verbreitet sich (wie der Druck innerhalb einer Flüssigkeit) nach allen Richtungen mit gleicher Stärke.

Ein Beweis für die Ausbreitung des Drucks nach allen Richtungen ist unter zahlreichen Erscheinungen, die das Gleiche dartun, die folgende: Man füllt ein Glas bis an den Rand mit Wasser, legt ein Stück Papier darauf, kehrt es, indem man das Papier mit der Hand andrückt, um und nimmt nun die Hand fort; das Papier bleibt alsdann, trotz der Schwere des Wassers, am Glasrand haften, und es fließt kein Wasser aus dem Glase heraus. Die Ursache dieser Erscheinung ist der von unten her wirkende Druck der atmosphärischen Luft. Das Papier hat nur die Aufgabe, das Eindringen von Luft in das Wasser (das wegen des geringen spezifischen Gewichts der Luft im Verhältnis zum Wasser erfolgen würde) zu verhindern.

Wenn man ein etwa 1 m langes, an einem Ende geschlossenes Glasrohr mit Quecksilber füllt, dann umkehrt, so daß das offene Ende, das man mit dem Finger zuhält, sich unten befindet, und dieses, wie Abb. 50 zeigt, unter Quecksilber bringt, so sinkt das Quecksilber nach dem Fortnehmen des Fingers im Rohre so weit, bis es (im Mittel) 760 mm hoch über dem Quecksilberspiegel in dem Gefäße G steht. Über dem Quecksilber in der Röhre (bei V) entsteht ein luftleerer Raum, ein sogenanntes Vakuum.

Der geschilderte Versuch heißt der Torricellische, das Vakuum heißt Torricellische Leere. (Torricelli, ein Schüler Galileis, 1643.)

Das Vakuum bildet sich, weil der äußere Luftdruck nur dem Gewicht einer gewissen Quecksilbersäule das Gleichgewicht zu halten vermag. Ist die Röhre 1 cem weit, so trägt der Druck der atmosphärischen Luft 76 ccm Quecksilber oder, da das spezifische

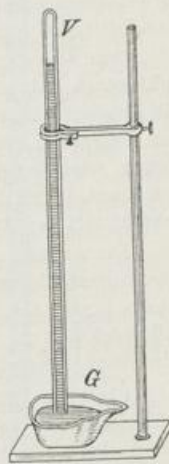


Abb. 50. Torricellischer Versuch.

Gewicht des Quecksilbers = 13,59 ist, ein Gewicht von $76 \cdot 13,59 \text{ g} = 1033 \text{ g} = 1,033 \text{ kg}$. — Einen derartigen Druck (von 1,033 kg) übt also auch die Luft auf 1 qcm aus. Er heißt daher der Atmosphärendruck oder der Druck einer Atmosphäre.

Daß wir den Druck der atmosphärischen Luft im allgemeinen nicht empfinden, liegt daran, daß die im Innern unsers Körpers (in allen Hohlräumen, letzten Endes den Gewebsteilen: Zellen usw.) enthaltenen Flüssigkeiten oder Gase wegen ihrer Unzusammendrückbarkeit oder ihrer eigenen inneren Spannung einen Gegendruck leisten, der dem Druck der Atmosphäre im allgemeinen das Gleichgewicht hält, ihn also hinsichtlich seiner Wirkung auf unsern Körper aufhebt. Störungen in diesem Verhältnis stellen sich ein, wenn der äußere Druck von dem durchschnittlichen Atmosphärendruck erheblich abweicht, was einerseits in der Taucherglocke, andererseits auf hohen Bergen oder in einem hochschwebenden Luftballon erfolgt. (Die sogenannte Bergkrankheit!)

Aus dem eben Angeführten geht bereits hervor, daß der Druck der atmosphärischen Luft nicht überall und jederzeit derselbe ist. Mit der Erhebung über die Erdoberfläche nimmt der Luftdruck ab, weil die Höhe der Luftsäule über dem Beobachter geringer wird (die Lufthülle der Erde hat nach oben ihre Grenze). Ferner wird der Luftdruck auch durch die Erwärmung der Atmosphäre seitens der Sonne, durch die Luftbewegung (Winde und Stürme) und durch den Wasserdampfgehalt der Atmosphäre geändert.

Die Angabe, daß der Luftdruck im Mittel so groß ist, daß er einer Quecksilbersäule von 760 mm das Gleichgewicht hält, gilt für die Höhe des Meeresspiegels und für die Temperatur 0°. Auf die Temperatur ist deshalb Rücksicht zu nehmen, weil die Wärme das Quecksilber ausdehnt und daher seine Höhe steigert.

Über den Druck eines Gasgemisches vgl. das Daltonsche Gesetz (im 2. Kapitel: „Allgemeine Eigenschaften der Körper,“ S. 19 und im 11. Kapitel: „Wärmelehre,“ S. 182).

Barometer. Die Größe des Luftdrucks wird mit dem Barometer gemessen. Wir unterscheiden die Quecksilberbarometer und die Aneroidbarometer.

Die Quecksilberbarometer sind nach dem Prinzip der in Abb. 50 dargestellten Torricellischen Röhre hergestellt. Nach ihren verschiedenen Formen unterscheidet man sie in Gefäßbarometer, Phiolen- oder Kugelbarometer und Heberbarometer.

Das Gefäßbarometer ähnelt in seiner einfachsten Gestalt vollkommen dem Torricellischen Instrument: eine über 800 mm lange, am einen Ende geschlossene, am andern Ende offene Glasröhre wird mit Quecksilber gefüllt und mit dem offenen Ende in ein Gefäß mit Quecksilber getaucht; an der Röhre ist eine in Millimeter (früher in Zoll) eingeteilte Skala angebracht, an der man die Höhe der Quecksilbersäule abliest; als Nullpunkt der Skala

gilt die mittlere Höhe des Quecksilberspiegels in dem unteren Gefäß.

Da aber die wirkliche Höhe dieses Quecksilberspiegels um die mittlere Höhe schwankt, so müssen die Ablesungen ungenau sein. Man hat daher, um diesem Übelstande abzuweichen, den Quecksilberspiegel im unteren Gefäß beweglich gemacht, so daß man ihn bei jeder Ablesung auf den Nullpunkt der Skala einstellen kann. Dies ist auf die Weise geschehen, daß das Gefäß (Abb. 51, *G*) unten durch eine Lederkappe verschlossen ist, die mittels der Schraube *S* gehoben oder gesenkt werden kann. Vom Deckel des

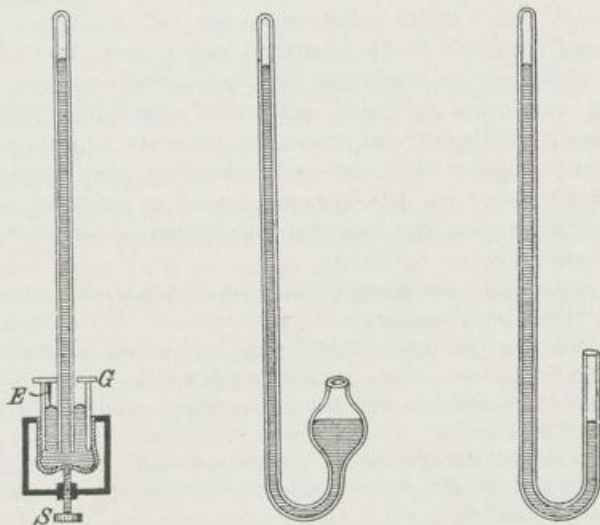


Abb. 51. Gefäßbarometer. Abb. 52. Kugelbarometer. Abb. 53. Heberbarometer.

Gefäßes, der zur Verbindung mit der äußeren Atmosphäre mit einer engen Öffnung versehen ist, ragt eine Elfenbeinspitze (*E*) herab, die den Nullpunkt angibt. Man bewegt nun die Schraube so lange nach oben oder unten, bis die Spitze *E* den Quecksilberspiegel in *G* eben berührt.

Das Phiolen- oder Kugelbarometer (Abb. 52), besteht aus einem oben geschlossenen, unten U-förmig umgebogenen Glasrohr, das in eine seitlich angebrachte, oben offene Kugel (bzw. Birne) aus Glas übergeht. Letztere vertritt die Stelle des Gefäßes. Während dies Barometer bequemer zu handhaben ist und zu seiner Füllung weniger Quecksilber bedarf als das Gefäßbarometer, sind

bei ihm die Ablesungen — des veränderlichen Nullpunktes wegen — ungenau.

Allen Übelständen zugleich geht man bei Anwendung des Heberbarometers aus dem Wege. (Abb. 53.) Es besteht aus einer U-förmig gebogenen Röhre, deren einer Schenkel etwa 1 m lang ist, während der andere erheblich kürzer ist; jener ist oben geschlossen, dieser offen. Da beide Schenkel der Röhre dieselbe Weite haben, so steigt bei jeder Veränderung des äußeren Luftdrucks das Quecksilber in dem einen Schenkel um ebensoviel, als es in dem andern Schenkel fällt, und man hat nur nötig, den Höhenunterschied des Quecksilbers in beiden Schenkeln zu bestimmen. — Das Ablesen wird entweder auf die Weise vereinfacht, daß man die Skala beweglich macht und ihren Nullpunkt auf den Quecksilberspiegel in dem kürzeren Schenkel einstellt, oder daß man beide Schenkel mit einer eingezätzten Teilung versieht, deren Nullpunkt das Ende des kürzeren Schenkels ist und die an dem längeren Schenkel nach oben, an dem kürzeren nach unten fortschreitet; um den Barometerstand zu erhalten, muß man dann die Zahlen, auf die sich das Quecksilber in beiden Schenkeln einstellt, addieren.

Die Genauigkeit der Angaben eines Quecksilberbarometers ist von verschiedenen Bedingungen abhängig.

Erstens muß der Raum über dem Quecksilber ein wirkliches Vakuum (also wirklich völlig luftleer) sein, was nicht der Fall ist, sobald an der Glaswandung noch Luft adhärirt; um diese zu beseitigen, wird das Quecksilber im Barometerrohr ausgekocht.

Zweitens muß das Quecksilber chemisch rein sein, weil eine Verunreinigung durch andere Metalle sein spezifisches Gewicht und damit seine Höhe im Barometerrohr verändert.

Drittens darf das Barometerrohr nicht zu eng sein, damit der Stand des Quecksilbers nicht infolge der Kapillarität beeinflusst wird.

Viertens muß der Beobachter sein Auge in gleiche Höhe mit dem Quecksilberspiegel bringen und den höchsten Punkt des Meniskus als Marke für die Ablesung benutzen. Das Barometer selbst muß genau senkrecht hängen.

Fünftens muß auf die Temperatur Rücksicht genommen werden, da dieselbe, je nachdem ob sie steigt oder sinkt, das Volum des Quecksilbers vergrößert oder verringert. Zur Erlangung genauer und vergleichbarer Beobachtungen werden aus diesem Grunde die direkten Barometerablesungen auf 0° reduziert.

Das Aneroidbarometer kommt in zwei Formen vor: als Metallic (von Bourdon) und als Holosteric (von Vidi).

Der Hauptbestandteil des ersteren ist eine kreisförmig gebogene, ringsum geschlossene, möglichst luftleer gemachte Messingröhre, welche durch eine Zunahme des Luftdrucks stärker gekrümmt

wird (weil die äußere Fläche der Röhre, da sie größer ist und auf jede Flächeneinheit derselbe Druck stattfindet, im ganzen eine stärkere Druckzunahme erfährt als die innere, kleinere Fläche), während eine Abnahme des Luftdrucks umgekehrt eine Streckung der Röhre bewirkt. Die Bewegungen der Röhrenden werden auf einen Zeiger übertragen.

Das Holosteric hat an Stelle der Messingröhre eine luftleer gemachte, ringsum geschlossene kupferne Dose oder Kapsel, deren wellenförmiger Deckel bei wechselndem Luftdruck mehr oder weniger eingedrückt wird. Eine starke metallene Feder zieht den Deckel nach oben und außen und bewirkt so, daß er beim Nachlassen des Luftdrucks nicht eingedrückt bleibt. Die Bewegungen, welche — dem Luftdruck entsprechend — der Mittelpunkt des Deckels macht, werden durch ein Hebelwerk vergrößert und auf einen Zeiger übertragen.

Die Skala für den Zeiger wird nach den Angaben eines Quecksilberbarometers gefertigt.

Während die Aneroidbarometer einerseits wegen ihrer handlichen Größe und Form und ihrer geringen Zerbrechlichkeit den Quecksilberbarometern vorzuziehen sind, wenn es sich um weitere Beförderung (auf Reisen und bei Höhenmessungen) handelt, stehen sie doch den letzteren insofern nach, als sich mit der Zeit die Elastizität der Metallgehäuse vermindert. Von Zeit zu Zeit muß daher ein Aneroidbarometer mit einem guten Quecksilberbarometer verglichen werden.

Höhenmessung und Wettervorhersage. Das Barometer wird außer zur Messung des Luftdrucks noch zur Höhenmessung und bei der Wettervorhersage oder Wetterprognose benutzt.

Bezüglich der Höhenmessung sei folgendes bemerkt: Die Abnahme des Luftdrucks mit wachsender Erhebung über die Erdoberfläche findet nicht gleichmäßig statt, so daß also einer gleich großen senkrechten Erhebung nicht durchweg dieselbe Verminderung des Barometerstandes entspricht; sondern diese Verminderung wird mit zunehmender Höhe geringer. Der Grund hierfür ist der, daß die unteren Luftschichten — als Teile eines elastischen Körpers — von der darüber befindlichen größeren Luftmenge stärker zusammengedrückt, also dichter werden und daher eine größere Spannkraft annehmen, die sich auf das Barometer äußert.

Erste Höhenmessung durch Pascal und Périer am 19. September 1648 auf dem Puy-de-Dôme (970 m).

Als Wetterglas kann das Barometer nur in sehr beschränktem Umfange benutzt werden. Seine Verwendung beruht darauf, daß 1. trockene Luft spezifisch schwerer ist als Wasserdampf und damit auch spezifisch schwerer als feuchte Luft und 2. Luftdepressionen oder Luftminima (d. h. Luftgebiete mit verdünnter und daher geringe Spannkraft besitzender Luft) meist Niederschläge mit sich führen, Luftmaxima aber trockene Luft enthalten. Hat daher das Barometer einen tiefen Stand, so kann vermutet werden, daß trübes,

regnerisches Wetter sich einstellen werde; hat das Barometer einen hohen Stand, so kann mit mehr Wahrscheinlichkeit auf heiteres, trockenes Wetter gerechnet werden. — Dabei kommt es aber auch noch darauf an, welche Unterschiede das Barometer des Beobachtungsortes gegen die Barometer der näheren und selbst weiteren Umgegend aufweist. Und ferner hängt das Wetter noch von viel mehr Bedingungen ab, die ihrerseits oft schwankend und schwer zu übersehen sind.

Heberapparate und Pumpen. Auf der Tatsache des Luftdrucks sowie der Spannkraft der Luft beruht die Einrichtung des Stechhebers, der Pipetten, des Saughebers, des Zerstäubers, der Saugpumpe, der Druckpumpe und der Feuerspritze.

Vor der Besprechung dieser Apparate sei kurz das Wesen des Saugens erörtert. Taucht man das eine Ende einer Röhre in Wasser und saugt an dem andern, so wird durch Erweiterung des Brustkastens die Luft in der Lunge verdünnt; infolgedessen breitet sich die im Munde und in der Röhre befindliche Luft nach der Lunge zu aus und wird somit selbst verdünnt, verliert also an Spannkraft. Der äußere Luftdruck, der auf dem Wasser lastet, treibt nun, da er diese Spannkraft übertrifft, das Wasser in die Röhre hinein, bis — wenn man etwa mit dem Saugen anhält — die Spannkraft der Luft im oberen Teil der Röhre nebst dem Druck der in die Röhre eingedrungenen Wassersäule dem äußeren Luftdruck gleich ist.

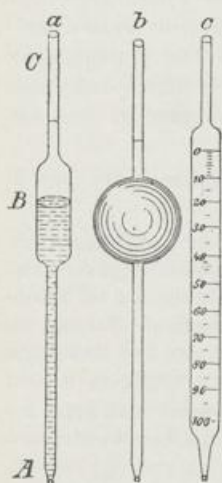


Abb. 54 a—c. Pipetten.

Der Stechheber und die (gleich den Büretten — S. 70) bei der chemischen Maßanalyse Verwendung findenden Pipetten (Abb. 54) sind oben und unten offene Gefäße (meist aus Glas), die in der Mitte kugelförmig oder zylindrisch erweitert, am unteren Ende sehr eng und am oberen Ende nur so weit sind, daß sie mit dem Daumen verschlossen werden können.

Taucht man beispielsweise die Pipette Abb. 54 a mit ihrem unteren Ende A in Wasser ein und saugt durch das obere Ende C die Luft aus, so dringt das Wasser infolge des äußeren Luftdrucks in die Pipette ein und steigt darin bis zu einem gewissen Punkte (B) empor.

Hält man nun das obere Ende (C) zu, so bleibt das Wasser

in der Pipette, weil der äußere Atmosphärendruck es trägt sowie der geringen Spannkraft der über *B* befindlichen Luft, die durch das Saugen verdünnt wurde, das Gleichgewicht hält. In Blasenform kann die äußere Luft bei *A* nicht eindringen und so das spezifisch schwerere Wasser verdrängen, weil die Öffnung zu klein ist. — Läßt man die Öffnung *C* wieder frei, so fließt das Wasser bei *A* ab.

Die Pipetten dienen nicht nur — wie der Stechheber, der ähnliche Gestalt besitzt wie sie — zum Ausheben von Flüssigkeitsproben, sondern auch zum Abmessen genau bestimmter Mengen einer Flüssigkeit; daher haben sie entweder einen bestimmten Rauminhalt und dann eine Marke, die dessen obere Grenze bezeichnet (Abb. 54 *a* und *b*): Vollpipetten — oder sie besitzen eine Volumeinteilung (Abb. 54 *c*): Meßpipetten.

Der Saugheber (Abb. 55) ist eine V-förmig gebogene Röhre mit ungleich langen Schenkeln, deren kürzerer in eine Flüssigkeit eingetaucht wird, während man an dem längeren saugt. Hat sich der Heber vollständig mit Flüssigkeit gefüllt, so fließt dieselbe so lange aus dem längeren Schenkel aus, bis der kürzere Schenkel nicht mehr in die Flüssigkeit eintaucht oder bis — für den

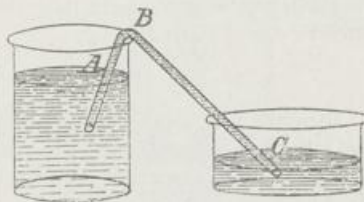


Abb. 55. Saugheber.

Fall, daß auch der längere Schenkel in ein Gefäß hineingehalten oder hineingehängt wird — die Flüssigkeit an beiden Schenkeln außen gleich hoch steht.

Das Ausfließen — das Hinüberbewegen der Flüssigkeit von *A* über *B* nach *C* — erfolgt aus dem Grunde, weil dem auf die Flüssigkeit im linken Gefäß wirkenden Luftdruck die kurze Flüssigkeitssäule *AB*, dem auf die Flüssigkeit im rechten Gefäß wirkenden Luftdruck die lange Flüssigkeitssäule *BC* entgegenwirkt, so daß der übrigbleibende Druck links größer ist als rechts.

Als Saugheber kann jeder Kautschukschlauch benutzt werden.

Der Zerstäuber besteht aus zwei in feine Spitzen ausgezogenen Glasröhren, die rechtwinklig zueinander stehen, und zwar so, daß das obere spitze Ende der senkrecht stehenden Röhre, die mit ihrem unteren Ende in eine Flüssigkeit eintaucht, sich vor der Mitte der spitzen Öffnung der wagerechten Röhre befindet; wird nun durch die letztere entweder mit dem Munde oder mittels eines Kautschukballs Luft oder — bei den Inhalationsapparaten — aus einem kleinen Kessel Wasserdampf hindurchgetrieben, so reißen die bewegten Gasteilchen aus der senkrechten Röhre Luft mit sich fort, so daß die zurückbleibende Luft an Spannkraft verliert und infolgedessen die Flüssigkeit in die senkrechte Röhre hineingesogen wird. Sie steigt bis zur Spitze und

wird hier durch den aus der wagerechten Röhre kommenden Gasstrom in einen Sprühregen verwandelt.

Ausströmungsgeschwindigkeit der Gase. Für die Geschwindigkeit, mit welcher ein Gas aus der Öffnung eines Gefäßes ausströmt, innerhalb dessen ein größerer Gasdruck als in dem äußeren Raume herrscht, gelten ähnliche Gesetze wie für die Ausflußgeschwindigkeit der Flüssigkeiten (S. 70). Nur ist zu bedenken, daß bei den Gasen die in Frage kommende Arbeit im allgemeinen nicht durch die Schwere, sondern durch ihre Spannkraft geleistet wird, sowie daß die Dichtigkeit bei den Gasen nicht wie bei den Flüssigkeiten nur geringen Änderungen unterworfen, sondern der erheblich wechselnden Spannkraft proportional ist.

Die Ausströmungsgeschwindigkeit ist nach Formel (1) S. 70:

$$v = \sqrt{2gh},$$

worin h die Höhe einer Gassäule (von der Dichtigkeit des ausströmenden Gases) bedeutet, die denjenigen Druck oder Druckunterschied hervorbringen würde, unter welchem die Ausströmung geschieht. Mißt man den Druck bzw. Druckunterschied durch die Höhe einer Quecksilbersäule h' und ist das Verhältnis der Dichtigkeiten bzw. der spezifischen Gewichte des Quecksilbers und des ausströmenden Gases $= d' : d$, so ist

$$\frac{h}{h'} = \frac{d'}{d} \text{ und } v = \sqrt{\frac{2g \cdot h' \cdot d'}{d}} \quad (1).$$

Hieraus ergibt sich, daß unter gleichen Druckverhältnissen (und sonst gleichen Umständen) die Ausströmungsgeschwindigkeit eines Gases der Quadratwurzel aus seiner Dichtigkeit (bzw. seinem spezifischen Gewicht) umgekehrt proportional ist. (Graham.)

Auf Grund dieses Gesetzes schuf Bunsen eine Methode, nach der das spezifische Gewicht eines Gases nach der Gasmenge bestimmt wird, die in einer bestimmten Zeit aus einer feinen Öffnung ausströmt.

Saugpumpe. Die Einrichtung der Saugpumpe (Abb. 56) ist folgende: In einen unterirdischen Wasserbehälter (den Brunnenkessel) taucht ein unten offenes, oben (bei V) mit einem Ventil — d. h. einem einseitigen Verschuß einer Öffnung — versehenes Rohr ein: das Saugrohr (S). Ihm ist ein zweites Rohr, das Brunnen- oder Pumpenrohr (B) aufgepaßt, das oben seitwärts ein kleineres Ausflußrohr (A) trägt. Im Brunnenrohr geht ein dichtschießender, durchbohrter und oben ebenfalls mit einem Ventil versehener Kolben (K) auf und nieder, der durch den außen an der Kolbenstange befestigten, einen Hebel darstellenden Brunnen- oder Pumpenschwengel (BS) bewegt wird. Beide Ventile sind Klappenventile und öffnen sich nach oben; das untere heißt Bodenventil, das obere, im Kolben befindliche, Kolbenventil. Wird der Kolben in die Höhe bewegt, so wird die Luft unter ihm verdünnt, verliert an Spannkraft, und das Wasser dringt, indem sich das Bodenventil öffnet, in das Saugrohr und das Brunnenrohr ein. Beim Abwärtsbewegen des Kolbens kann das im Brunnenrohr befindliche Wasser nicht zurück, da sich das Bodenventil nach unten schließt; daher begibt es sich, das Kolbenventil emporhebend, durch den Kolben hindurch in den oberen Teil des Brunnenrohrs. Bei abermaligem Heben des Kolbens wird es mitgehoben, da sich jetzt das Kolbenventil nach unten schließt, und

fließt, wenn es jetzt oder bei weiterer Kolbenbewegung an das Ausflußrohr gelangt, durch dieses ab.

Druckpumpe. Bei der Druckpumpe (Abb. 57) ist der Kolben (*K*) nicht durchbohrt; dagegen ist in dem nur wenig oberhalb des Bodenventils (*V*) vom Brunnenrohr (*B*) sich abzweigenden Ausfluß- oder Steigrohr (*A*) ein nach oben sich öffnendes Ventil (*W*) vorhanden. Der Kolben drückt das Wasser in das Steigrohr hinein, und das genannte Ventil verhindert das Wasser am Zurückfließen.

In der Feuerspritze kommt außer zwei Druckpumpen ein Windkessel zur Anwendung, in welchen durch die Pumpen das Wasser hineingetrieben wird und eine Kompression (Zusammendrückung) der Luft bewirkt. Diese und die

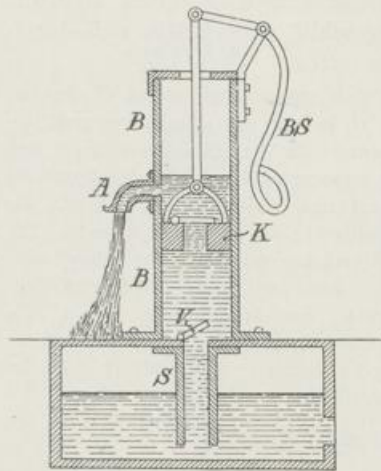


Abb. 56. Saugpumpe.

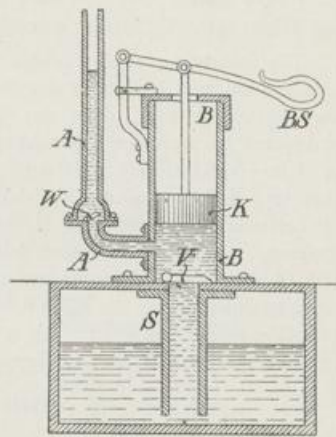


Abb. 57. Druckpumpe.

mit ihr verbundene Steigerung der Spannkraft der Luft treibt das Wasser dann durch ein tief in den Windkessel hinabreichendes Rohr und einen daran befestigten Schlauch in kräftigem Strahl hinaus.

Manometer. Zur Messung der Spannkraft eingeschlossener Gase dient das Manometer. Man unterscheidet offene und geschlossene Manometer. Beide sind U-förmig gebogene Röhren, in denen sich Quecksilber (oder auch eine andere Flüssigkeit) befindet. Ihr einer Schenkel steht in Verbindung mit dem Gefäß, in dem sich das Gas befindet, dessen Spannkraft gemessen werden soll. Der andere Schenkel ist beim offenen Manometer offen, beim geschlossenen geschlossen und (in den meisten Fällen) mit Luft gefüllt. Die Gasspannung ist dann aus dem Unterschied der Quecksilberhöhen in beiden Schenkeln, vermehrt entweder um den

Atmosphärendruck oder um die im umgekehrten Verhältnis zum Volum stehende Spannkraft der abgeschlossenen Luft, ersichtlich.

Bei den Zeigermanometern drückt das Gas gegen die Mitte einer elastischen Platte, deren Bewegungen durch Vermittlung von Hebeln und Rädern auf einen Zeiger übertragen werden. Diese Art von Manometern kommt bei großen Drucken zur Verwendung.

Volumenometer. Zur Bestimmung der Volums — und damit auch des spezifischen Gewichts (vgl. S. 74 u. f.) — pulverförmiger Körper wird das Volumenometer (oder Stereometer, Abb. 58) benutzt. Dasselbe besteht aus einem Glasgefäß (G), das nach unten in eine mit Volumeinteilung versehene Röhre ausläuft. Der obere Rand des Gefäßes ist abgeschliffen und läßt sich durch eine Glasplatte luftdicht verschließen.

Die Benutzung erfolgt in der Weise, daß, während das Gefäß G offen ist, die Röhre bis zum Nullpunkt der Teilung (O) in ein mit Quecksilber gefülltes Glas eingetaucht wird, dann das Gefäß durch die Glasplatte verschlossen und der Apparat bis zu einer bestimmten Höhe emporgezogen wird. Dabei tritt Luft aus G in die Röhre, die Luft wird verdünnt und verliert an Spannkraft; die Folge ist, daß die äußere Luft das Quecksilber in der Röhre emporreibt. Die Volumzunahme der Luft (von O bis zum Quecksilberspiegel in der Röhre) wird abgelesen. Aus diesem Versuch kann das Volum des Gefäßes G bis zum Teilstrich O auf folgende Weise berechnet werden: Man bezeichne es mit v_1 , die Volumzunahme mit v_2 , die Höhe des Quecksilbers in der Röhre über dem äußeren Quecksilberspiegel mit q und den herrschenden Barometerstand mit B ; dann ist nach dem Mariotte-Boyleschen Gesetz (S. 88):

$$\frac{v_1}{v_1 + v_2} = \frac{B - q}{B}, \text{ woraus sich ergibt: } v_1 = \frac{v_2(B - q)}{q}.$$

Nun wird der ganze Versuch wiederholt, nachdem man den pulverförmigen Körper, dessen Volum x bestimmt werden soll, in das Gefäß G gebracht hat. Der Apparat werde wieder bei offenem Gefäße G bis zum Nullpunkt O in das Quecksilber eingetaucht und dann, bei verschlossenem Gefäß G , so weit emporgehoben, bis die Luft in G um das Volum v_2 zugenommen hat; die Quecksilbersäule in der Röhre sei diesmal q' . Dann gilt:

$$\frac{v_1 - x}{(v_1 - x) + v_2} = \frac{B - q'}{B}, \text{ woraus sich ergibt: } v_1 - x = \frac{v_2(B - q')}{q'}, \text{ also:}$$

$$x = v_1 - \frac{v_2(B - q')}{q'}.$$

Hat man durch dies Verfahren das Volum des pulverförmigen Körpers ermittelt, so erhält man sein spezifisches Gewicht, indem man ihn wägt und sein absolutes Gewicht durch das Volum dividiert (da das spezifische Gewicht ja das Gewicht der Volumeinheit ist — S. 74).

Luftpumpe. Von großer Bedeutung für mancherlei Zwecke ist die 1650 von Otto v. Guericke, Bürgermeister von Magdeburg,

erfundene Luftpumpe. Sie dient dazu, die Luft in einem abgesperrten Raume zu verdünnen. Einen Raum vollständig luftleer zu machen, ist nicht möglich.

Wir betrachten die Ventilluftpumpe, die Hahlluftpumpe, die Quecksilberluftpumpe und die Wasserluftpumpe.

Die Ventilluftpumpe (Abb. 59) besteht aus dem Stiefel (*S*): einem metallenen Zylinder, in welchem sich ein durchbohrter Kolben (*K*) luftdicht auf- und abbewegt, dem Teller (*T*), dem darauf stehenden Rezipienten (oder der Luftpumpenglocke, *R* und dem Verbindungsrohr (*V*), welches den Stiefel mit dem Rezipienten verbindet. Sowohl im Kolben wie am Boden des

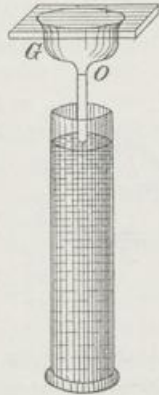


Abb. 58. Volumenometer.

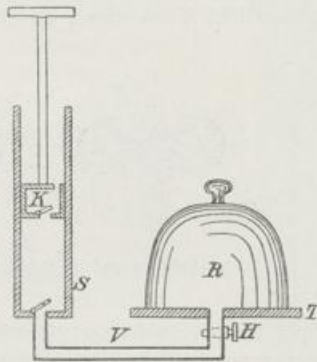


Abb. 59. Einstieflige Ventil-Luftpumpe.

Stiefels ist je ein sich nach oben öffnendes Ventil angebracht. (Kolbenventil und Bodenventil.)

Wird der Kolben vom Boden des Stiefels aus emporgezogen, so entsteht unter ihm ein luftleerer (bzw. luftverdünnter) Raum, und die Luft des Rezipienten drückt das Bodenventil in die Höhe und strömt in den Stiefel hinein, wobei sie auf einen größeren Raum verteilt und daher verdünnt wird; das Kolbenventil bleibt wegen des Drucks der äußeren (atmosphärischen) Luft geschlossen. Wird dann der Kolben abwärts bewegt, so wird die unter ihm befindliche Luft zusammengedrückt, schließt das Bodenventil, öffnet dagegen das Kolbenventil und strömt durch den Kolben hindurch nach außen. Zieht man den Kolben wieder empor und so fort, so wird abermals der Rezipient eines Teils seiner Luft beraubt, und die zurückbleibende Luft wird fortgesetzt verdünnt, bis sie so

wenig Spannkraft besitzt, daß sie die Ventile nicht mehr zu öffnen vermag. Der Hahn *H* gestattet durch eine geeignete Durchbohrung, nach erfolgtem Gebrauch der Pumpe wieder Luft von außen in den Rezipienten einströmen zu lassen.

Bei der Hahnluftpumpe ist der Kolben massiv, und die Ventile sind in ihrer Wirksamkeit durch einen unterhalb des Stiefels befindlichen Hahn (den sog. Vierwegehahn) ersetzt, welcher in der Weise doppelt durchbohrt ist, daß er beim Aufziehen des Kolbens den Stiefel mit dem Rezipienten in Verbindung setzt, beim Niederdrücken des Kolbens aber den Stiefel mit der Atmosphäre verbindet, so daß die in den Stiefel (vom Rezipienten aus) eingedrungene Luft nach außen gepreßt wird.

Bei der zweistiefligen (doppelt wirkenden) Hahnluftpumpe findet der Graßmannsche Hahn Verwendung. Derselbe hat drei Durchbohrungen: Die

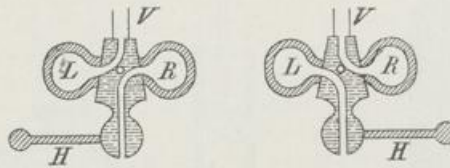


Abb. 60a und b. Graßmannscher Hahn.

eine führt von der einen Seite nach hinten zum Verbindungsrohr *V* (Abb. 60a und b), die andere von der entgegengesetzten Seite nach vorn zur atmosphärischen Luft; die dritte Durchbohrung verläuft in gerader Richtung zwischen den beiden ersten und senkrecht zu ihnen. Liegt der Hahn so, wie Abb. 60a zeigt, wo der als Griff dienende Hebel *H* sich links befindet, so steht der Rezipient (durch *V*) mit dem linken Stiefel (*L*) in Verbindung, zugleich der rechte Stiefel (*R*) mit der Atmosphäre. In *L* geht der Kolben in die Höhe, in *R* bewegt er sich abwärts. Wird der Hahn um 180° herumgedreht, so ist die Verbindung der Stiefel mit dem Rezipienten und der Atmosphäre (wie Abb. 60b zeigt) die umgekehrte, und die Kolben bewegen sich entgegengesetzt. Hört man mit dem Auspumpen der Luft auf, so stellt man den Hahn so, daß der Hebel senkrecht steht; dann ist der Rezipient verschlossen, und die beiden Stiefel stehen durch die dritte Durchbohrung miteinander in Verbindung.

Bei der zweistiefligen Hahnluftpumpe wird — abgesehen davon, daß sie doppelt so schnell wirkt als die einstieflige — noch ein besonderer Übelstand vermieden, der sich bei dieser findet und darin besteht, daß nach dem Niederdrücken des Kolbens die Bohrung des Hahnes jedesmal mit atmosphärischer Luft gefüllt bleibt, welche sich, wenn der Hahn gedreht und der Kolben wieder emporgezogen wird, im Stiefel ausbreitet. Der mit Luft gefüllte Raum heißt der schädliche Raum.

Bei den zweistiefligen Luftpumpen werden die Kolben mittels einer Doppelkurbel oder eines Schwungrades auf- und niederbewegt.

Damit der Rezipient luftdicht gegen den Teller abschließt, wird sein Rand, der ebenso wie der Teller geschliffen ist, vor dem Gebrauch mit Talg bestrichen.

Zur Feststellung der bei einem Luftpumpenversuche eingetretenen Verdünnung der Luft dient ein an dem Verbindungsrohr angebrachtes Barometer.

Die (Geißlersche) Quecksilberluftpumpe (Abb. 61) wirkt am vollkommensten von allen Luftpumpen, weil hier der Kolben durch eine Quecksilbersäule ersetzt ist; da man nämlich das Quecksilber durch die zur Verwendung kommenden Glashähne hindurchtreten lassen kann, ist die Bildung eines schädlichen Raums unmöglich. Die Luftverdünnung wird auf folgende Weise bewirkt:

Zwei Glasgefäße (*A* und *B*) stehen durch das Glasrohr *C* und den Kautschukschlauch *KK* miteinander in Verbindung. Das eine derselben (*B*) ist an einem Gestell unbeweglich befestigt, während das andere (*A*) mittels des über die Rolle *R* laufenden Gurtes *GG* und der mit Kurbel versehenen Welle *W* auf- und abbewegt werden kann. In beiden Gefäßen befindet sich Quecksilber, welches durch das Glasrohr *C* und den Kautschukschlauch *KK* kommuniziert. Das unbewegliche Glasgefäß (*B*) läuft nach oben in ein kurzes Ansatzrohr aus, das durch den Hahn *H₂* verschließbar ist; wenn derselbe geöffnet ist, steht das Gefäß *B* mit der Atmosphäre in Verbindung. Von diesem Ansatzrohr geht ein Seitenrohr *Re* aus, das zum Rezipienten führt und gleichfalls durch einen Hahn (*H₁*) verschlossen werden kann. Es wird nun, wenn das Auspumpen des Rezipienten vor sich gehen soll, das Gefäß *A* bei geschlossenem Hahn *H₁* und geöffnetem Hahn *H₂* so weit gehoben, daß das Quecksilber in dem Gefäße *B* und dem oben befindlichen Ansatzrohr über dem Hahn *H₁* steht und in die Bohrung des Hahnes *H₂* eingedrungen ist. Hierauf wird der Hahn *H₂* geschlossen, also die Verbindung des Gefäßes *B* mit der atmosphärischen Luft aufgehoben, und das Gefäß *A* herabgelassen. Da nun das Rohr *C* 760 mm lang ist, vermag der auf dem Quecksilber in *A* lastende Atmosphärendruck, wenn *A* seine tiefste Stellung erlangt hat, außer dem Quecksilber in *C* nicht noch das in *B* befindliche Quecksilber zu tragen, und dieses sinkt daher aus *B* in das Rohr *C*, und in dem Ge-

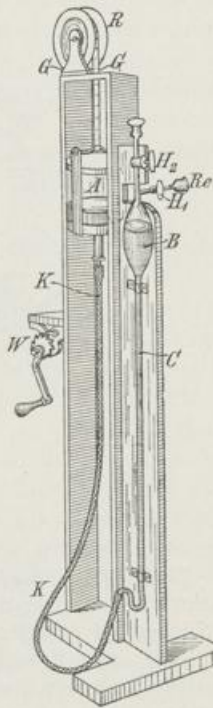


Abb. 61. Quecksilber-Luftpumpe.

fäße *B* selbst entsteht ein Vakuum. Wird nun der Hahn *H*₁ geöffnet, so dringt aus dem Rezipienten Luft in *B* ein, und die Luft des Rezipienten wird verdünnt. Alsdann wird der Hahn *H*₁ wieder geschlossen, das Gefäß *A* gehoben und der Hahn *H*₂ geöffnet. Hierdurch wird, wenn das Quecksilber in *B*, wie zu Anfang des Versuches, bis zum Hahne *H*₂ gestiegen ist, die in *B* befindliche Luft ausgetrieben. Man schließt hierauf *H*₂ und verfährt wie zuvor, so daß abermals eine Verdünnung der Luft im Rezipienten bewirkt wird. Da man dies Verfahren beliebig oft wiederholen kann, gelingt es, die Luftverdünnung außerordentlich weit zu treiben.

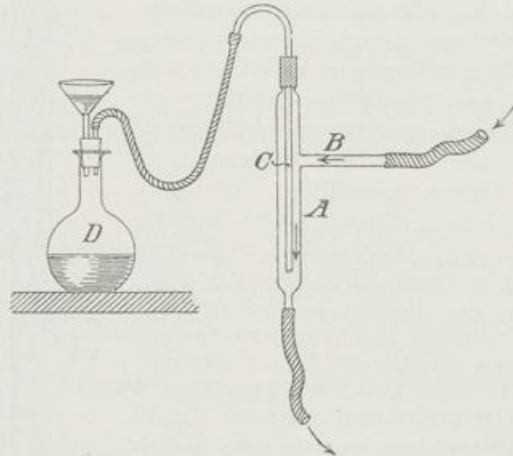


Abb. 62. Wasser-Luftpumpe.

Die (Bunsensche) Wasserluftpumpe (Abb. 62), die in chemischen Laboratorien vielfach zu beschleunigten Filtrationen verwendet wird, beruht in ihrer Einrichtung auf demselben Prinzip wie der Zerstäuber und der Inhalationsapparat (S. 97), nur daß bei ihr die saugende Wirkung von einem Wasserstrahl statt von einem Luft- oder Dampfstrahl ausgeübt wird. Sie besteht aus einem weiten Glasrohr (*A*), das oben verschlossen ist und seitlich ein Ansatzrohr (*B*) besitzt, durch welches ein Wasserstrom (am besten von einer Wasserleitung) in ersteres eintritt und nach unten abfließt. Durch den Verschluss des Rohres *A* geht in dieses hinein ein enges Rohr (*C*), das unterhalb des Ansatzrohres mit einer Öffnung endet, während sein oberes, gleichfalls offenes Ende mit einer Flasche (*D*) in Verbindung steht, in die hinein filtriert wird. In den Kork oder Gummistöpsel dieser Flasche ist ein Trichter luftdicht eingesetzt. Fließt nun von *B* her Wasser durch das Rohr *A*, so reißt es die darin befindliche Luft mit und übt infolgedessen auf das Rohr *C* und damit auch auf die Flasche eine Saugwirkung aus; die Luft in der Flasche wird verdünnt, und die Flüssigkeit im Trichter wird durch den Atmosphärendruck schneller in die Flasche hineingetrieben.

Luftpumpen-Versuche. Mit der Luftpumpe können folgende Hauptversuche angestellt werden:

1. Das Zersprengen einer Glasplatte, die einen luftleer gepumpten Zylinder nach außen verschließt, durch den atmosphärischen Luftdruck; das Hindurchpressen von Quecksilber durch Buchsbaumholz (Quecksilberregen).

2. Die Magdeburger Halbkugeln. Eine aus zwei genau aufeinander passenden Halbkugeln zusammengesetzte Hohlkugel wird luftleer gepumpt. Zur Trennung der durch den äußeren Luftdruck zusammengepreßten Halbkugeln ist eine außerordentlich große Kraft erforderlich. (Otto von Guericke führte diesen Versuch in großem Maßstabe bei Gelegenheit des Reichstags zu Regensburg i. J. 1654 vor.)

3. Das Anschwellen einer schlaff zugebundenen und daher wenig Luft enthaltenden Blase unter dem Rezipienten. (Vgl. S. 86.)

4. Das Entweichen absorbierter Gase: Luftbläschen aus Wasser, Kohlensäure aus Selterwasser und Bier.

5. Nachweis des Archimedischen Prinzips (S. 72—73) für Luft. Ein kleiner Wagebalken trägt auf der einen Seite eine Hohlkugel aus Glas, auf der andern Seite ein Metallgewicht von kleinerem Volum als jene, von solcher Schwere, daß im luftgefüllten Raum Gleichgewicht herrscht. Wird der Apparat unter den Rezipienten gebracht und die Luft aus demselben ausgepumpt, so sinkt der Arm des Wagebalkens, an welchem die Glaskugel aufgehängt ist; eine Folge davon, daß der Auftrieb, den die Glaskugel in der Luft erfuhr und der — wegen des größeren Volums — größer ist als der auf das Metallgewicht ausgeübte Auftrieb, in Fortfall kommt.

Auf die Wirkung des Auftriebes in der Atmosphäre ist das Aufsteigen der Luftballons zurückzuführen. Die älteste Form derselben (die Montgolfiere, 1783) war mit erwärmter Luft gefüllt, die spezifisch leichter ist als kalte Luft. Die heute gebräuchlichen Luftballons werden mit Leuchtgas gefüllt, die kleinen, bunten Kinderballons enthalten Wasserstoffgas; beide genannten Gase sind spezifisch leichter als die atmosphärische Luft. Ein Luftballon steigt in der nach oben immer dünner und folglich spezifisch leichter werdenden Luft so hoch empor, bis er schwebt, d. h. bis sein Gesamtgewicht gleich dem Gewicht der verdrängten Luftmenge ist.

6. Der gleich schnelle Fall verschieden schwerer Körper in der Fallröhre. (Vgl. S. 38.)

7. Das Erlöschen brennender Kerzen; Tiere ersticken im luftverdünnten Raum.

8. Die Schwächung des Schalls von Glocken, die im luftleer gepumpten Rezipienten in Tätigkeit versetzt werden.

9. Das Sieden von Flüssigkeiten bei niedrigerer Temperatur als der gewöhnlichen Siedetemperatur.

10. Das Gefrieren von Wasser infolge schneller Verdunstung und andauernder Absorption der gebildeten Wasserdämpfe durch konzentrierte Schwefelsäure; das Gefrieren von Wasser durch die schnelle Verdunstung von Schwefeläther (das Wasser befindet sich in einem Reagensglase, das in ein mit Äther gefülltes weiteres Gefäß gestellt ist).

Bei der Rohrpost wird — neben komprimierter Luft — die mittels einer Luftpumpe verdünnte Luft zur Beförderung von Briefen verwendet; die Briefe befinden sich in kleinen Wagen, die in langen Röhren von Station zu Station geblasen bzw. gesogen werden.

Kompressionspumpe. Die Kompressionspumpe ist eine umgekehrt wirkende Luftpumpe. Ist sie mit Ventilen versehen, so haben diese die entgegengesetzte Richtung wie bei der Ventilluftpumpe. Ist sie mit Hahn versehen, so wird dieser bei jedem Kolbenstoße entgegengesetzt gestellt wie bei der Hahlluftpumpe. Am oberen Ende besitzt der Stiefel eine seitliche Öffnung, durch die er sich jedesmal von neuem mit Luft füllt, wenn der Kolben bis über die Öffnung emporgezogen wird.

Sie wird vor allem zur Kompression und Verflüssigung von Kohlensäuregas benutzt.

Die Radfahr-Luftpumpe ist gleichfalls eine Kompressionspumpe. Sie besitzt weder Hahn noch Ventil, sondern ist nur ein Hohlzylinder mit darin beweglichem Kolben. Das Ventil befindet sich an dem Luftreifen oder der Pneumatik des Fahrrades. Es besteht aus einem luftdicht in eine Öffnung des Reifens eingesetzten Metallröhrchen, das an seinem oberen Ende (behufs Verbindung mit der Luftpumpe) offen, am unteren Ende geschlossen ist, aber für den Eintritt der Luft in den Reifen eine seitliche Öffnung besitzt; damit durch diese die Luft des Reifens nicht wieder ausströmt, ist über das Röhrchen ein Stück Gummischlauch gestreift. Wird der Kolben abwärts bewegt, so bläht die zusammengepreßte Luft den Gummischlauch auf und tritt durch die seitliche Öffnung des Ventils in den Reifen ein.

8. Stoß elastischer Körper und Wellenbewegung.

Stoß elastischer Körper. Wenn eine elastische Kugel auf einer horizontalen Unterlage gegen eine feste Wand gerollt wird, und zwar in senkrechter Richtung zur Wand, so kehrt die Kugel mit gleicher Geschwindigkeit in der gleichen (senkrechten) Richtung, nur im entgegengesetzten Sinne, zurück. Dieser Vorgang wird als Reflexion bezeichnet.

Wird die Kugel unter einem gewissen spitzen Winkel gegen die Wand gerollt, so bewegt sie sich wiederum mit gleicher Geschwindigkeit und

unter dem gleichen Winkel, aber nach der andern Seite, von der Senkrechten zur Wand aus gerechnet, zurück. — Den Winkel, den die Bewegungsrichtung der heranrollenden Kugel mit der Senkrechten zur Wand — dem Einfallslot — bildet (Abb. 63, *a*), nennt man (in Anlehnung an eine Bezeichnung in der Lehre vom Licht) den Einfallswinkel; den Winkel, den die Bewegungsrichtung der zurückrollenden Kugel mit der Senkrechten bildet (Abb. 63, *b*), nennt man den Ausfallswinkel. — Einfallswinkel und Ausfallswinkel sind einander gleich.

Wird eine elastische Kugel mit einer gewissen Geschwindigkeit gegen eine andere, ihr völlig gleiche, ruhende Kugel gerollt (so daß die Stoßrichtung mit der Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Kugeln zusammenfällt — zentraler Stoß), so bleibt die erste Kugel stehen, und die zweite bewegt sich in derselben Richtung wie jene und mit der gleichen Geschwindigkeit fort. — Werden zwei gleiche elastische Kugeln mit gleicher Geschwindigkeit zentral gegeneinander gerollt, so prallen sie voneinander ab und bewegen sich mit derselben Geschwindigkeit im entgegengesetzten Sinne zurück. — Ist im letzteren Falle die Geschwindigkeit beider Kugeln verschieden groß, so tauschen beide ihre Geschwindigkeiten miteinander aus.

Es läßt sich hiernach sagen, daß stets, wenn eine elastische Kugel in zentralem Stoß auf eine andere, ihr gleiche trifft, ihr Bewegungszustand sich auf diese überträgt, und umgekehrt, daß sie den Bewegungszustand der letzteren annimmt.

Trifft eine elastische Kugel in zentralem Stoße auf eine Reihe geradlinig hintereinander liegender, ihr gleicher elastischer Kugeln, so geht ihre Bewegung nach Richtung und Geschwindigkeit durch die ganze Reihe hindurch und wird auf die letzte, freiliegende Kugel übertragen und von dieser weiter fortgesetzt. (Perkussionsmaschine.)

Wellenbewegung. Wenn das Gleichgewicht einer ruhenden Wasserfläche, z. B. durch das Hineinwerfen eines Steines, gestört wird, so entstehen kreisförmige Wellen, die sich von einem Mittelpunkte aus (der Stelle, wo der Stein ins Wasser fiel) nach allen Richtungen mit gleichförmiger Geschwindigkeit verbreiten. Jede Welle besteht aus einem Wellenberg und einem Wellental. Der Grund für diese Erscheinung ist der, daß die Wasserfläche an der Stelle, wo der Stein auf sie fällt, einen Stoß erleidet, der die an dieser Stelle befindlichen Wasserteilchen hinabdrückt und so ein Wellental erzeugt; die an der Stelle desselben fehlende Wassermasse begibt sich nach außen und oben, da nach S. 67 der auf eine Flüssigkeit ausgeübte Druck sich nach allen Seiten ausbreitet; die umliegenden Wasserteilchen werden daher von jener Wassermasse nach oben gedrängt, und es entsteht rings um das Wellental ein Wellenberg. Fallen die Wasserteilchen desselben nun, der Schwere folgend, nach außen zu herab, so gehen sie — nach Maßgabe des Beharrungsgesetzes — noch unter

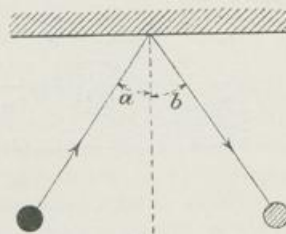


Abb. 63. Stoß einer elastischen Kugel gegen eine feste Wand.

den Wasserspiegel hinunter und bilden so ein neues, kreisförmig um den Wellenberg verlaufendes Wellental. Die Wasserteilchen fallen nach außen zu, weil der erste, durch den Stein ausgeübte Stoß sich, wie bemerkt, nach außen fortpflanzte. Um das zweite Wellental herum entsteht nun auf dieselbe Weise wie um das erste abermals ein Wellenberg u. s. f. Da die Wellen nach außen hin immer größer (umfangreicher) werden, so nimmt ihre Höhe ab.

Da nach dem Gesagten jedes Wasserteilchen einesteils entweder nach unten oder oben geht, andernteils aber auch seitliche Bewegungen ausführt, so ist die Bahn, die tatsächlich von ihm durchlaufen wird, eine krummlinige, entstanden nach Maßgabe des Parallelogramms der Kräfte, und es kehrt jedes Teilchen wieder zu seinem Ausgangspunkte zurück.

Die Kurven der Wasserteilchen liegen in lotrechten Ebenen. Sie sind in Abb. 64 bei *A*, *B* und *C* dargestellt. Nach unten zu von der Oberfläche des Wassers aus werden die Kurven flacher (Abb. 64, *B*), und die tiefsten sich noch bewegendem Wasserteilchen schwingen geradlinig (in horizontaler Richtung) hin und her.



Abb. 64. Wellenbewegung.

An der vom ersten Wellental nach außen zu von Wellenberg zu Wellenberg und durch alle Wellentäler hindurch fortschreitenden Bewegung der Wellen nehmen die einzelnen Wasserteilchen (nach dem Gesagten) nicht teil. Man kann dies leicht daran erkennen, daß Holzstücke, die man auf das Wasser wirft, nicht mit fortschwimmen, sondern nur abwechselnd gehoben werden oder sich senken, je nachdem, ob ein Wellenberg oder ein Wellental unter ihnen dahingeht. Der Eindruck des Fortschreitens einer jeden einzelnen Welle entsteht lediglich durch die Fortpflanzung des Bewegungszustandes auf die Weise, daß alle in der Richtung eines Wellenradius oder Wellenstrahls aufeinander folgenden Teilchen der Reihe nach die gleiche Bewegung machen.

Wie durch einen Steinwurf, entsteht auch durch einen Ruderschlag oder den Druck des Windes auf die Wasseroberfläche eine Wellenbewegung. Im letzteren Falle sind die Wellenberge und Wellentäler nicht kreisförmig, sondern langgestreckt, senkrecht zur Windrichtung. Auch ein Schiff, z. B. ein Dampfer, der das Wasser durchfurcht, erzeugt Wellen, die schräg nach hinten gerichtet sind, weil der sie hervorrufende Vorderteil (Kiel) des Schiffes sich nach vorn fortbewegt.

Das Überstürzen der Wellen (zumal der Meereswellen) und die infolgedessen auftretende Bildung der Schaumköpfe der Wellen erklärt sich daraus, daß bei anhaltendem, starkem Winddruck ein schräg aufsteigender Wellenberg vor dem Winde her entsteht, auf dem von neuem Wasserteilchen, vom Winde emporgedrückt, sich aufwärts bewegen, und zwar mit größerer Geschwindigkeit

als die unteren, da sie einmal von diesen mit fortgeführt werden, also deren Geschwindigkeit annehmen und sodann von der Kraft des Windes noch eine besondere Geschwindigkeit zuerteilt bekommen. (Vgl. die Stufenbahn, wie sie z. B. auf der Berliner Gewerbeausstellung im Jahre 1896 zu sehen war.) Wenn nun die Geschwindigkeit der obersten Wasserteilchen so groß ist, daß dieselben ein Stück weit über die untersten Wasserteilchen hinausgetrieben werden, so schießen sie, der Schwere folgend, im Bogen nach unten.

Dieser bogenförmige Verlauf kommt zustande, wie stets drehende Bewegungen oder Rotationen zustande kommen, wenn sich zwei Flüssigkeiten oder Luftmassen mit verschiedener Geschwindigkeit aneinander hinbewegen und die eine Flüssigkeit oder Luftmasse mit ihrem vorderen Ende das vordere Ende der andern überholt. Beispiel: die gewöhnlichen Luftwirbel und die Wirbelwinde oder Wirbelstürme.

Eine Reflexion der Wellen findet statt, wenn dieselben auf eine feste Wand, z. B. den Uferstrand, treffen. Es kommen dabei die über die Reflexion beim Stoß elastischer Körper oben mitgeteilten Gesetze zur Geltung.

Bei Wellenbewegungen, die statt im Wasser in elastischen Körpern (z. B. in Luft) stattfinden, ist statt der Schwere die Elastizität wirksam.

Die Breite eines Wellenberges und eines Wellentales zusammengenommen oder, was dasselbe ist, die Strecke, um welche sich die Schwingungsbewegung fortpflanzt, während ein Wasserteilchen eine Schwingung vollendet, wird Wellenlänge genannt. Der Abstand der größten Ausweichung eines schwingenden Wasserteilchens (also seiner größten Höhe oder seiner größten Tiefe) von der Gleichgewichtslage oder dem Niveau heißt Schwingungsweite oder Oszillations-Amplitude. (Vgl. S. 65.) Als Fortpflanzungsgeschwindigkeit wird die Geschwindigkeit bezeichnet, mit welcher sich die Schwingung eines Teilchens auf die der Reihe nach folgenden fortpflanzt, d. h. also der Weg, um den die schwingende Bewegung in der Zeiteinheit vorrückt. Die Geschwindigkeit der Bewegung der einzelnen Teilchen innerhalb der von ihnen durchlaufenen Kurven, also die in einer Zeiteinheit durchlaufene Kurvenstrecke (die übrigens mehrere ganze Kurven betragen kann), heißt Schwingungs- oder Oszillationsgeschwindigkeit; dieselbe ist umgekehrt proportional der Zeitdauer einer ganzen Schwingung, d. h. der Schwingungsdauer; denn je kleiner die Schwingungsdauer, desto größer in der Zeiteinheit die durchlaufene Kurvenstrecke. Ebenfalls umgekehrt proportional der Schwingungsdauer (also direkt proportional der Oszillationsgeschwindigkeit) ist die Schwingungszahl, die Anzahl der Schwingungen in einer Zeiteinheit. — Irgend ein bestimmter Bewegungszustand eines schwingenden Teilchens innerhalb einer Schwingung (d. h. die Stellung des Teilchens zur Gleichgewichtslage unter Berücksichtigung seiner augenblicklichen Bewegungsrichtung) heißt Schwingungsphase; als Phasendifferenz wird der Bruchteil der Schwingungsdauer bezeichnet, der zwischen zwei bestimmten Phasen verfließt. Zwei Teilchen, welche um eine Wellenlänge voneinander entfernt sind, befinden sich in gleicher Schwingungsphase, zwei Teilchen, deren Abstand gleich einer halben Wellenlänge ist, in entgegengesetzter Schwingungsphase.

Nehmen wir an, daß ein schwingendes Teilchen in einer Zeiteinheit n Schwin-

gungen vollführt (Schwingungszahl also = n), so hat sich in dieser Zeit die Wellenbewegung auf n hintereinander liegende benachbarte Teilchen übertragen, weil das schwingende Teilchen n mal herum- und wieder in die gleiche Lage gekommen ist: somit ist die Wellenbewegung, da jedes Teilchen sie um eine Wellenlänge vorwärts bringt, im ganzen um n Wellenlängen weiter fortgeschritten. Der Weg aber, um den sie in einer Zeiteinheit vorgerückt ist, wird andererseits als Fortpflanzungsgeschwindigkeit bezeichnet. Folglich ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit (a) gleich dem Produkt aus der Wellenlänge (λ) mal der Schwingungszahl (n); Formel:

$$a = n \cdot \lambda \quad (1)$$

Hiernach ist:
$$\lambda = \frac{a}{n} \quad (2)$$

Da nach dem oben Gesagten die Schwingungszahl umgekehrt proportional der Schwingungsdauer (t) ist, also:

$$n = \frac{1}{t} \text{ oder: } t = \frac{1}{n} \quad (3),$$

so folgt auch:
$$a = \frac{\lambda}{t} \quad (4).$$

Ferner ist die Zeit, in welcher die Wellenbewegung um eine Wellenlänge fortschreitet, gleich der Schwingungsdauer. Dies ergibt sich schon aus der Definition der Wellenlänge (also derjenigen Strecke, um welche die Wellenbewegung sich fortpflanzt, während ein schwingendes Teilchen eine Schwingung vollendet); ebenso aber folgt es aus Formel (4), denn wenn die Wellenbewegung in einer Zeiteinheit den Weg a zurücklegt, durchläuft sie in der Zeit t (der Schwingungsdauer, die gewöhnlich ein Bruchteil der Zeiteinheit ist) den Weg $a \cdot t$; dieser Ausdruck aber ist nach Formel (4) = λ .

Kombinierte Wellen. Wenn Wasser nicht einmal, z. B. durch einen Steinwurf, erschüttert wird, sondern auf dasselbe in regelmäßigen Zwischenräumen an derselben Stelle Schläge ausgeführt werden, so geht eine dauernde Wellenbewegung von dem Erschütterungsmittelpunkte nach außen, wobei Welle auf Welle einander folgt und an Stelle eines jeden Wellenbergs zwischen dem Erscheinen der Welle, welcher derselben angehörte, und der nächsten Welle ein Wellental auftritt. Also findet an jedem Punkte innerhalb des Bereiches der Wellenbewegung ein abwechselndes Auf- und Niederwogen (um eine mittlere Gleichgewichtslage) statt. Derartig ist der Vorgang, wenn die Erschütterungen in Zwischenräumen oder Intervallen aufeinander folgen, die der Schwingungsdauer gleich sind. Andersfalls und desgleichen, wenn anfangs gleichzeitig zwei verschiedenartige Erschütterungen (Erschütterungen mit verschiedener Schwingungsdauer der entstehenden Wellen) auf das Wasser (und ebenso auf einen elastischen Körper) ausgeübt wurden, kombinieren sich die entstehenden Wellen auf dem Wege der (geometrischen) Addition oder Subtraktion, d. h.: es erhöht ein Wellenberg der einen (kleineren) Welle den Wellenberg der andern (größeren) Welle, mit dem er zusammentrifft, ebenso vertieft ein Wellental der einen Welle das Wellental der andern Welle, mit dem es zusammentrifft, während ein Wellental der einen Welle den Wellenberg der andern, mit dem es zusammentrifft, erniedrigt, und ein Wellenberg der einen Welle das Wellen-

tal der andern, mit dem er zusammentrifft, verflacht. Abb. 65a stellt die Kombination zweier gleichzeitig ausgelöster Wellenbewegungen dar, deren eine (mit 2 bezeichnete) die halbe Wellenlänge der andern (1), also — bei gleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit — die doppelte Schwingungsdauer (vgl. Formel [4] S. 110), besitzt. Die entstehende, kombinierte Wellenbewegung gibt die stärker gezeichnete Kurve (3) wieder. In Abb. 65b ist die Wellenlänge der einen Wellenbewegung $\frac{1}{2}$ derjenigen der andern.

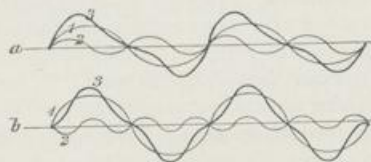


Abb. 65. Kombinierte Wellen.

Es entstehen auf diese Art der Kombination von Wellen, die als **Über-einanderlagerung kleiner Bewegungen** (superposition des petits mouvements) bezeichnet wird, sehr verschiedenartige, oft äußerst komplizierte Wellenformen oder Wellenkurven. Die Wellenform einfacher Wellen kann ebenfalls verschieden sein, je nach der Art der Krümmung, welche die Wellenberge und Wellentäler besitzen.

Stehende Wellen. Die Wasserwellen, wie wir sie beschrieben haben, gehören zu den fortschreitenden Wellen. Von diesen sind die stehenden Wellen zu unterscheiden. Dieselben lassen sich erzeugen, wenn man ein ge-

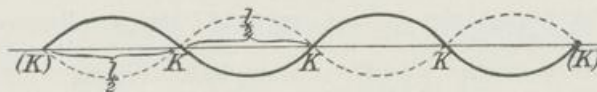


Abb. 66. Stehende Wellen.

spanntes Seil, dessen eines Ende befestigt ist, an dem andern Ende fortgesetzt gleichmäßig auf- und niederschwingt. Dann bildet sich bei jeder Bewegung eine Welle, welche auf dem Seile fortschreitet, während ihr eine andere folgt; an dem festen Ende des Seiles angelangt, werden die Wellen reflektiert und laufen nun zurück, den ankommenden Wellen entgegen, mit denen sie sich kombinieren. Erfolgen nun die Bewegungen des losen Seilendes in solchen Intervallen, daß, wenn ein Wellenberg am festen Seilende anlangt, dort gleichzeitig ein Wellenberg reflektiert wird u. s. f., so gerät das ganze Seil in eine schlingelnde Bewegung, bei der gewisse Punkte des Seiles völlig in Ruhe bleiben — sie heißen **Schwingungsknoten** (Abb. 66, K) —, während die dazwischen liegenden Abschnitte des Seiles — die **Schwingungsbäuche** — in der Reihe, wie sie aufeinander folgen, entgegengesetzte Schwingungszustände zeigen (in entgegengesetzter Richtung ausschlagen).

Die Schwingungsdauer und Wellenlänge stehender Wellen stimmt mit derjenigen der fortschreitenden Welle, aus der sie hervorgegangen sind, überein. Die Entfernung je zweier benachbarter Schwingungsknoten beträgt eine halbe Wellenlänge. (Abb. 66, $\frac{l}{2}$)

Schwingungs-Arten. Die Schwingungen, in welche elastische Körper versetzt werden können, sind — je nach der Schwingungsrichtung — von dreierlei Art: Longitudinalschwingungen, Transversalschwingungen und Torsionsschwingungen. Longitudinalschwingungen führt ein elastischer Körper aus, wenn die Schwingungsrichtung seiner Teile mit seiner Längsrichtung übereinstimmt (Beispiele: siehe im folgenden Kapitel, S. 113 und 116); transversal schwingt der Körper, wenn die Schwingungsrichtung zu seiner Längsrichtung senkrecht verläuft (Beispiele: die Seilwellen und S. 116); und von Torsionsschwingungen spricht man, wenn die Teile des Körpers drehende Bewegungen um seine Längsachse ausführen. — Alle drei Arten von Schwingungen können sowohl in Form von fortschreitenden wie von stehenden Wellen auftreten.

Interferenz und Beugung. Durchkreuzen sich zwei gleichartige Wellensysteme, so entsteht, wie es schon aus dem über kombinierte Wellen Gesagten hervorgeht, da, wo zwei Wellenberge zusammentreffen, ein Berg von doppelter Höhe; wo zwei Wellentäler zusammentreffen, ein Tal von doppelter Tiefe; wo ein Wellenberg des einen Systems mit einem Wellental des andern zusammentrifft, heben beide einander auf, und das ursprüngliche Gleichgewicht wird nicht gestört (auf einer Wasserfläche bildet sich daselbst eine ruhende ebene Fläche). Diese ganze Erscheinung wird mit dem Namen der Interferenz der Wellensysteme bezeichnet.

Trifft ein Wellensystem auf eine Wand, in der sich eine Öffnung befindet, so geht der mittlere Teil der Welle ungehindert hindurch; an den Seiten der Öffnung aber entsteht eine Stauung, und beim Abfluß derselben nach außen treten neue Wellensysteme auf, welche die Entstehung von Interferenzen bewirken. Diese Verbreiterung des Wellensystems heißt Beugung. (Vgl. Kap. 10. Abschnitt: „Interferenz des Lichtes; Beugung oder Diffraktion“.)

9. Die Lehre vom Schall.

(Akustik.)

Entstehung und Natur des Schalls. Ein Schall entsteht durch die Erschütterung eines Körpers.

Beispiele: Aufschlagen eines Hammers auf einen Amboß; Anreißen einer gespannten Geigensaite mit dem Finger. — Schlag eines Ruders ins Wasser; Fallen der Regentropfen auf eine Wasseroberfläche. — Peitschenknall, Zusammenschlagen der Hände; Blasen über das offene Ende einer Glasröhre oder eines Hohlschlüssels.

Durch die Bewegungen eines schallenden Körpers werden Wellenbewegungen in der Luft, die ein elastischer Körper ist, er-

zeugt: die Schallwellen, welche nach allen Seiten fortschreiten und in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft bestehen. Sie sind Longitudinalwellen. Die Luftverdichtungen entsprechen den Wellenbergen, die Luftverdünnungen den Wellentälern bei der Wasserbewegung. Der Schall wird aber nicht nur durch die Luft und luftförmige Körper, sondern auch durch flüssige und feste Körper geleitet, und zwar am besten durch elastische und durchweg gleichartige feste Körper.

Poröse Körper dämpfen den Schall, und zwar vor allem deshalb, weil sie nicht durchweg gleichartig sind. Ein luftleerer Raum leitet den Schall nicht. (Vgl. S. 106, Luftpumpen-Versuch Nr. 8.)

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls beträgt in der Luft bei 0° Wärme rund 333 m in der Sekunde. (Arago und Alexander v. Humboldt, 1822.) Mit steigender Temperatur nimmt die Geschwindigkeit zu.

Die Stärke oder Intensität des Schalls nimmt mit zunehmender Entfernung von dem Orte der Entstehung ab, und zwar im quadratischen Verhältnis der Entfernung, so daß z. B. ein Schall in doppelter Entfernung nur noch in Viertelstärke vernommen wird.

Dies kommt daher, daß der Schall sich von dem Orte seiner Entstehung aus nach allen Seiten, also kugelförmig ausbreitet. Da die Oberfläche einer Kugel mit dem Radius r aber $4r^2\pi$ ist, also dem Quadrat des Radius proportional ist, so hat eine Kugel mit n mal so großem Radius eine n^2 mal so große Oberfläche, und der gleiche Schall muß, wenn er sich auf diese Oberfläche verteilt, an jedem Punkte nur $\frac{1}{n^2}$ so stark sein als an jedem Punkte der Kugel mit dem Radius r . Die Schallstärke ist also umgekehrt proportional dem Quadrat des Radius der Ausbreitung oder dem Quadrat der Entfernung.

Reflexion der Schallwellen. Treffen die Schallwellen auf die Oberfläche eines festen oder flüssigen Körpers, so werden sie, entsprechend den Entwicklungen im vorigen Kapitel, reflektiert. Durch diese Reflexion entsteht entweder eine bloße Verstärkung des Schalls oder ein Nachhall oder ein Widerhall (Echo).

Der Widerhall — die von dem ursprünglichen Schall deutlich getrennte Wiederholung desselben — tritt dann auf, wenn die reflektierende Wand, gegen die man ruft, singt u. dgl., mindestens 19 m entfernt ist. Da nämlich das menschliche Ohr in 1 Sekunde etwa 8 bis 10 oder im Mittel: 9 Silben zu unterscheiden imstande ist, so gehört zur Wahrnehmung einer Silbe $\frac{1}{9}$ Sekunde Zeit. Hat man daher eine Silbe gerufen, so darf sie frühestens nach Verlauf von $\frac{1}{9}$ Sekunde als Wiederholung wieder an unser Ohr gelangen, wenn sie gesondert von der ersten wahrgenommen werden soll. In $\frac{1}{9}$ Sekunde legt aber der Schall $333 : 9 = 37$ m zurück. Da er sich nun zur reflektierenden Wand hin- und wieder

zurückbewegt, muß diese $\frac{37}{2} = 18\frac{1}{2}$, rund 19 m — oder darüber — entfernt sein, damit er nicht zu früh zu unserm Ohre zurückgelangt.

Ist die reflektierende Wand weniger als 19 m weit entfernt, so fällt der zurückgeworfene Schall mit dem ursprünglichen teilweise zusammen, und es entsteht der Nachhall. Dies geschieht z. B. in Gewölben, Kirchen, großen Sälen, besonders wenn sie leer sind. Personen oder Möbel, die sich in einem Raum befinden, desgl. Säulen, Vorsprünge, Bilder, Fahnen usw. nehmen dem Nachhall die Regelmäßigkeit und heben dadurch die störende Wirkung auf.

In kleineren Räumen (Zimmern usw.) wird der zurückgeworfene Schall mit dem ursprünglichen zugleich gehört, und es findet nur eine Verstärkung des letzteren statt.

Auf der Zurückwerfung des Schalls (im Innern der Apparate) beruht die Einrichtung des in die Wände eines Hauses eingemauerten Kommunikations- oder Schallrohrs, des Sprachrohrs und des Hörrohrs.

Ton und Geräusch. Wenn mehrere einfache Schalle schnell aufeinander folgen, so stellen sie sich dem Ohr als etwas Zusammenhängendes dar: sie bilden einen zusammengesetzten Schall. Sind die Bestandteile eines solchen von gleicher Beschaffenheit und folgen sie schnell und in gleichen Zwischenräumen aufeinander, so bilden sie einen Ton und sind von der Art der Schwingungen. Ein unregelmäßig zusammengesetzter Schall heißt ein Geräusch. (Knarren, Rasseln, Plätschern, Rauschen usw.)

An einem Ton unterscheidet man Höhe, Stärke oder Intensität und Klangfarbe.

Tonhöhe. Je größer die Schwingungszahl eines Tones ist, desto höher ist er. Dies kann an einer Sirene ermittelt werden. Die eine Art der Sirenen, die Zahnsirenen (Savart) sind Zahnräder, die man in schnelle Umdrehung versetzen kann und gegen deren Zähne man ein elastisches Kartenblättchen oder dergleichen hält. Je schneller man dreht oder je mehr Zähne das Zahnrad hat, desto höher ist der Ton, den es gibt. Bei der andern Art der Sirenen, den Lochsirenen (Robert Hooke, verbessert von Cagniard de la Tour, 1819), wird ein Luftstrom gegen eine rotierende Scheibe geblasen, die eine oder mehrere kreisförmig angeordnete Reihen von Löchern besitzt. Indem hier der Luftstrom abwechselnd durch ein Loch hindurchtritt und durch die Fläche der Scheibe aufgehalten wird, entstehen Stöße oder Erschütterungen der Luft, die bei schneller Aufeinanderfolge einen Ton geben, der um so höher ist, je mehr Löcher in der gleichen Zeit an dem Luftstrom vorbeigehen.

Wenn man bei einer Lochsirene die Löcherzahl einer Lochreihe sowie die Zahl der Umdrehungen, die die Sirene in einer Sekunde bei der Hervorbringung eines bestimmten Tones macht, feststellt, so ergibt sich die Schwingungszahl dieses Tones gleich dem Produkt aus der Löcherzahl mal der Zahl der Umdrehungen.

Während die Schwingungszahl höherer Töne, wie erwähnt, größer ist als diejenige tieferer Töne, ist umgekehrt sowohl die Schwingungsdauer wie auch die Wellenlänge höherer Töne kleiner als diejenige tieferer Töne, denn nach Formel (3) S. 110 ist die Schwingungsdauer, nach Formel (2) S. 110 die Wellenlänge umgekehrt proportional der Schwingungszahl.

Wenn sich eine Schallquelle während der Ausbreitung des Schalls dem Hörenden nähert oder von ihm entfernt, so müssen die Schallwellen das Ohr in rascherer oder langsamerer Folge treffen, so daß sich bei der Annäherung der Ton erhöht, bei der Entfernung erniedrigt (Dopplers Prinzip, 1842). Diese Erscheinung läßt sich an dem Ton der Pfeife einer vorüberfahrenden Lokomotive deutlich beobachten.

Die Schwingungszahl des tiefsten hörbaren Tones (in der Sekunde) ist 14 (Wellenlänge 24 m), die des höchsten hörbaren Tones 40000 (Wellenlänge 8 mm). Der tiefste in der Musik gebräuchliche Ton (das Subcontra-C) hat zur Schwingungszahl 16, genauer 16,165 (Wellenlänge 20 m), der höchste musikalische Ton (das 5 mal gestrichene c) hat zur Schwingungszahl $4138 = 2^8$ mal 16,165. Der sogenannte Kammerton a' , den die gewöhnlichen Stimmgabeln angeben, hat die Schwingungszahl 435 (Wellenlänge 0,78 m). (Die Schwingungen, von denen hier die Rede ist, entsprechen — mit den Pendelschwingungen, S. 64, verglichen — je einer Doppelschwingung; in Frankreich gibt man in den Schwingungszahlen die Anzahlen der einfachen Schwingungen an.)

Hat ein Ton die doppelte Schwingungszahl wie ein anderer, so bildet er die Oktave des letzteren. Das musikalische Intervall (Tonschritt) Prime/Oktave steht also in dem Verhältnis der Schwingungszahlen 1:2. Die übrigen musikalischen Intervalle weisen folgende Verhältnisse auf:

$$\text{Prime/Sekunde} = 1 : \frac{9}{8}; \quad \text{Prime/Terz} = 1 : \frac{5}{4}; \quad \text{Prime/Quarte} = 1 : \frac{4}{3};$$

$$\text{Prime/Quinte} = 1 : \frac{3}{2}; \quad \text{Prime/Sexte} = 1 : \frac{5}{3}; \quad \text{Prime/Septime} = 1 : \frac{15}{8}.$$

Die Verhältnisse der Schwingungszahlen (die physikalischen Intervalle) zwischen je zwei aufeinander folgenden Tönen sind hiernach:

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
|---------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|------|
| $\frac{9}{8}$ | $\frac{10}{9}$ | $\frac{16}{15}$ | $\frac{9}{8}$ | $\frac{10}{9}$ | $\frac{9}{8}$ | $\frac{16}{15}$ | |

8*

d. h.: Es ist die Schwingungszahl der Sekunde $\frac{9}{8}$ mal so groß als die der Prime, die Schwingungszahl der Terz $\frac{10}{9}$ mal so groß als die der Sekunde usw.

Die Intervalle $\frac{9}{8}$ und $\frac{10}{9}$ sind einander ziemlich gleich, das Intervall $\frac{16}{15}$ dagegen ist beträchtlich kleiner; man bezeichnet es daher als einen halben Ton (bzw. ein halbes Tonintervall), während jene als ganze Töne gelten.

Obige Zusammenstellung von acht Tönen, Tonleiter genannt, besteht daher aus zwei Hälften, deren jede zwei ganze und einen halben Ton umfaßt, während beide voneinander durch einen ganzen Ton getrennt sind:

| | | | | | | | |
|---|----|---------------|----|---|----|---------------|------|
| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
| 1 | 1 | $\frac{1}{2}$ | | 1 | 1 | $\frac{1}{2}$ | |

Sie heißt diatonische Tonleiter.

Die chromatische Tonleiter enthält zwischen den ganzen Tönen noch halbe, so daß sie durchweg nach halben Tönen fortschreitet. (Dur und Moll; musikalische Temperatur.)

Musikinstrumente. Zur Hervorbringung musikalischer Töne dienen:

1. die Saiteninstrumente (Geige, Gitarre, Zither, Harfe, Klavier usw.). Bei ihnen wird der Ton durch Transversalschwingungen der teils angestrichenen, teils angerissenen, teils angeschlagenen Saiten erzeugt. Die Höhe des Tones ist abhängig von der Länge, der Dicke und Dichtigkeit (dem spezifischen Gewicht) und der Spannung der Saiten. Bei gleichbleibender Dicke, Dichtigkeit und Spannung verhalten sich die Schwingungszahlen der Töne umgekehrt wie die Saitenlängen. Je kürzer also eine Saite, desto höher der Ton. (Diese Tatsache sowie die Verhältnisse der Saitenlängen für die Töne der Tonleiter, die nach dem eben Gesagten die umgekehrten wie die a. S. 115 angegebenen Schwingungszahl-Verhältnisse sind, stellte bereits Pythagoras fest.)

Bei gleicher Länge ist der Ton, den eine Saite gibt, um so höher, je dünner, je spezifisch leichter und je stärker gespannt sie ist.

Diese Beziehungen erklären sich so, daß eine Saite bei gleicher Spannung, also gleicher elastischer Kraft, mit welcher sie in die Gleichgewichtslage zurückkehrt, um so schneller schwingen muß, je geringer ihre Masse, d. h. also ihre Länge oder ihre Dicke und Dichtigkeit ist; stärkere Spannung andererseits erhöht die elastische Kraft und damit ebenfalls die Geschwindigkeit, mit der diese die Masse der Saite in Bewegung setzt.

2. Die Scheiben- oder Flächeninstrumente (Becken, Glocke, Trommel, Pauke usw.). Bei ihnen schwingen Platten oder Häute (Felle, Membranen), sei es als Ganzes oder in mehreren schwingenden Abteilungen, welche durch Knotenlinien voneinander abgegrenzt sind. (Chladnische Klangfiguren.)

3. Die Blasinstrumente (offene und gedeckte Lippenpfeife, Flöte, Trompete, Posaune usw.). Der Ton entsteht durch Longitudinal-Schwingungen der in den Instrumenten befindlichen Luft, über die man hinweg- oder in die man einen schmalen Luftstrom hineinbläst. — Die Wellenlänge des Tones einer gedeckten Pfeife ist das Vierfache ihrer Länge; eine offene Pfeife gibt die Oktave des Tones einer gleich langen gedeckten Pfeife und denselben Ton wie eine halb

so lange gedeckte Pfeife (vorausgesetzt, daß der Querschnitt der Pfeifenrohre derselbe ist).

Eine besondere Art von Blasinstrumenten sind die Zungenwerke (Klarinette, Oboe, Fagott und die Zungenpfeifen der Orgel, welche letztere aber auch Lippenpfeifen besitzt). Bei ihnen wird die Luft durch die Schwingungen elastischer Plättchen zum Tönen gebracht. — Den Zungenpfeifen ähnlich ist das menschliche Stimmorgan: die Stimmbänder oder Stimmlippen werden durch einen Luftstrom in tönende Schwingungen versetzt.

4. Die klingenden Instrumente oder Stabinstrumente (Stimmgabel, Triangel, Zinken der Spielflöte usw.), bei denen elastische Stäbe Transversalschwingungen ausführen.

Tonstärke und Klangfarbe. Die Stärke oder Intensität eines Tones ist von der Schwingungsweite oder Amplitude abhängig. Die Klangfarbe erhält ein Ton durch eine Reihe von Obertönen, die sich dem Grundton beigesellen und dadurch entstehen, daß die schwingenden Körper, welche den Ton hervorbringen (z. B. eine Geigensaite), nicht nur als Ganzes schwingen, sondern sich zugleich in kleinere schwingende Abschnitte zerlegen, die durch in verhältnismäßiger Ruhe befindliche Knoten getrennt werden. Die Schwingungszahlen der Obertöne sind Vielfache der Schwingungszahl des Grundtons. Die Wellen der Obertöne kombinieren sich mit denen des Grundtons, so daß ein Grundton je nach den ihn begleitenden Obertönen verschiedene Wellenform besitzt. (Vgl. S. 110—111.)

Der Nachweis der in den verschiedenen Klängen enthaltenen Obertöne läßt sich mit Hilfe der Helmholtzschen Resonatoren erbringen: Hohlkugeln aus Messing, die auf je einen bestimmten Ton abgestimmt sind und mit einem dünnen Ansatzrohr ins Ohr gesteckt werden, während ein zweites (weiteres) Ansatzrohr, dem ersten gegenüberliegend, zum Auffangen des Tones dient.

Mittönen und Resonanz. Wird eine von zwei denselben Ton gebenden Stimmgabeln (Saiten u. dgl.) zum Tönen gebracht und gleich darauf durch Berührung mit der Hand in ihren Schwingungen unterbrochen, so hört man, daß die andere leise nachtönt. Dies beweist, daß die Schwingungen der ersten Stimmgabel sich durch die Luft auf die zweite übertragen und ein Mitschwingen und Mittönen der letzteren hervorriefen.

Stemmt man eine angeschlagene Stimmgabel auf Holz, so schwingen die Holzteilchen mit, und der Ton der Stimmgabel wird verstärkt. Die gleiche Verstärkung wird durch die Resonanzböden oder Resonanzkästen der verschiedenen musikalischen

Instrumente erreicht, in denen sowohl die Luft wie das Holz zum Mitschwingen veranlaßt wird.

Die Cortischen Fasern in der Schnecke unseres Ohres sind Nervenfasern, die für die verschiedenen Schwingungszahlen der hörbaren Töne abgestimmt sind, so daß bei steigender Schwingungszahl der Reihe nach verschiedene Cortische Fasern — ähnlich dem Phänomen des Mitschwingens — in den nervösen Erregungszustand geraten, der die Wahrnehmung eines Tones vermittelt. Durch diese Einrichtung ist uns die Unterscheidung verschiedener, gleichzeitig auf unser Ohr einwirkender Töne möglich.

Schwebungen. Werden zwei Töne gleichzeitig erzeugt, deren Schwingungszahlen (n und n_1) nur wenig voneinander verschieden sind, so muß sich wegen der ungleichen Schwingungsdauer die Phasendifferenz der in einem bestimmten Punkte zusammentreffenden Wellen fortgesetzt ändern. Ist nun z. B. $n_1 = n + 1$, so werden die beim Beginn einer Sekunde gleichzeitig auftretenden Phasen erst am Ende derselben wieder gleichzeitig auftreten. Hiernach werden nur einmal innerhalb einer Sekunde die Wellen mit gleichen Phasen (Luftverdichtung mit Luftverdichtung, Luftverdünnung mit Luftverdünnung, Verschiebungsrichtung mit Verschiebungsrichtung) zusammentreffen und sich in ihrem Bewegungszustande addieren; mit anderen Worten: einmal innerhalb einer Sekunde wird ein Anschwellen des Tones stattfinden. Ist $n_1 = n + 2$, so addieren sich zweimal innerhalb jeder Sekunde gleiche, sich verstärkende Zustände; ist $n_1 = n + x$, so geschieht dies x mal in einer Sekunde. $x = n_1 - n$ gibt somit die Anzahl der Tonanschwellungen in einer Sekunde an. Diese Tonanschwellungen werden als Stöße oder Schwebungen bezeichnet. Dieselben gewähren ein Mittel, die Verschiedenheit sehr naher Töne festzustellen, die dem Ohre, wenn sie nacheinander erzeugt werden, gleich erscheinen.

v. Helmholtz führte auf das Vorhandensein zahlreicher, schnell aufeinander folgender Schwebungen die Dissonanz zweier Töne zurück. Doch ist damit nach Eugen Dreher keine befriedigende Erklärung der Dissonanz, d. h. des unangenehmen Gefühlseindrucks, den die Zusammenstellung gewisser Töne hervorruft, gegeben, da einmal dieser Gefühlseindruck sich auch einstellt, wenn dissonierende Töne nacheinander erzeugt werden, wodurch das Auftreten von Schwebungen vermieden wird, und da ferner zwei dissonierende Töne ebenfalls keine Schwebungen geben, wenn sie z. B. auf dem Klavier gleichzeitig kurz angeschlagen werden — zum Auftreten von Schwebungen gehört Zeit. Dissonanz und Konsonanz (letzteres ist der angenehme Gefühlseindruck, den die Zusammenstellung gewisser Töne hervorruft) finden vielmehr in psychologischen Vorgängen ihre eigentliche Erklärung, während die Wirksamkeit der Schwebungen lediglich darin besteht, daß sie im Laufe der Zeit die Harmonie der Töne, die, wie erörtert, auch abgesehen von ihnen schon da ist, nuancieren, indem die schnellen Schwebungen, die bei dissonierenden Tönen auftreten, einen schneidenden, schrillen Eindruck hervorrufen, wogegen die bei konsonierenden Tönen sich einstellenden langsamen Schwebungen angenehm auf- und abschwellen.

Phonograph und Grammophon. Der Phonograph (Edison, 1877) und das Grammophon dienen dazu, Tonreihen zu konservieren und nach Verlauf

beliebiger Zeit wieder zum Vorschein kommen zu lassen. Der Phonograph besitzt als wesentlichsten Bestandteil eine dünne Glasmembran, gegen die gesprochen, gesungen, geblasen usw. wird, so daß sie in Schwingungen gerät. Diesen Schwingungen entsprechend macht ein auf der Rückseite der Membran befestigter Stift Eindrücke auf einen Wachsylinder, der sich an ihm, gleichzeitig seitlich vorrückend, vorbeidreht. Wird späterhin der Wachsylinder, der beliebig aufgehoben werden kann, genau so wieder eingestellt wie zu Anfang des Versuchs, an dem Stift vorbeigedreht und dieser leicht gegen den Wachsylinder gedrückt, so vollführt die Membran dieselben Schwingungen wie bei der Erzeugung der Eindrücke auf dem Wachsylinder und sendet daher dieselben Tonwellen und damit dieselben Töne nach außen in die Luft, die vorher auf sie übertragen worden waren.

10. Die Lehre vom Licht.

(Optik.)

Natur des Lichtes. Das Licht beruht ebenso wie der Schall auf einer Wellenbewegung, aber nicht der uns umgebenden Körper, sondern des alle Zwischenräume zwischen den Körperteilen erfüllenden Äthers (Weltäthers oder Lichtäthers). Die Schwingungen sind transversale. (Vgl. den Abschnitt: „Polarisation des Lichtes“.)

Daß der Äther der Träger der Lichtschwingungen ist, erkennt man daran, daß das Licht durch luftleere Räume ungeschwächt hindurchgeht (daß es insbesondere von den Himmelskörpern aus durch den luftleeren Weltraum zu uns gelangt), während anderseits viele Körper das Licht nicht hindurchlassen.

Die Lehre von der Wellenbewegung des Lichts, die sog. Undulations- oder Vibrationstheorie, hat Huyghens (1690) begründet. Vor ihm hatte die Newtonsche Emissions- oder Emanationstheorie (1672) Anerkennung gefunden, wonach das Licht ein äußerst feiner, unwägbarer (imponderabler) Stoff sein sollte, der von den leuchtenden Körpern ausströmte. Der letzteren Theorie widersprechen mancherlei Erscheinungen, z. B. im Gebiete der Farbenlehre; streng widerlegt wurde sie durch die Tatsachen der Interferenz des Lichtes.

Ausbreitung des Lichtes. Trotzdem das Licht in einer Wellenbewegung besteht, breitet es sich doch geradlinig aus, indem von einem Licht aussendenden Mittelpunkte aus die Wellenbewegung sich bis zu einem bestimmten Punkte nur auf dem kürzesten Wege des Radius fortpflanzt, während sie auf allen hiervon abweichenden Wegen durch Interferenz vernichtet wird.

Das von dem Licht aussendenden Mittelpunkte (dem Strahlenpunkte) bis zu einem anderen Punkt sich fortbewegende Licht heißt ein Lichtstrahl; mehrere Lichtstrahlen bilden zusammen ein Strahlenbündel oder Lichtbündel (eigentlich Lichtstrahlenbündel).

Der geradlinige Verlauf der Lichtstrahlen läßt sich an einem Lichtbündel erkennen, das durch eine kleine Öffnung in ein staub- oder raucherfülltes, finstres Zimmer eintritt; ferner an Form und

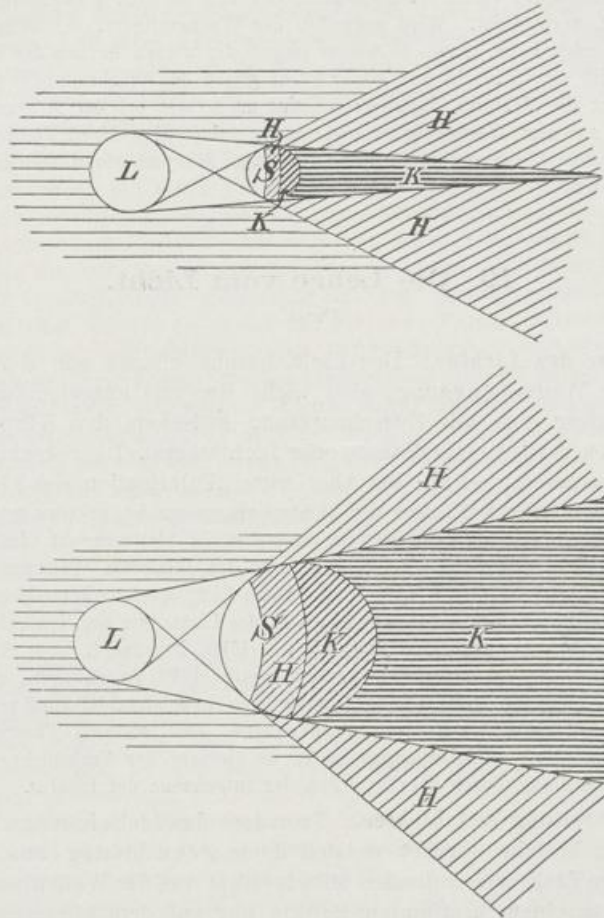


Abb. 67. Kern- und Halbschatten.

(*L* = leuchtender Körper, *S* = Schatten werfender Körper, *K* = Kernschatten, *H* = Halbschatten.)

Größe des Schattens, den ein von einem Lichtbündel getroffener Gegenstand wirft; schließlich an der Wirkung zahlreicher optischer Apparate, z. B. der Camera obscura (vgl. den folgenden Abschnitt).

Die Lichtaussendung wird Leuchten genannt.

Als Schatten bezeichnet man den wenig oder gar nicht beleuchteten Raum hinter einem beleuchteten Körper, der kein Licht hindurchläßt. Man unterscheidet zwei Arten des Schattens: Kernschatten und Halbschatten. Der Kernschatten ist der Raum, dem gar kein Licht zuteil wird, während der den Kernschatten umgebende Raum, der von einigen Punkten des leuchtenden Körpers Licht empfängt, Halbschatten genannt wird. Beide haben kegelförmige Gestalt. (Abb. 67.) Unter dem Ausdruck „Schatten“ wird häufig auch nur das dunkle Flächenstück verstanden, das auf einer den (bzw. die) Schattenkegel schneidenden Fläche entsteht.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes (aus den Verfinsterungen der Jupitermonde — 1675 durch Olaf Römer —, der Aberration des Lichtes der Fixsterne, sowie durch sinnreich gebaute Apparate auch für irdische Entfernungen ermittelt) beträgt

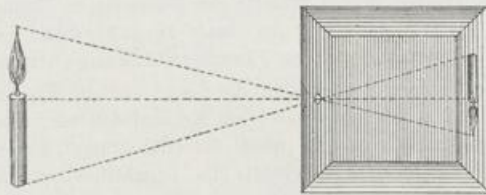


Abb. 68. Camera obscura.

ungefähr 289000 km oder rund 40000 Meilen in der Sekunde (ist also nahezu 1 Million mal so groß als die des Schalles).

Hinsichtlich der Stärke erfolgt die Ausbreitung des Lichtes nach demselben Gesetz wie die des Schalles: die Lichtintensität ist umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung.

Camera obscura. Als Camera obscura oder Dunkelkammer wird ein innen geschwärzter Kasten oder sonstiger Raum bezeichnet, in dessen einer Wand sich eine feine Öffnung befindet, durch welche die von den äußeren Gegenständen ausgehenden Lichtstrahlen eintreten, um im Innern, an der der Öffnung gegenüberliegenden Wand, die gewöhnlich durch eine mattgeschliffene Glasscheibe ersetzt wird, ein Bild der äußeren Gegenstände zu entwerfen. Wegen des geradlinigen Verlaufs der Lichtstrahlen ist, wie die in Abb. 68 ausgeführte Konstruktion erkennen läßt, das entstehende Bild ein umgekehrtes (oben und unten und desgl. rechts und links sind gegenüber der wirklichen Orientierung an den äußeren Gegenständen vertauscht).

Die Camera obscura an photographischen Apparaten hat statt der einfachen Öffnung, durch welche die Lichtstrahlen eintreten, eine Öffnung, in die eine Sammellinse eingesetzt ist. Letztere macht die Bilder in der Camera deutlicher und schärfer.

Selbstleuchtende Körper. Körper, die das Licht, welches sie aussenden, selbständig hervorbringen, heißen selbstleuchtende Körper. Man kann zwei Arten derselben unterscheiden: glühende und lumineszierende Körper.

Die glühenden Körper senden Licht im Zusammenhange mit einer Erhöhung der Temperatur aus; bei den lumineszierenden Körpern erfolgt die Lichtentwicklung ohne entsprechende Temperatursteigerung.

Zum Glühen können feste, flüssige und gasförmige Körper gelangen. Das von festen und flüssigen glühenden Körpern ausgesendete Licht ist seiner Art nach von der Temperatur abhängig, im allgemeinen aber nicht vom Material. Die Glut schreitet mit steigender Temperatur von der Rotglut (bei ca. 500°) bis zur Weißglut (ungefähr 1000° bis 1600°) fort, indem zu den weniger brechbaren Strahlen (vgl. den Abschnitt: „Zerstreuung oder Dispersion des Lichtes“) allmählich die übrigen Strahlenarten hinzutreten (Drapersches Gesetz). Glühende Gase (z. B. Metalldämpfe in der Flamme des Bunsenschen Brenners) vermögen nur gewisse — je nach der Natur des Gases verschiedene — Strahlenarten auszusenden, so daß verschiedenartige Flammenfärbungen zustande kommen.

Beispiele glühender Körper sind die Sonne und die Fixsterne; das elektrische Glühlicht und Bogenlicht (wobei ein Kohlenfaden oder zwei Kohlenstäbe glühen); das Auersche Gasglühlicht (wobei der Glühstrumpf, aus einem Gemisch von Tor- und Ceroxyd bestehend, glüht); die Leuchtflammen (in denen durch chemische Zersetzung aus dem Brennmaterial ausgeschiedener, fein verteilter Kohlenstoff sich in glühendem Zustand befindet) usw.

Für die lumineszierenden Körper hat das zuvor erwähnte Drapersche Gesetz keine Geltung. — Je nach der Anregung, der die Lumineszenz ihre Entstehung verdankt, kann man verschiedene Arten derselben unterscheiden, die in den späteren Abschnitten „Lumineszenz“ und „Fluoreszenz“ eingehendere Besprechung finden werden.

Licht empfangende Körper. Wenn eine gewisse Menge Licht auf einen Körper fällt, so verhält es sich in dreifach verschiedener Art: ein Teil wird unmittelbar an der Oberfläche oder von den derselben nahe gelegenen Schichten des Körpers zurückgeworfen oder reflektiert; ein zweiter Teil dringt in den Körper ein und wird absorbiert; ein dritter Teil geht durch den Körper hindurch: wird hindurchgelassen.

Bei einer gewissen Beschaffenheit der Körper kommt der dritte Teil des Lichtes in Wegfall, so daß also alles nicht reflektierte Licht von den Körpern absorbiert wird; solche Körper (die kein Licht hindurchlassen) heißen undurchsichtig; die übrigen teils durchsichtig, teils durchscheinend. Durchsichtig werden diejenigen Körper genannt, durch welche die Lichtstrahlen derartig ungehindert hindurchgehen, daß Gegenstände, von

denen sie ausgehen, vollkommen erkennbar sind; durchscheinende Körper lassen das Licht nur als hellen Schein hindurch, ohne daß Gegenstände durch sie erblickt oder erkannt werden könnten. Die Undurchsichtigkeit der Körper ist in erheblichem Maße von der Schichtdicke abhängig; so ist z. B. Gold im allgemeinen undurchsichtig, fein ausgewalzt dagegen durchscheinend (und zwar mit grüner Farbe). — Ein Körper, der Licht weder hindurchläßt noch reflektiert, sondern gänzlich absorbiert, heißt ein vollkommen schwarzer Körper (Lampenuß, Platinschwarz).

Körper mit glatten, polierten Oberflächen, welche die auf sie fallenden Lichtstrahlen regelmäßig in bestimmter Richtung reflektieren, heißen spiegelnde Körper. Körper mit rauher Oberfläche werfen die Lichtstrahlen unregelmäßig nach allen Richtungen zurück: zerstreute Reflexion. Diese ist es, wodurch uns die Körper sichtbar werden. Körper, welche fast kein Licht reflektieren, wie die Luft, sind unsichtbar.

Wenn uns trotzdem die Luft scheinbar in dem Falle sichtbar wird, wo ein Lichtbündel — vom Standpunkt unseres Auges aus gerechnet — seitwärts in sie eintritt, so beruht dies darauf, daß in der Luft Staubeilchen („Sonnenstäubchen“) suspendiert sind, welche die auf sie fallenden Lichtstrahlen reflektieren, so daß dieselben auf diese Weise zum Teil in unser Auge gelangen. Ein Lichtstrahl, der an unserm Auge vorbeigeht, ist an sich unsichtbar oder dunkel; nur wenn er in unser Auge eintritt und eine Reizwirkung auf die Netzhaut ausübt, entsteht eine Lichtempfindung oder haben wir eine Gesichtswahrnehmung.

Photometrie. Die Lichtstärke eines leuchtenden Körpers wird mit dem Photometer gemessen. Das Bunsensche Photometer (1847) besitzt als Hauptbestandteil einen Papierschirm, der an einer Stelle durch einen Ölfleck durchscheinend gemacht ist. Erfährt dieser Schirm von beiden Seiten her ungleich starke Beleuchtung — auf der einen Seite durch den zu untersuchenden leuchtenden Körper, auf der andern durch eine sog. Normalkerze —, so sieht der Fleck auf der stärker beleuchteten Seite dunkler, auf der schwächer beleuchteten Seite heller aus als der übrige Teil des Schirms; was seinen Grund darin hat, daß befettetes Papier mehr Licht hindurchläßt und weniger reflektiert als unbefettetes Papier. Soll der Fleck sich von dem übrigen Papier nicht unterscheiden, also scheinbar verschwinden, so muß der Schirm von beiden Seiten her gleich stark beleuchtet werden. Dies kann durch Veränderung der Entfernung der einen Lichtquelle — z. B. der Normalkerze — vom Schirm geschehen. Aus dem Vergleich der Entfernungen beider Lichtquellen vom Schirm bei der jetzt herrschenden gleichen Leuchtstärke läßt sich dann das für die gleiche Entfernung herrschende Verhältnis der Leuchtstärke des zu untersuchenden Körpers zu dem der Normalkerze — auf Grund des Gesetzes über die Ausbreitung des Lichtes, S. 121 — berechnen. Dieses Verhältnis ist dann die Lichtstärke des Körpers, da die Leuchtstärke der Normalkerze = 1 gesetzt wird.

Reflexion des Lichtes (Katoptrik). Die Lehre von der regelmäßigen Reflexion (oder Spiegelung) des Lichtes — die Katoptrik — beschäftigt sich hauptsächlich mit der Reflexion an ebenen oder Planspiegeln und an kugelförmigen (sphärischen) Konkav- und Konvexspiegeln.

Für die Richtung eines reflektierten Lichtstrahls gilt dasselbe Gesetz wie für die Zurückwerfung einer elastischen Kugel von einer festen Wand (S. 106—107): Der Einfallswinkel ist gleich dem Ausfallswinkel (oder Reflexionswinkel). Hervorzuheben ist, daß der reflektierte Strahl in der durch den einfallenden Strahl und das Einfallslot bestimmten Ebene liegt.

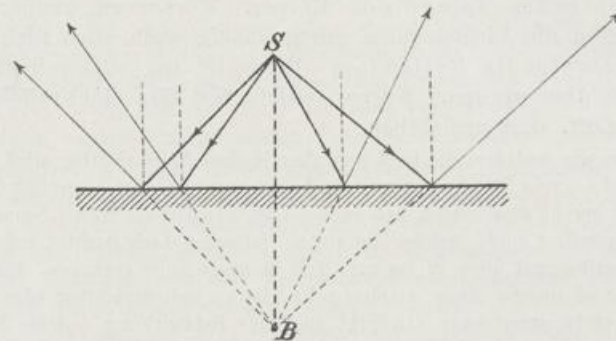


Abb. 69. Reflexion an ebenen Spiegeln.

Auf Grund dieses Gesetzes kommen die von einem Strahlenpunkte (Abb. 69, *S*) ausgehenden Lichtstrahlen, die auf einen ebenen Spiegel fallen, von demselben in derartigen Richtungen zurück, als wären sie von einem Punkte ausgegangen, der ebenso weit hinter der Spiegelebene liegt, wie der Strahlenpunkt vor derselben, und dessen Verbindungslinie mit dem Strahlenpunkte die Spiegelebene rechtwinklig schneidet. Dieser Punkt heißt Bildpunkt (Abb. 69, *B*).

Von einem Gegenstande, der aus zahlreichen Strahlenpunkten besteht, gibt ein ebener Spiegel ein optisches Bild, das dem Gegenstande an Größe gleich, aber symmetrisch zu ihm ist; außerdem ist es kein reelles, sondern nur ein scheinbares oder virtuelles Bild.

Unter einem virtuellen Bilde versteht man in der Optik ein dem Auge sich darbietendes Bild, das aber nicht auf irgend einer Fläche objektiv sichtbar werden kann, insbesondere nicht auf einem Schirm, d. h. einer — gewöhnlich weiß gefärbten —

Papier- oder Leinwandfläche aufgefangen werden kann. Läßt sich dagegen ein optisches Bild auffangen und wird damit objektiv sichtbar, so nennt man es ein reelles Bild.

Dieser Unterschied läßt sich — mathematisch bestimmter — auch auf folgende Weise ausdrücken: Der Bildpunkt eines Strahlenpunktes heißt reell, wenn sich in ihm die reflektierten Strahlen selbst, und virtuell, wenn sich in ihm ihre Rückverlängerungen schneiden.¹⁾

Der Weg, den das Licht bei der Reflexion nach dem angegebenen Gesetze einschlägt, ist der kürzeste von allen Wegen, die vom Ausgangspunkte bis zu einem im reflektierten Strahl angenommenen Endpunkte unter Berührung der Spiegeloberfläche möglich sind; auf allen anderen Wegen außer dem nach dem Reflexionsgesetz eingeschlagenen würden der einfallende und der reflektierte Strahl ungleiche Winkel mit der Spiegeloberfläche bilden. (Hero von Alexandrien, 100 v. Chr.)

Aus dem Reflexionsgesetz des Lichtes folgt weiter (was eine einfache geometrische Konstruktion erweist), daß ein Spiegel, in dem sich eine Person ganz sehen will, nur die halbe Höhe derselben zu haben braucht.

Anwendungen des ebenen Spiegels sind der Heliostat, der Spiegelsextant, die Poggendorfsche Spiegelablesung, die bei feinen Messungen Verwendung findet, sowie der Winkelspiegel und das Kaleidoskop.

Der Heliostat ist ein Apparat, mit Hilfe dessen ein Bündel Sonnenstrahlen stets in derselben Richtung reflektiert wird; es geschieht dies durch einen Spiegel, der mittels eines Uhrwerks derartig bewegt wird, daß er dem (täglichen) Gange der Sonne folgt.

Der Spiegelsextant wird zur Messung von Winkeln (Winkelabständen fernliegender Orte, z. B. Sterne, hauptsächlich auf hoher See) benutzt und beruht in seiner Anwendung auf der aus dem Reflexionsgesetz des Lichtes folgenden Tatsache, daß bei der Drehung eines ebenen Spiegels (um eine zur Einfallsebene senkrechte Achse) der reflektierte Strahl sich (bei unverändertem einfallenden Strahl) um den doppelten Winkel dreht wie der Spiegel selbst.

Bei der Spiegelablesung werden die geringen Ausschläge eines Zeigers (wie er bei verschiedenen Meßinstrumenten vorkommt) dadurch vergrößert, daß an demselben ein Spiegel befestigt wird, auf den ein Bündel Lichtstrahlen fällt. Das reflektierte Bündel läßt man auf einen entfernten Schirm fallen, wo es einen Lichtfleck erzeugt, der sich weithin bewegt, wenn auch der Zeiger nebst Spiegel nur kleine Drehungen vollführt. Eine andere Art der Spiegelablesung erfolgt mittels eines Fernrohrs und einer darunter angebrachten Skala, denen der Zeiger nebst Spiegel gegenübersteht.

Ein Winkelspiegel besteht aus zwei unter einem Winkel gegeneinander geneigten Planspiegeln. Befindet sich zwischen beiden ein Gegenstand, so erhält man von demselben eine größere Anzahl von Spiegelbildern in jedem der Spiegel, da jedes einzelne in einem Spiegel entstehende Bild in dem andern Spiegel

¹⁾ „Virtuell“ von virtus, die Kraft, d. h. der Kraft nach vorhanden.

eine weitere Spiegelung erfährt. Alle Spiegelbilder sind kreisförmig um die Kante angeordnet, in der beide Spiegel zusammenstoßen. (Vgl. Abb. 70.)

Stellt man zwei Planspiegel einander parallel gegenüber, so gibt es in jedem Spiegel eine Reihe von unendlich vielen Spiegelbildern eines zwischen beiden Spiegeln befindlichen Gegenstandes, die in immer weitere Ferne rücken.

Ein Kaleidoskop (Brewster, 1817) ist ein Rohr, in dem sich zwei lange, schmale, unter einem Winkel von 60° gegeneinander geneigte Spiegel befinden. (Abb. 70 zeigt den Querschnitt durch ein Kaleidoskop und die Konstruktion der Spiegelbilder.)

Man sieht nun in das eine Ende des Rohres hinein, während sich am andern Ende bunte Glasstücke u. dgl. befinden, die samt den von ihnen entworfenen Spiegelbildern zur Entstehung bunter Sterne Veranlassung geben. Sind nämlich S_1 und S_2 die beiden Spiegel, R_1 und R_2 ihre Rückverlängerungen, L ein leuchtender Punkt, so entsteht von demselben im Spiegel S_1 das Spiegelbild A_1 , von

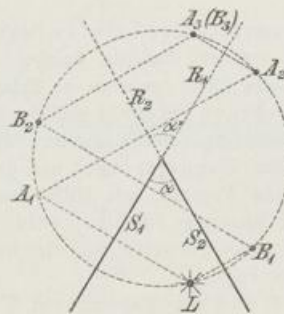


Abb. 70. Kaleidoskop.

diesem in der Rückverlängerung R_2 des Spiegels S_2 das Spiegelbild A_2 , von diesem in R_1 das Spiegelbild A_3 . Dieses liefert kein weiteres Spiegelbild, da es zwischen die Rückverlängerungen beider Spiegel fällt. Im Spiegel S_2 liefert L das Spiegelbild B_1 , dieses in S_1 das Spiegelbild B_2 , dieses in R_2 das Spiegelbild B_3 , welches mit A_3 zusammenfällt, da der Neigungswinkel von 60° , den die Spiegel miteinander bilden, eine gerade Anzahl von Malen in 360° enthalten ist.

Ein kugelförmiger oder sphärischer Konkavspiegel (auch kurzweg Hohlspiegel genannt, Abb. 71) ist ein Stück einer Kugelfläche; die Verbindungslinie des vor dem Spiegel liegenden Mittelpunktes der Kugel — des Krümmungsmittelpunktes, M — mit der Mitte (A) der Spiegelfläche heißt die Achse des Spiegels (MA). Der in dieser Achse in der Mitte zwischen A und M liegende Punkt (F) heißt der Brennpunkt oder Fokus des Spiegels, seine Entfernung von der Spiegelfläche (AF) die Brennweite des Spiegels.

Der Name Brennpunkt schreibt sich daher, daß alle parallel der Achse und im nahen Abstände von ihr einfallenden Lichtstrahlen sich nach erfolgter Reflexion annähernd im Brennpunkte vereinigen, so daß daselbst nicht nur helles Licht, sondern auch hohe Wärme entsteht. Umgekehrt werden alle vom Brennpunkte aus auf den Spiegel fallenden Strahlen parallel der Achse zurückgeworfen. (Leuchtfeuer.)

Das Einfallslot ist bei sphärischen Spiegeln ein nach dem Punkte, in welchem der einfallende Strahl die Spiegelfläche trifft, gezogener Radius — Abb. 71, MD .

Den genaueren Verlauf der parallel der Achse einfallenden Strahlen zeigt Abb. 72. Nach der Reflexion treten die Strahlen derartig zusammen, daß sie eine gekrümmte Fläche bilden, die Brennfläche oder katakaustische Fläche heißt. Eine durch die Achse gelegte Ebene schneidet dieselbe in einer Kurve (ABC), die im Brennpunkte B eine Spitze besitzt und die wir Brennkurve

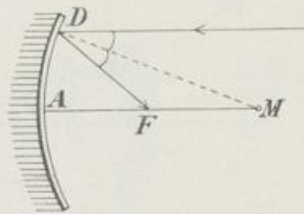


Abb. 71. Reflexion an Konkavspiegeln.

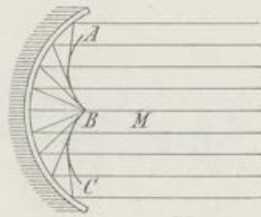


Abb. 72. Brennkurve und Brennfläche.

nennen wollen. Gewöhnlich wird sie als Brennlinie oder katakaustische Linie bezeichnet; doch möchte ich den Namen „Brennlinie“ für die Reflexion an zylindrischen Hohlspiegeln reservieren, bei denen eine Brennlinie als gerade Linie, parallel der Längsachse des Zylinders, an die Stelle des Brennpunktes tritt.

Genau in einem Punkte vereinigen sich die parallel der Achse einfallenden Strahlen bei parabolischen Spiegeln; dieser Punkt ist der Brennpunkt des Umdrehungsparaboloids. Bei zylindrischen Spiegeln mit parabolischem Querschnitt erfolgt die genaue Vereinigung der gleichen Strahlen in der Brennlinie.

Die Konstruktion des Bildpunktes eines Strahlenpunktes (Abb. 73a und 73b: G') erfolgt allgemein durch zwei Strahlen: den parallel der Achse verlaufenden ($G'D$) und den durch den Krümmungsmittelpunkt gehenden Strahl ($G'M$). Ersterer wird so zurückgeworfen, daß der reflektierte Strahl durch den Brennpunkt geht (DF), letzterer wird in sich selbst reflektiert. Der Schnittpunkt beider reflektierter Strahlen (B') ist der Bildpunkt von G' . Der Bildpunkt von G ist B , das Bild des Pfeils GG' also BB' .

Wenn in Abb. 73a der Gegenstand durch den Pfeil BB' dargestellt wird, so ist das von dem Spiegel gelieferte Bild desselben GG' .

Hiernach ergeben sich folgende Beziehungen zwischen Gegenstand und Bild:

Befindet sich der Gegenstand im Unendlichen vor dem Spiegel, so liegt das Bild im Brennpunkt und ist auf einen Punkt reduziert; es ist reell.

Befindet sich der Gegenstand zwischen dem Unendlichen und dem Krümmungsmittelpunkt, so liegt das Bild zwischen dem Brennpunkt und dem Krümmungsmittelpunkt; es ist reell, umgekehrt und verkleinert. Nähert sich der Gegenstand dem Krümmungsmittelpunkt (und damit dem Brennpunkt und dem Spiegel), so bewegt sich das Bild in entgegengesetzter Richtung,

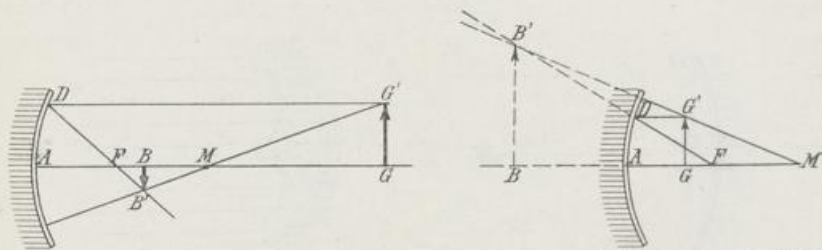


Abb. 73 a. Konkavspiegel; Konstruktion der Bilder. Abb. 73 b. Konkavspiegel; Konstruktion der Bilder.

also auf den Krümmungsmittelpunkt und den Gegenstand zu, von dem Brennpunkt und dem Spiegel fort, und wird dabei größer.

Hat der Gegenstand den Krümmungsmittelpunkt erreicht, so fällt auch das Bild in den Krümmungsmittelpunkt und ist ebenso groß wie der Gegenstand (deckt sich aber nicht mit ihm, bleibt vielmehr umgekehrt).

Befindet sich der Gegenstand zwischen Krümmungsmittelpunkt und Brennpunkt, so liegt das Bild zwischen dem Krümmungsmittelpunkt und dem Unendlichen; es ist reell, umgekehrt und vergrößert. Nähert sich der Gegenstand dem Brennpunkt (und damit dem Spiegel), so bewegt sich das Bild in entgegengesetzter Richtung, also von Gegenstand, Krümmungsmittelpunkt, Brennpunkt und Spiegel fort, nach dem Unendlichen zu, und wird dabei fortgesetzt größer.

Hat der Gegenstand den Brennpunkt erreicht, so liegt das Bild im Unendlichen und ist unendlich groß, oder besser gesagt:

es gibt kein Bild mehr; alle vom Brennpunkt ausgehenden Strahlen werden parallel der Achse reflektiert.

Befindet sich der Gegenstand zwischen dem Brennpunkt und der Spiegelfläche (Abb. 73b), so entsteht hinter der Spiegelfläche ein virtuelles, aufrechtes und vergrößertes Bild. Beim Überschreiten des Brennpunktes seitens des Gegenstandes springt das Bild gewissermaßen vom Unendlichen vor dem Spiegel ins Unendliche hinter dem Spiegel. — Nähert sich der Gegenstand

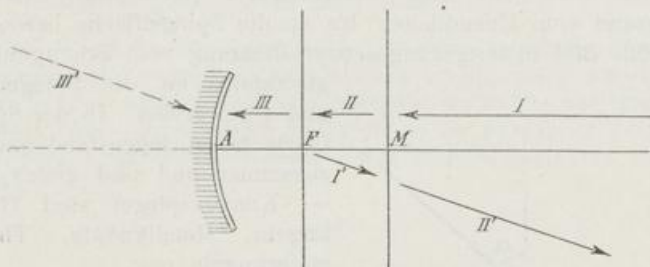


Abb. 74. Konkavspiegel; Übersicht der Beziehungen zwischen Gegenstand und Bild.
Gegenstand: I II III; Bild: I' II' III'.

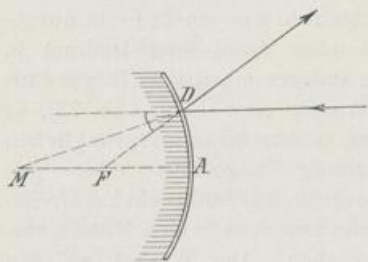


Abb. 75. Reflexion an Konvexspiegeln.

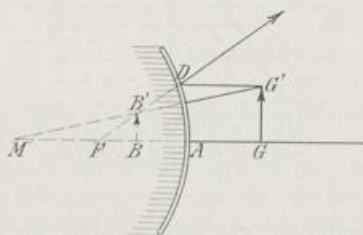


Abb. 76. Konvexspiegel; Konstruktion der Bilder.

der Spiegelfläche, so nähert sich derselben auch das Bild, bewegt sich also wiederum in entgegengesetzter Richtung wie der Gegenstand, auf denselben zu, und wird dabei kleiner.

Fällt der Gegenstand (soweit dies möglich ist) in die Spiegelfläche selbst, so tut dies auch das Bild, ist ebensogroß wie der Gegenstand und deckt sich mit ihm.

Abb. 74 veranschaulicht das eben Ausgeführte schematisch.

Die schräge Richtung der Pfeile I' II' III' deutet die Größenänderung der Bilder an.

Bei einer in umgekehrter Richtung wie eben beschrieben

stattfindenden Bewegung des Gegenstandes bewegt sich auch das Bild in umgekehrter Richtung.

Die Hohlspiegel finden teils als Scheinwerfer oder Reflektoren, teils als Toilettenspiegel (Rasierspiegel) Verwendung.

Bei einem kugelförmigen Konvexspiegel (Abb. 75) ist der Brennpunkt (F) virtuell und liegt hinter dem Spiegel. Der Bildpunkt jedes Strahlenpunktes ist virtuell und liegt zwischen Spiegelfläche und Brennpunkt. — Die Bilder von Gegenständen sind stets virtuell, aufrecht und verkleinert. (Abb. 76.) Wird ein Gegenstand vom Unendlichen bis an die Spiegelfläche bewegt, so rückt das Bild in entgegengesetzter Richtung vom Brennpunkt bis gleichfalls an die Spiegelfläche und wird größer. In der Spiegelfläche fallen Gegenstand und Bild zusammen und sind gleich groß. — Konvexspiegel sind Gartenkugeln, Metallknöpfe, Thermometerkugeln usw.

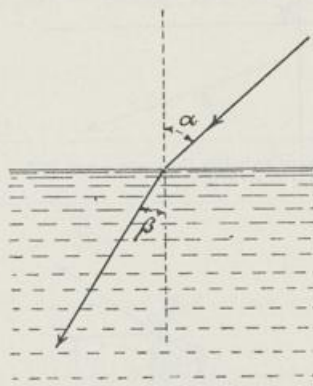


Abb. 77. Brechung des Lichtes.

laufende Strahlen werden nicht gebrochen. Der Winkel, welchen der einfallende Strahl mit dem Einfallslot bildet, heißt der Einfallswinkel (α), der Winkel, welchen der gebrochene Strahl mit dem Einfallslot bildet, der Brechungswinkel (β). In den genannten Beispielen (Luft — Wasser, Luft — Glas) ist der Brechungswinkel kleiner als der Einfallswinkel.

Die Lehre von der Brechung oder Refraktion des Lichtes heißt Dioptrik.

Allgemein gilt, daß der Lichtstrahl, wenn er aus einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Mittel übergeht, dem Einfallslot zugebrochen, im umgekehrten Falle vom Einfallslot weg gebrochen wird.

Von verschiedenen Mitteln wird das Licht ungleich stark

gebrochen. Das Verhältnis des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels ist für dieselben Mittel, welches auch die Größe der Winkel sein mag, konstant (d. h. unabänderlich oder stets von gleichem Werte). (Snelliussches Brechungsgesetz, 1621; Descartes entdeckte dasselbe Gesetz unabhängig von Snellius.) Das genannte Verhältnis heißt Brechungsexponent. Derselbe hängt von der Natur des brechenden Mittels ab, insbesondere von dessen spezifischem Gewicht; ferner von der Temperatur. Er ist für (Luft und) Wasser $= \frac{4}{3}$, für (Luft und) Glas $= \frac{3}{2}$.

Der Weg, den das Licht bei der Brechung gemäß dem Snelliusschen Brechungsgesetz einschlägt, ist nach Fermat derartig, daß er von allen möglichen Wegen zwischen dem Ausgangspunkte des Lichtes und einem im gebrochenen Strahl angenommenen Endpunkte in der kürzesten Zeit zurückgelegt wird. (Vgl. das entsprechende Gesetz über die Reflexion des Lichtes, S. 125.)

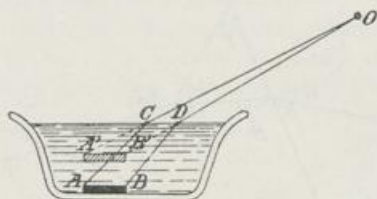


Abb. 78. Scheinbare Ortsveränderung unter Wasser befindlicher Gegenstände.

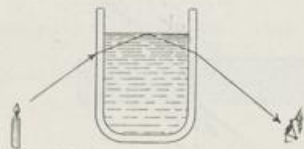


Abb. 79. Totale Reflexion.

Infolge der Lichtbrechung erscheinen unter Wasser befindliche Gegenstände gehoben, wie Abb. 78 veranschaulicht, wo die von A und B kommenden Lichtstrahlen AC und BD bei ihrem Austritt aus dem Wasser derartig gebrochen werden, daß sie die Richtungen CO und DO einschlagen; befindet sich nun in O das Auge eines Beobachters, so versetzt es den Gegenstand in der Richtung der geraden Linien OCA' und ODB' nach $A'B'$.

Wenn ein Lichtstrahl aus einem optisch dichteren Mittel an die Grenze eines optisch dünneren Mittels herantritt, so wird er nur dann in letzteres eintreten können, wenn der Einfallswinkel sich noch so weit von 90° unterscheidet, daß der Brechungswinkel nicht 90° oder mehr beträgt. Ist der Einfallswinkel so groß — d. h. fällt der Lichtstrahl so schräg oder flach auf die Grenzfläche beider Mittel —, daß der Brechungswinkel über 90° beträgt, so wird der Lichtstrahl nicht in das dünnere Mittel hineingebrochen, sondern wieder in das dichtere Mittel reflektiert — totale Reflexion. Die totale Reflexion hat ihren Namen daher, weil sie vollkommener ist als jede Reflexion an Spiegelflächen. Sie läßt sich z. B. beobachten, wenn man von unten her schräg gegen die Oberfläche des Wassers in einem Glase blickt. (Siehe Abb. 79.) Auf totaler Reflexion an verschiedenen dichten horizontal gelagerten Luftschichten beruhen die Luftspiegelungen, speziell die Fata morgana.

Wenn Licht durch planparallele Platten, d. h. durch einen von zwei parallelen Ebenen begrenzten Körper, hindurchtritt (Abb. 80), so ist, wenn sich vor und hinter dem Körper dasselbe Mittel befindet, der austretende Lichtstrahl gegen den ursprünglichen etwas verschoben, aber parallel zu ihm, denn da Winkel $\beta = \gamma$ ist, so muß auch (wegen der an beiden Ebenen gleichartigen Brechung) Winkel $\alpha = \delta$ sein.

Eine bleibende Ablenkung erleidet dagegen ein Lichtstrahl, der durch ein von zwei nicht parallelen ebenen Flächen begrenztes Mittel — ein Prisma (im optischen Sinne des Wortes) hindurchtritt. (Abb. 81.) Die Durchschnitkante (C) der lichtbrechenden Flächen heißt die brechende Kante, der Neigungswinkel der Flächen (γ) heißt der brechende Winkel des Prismas. Der von dem Strahlenpunkte A kommende Lichtstrahl AB verläuft in der

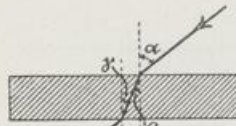


Abb. 80. Lichtbrechung in planparallelen Platten.

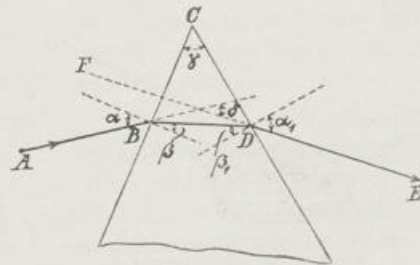


Abb. 81. Lichtbrechung in Prismen.

Richtung BD durch das Prisma und gelangt auf dem Wege DE in ein bei E befindliches Auge. Das Auge sieht den Strahlenpunkt in der Richtung EDF , also nach der brechenden Kante hin verschoben. Ist n der Brechungsexponent des Stoffes, aus dem das Prisma besteht, so ist $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1}$. Die gesamte Ablenkung des Lichtstrahls wird durch den Winkel δ angegeben, den die Richtungen des Lichtstrahls vor dem Eintritt in das Prisma und nach dem Austritt aus demselben miteinander bilden. Die Größe dieser Ablenkung hängt von drei Größen ab: dem Brechungsexponenten n , der Größe des brechenden Winkels γ und dem Einfallswinkel α .

Lichtbrechung in Linsen. Von besonderer Wichtigkeit ist die Lichtbrechung in Linsen, d. h. ganz oder teilweise kugelförmig begrenzten Körpern.

Es gibt folgende verschiedene Linsen-Formen: 1) die Sammellinsen oder konvergenten Linsen, wozu die bikonvexen (Abb. 82, *a*), die plankonvexen (Abb. 82, *b*) und die konkav-konvexen Linsen (Abb. 82, *c*) gehören; und 2) die Zerstreuungslinsen oder divergenten Linsen, wozu die bikonkaven (Abb. 82, *d*), die

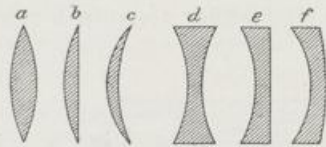


Abb. 82. Linsenformen.

plankonkaven (Abb. 82, *e*) und die konvex-konkaven Linsen (Abb. 82, *f*) gehören. Bei jenen, den Sammellinsen, ist die Mitte stärker als der Rand, bei diesen, den Zerstreuungslinsen, ist umgekehrt der Rand stärker als die Mitte.

Von den Sammellinsen werden die Lichtstrahlen der Achse (d. h. hier der Verbindungslinie der Krümmungsmittelpunkte der beiden die Linse begrenzenden Flächen)¹⁾ zugebrochen, von den

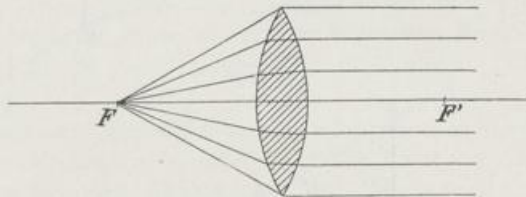


Abb. 83. Lichtbrechung in Konvexlinsen.

Zerstreuungslinsen von der Achse weggebrochen; nur der Achsenstrahl, d. h. der längs der Achse einfallende Strahl, geht ungebrochen durch die Linse hindurch.

Die wichtigsten von diesen Linsen sind die bikonvexe und die bikonkave.

Lichtstrahlen, welche parallel mit der Achse auf eine bikonvexe Linse — oder kurz: Konvexlinse — fallen, vereinigen sich hinter der Linse annähernd in einem Punkte, dem Brennpunkte oder Fokus (Abb. 83, *F*). Derselbe liegt in der Achse; seine

¹⁾ Ist eine Begrenzungsfläche eine Ebene, so gilt als Achse das vom Krümmungsmittelpunkt der andern (kugelförmigen) Begrenzungsfläche auf die Ebene gefällte Lot.

Entfernung von der brechenden Fläche der Linse — bzw., wenn die Linse dünn genug ist, von dem Mittelpunkt derselben: dem optischen Mittelpunkt — heißt die Brennweite.

Genauer entsteht auch hier durch die Vereinigung der gebrochenen Strahlen (ähnlich wie bei den Hohlspiegeln) eine Brennfläche (statt eines Brennpunktes); dieselbe heißt diakaustische Fläche. Am nächsten kommen dem Brennpunkte nach der Brechung diejenigen Strahlen, die vor der Linse

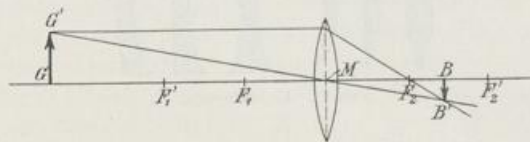


Abb. 84 a.

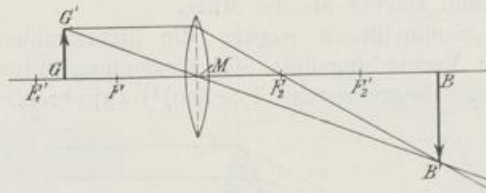


Abb. 84 b.

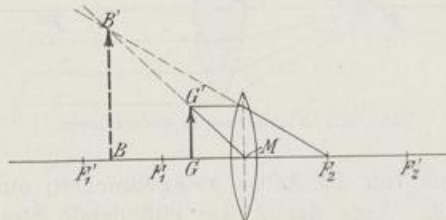


Abb. 84 c.

Konvexlinsen; Konstruktion der Bilder. (GG' = Gegenstand; BB' = Bild; M = optischer Mittelpunkt; F_1 und F_2 = Brennpunkte; $MF_1 = MF_2$ = einfache, $MF_1' = MF_2'$ = doppelte Brennweite.)

nahe der Achse parallel zu ihr verlaufen. Und umgekehrt treten von den Strahlen, die von einer in einem Brennpunkte befindlichen Lichtquelle ausgehen, diejenigen auf der andern Seite der Linse am angenähertsten parallel zur Achse aus, die vorher nicht zu sehr geneigt zur Achse verliefen.

Ein Lichtstrahl, welcher durch den optischen Mittelpunkt geht, erleidet an beiden Flächen der Linse gleiche und entgegengesetzte Brechungen; es wird daher seine Richtung, wenn die Dicke der

Linse als verschwindend klein betrachtet werden kann, durch die Brechung nicht geändert.¹⁾

Mit Hilfe von Strahlen, die der Achse parallel sind, und solchen, die durch den optischen Mittelpunkt gehen, kann man, wenn die Brennweite der Linse bekannt ist, die von der Linse erzeugten Bilder von Gegenständen konstruieren, wie die Abbildungen 84 a—84 e zeigen.

Es ergeben sich hiernach folgende Beziehungen zwischen Gegenstand und Bild:

Befindet sich der Gegenstand im Unendlichen vor der Linse, so liegt das Bild im Brennpunkt (F_2) hinter der Linse und ist auf einen Punkt reduziert; es ist reell.

Befindet sich der Gegenstand zwischen dem Unendlichen und der doppelten Brennweite (MF'_1) vor der Linse, so liegt das Bild zwischen der einfachen und doppelten Brennweite (MF_2 und MF'_2) hinter der Linse; es ist reell, umgekehrt und verkleinert. Nähert sich der Gegenstand der Linse, so rückt das Bild von der Linse fort, bewegt sich also in gleicher Richtung wie der Gegenstand, und wird größer. (Abb. 84 a.)

Ist die Entfernung des Gegenstandes von der Linse gleich der doppelten Brennweite (MF'_1) so ist auch die Entfernung des Bildes von der Linse gleich der doppelten Brennweite (MF'_2), und das Bild ist reell, umgekehrt und ebenso groß wie der Gegenstand.

Befindet sich der Gegenstand zwischen der doppelten und einfachen Brennweite (MF'_1 und MF_1) vor der Linse, so liegt das Bild zwischen der doppelten Brennweite (MF'_2) und dem Unendlichen hinter der Linse; es ist reell, umgekehrt und vergrößert. Nähert sich der Gegenstand der Linse, so rückt das Bild von der Linse fort, bewegt sich also wiederum in gleicher Richtung wie der Gegenstand, und wird größer. (Abb. 84 b.)

Ist die Entfernung des Gegenstandes von der Linse gleich der einfachen Brennweite (MF_1), so liegt das Bild im Unendlichen und ist unendlich groß, oder besser gesagt: es gibt kein

¹⁾ Streng genommen ist nach Gauß (1840) der optische Mittelpunkt durch zwei innerhalb der Linse in der Achse gelegene Punkte, die sog. Hauptpunkte, zu ersetzen, welche die Eigenschaft haben, daß, wenn die Richtung des einfallenden Strahls durch den einen Hauptpunkt geht, die Richtung des gebrochenen Strahls durch den andern Hauptpunkt, parallel zum einfallenden Strahl, verläuft.

Bild; die gebrochenen Strahlen verlassen die Linse parallel zueinander.

Befindet sich der Gegenstand zwischen der einfachen Brennweite vor der Linse und der Linse selbst, so entsteht

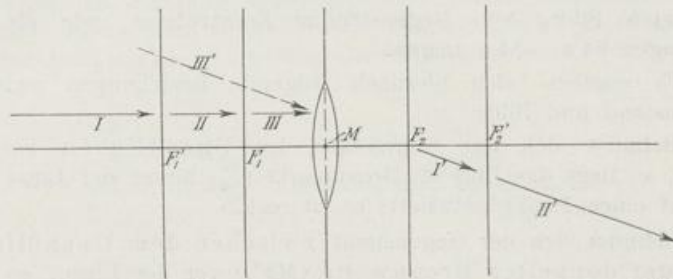


Abb. 85. Konvexlinse; Übersicht der Beziehungen zwischen Gegenstand und Bild. Gegenstand: I II III; Bild: I' II' III'.

ein virtuelles, aufrechtes und vergrößertes Bild, und zwar gleichfalls vor der Linse und in weiterer Entfernung von der Linse, als sie der Gegenstand besitzt. Je näher der Gegenstand der Linse rückt, desto mehr nähert sich auch das Bild der Linse

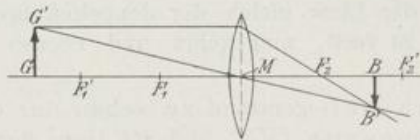


Abb. 86 a.

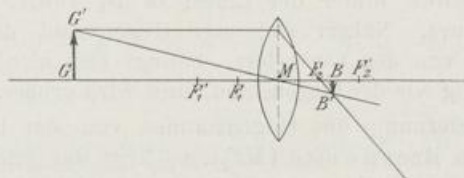


Abb. 86 b.

Erzeugung von Bildern durch Konvexlinsen mit verschiedener Brennweite.

und desto kleiner wird es, bis es schließlich die Größe des Gegenstandes erreicht, wenn dieser die Linse berührt. (Abb. 84 c.)

Abbildung 85 veranschaulicht das eben Ausgeführte schematisch.

Auf der Entstehung der virtuellen Bilder beruht die Anwendung der Lupe, einer mit einer Einfassung versehenen Konvex-

linse, durch welche man innerhalb der Brennweite gelegene Gegenstände betrachtet, die dann vergrößert erscheinen.

Die vergrößerten reellen Bilder finden beim Scioptikon oder der Laterna magica (Zauberlaterne) Verwendung.

Als Kollimatorlinse wird eine Konvexlinse bezeichnet, die dazu dient, die auf sie fallenden Lichtstrahlen parallel zu machen; dies geschieht, wenn die Strahlen vom Brennpunkt der Linse ausgehen (Abb. 83). Die Kollimatorlinse findet z. B. bei der Duboseq'schen Lampe (1848) Anwendung, welche zu Projektionszwecken bei wissenschaftlichen Vorträgen benutzt wird.

Eine Konvexlinse hat eine um so größere Brennweite, je flacher, und eine um so kleinere Brennweite, je stärker gewölbt sie ist. Daraus ergibt sich, wie eine Vergleichung der Abbildungen 86a und 86b zeigt, daß die reellen Bilder, die eine

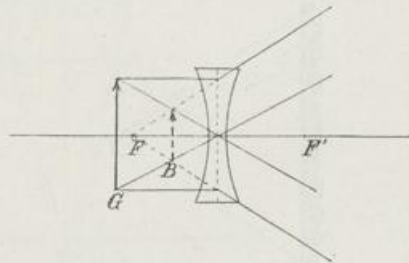


Abb. 87. Durch Konkavlinse erzeugte Bilder von Gegenständen. (*G* = Gegenstand; *B* = Bild.)

Konvexlinse liefert, um so mehr verkleinert, bzw. um so weniger vergrößert sind und in beiden Fällen der Linse um so näher liegen, je stärker gewölbt sie ist (die Linse zieht also die reellen Bilder bei stärkerer Wölbung näher heran); die virtuellen Bilder sind um so größer und entfernter, je stärker gewölbt die Linse ist.

Für eine bikonkave Linse — oder kurz: Konkavlinse — gilt hinsichtlich der durch den optischen Mittelpunkt gehenden Strahlen dasselbe wie für die Konvexlinse; ihre Richtung wird, wenn die Dicke der Linse klein genug ist, durch die Brechung nicht geändert. Strahlen, welche parallel der Achse auf die Linse fallen, gehen hinter der Linse derart auseinander, als würden sie von dem vor der Linse liegenden Brennpunkte ausgesendet, der deshalb auch als Zerstreuungspunkt bezeichnet wird.

Die Bilder, welche eine Konkavlinse von Gegenständen liefert, sind hiernach, wie die Konstruktion in Abb. 87 zeigt, stets virtuell, aufrecht und verkleinert. Wenn der Gegenstand

vom Unendlichen bis zur Linse wandert, bewegt sich das Bild in gleicher Richtung vom Brennpunkt oder Zerstreuungspunkt bis ebenfalls zur Linse und wird größer.

Linsen von eigenartiger Beschaffenheit sind die in Leuchttürmen Anwendung findenden Treppenlinsen oder Fresnelschen Linsen (Abb. 88). Eine Treppenlinse besteht aus einer plankonvexen Linse, die von einer Reihe konzentrischer Glasringe umgeben ist, deren Flächen derartig berechnet sind, daß jeder ihrer Brennpunkte mit dem Brennpunkt des zentralen Teils zusammenfällt. Wird in diesen Brennpunkt die Mitte einer Flamme gebracht, so laufen alle Strahlen nach der Brechung parallel nach außen, und es werden auch diejenigen Strahlen nutzbar gemacht, die sehr geneigt zur Achse des zentralen Teils der Linse von der Flamme ausgehen.

Mikroskop. Die Einrichtung des Mikroskops beruht auf der Vereinigung zweier Konvexlinsen, von denen die eine als Lupe

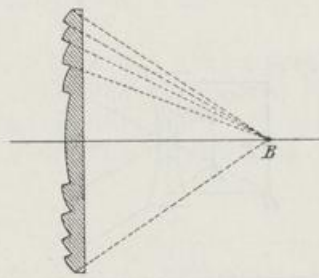


Abb. 88. Treppenlinse.

wirkt; sie wird als Okular (oder Okularlinse) bezeichnet, während die andere Objektiv (oder Objektivlinse) heißt. Beim Sehen durch das Mikroskop befindet sich das Auge über dem Okular, der zu betrachtende Gegenstand unter dem Objektiv. Das Objektiv wird so eingestellt, daß der Gegenstand (ab in Abb. 89) etwas über den Brennpunkt hinaus (zwischen einfache und doppelte Brennweite) zu liegen kommt; dann entsteht auf der andern Seite vom Objektiv (also oberhalb desselben) ein reelles, umgekehrtes, vergrößertes Bild (AB) des Gegenstandes. Objektiv und Okular sind nun derart beschaffen und in solcher Entfernung voneinander angebracht, daß das genannte Bild innerhalb der Brennweite des Okulars auftritt. Wird dasselbe daher durch das Okular betrachtet, so entsteht von ihm nach dem Objektiv zu ein abermals vergrößertes virtuelles Bild ($A'B'$), das im Verhältnis zum Gegenstande gleichfalls umgekehrt erscheint.

Objektiv und Okular sind durch innen geschwärmte Röhren miteinander verbunden. Die Schwärzung soll die Abhaltung fremder Lichtstrahlen bewirken. Das Hauptrohr (Abb. 90, *R*) läßt sich mittels einer feinen Schraube (*S*) behufs genauer Einstellung des Gegenstandes heben und senken. Unter dem Objektiv befindet sich der zur Aufnahme des Gegenstandes bestimmte, mit einer kreisrunden Öffnung versehene Objektisch (*T*). Zur Beleuchtung durchsichtiger Gegenstände ist am Ständer oder Stativ (*St*) des Mikroskops ein Hohlspiegel (*H*) derartig angebracht, daß er sich

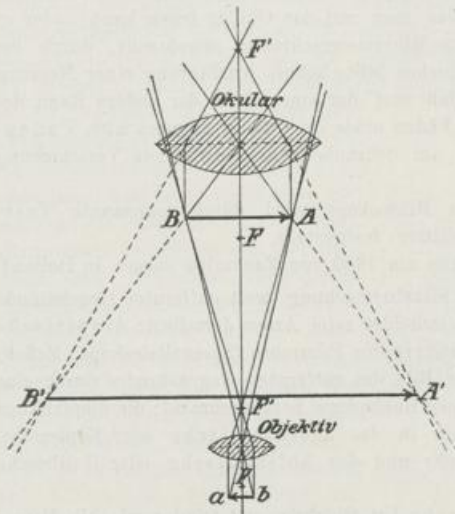


Abb. 89. Vergrößernde Wirkung des Mikroskops.

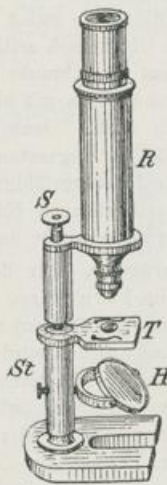


Abb. 90. Mikroskop.

— um zwei rechtwinklig zueinander stehende horizontale Achsen
— nach allen Seiten frei drehen läßt; er sammelt die von einem Fenster oder einer Lampe auf ihn fallenden Lichtstrahlen und wirft sie durch die Öffnung im Objektisch nach dem Gegenstande empor.

Als Okular dient statt einer einfachen Linse gewöhnlich ein System von zwei Linsen, von denen die untere, nach dem Objektiv zu gelegene, die sogenannte Kollektivlinse, die im Objektiv gebrochenen Strahlen konvergenter (stärker zusammenlaufend) macht, das Bild näher bringt und dadurch die Entfernung des Okulars verringert und, wenn auch ein etwas kleineres Bild, so doch ein größeres Gesichtsfeld schafft.

Das Objektiv besteht stets aus mehreren achromatischen, d. h. ungefärbte Bilder gebenden Doppellinsen. Farbige gesäumte Bilder würden undeutlich sein. (Vgl. hierzu den Abschnitt: „Achromatische Linsen“.)

Der unter dem Mikroskop zu betrachtende Gegenstand wird, möglichst fein und durchsichtig, auf einen Objektträger von Glas gebracht, mit etwas Wasser befeuchtet und mit einem sehr dünnen Deckgläschen bedeckt. Wird — unter Fortlassung des Deckgläschens — zwischen Gegenstand und Objektiv ein Wasser- oder Öltropfen eingeschaltet — ein Verfahren, das man Immersion nennt — so wird die Lichtstärke erheblich gesteigert, und das Bild des Gegenstandes wird klarer und schärfer, weil alsdann das von dem Gegenstande ausgehende und ins Mikroskop eintretende Licht nicht so viele verschiedenartige Medien (Wasser, Glas, Luft) zu durchsetzen braucht und daher weniger Absorption (und Brechung) erleidet.

Zur Messung mikroskopischer Objekte bedient man sich entweder eines auf Glas geritzten Mikrometers, das man auf das Okular legen kann; oder es ist am Mikroskop selbst eine feine Mikrometerschraube angebracht, durch die sich der Objektisch seitlich verschieben läßt; behufs Ausführung einer Messung dreht man die Schraube derart, daß erst der eine, dann der andere Rand des Gegenstandes sich mit einem der Fäden eines im Okular angebrachten Fadenzkreuzes deckt. Dann gibt die am Schraubenkopf abzulesende Verschiebung die Größe des Gegenstandes an.

Die Leistungsfähigkeit eines Mikroskops wird durch sogenannte Testobjekte (Diatomeen, Nobertsche Gitter) festgestellt.

Erfunden wurde das Mikroskop um 1600 von Zacharias Jansen in Holland.

Fernrohr. Zur deutlichen Sichtbarmachung weit entfernter Gegenstände dienen die Fernrohre. Man unterscheidet zwei Arten derselben: dioptrische Fernrohre (Refraktoren) und katoptrische Fernrohre (Spiegelteleskope, Reflektoren); bei ersteren wird das reelle Bild des entfernten Gegenstandes durch eine Konvexlinse, bei letzteren durch einen Hohlspiegel hervorgebracht; die dioptrischen Fernrohre teilt man wiederum ein in das astronomische oder Keplersche, das terrestrische oder Erdfernrohr und das holländische oder Galileische Fernrohr.

Das astronomische Fernrohr hat Objektiv und Okular wie ein Mikroskop, beide sind Konvexlinsen. Das Objektiv, das eine große Brennweite besitzt, erzeugt von dem weit hinter dem Brennpunkt liegenden Gegenstand ein verkleinertes, umgekehrtes Bild, welches durch das Okular zur Vergrößerung und näheren Betrachtung gelangt; das Okular ist — je nach der Entfernung des Gegenstandes — verstellbar. Die Gegenstände erscheinen verkehrt. Im Erdfernrohr werden sie durch eine oder zwei zwischen Objektiv und Okular angebrachte Linsen aufrecht gemacht. Das holländische Fernrohr (Krimstecher, Opernglas) enthält ein bikonvexes Objektiv und ein bikonkaves Okular; letzteres ist innerhalb der Brennweite der Objektivlinse angebracht, fängt die Strahlen, ehe sie zu einem umgekehrten, verkleinerten Bilde gesammelt werden, auf und macht sie divergent und erzeugt so ein aufrechtes, vergrößertes Bild.

Eine besondere Anwendung findet das Fernrohr beim Theodolit, einem zur Winkelmessung (z. B. bei der Landesaufnahme) dienenden Instrument.

Das astronomische Fernrohr beschrieb zuerst Kepler im Jahre 1611, das holländische Fernrohr wurde 1608 vom Brillenmacher Lippershey in Holland und bald nachher von Galilei erfunden.

Das menschliche Auge und das Sehen. Im menschlichen Auge findet eine Linsenwirkung statt, infolge deren im Augapfel Bilder der außen befindlichen Gegenstände erzeugt werden, die nun den eigentlichen Akt des Sehens, d. h. die Gesichtswahrnehmung, auslösen. Betrachten wir die Konstruktion des Auges, das Abb. 91 im Durchschnitt zeigt, genauer.

Der Augapfel wird von drei Häuten umschlossen, denen drei verschiedene Funktionen zukommen. Die äußerste dieser Häute, die weiße oder harte Augenhaut oder Sklerotika (*sc*) hat die Aufgabe des Schutzes. Sie geht vorn in die stärker nach außen gewölbte Hornhaut oder Cornea (*co*) über, welche durchsichtig ist und so dem Lichte den Eintritt ins Innere des Augapfels gestattet. Die mittlere Haut ist die Aderhaut oder Chorioidea (*ch*), die von feinen Blutgefäßen durchzogen ist und die Ernährung der benachbarten Teile des Auges besorgt. Sie ist mit einem schwarzen Farbstoff ausgekleidet. Ihr vorderer, ebener Teil, die Regenbogenhaut oder Iris (*i*), ist nur

auf der Innenseite schwarz, außen verschiedenfarbig; und zwar ist die Farbe der Außenseite sowohl bei den verschiedenen Menschen verschieden (sie bestimmt die Farbe des Auges: blau, braun, grau usw.), als sie auch bei einem und demselben Individuum meistens eine mehrfarbige, oft fleckige Zeichnung aufweist. In der Mitte besitzt die Iris für den Durchtritt der Lichtstrahlen eine Öffnung, das Sehloch oder die Pupille (*p*), welche im allgemeinen schwarz erscheint, weil das Innere des Augapfels dunkel ist. Die innerste Haut endlich ist die Netzhaut oder Retina (*r*),

eine becherförmige Ausbreitung des Sehnerven oder Optikus (*o*), die zwar gelblich-weiß gefärbt, aber von so feiner Beschaffenheit ist, daß die schwarze Farbe der Aderhaut sich durch sie hindurch geltend macht. Sie ist der empfindende Teil des Auges. Aber nicht überall ist sie gleich stark empfindlich. Völlig unempfindlich gegen Licht ist die Stelle des Eintritts des Sehnerven in das Auge: der sogenannte blinde Fleck (*a*). Die größte Empfindlichkeit ist in der Mitte, genau gegenüber der Mitte der Pupille, in der Richtung der sogenannten Augennachse oder Sehachse (*AA*), wo sich ein kleiner, rundlicher, intensiv gelb gefärbter Fleck befindet: der gelbe Fleck oder Macula lutea (*m.l.*). Innerhalb des gelben Fleckes ist wiederum die Mitte, eine seichte und abermals dunkler gefärbte Vertiefung, die Zentralgrube oder Fovea centralis (*f.c.*), mit dem Maximum der Lichtempfindlichkeit ausgestattet. Es hängt dies mit der Konstitution der Netzhaut zusammen. Dieselbe besteht nämlich aus sieben übereinander liegenden Schichten, von denen die äußerste oder hinterste, d. h. also der Aderhaut zunächst befindliche, die sogenannte Stäbchenschicht, aus zweierlei Nervelementen besteht: den

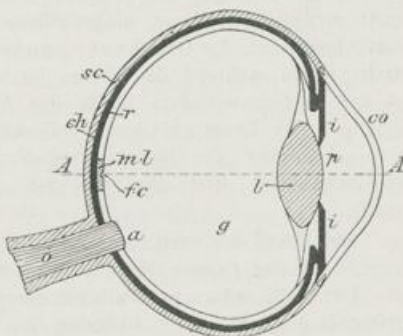


Abb. 91. Schematisierter Durchschnitt durch das menschliche Auge.

zahlreichen Stäbchen, die von zylindrischer Form sind, und den zwischen diese eingestreuten Zapfen, die flaschenähnliche Gestalt besitzen. Beide Nerven-elemente stehen senkrecht zur Flächenausbreitung der Netzhaut. Im blinden Fleck fehlen Stäbchen und Zapfen vollständig, im gelben Fleck stehen die Zapfen am gedrängtesten und in größter Anzahl, und die Fovea centralis besitzt nur Zapfen. Hiernach kommt den Zapfen die wichtigere und wesentlichere Rolle beim Sehakte zu, und sie sind es also, die das Verhalten des blinden und des gelben Flecks bei der Sehempfindung bedingen. Den Stäbchen wohnt ein roter Farbstoff, das Sehrot oder der Sehpurpur, inne.

Außer den genannten Bestandteilen des Augapfels bleiben nun noch zwei zu erwähnen übrig: die Augenlinse und der Glaskörper. Die Augenlinse (*l*), auch Kristalllinse genannt, ist eine zäh-elastische, zwiebelschalig aus Fasern geschichtete, durchsichtige Masse von bikonvexer Form und liegt unmittelbar hinter der Iris; ihre hintere Fläche ist stärker gewölbt als die vordere. Der übrige Innenraum des Augapfels wird von dem Glaskörper (*g*), einer gelatinösen, leicht zerfließlichen Masse, eingenommen, welche ringsherum von einer zarten, elastischen Haut, der Glashaut, umschlossen ist. Vorn ist die Glashaut zweiblättrig; und während das hintere der beiden Blätter den Glaskörper begrenzt, ist das vordere mit dem Rande der Augenlinse verwachsen. (Vgl. die Abbildung.) Der Raum zwischen der Hornhaut und der Iris heißt die vordere Augenkammer, der Raum zwischen der Iris und der Linse die hintere Augenkammer; beide sind von der sogenannten wässrigen Flüssigkeit erfüllt.

Auf Grund der vorstehend beschriebenen Einrichtung des Augapfels kann derselbe als eine Camera obscura angesehen werden, deren Öffnung die Pupille ist. Durch den schwarzen Farbstoff der Aderhaut ist die völlige Dunkelheit im Innern bedingt und eine Reflexion von Licht an den Wänden und infolgedessen eine Überstrahlung und Abschwächung der entstehenden Bilder äußerer Gegenstände ausgeschlossen. Die Augenlinse wirkt als Sammellinse, wobei sie von den übrigen durchsichtigen Medien des Augapfels, insbesondere der stark gewölbten Hornhaut und dem Glaskörper, unterstützt wird. Sie erzeugt auf der Netzhaut verkleinerte, umgekehrte Bilder der Gegenstände, von denen Lichtstrahlen ins Auge fallen. Daß wir trotz dieser Umkehrung die Gegenstände richtig orientiert, insbesondere also aufrecht sehen, hat darin seinen Grund, daß der Geist die einzelnen, auf die Netzhaut ausgeübten Lichteindrücke in der Richtung der in das Auge einfallenden Lichtstrahlen in die Außenwelt zurückversetzt, daß er gewissermaßen irgend einen wahrgenommenen Punkt da in der Außenwelt sucht, woher der Lichtstrahl kommt, also die auf der Netzhaut oben befindlichen Punkte eines Bildes unten am Gegenstande usw. Er projiziert das wahrgenommene Bild nach außen. Darin wird er durch eine anderweitige Erfahrung unterstützt, nämlich die, daß der Sinn der Bewegungen, die wir machen müssen, um bestimmte Teile eines Gegenstandes deutlich sehen zu können, der wahren Orientierung dieser Teile am Gegenstande entspricht; wollen wir so den oberen Teil eines Gegenstandes sehen, so müssen wir das Auge oder den ganzen Kopf nach oben drehen u. s. f. Ferner wird er in der richtigen Auffassung der Gegenstände durch das Tastgefühl unterstützt, da

wir beim Betasten eines Gegenstandes unsere Hand nach oben bewegen müssen, wenn wir die oberen Teile des Gegenstandes tastend wahrnehmen wollen usw. Auf Grund der Lichteindrücke und sonstiger Erfahrungen konstruiert also der Geist ein objektives Etwas, das die Ursache der entsprechenden Bewußtseinserscheinungen ist.

Am genauesten und schärfsten sehen wir einen Gegenstand dann, wenn wir das Auge derart nach ihm richten, daß die Verlängerung der Augenachse durch ihn hindurchgeht und folglich die von ihm ausgehenden Lichtstrahlen (bzw. das durch diese von ihm erzeugte Bild) auf den gelben Fleck der Netzhaut fallen. Dieses Richten des Auges nennt man Fixieren.

Zur deutlichen Wahrnehmung eines Gegenstandes ist ferner erforderlich, daß sich derselbe in einer solchen Entfernung vom Auge befindet, daß sein Bild genau auf die Netzhaut fällt (nicht davor noch dahinter). Diese Entfernung heißt die Sehweite und ist für normale Augen im Mittel etwa = 24 cm. Die Bilder weiter entfernter Gegenstände müßten somit nach dem im Abschnitt „Lichtbrechung in Linsen“ Ausgeführten vor die Netzhaut fallen, die Bilder näherer Gegenstände hinter die Netzhaut. Damit dies nicht geschieht, flacht sich im ersten Falle (beim Fernsehen) die Augenlinse ab, wodurch die Bilder sich von ihr entfernen, während sie sich im zweiten Falle (beim Nahesehen) stärker wölbt, wodurch die Bilder ihr genähert werden. (Vgl. „Lichtbrechung in Linsen“, S. 137 und Abb. 86a und b.) Diesen Vorgang der Änderung der Wölbung der Augenlinse nennt man die Akkommodation des Auges. Die Akkommodationsbewegung wird durch einen innerhalb des verdickten Randes der Aderhaut nahe der Augenlinse liegenden kleinen Muskel, den Akkommodationsmuskel oder Ciliarmuskel, einen Teil des Strahlenkörpers (Corpus ciliare, vgl. Abb. 91) bewirkt, und zwar dadurch, daß der Muskel bei seiner Kontraktion oder Zusammenziehung die vordere Fläche der Augenlinse stärker wölbt, wobei gleichzeitig die Pupille verengert wird, während beim Nachlassen der Kontraktion die Glashaut sowie ein vom Rande der Netzhaut ausgehendes elastisches Band, das Strahlenblättchen, das sich an die Linse anlegt, durch ihre Spannung an der Linse ziehen und sie abflachen. — Eine Verengung der Pupille findet auch statt, wenn grelles Licht ins Auge fällt, eine Erweiterung der Pupille erfolgt im Dunkeln; damit wird im ersteren Falle die ins Auge eindringende Lichtmenge verringert, im letzteren vermehrt. Die Akkommodationsfähigkeit des Auges gestattet ein deutliches Sehen von Gegenständen vom Unendlichen bis auf eine Entfernung von ungefähr 12 cm. Der in dieser Entfernung vor dem Auge liegende Punkt der Augenachse heißt Nahepunkt.

Augen, die im Mittel eine geringere als die normale Sehweite (24 cm) haben, werden kurzsichtig, Augen, die eine größere Sehweite haben, übersichtig genannt. Die Kurzsichtigkeit (Brachymetropie oder Myopie) beruht darauf, daß entweder die Augenlinse zu stark gewölbt oder die Augenachse länger als beim normalsichtigen oder emmetropischen Auge ist (zu starke Brechung), die Übersichtigkeit (Hypermetropie oder Hyperopie) beruht darauf, daß entweder die Augenlinse zu flach oder die Augenachse kürzer als beim normalen Auge ist (zu schwache Brechung). Bei einem kurzsichtigen Auge fallen die Bilder vor die Netzhaut (vgl. Abb. 86a und 86b); zum deutlichen Sehen

ist daher eine Annäherung der Gegenstände erforderlich (vgl. Abb. 84a und 84b); ferne Gegenstände, die sich nicht näher bringen lassen, bleiben undeutlich; dem Übel wird durch konkave Brillengläser abgeholfen. Bei einem übersichtigen Auge fallen die Bilder der Gegenstände hinter die Netzhaut (vgl. Abb. 86a und 86b); zum deutlichen Sehen ist daher eine Entfernung der Gegenstände erforderlich (vgl. Abb. 84a und 84b); Nahes wird nicht erkannt; dem Übel wird durch konvexe Brillengläser abgeholfen. Unter Weitsichtigkeit oder Presbyopie versteht man das auf einem Mangel an Akkommodationsfähigkeit beruhende Unvermögen, Gegenstände, die innerhalb der Sehweite (also näher als 24 cm) liegen, genau zu unterscheiden, weil die Augenlinse nicht genügend gekrümmt werden kann. Sie stellt sich mit zunehmendem Alter ein. Auch hiergegen helfen Konvexgläser. Sind die beiden Augen eines Individuums verschieden beschaffen, so herrscht Anisometropie, und es sind zweierlei Brillengläser erforderlich.

Die Brillen wurden gegen Ende des 13. Jahrhunderts zuerst in Italien bekannt.

Das Maß für die scheinbare Größe eines Gegenstandes liefert der Sehwinkel; derselbe wird von den Linien gebildet, die man vom Auge nach den Endpunkten des Gegenstandes ziehen kann. Zur Beurteilung der wahren Größe des Gegenstandes muß außer dem Sehwinkel noch die Entfernung bekannt sein, welche der Gegenstand vom Auge hat. Da diese Entfernung nicht selten falsch geschätzt wird, so treten in solchen Fällen Sinnestäuschungen auf, die durch unterbewußte, nach dem Gesagten auf falschen Voraussetzungen beruhende Schlüsse zustande kommen. So ist der Sehwinkel des aufgehenden Mondes derselbe wie derjenige, den er hat, wenn er hoch am Himmel steht; aber da wir im ersten Falle seine Entfernung weiter schätzen (wegen der zwischenliegenden Vergleichsobjekte auf der Erdoberfläche), so erscheint uns auf Grund eines in sich richtigen (unterbewußten) Schlusses der aufgehende Mond größer.

Trotzdem wegen unserer beiden Augen von jedem Gegenstande, den wir sehen, zwei Netzhautbilder entstehen, nehmen wir ihn doch nur einfach wahr, weil beide Bilder in uns zu einem kombiniert werden: binokulares Sehen. Dies geschieht aber nur, wenn die Netzhautbilder in beiden Augen auf physiologisch entsprechende Stellen der Netzhaut fallen, d. h. auf Stellen, die in derselben Richtung gleiche Entfernung vom Mittelpunkte der Netzhaut haben. Verschiebt man z. B. das eine Auge durch einen leichten Druck mit dem Finger, so ist dies nicht mehr der Fall, und man sieht doppelt. (Hierher gehört auch das Schielen).

Beide Augen haben nicht genau das gleiche Sehfeld: mit dem rechten Auge sieht man denselben Gegenstand (besonders wenn er sich nahe befindet) mehr von der rechten Seite, mit dem linken Auge mehr von der linken Seite: stereoskopisches Sehen.

Dasselbe kommt im Stereoskop zur Anwendung, einem Apparat, der es gestattet, mit jedem der beiden Augen ein solches (photographisches) Bild eines Gegenstandes zu betrachten, wie es in Wirklichkeit (d. h. bei Betrachtung des wirklichen Gegenstandes) in dem betreffenden Auge entstehen würde. Durch

dieses Anschauen der beiden Bilder wird der Eindruck eines körperlichen Bildes hergestellt.

Als Nachbild bezeichnet man die Fortdauer eines Lichteindrucks, nachdem die Ursache, die ihn hervorgerufen, aufgehört hat, auf das Auge zu wirken. Man unterscheidet positive und negative Nachbilder. Die ersteren entstehen, wenn man nach kurzem Anschauen eines hellen Gegenstandes die Augen schließt, die letzteren, wenn man durch längeres Hinblicken nach einem hellen Gegenstande das Auge ermüdet hat und dann auf eine matthelle leere Fläche blickt; es erscheint dann ein Bild des Gegenstandes, welches alles das, was an dem Gegenstande hell war, dunkel zeigt, und umgekehrt.

Auf der Entstehung von Nachbildern beruht es, daß ein schnell im Kreise gedrehter leuchtender Punkt den Eindruck einer leuchtenden Kreislinie hervorruft. Ferner ist dadurch die Wirkung des Thaumatrops zu erklären. Dasselbe ist eine kreisförmige Scheibe, die auf der einen Seite z. B. die Zeichnung eines Vogelbauers, auf der andern die Zeichnung eines dahineinpassenden Vogels darbietet und die in schnelle Rotation um einen Durchmesser versetzt wird. Beide Zeichnungen ergänzen sich dann derart, daß man den Vogel im Bauer sieht.

Das Stroboskop oder Phenakistoskop, auch Zootrop oder Lebensrad, endlich auch Schnellseher genannt, ist in seiner zweckmäßigeren Gestalt ein hohler Zylinder, der sich um seine vertikal stehende Achse drehen läßt und ringsum eine Anzahl schmaler Einschnitte besitzt, durch die man von außen hineinblicken kann; auf der Innenfläche befindet sich eine Anzahl Bilder, die verschiedene aufeinanderfolgende Phasen eines bewegten Gegenstandes darstellen. Wir kombinieren diese Bilder, wenn sie schnell vor dem Auge vorbeigehen, so, daß wir die Empfindung des Gegenstandes in voller Bewegung haben. Eine gleiche Wirkung bringen die als Mutoskop und als Kinematograph, Kinetograph, Kinetoskop, Biograph usw. bezeichneten Apparate hervor: eine Reihe von Photographien, die schnell nacheinander vor unseren Augen erscheinen, erzeugen den Eindruck einer dem Leben entsprechenden Bewegung — daher auch der Name „lebende Photographien“.

Die beim Stroboskop und beim Kinetoskop auftretende Kombination der Bilder — Moment-Eindrücke — zu einem sich im Verlaufe der Zeit abspielenden, zusammenhängenden Vorgange ist kein physiologischer Akt, wie die Entstehung der Nachbilder (z. B. beim Thaumatrope), sondern nach Eugen Dreher ein psychischer Akt, bei dem das Gedächtnis der wesentlich wirksame Faktor ist. Der Grund, warum in einem Falle das Gedächtnis, im andern die einfache physiologische Nachwirkung zur Geltung kommt, liegt in der Schnelligkeit, mit der die einzelnen Bilder aufeinander folgen. Wird das Stroboskop zu schnell gedreht, so treten gleichfalls Nachbilder auf, und alles fließt zusammen.

Zerstreuung oder Dispersion des Lichtes. Beim Durchgange eines Lichtbündels durch ein Prisma findet nicht nur, wie auf S. 132 erörtert wurde, eine Brechung, sondern auch eine Zerstreuung oder Dispersion des Lichtes statt. Läßt man z. B. ein Bündel Sonnenstrahlen, nachdem es von dem Spiegel eines Heliostats

(Abb. 92, *H*) reflektiert worden ist und dadurch eine dauernd gleichbleibende Richtung erhalten hat, durch einen in dem Fensterladen (*LI*) eines verfinsterten Zimmers angebrachten schmalen Spalt (*S*) in das Zimmer eintreten und fängt es, nachdem es durch ein Glasprisma (*P*) hindurchgegangen ist, auf einem weißen Papierschirm auf, so erscheint das Bild des Spaltes erstens nicht in der ursprünglichen Richtung der Lichtstrahlen (bei *B*), wo es ohne Anwendung des Prismas auftritt, sondern gegen jene Richtung verschoben oder abgelenkt (bei *BV*), und zweitens zeigt es sich beträchtlich verbreitert. Mit dieser Verbreiterung ist das Auftreten einer Reihe von Farben verbunden, deren Gesamtheit man als Spektrum bezeichnet. (Vgl. Abb. 93.) Die Hauptfarben des

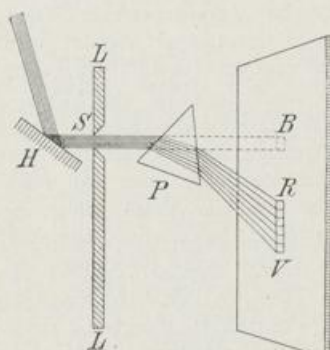


Abb. 92. Entstehung des Spektrums.

Spektrums sind von der brechenden Kante des Prismas aus: rot (bei *R* in Abb. 92), orange, gelb, grün, blau, violett (bei *V* in Abb. 92). Das Blau wird nach Newton noch in Hellblau und Dunkelblau (oder Indigo) geschieden. Doch gehen die sämtlichen Farben des Spektrums derart allmählich ineinander über, daß eine jede Unterscheidung etwas Willkürliches an sich hat und eine scharfe Grenze zwischen den einzelnen Farben nicht angegeben werden kann.

Mit Hilfe einer Sammellinse oder eines in passender Lage aufgestellten zweiten Prismas können die Farben des Spektrums wieder zu weißem Licht vereinigt werden. Auch der Newtonsche Farbkreis, eine in schnelle Umdrehung zu versetzende kreisförmige Scheibe, auf die in Gestalt von Sektoren oder Kreisabschnitten die sieben Hauptfarben des Spektrums (nach Newton) aufgetragen sind, zeigt die Wiedervereinigung dieser Farben zu Weiß, das allerdings nicht rein ist, sondern schmutziggrau erscheint.

Somit ist das weiße Licht als zusammengesetzt zu betrachten. Durch die Brechung im Prisma tritt aus dem Grunde eine Zerlegung in die einzelnen, farbigen Bestandteile ein, weil dieselben ungleiche Brechbarkeit besitzen, was sich daraus erklärt, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der verschiedenen Farben (in einem und demselben Medium) verschieden ist. Das rote Licht ist das am wenigsten brechbare, das violette ist am brech-

barsten, grün hat mittlere Brechbarkeit. (Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist dementsprechend beim Rot am größten, beim Violett am kleinsten; im leeren Raum pflanzen sich alle Farben gleich schnell fort.)

Je größer die Brechbarkeit eines Lichtstrahls ist, um so kleiner ist seine Schwingungsdauer, um so größer also seine Schwingungszahl und um so kleiner seine Wellenlänge.

Die Schwingungszahl (und damit auch die Schwingungsdauer) einer jeden einzelnen Farbe bleibt sich in den verschiedensten Medien oder Mitteln gleich, wogegen die Wellenlänge wechselt, da diese außer von der Schwingungszahl noch von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtbewegung abhängt ($\lambda = \frac{a}{n}$, Formel [2], S. 110) und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer und derselben Farbe in verschiedenen Medien — ebenso wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der verschiedenen Farben in einem und demselben Medium — verschieden ist. Daher dienen die Schwingungszahlen zur strengen Charakterisierung und Unterscheidung der verschiedenen Farben; jeder Farbe ist ihre bestimmte Schwingungszahl eigentümlich. Die Schwingungszahlen gehen von ca. 394 Billionen (für Rot) bis zu 756 Billionen (für Violett). Für sämtliche Spektralfarben sind die Schwingungszahlen die folgenden:

| | |
|----------|-----------------|
| Rot | = 394 Billionen |
| Orange | = 460 „ |
| Gelb | = 510 „ |
| Grün | = 580 „ |
| Hellblau | = 620 „ |
| Indigo | = 695 „ |
| Violett | = 756 „ |

Eine genauere Angabe über die Wellenlängen in Milliontel Millimetern ($\mu\mu$) bietet die Abb. 93 ($a = 300\,000$ km). Die Verschmelzung der den einzelnen Farben zukommenden Schwingungen zu der Gesamtschwingung des weißen Lichtes hat man sich nach Art der kombinierten Wellen zu denken: die einzelnen, einfachen Wellenbewegungen lagern sich übereinander und bilden eine neue gemeinsame Wellenbewegung von komplizierter Wellenform oder Wellenkurve.

Die Farben des Spektrums oder Spektralfarben werden auch Regenbogenfarben genannt, weil sie der Regenbogen, der durch Brechung, Reflexion und mit ersterer verbundene Dispersion des Sonnenlichtes in Regentropfen entsteht, gleichfalls aufweist.

Wenn man in den Strahlengang eines durch ein Prisma erzeugten Spektrums einen mit einer kleinen Öffnung versehenen Schirm stellt, so daß nur ein sehr schmales Strahlenbündel ausgeschnitten wird, das man nun auf ein zweites Prisma fallen läßt, so wird dies Strahlenbündel zwar abermals abgelenkt, aber es erfährt weder eine Verbreiterung noch eine erneute Farbenzerlegung oder Farbenänderung. Das so erhaltene, nicht weiter veränderliche farbige Licht wird homogenes Licht genannt.

Komplementärfarben; natürliche Farben. Zur Bildung weißen Lichtes sind nicht alle Farben des Spektrums erforderlich, sondern es genügen je zwei in nachfolgender Übersicht untereinanderstehende:

| | | | | |
|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|
| rot, | orange, | gelb, | grüngelb, | grün, |
| blaugrün, | cyanblau, | indigo, | violett, | (purpur), |

wovon die Purpurfarbe zwar nicht im Spektrum vorhanden ist, aber durch Mischung von rot und violett (z. B. mittels Prismas) erhalten werden kann.

Je zwei Farben, die zusammen weißes Licht ergeben, heißen komplementär. Sie liegen derartig im Spektrum verteilt, daß ihre mittlere Schwingungszahl (bzw. Wellenlänge) gleich der mittleren Schwingungszahl (bzw. Wellenlänge) des ganzen Spektrums ist; daher ist der Eindruck, den sie zusammen hervorrufen, gleich dem Gesamteindruck des Spektrums, d. h. gleich dem des weißen Lichtes.

Blickt man einige Zeit anhaltend auf einen farbigen Gegenstand und danach schnell auf eine weiße Fläche, so erscheint das negative Nachbild, welches man erhält, in der komplementären Farbe des Gegenstandes. Dies erklärt sich so, daß, wenn der Gegenstand z. B. rot ist, die Netzhaut-Elemente unseres Auges durch das Anblicken desselben für Rot ermüden, so daß sie aus dem Weiß der nachher angeschauten Fläche nur das komplementäre Grün aufzunehmen vermögen, nur für dies empfänglich oder empfindlich sind.

Die natürlichen Farben der Körper (insbesondere der als Farbstoffe dienenden) kommen dadurch zustande, daß die Körper Licht von anderer Brechbarkeit reflektieren oder hindurchlassen, als sie absorbieren (vgl. S. 122), so daß von dem gesamten weißen Licht, das auf die Körper fällt, ein Teil — mit anderer mittlerer Brechbarkeit, als sie dem weißen Licht zukommt — reflektiert bzw. hindurchgelassen wird. In der Farbe dieses reflektierten bzw. hindurchgelassenen Lichtes wird der Körper von uns geschaut. So erscheint uns z. B. ein Körper blau, wenn er von dem auf ihn fallenden weißen Lichte alle anderen als die fraglichen blauen Strahlen absorbiert, diese aber reflektiert bzw. hindurchläßt. Ein weißer Körper ist ein solcher, der alle auf ihn fallenden Farbenstrahlen in gleicher Weise reflektiert bzw. hindurchläßt. Ein schwarzer Körper absorbiert alles auf ihn fallende Licht (vgl. S. 123).

Die Reflexion erfolgt nicht unmittelbar an der Oberfläche, sondern nach dem Eindringen des Lichtes in die oberen molekularen Schichten des Körpers, so daß das von uns gesehene reflektierte farbige Licht eigentlich durchgelassenes Licht ist. Die Oberfläche selbst reflektiert genau dasjenige Licht, das auf sie fällt, was man erkennt, wenn die Oberfläche spiegelnde Beschaffenheit besitzt.

Eine Ausnahme machen die Körper mit sogenannten Oberflächenfarben, z. B. Fuchsin, Chlorophyll, das mit Kobalt blau gefärbte Boraxglas u. a. Bei ihnen ist die reflektierte Farbe nicht gleich der Durchlaßfarbe, sondern komplementär zu ihr (bei dem in durchgehendem Lichte rot aussehenden Fuchsin z. B. grün). Die Oberfläche solcher Körper ist glänzend, so daß es den Anschein erzeugt, als beruhe die Oberflächenfarbe (reflektierte Farbe) auf einfacher Spiegelung; da aber die Reflexion eine auswählende ist (es werden eben nicht alle farbigen Bestandteile des auf die Körper fallenden Lichtes reflektiert, denn die Körper erscheinen ja im gewöhnlichen weißen Tageslichte gefärbt), so muß auch hier ein Eindringen des Lichtes in die oberflächlich gelegenen Schichten stattgefunden haben, aber wahrscheinlich nur in die alleroberste Lage der Moleküle, so daß die reflektierte Farbe gleich der bei durchgehendem Lichte absorbierten ist. Die Erscheinung der Oberflächenfarben steht in Beziehung zur Fluoreszenz und zur anomalen Dispersion. (Vgl. die davon handelnden Abschnitte.)

Daß Farbstoffe, die komplementär sind, bei ihrer Mischung keine weiße Mischfarbe geben — sondern z. B. gelber und blauer Farbstoff Grün — rührt daher, daß keine natürliche Farbe rein ist; eine gelbe Flüssigkeit läßt daher außer Gelb auch einen Teil des im Spektrum benachbarten Grün hindurch, und desgleichen eine blaue Flüssigkeit; in einer Mischung beider ist daher Grün die einzige Farbe, die beide durchlassen, während Gelb durch die blaue Flüssigkeit, Blau durch die gelbe absorbiert wird; die Mischung muß daher grün erscheinen.

Wird ein Körper mit anderem als weißem Lichte beleuchtet, so erscheint er andersfarbig. Besonders auffallende Beispiele bilden blaue und grüne Körper, die man im Lampenlicht betrachtet, weil in diesem die blauen Strahlen schwächer als im Tageslichte vertreten sind, so daß sogar die Flamme, besonders im Vergleich mit elektrischem Licht oder Mondlicht, die beide reich an blauen Strahlen sind, rötlich erscheint. Demgemäß sind auch die Schatten, die ein gleichzeitig auf verschiedenen Seiten von Lampenlicht und Mondlicht beleuchteter Körper auf einer weißen Fläche erzeugt, verschiedenfarbig: der Lampenschatten ist bläulich, der Mondschatten rötlich. (Goethe.) — In homogenem Lichte, z. B. dem gelben Lichte einer durch Kochsalz gefärbten Flamme des Bunsenbrenners, verschwinden alle Farbenunterschiede. Die Körper sehen im genannten Beispiel nur noch heller oder dunkler gelb oder aber völlig schwarz aus.

Achromatische Linsen. Verschiedene Stoffe können, trotzdem sie für die mittleren Strahlen des Spektrums nahezu dasselbe Brechungsvermögen besitzen, doch ein sehr ungleiches Farbenzerstreuungsvermögen haben, so

daß sie Spektren von sehr verschiedener Länge geben. Hohes Farbenzerstreuungsvermögen besitzen z. B. das (bleihaltige) Flintglas und der Schwefelkohlenstoff.

Wenn zwei Prismen oder Linsen, deren Stoffe bei nahezu gleichem mittleren Brechungsvermögen ein sehr ungleiches Farbenzerstreuungsvermögen besitzen (z. B. Flintglas und Crownglas), miteinander vereinigt werden, so läßt es sich erreichen, daß die durchgehenden Strahlen bzw. die erzeugten Bilder keine chromatische Abweichung (farbige Säume) und damit keine Undeutlichkeit aufweisen. (Vgl. S. 139: achromatische Doppellinsen.)

Fluoreszenz. Wie oben erwähnt, reflektieren nicht alle Körper dieselbe Lichtsorte, die sie hindurchlassen (so daß sie beim Daraufsehen und beim Hindurchsehen nicht gleich gefärbt erscheinen). Eine Ausnahme bilden die mit Oberflächenfarben versehenen Körper. Eine weitere, aber von jener nicht streng geschiedene Ausnahme wird durch die schillernden oder fluoreszierenden Körper gebildet. Die Eigenart der letzteren, die sie von den Körpern mit Oberflächenfarben unterscheidet, besteht darin, daß das von ihnen reflektierte Licht — das sogenannte Fluoreszenzlicht — eigenes Licht ist, d. h. nicht Licht, das durch einfache auswählende Reflexion dem auf die Körper gefallenen Lichte entnommen worden, sondern das infolge eines Umwandlungsprozesses innerhalb der oberflächlich gelegenen molekularen Schichten der Körper neu entstanden ist. So erzeugt z. B. blau-violettes Licht, das sich infolge des Durchtrittes von weißem Licht durch eine Lösung von Kupferoxydammoniak gebildet hat, wenn es auf fluoreszierendes Uranglas fällt, ein grünes Licht, wie es die genannte Lösung nicht hindurchläßt, sondern absorbiert, wie es also in dem blau-violetten Licht nicht, auch in keiner verdeckten Form, enthalten gewesen sein kann.

Der Name „Fluoreszenz“ schreibt sich daher, daß die Erscheinung zuerst an einem Fluor enthaltenden Mineral, dem Flußspat, studiert worden ist. Gewisse Spielarten desselben sehen bei durchgehendem Lichte grün oder nahezu farblos, bei auffallendem Lichte dagegen schön blau aus.

Sonstige Stoffe, die die Eigenschaft der Fluoreszenz besitzen, sind das Petroleum (mit blauem Fluoreszenzlicht), die Lösung des Äskulins, eines in der Rinde der Roßkastanie enthaltenen Stoffes (mit blauem Fluoreszenzlicht), das Uranglas (mit grünem Fluoreszenzlicht), die Lösung des Fluoreszeins (mit grünem Fluoreszenzlicht); in durchgehendem Lichte sehen alle diese Körper gelblich aus. Ferner sind zu nennen: die Lösung des schwefelsauren Chinins (mit blauem Fluoreszenzlicht, in durchgehendem Lichte farblos), die Eosinlösung (mit gelbgrünem Fluoreszenzlicht, in durchgehendem Lichte rot), die ätherische Chlorophylllösung (mit rotem Fluoreszenzlicht, in durchgehendem Lichte grün), die Curcumatinktur (mit grünem Fluoreszenzlicht, in durchgehendem Lichte gelbbraun), das Bariumplatincyanür (ein grünliches Salz, mit grünem Fluoreszenzlicht) u. a. m.

Das Fluoreszenzlicht tritt nicht in jedem Lichte, sondern nur bei Bestrahlung mit gewissen Lichtarten deutlich und kräftig hervor, besonders mit Sonnenlicht und Magnesiumlicht, während z. B. im gewöhnlichen Lampenlicht die Erscheinungen nur schwach oder gar nicht erkennbar sind. Jenes wirksame Licht zeichnet sich durch den Gehalt an blauen und violetten Strahlen aus. Ferner

geht dem Lichte, wenn es eine hinreichend dicke Schicht einer fluoreszierenden Substanz durchdringt, dadurch die Fähigkeit verloren, eine zweite Menge derselben Substanz abermals zur Fluoreszenz zu bringen; woraus zu schließen ist, daß ein fluoreszierender Körper durch solche Bestandteile des Lichtes zur Fluoreszenz gebracht wird, die er absorbiert. — Entdeckt wurde die Fluoreszenz von Brewster (1838) und Herschel, genauer untersucht von Stokes (1852).

Lumineszenz. Die Fluoreszenz gehört zu einer größeren Gruppe von Erscheinungen, die sämtlich auf der Produktion eigenen Lichtes durch die Körper ohne entsprechende Temperatursteigerung (d. h. ohne die beim Leuchten glühender Körper auftretende Wärmeerhöhung) beruhen und die unter dem Namen Lumineszenz zusammengefaßt werden. (Vgl. S. 122.) Je nach der Ursache der Lichterregung kann man folgende Arten der Lumineszenz unterscheiden: a) Die Photolumineszenz, welche die Fluoreszenz und die Phosphoreszenz umfaßt; beide entstehen durch die Einwirkung des Lichtes, aber während die Fluoreszenz nur so lange vorhanden ist, als die Bestrahlung der Körper dauert, tritt die Phosphoreszenz entweder erst nach erfolgter Einwirkung auf die Körper ein, oder sie erlischt doch auf alle Fälle nach dieser Einwirkung nicht sogleich, sondern besteht (oft stunden- und tagelang) fort. Phosphoreszenz zeigen besonders die Schwefelmetalle der alkalischen Erden. Die Balmainische Leuchtfarbe oder Leuchtmaterie besteht hauptsächlich aus Schwefelcalcium mit einer kleinen Beimengung von Wismutsalz. Die sog. Bologneser Leuchtsteine werden durch Glühen von Schwespat mit Kohle erhalten. — Obgleich die Erscheinung der Phosphoreszenz ihren Namen einst nach dem Phosphor erhalten hat, muß dessen Leuchten jetzt, nach der fortgeschrittenen Erkenntnis der Wissenschaft, unter die Chemilumineszenz (vgl. diese) gestellt werden. b) Die Thermolumineszenz. Sie tritt infolge von Erwärmung auf, noch ehe auch nur entfernt von einem Glühen die Rede ist; so beim Diamant und beim Flußspat. c) Die Elektrolumineszenz, entsteht infolge elektrischer Entladungen (vgl. Kapitel 16), unter denen besonders diejenigen in verdünnten Gasen namhaft zu machen sind, welche mit dem Auftreten von Kathoden- und Röntgenstrahlen verbunden sind. d) Die Kristallolumineszenz läßt sich beim Kristallisieren gewisser Stoffe (arsenige Säure, Kaliumsulfat, Natriumsulfat), sowie beim mechanischen Reiben, Zerbrechen oder Zerschlagen gewisser Kristalle (z. B. Zucker) beobachten. e) Die Chemilumineszenz. Sie wird durch chemische Prozesse hervorgerufen. So beim Phosphor durch Oxydation. Desgleichen ist auch das Leuchten lebender Tiere (der sog. leuchtenden Organismen: der Leuchtkäfer, auch Johannis- oder Glühwürmchen genannt, und der Leuchtinfusorien, welche letztere das Meeresleuchten bewirken) auf einen langsamen Oxydationsprozeß zurückzuführen. Die Chemilumineszenz zeigt sich ferner bei leblosen organisierten Stoffen vor der Fäulnis und tritt endlich auf, wenn Formaldehyd und ebenso Traubenzucker bei Zutritt von Sauerstoff mit Kalilauge erwärmt werden. f) Die Radiolumineszenz. Sie ist insofern merkwürdig und unterscheidet sich von allen andern Arten der Lumineszenz, als ihre ursprüngliche Erzeugung nicht in irgend einem Vorgange, sondern in der Natur eines Stoffes, des von Curie und seiner Gattin entdeckten Elementes Radium, begründet ist. Die von diesem fortdauernd ausgesendeten

Strahlen ähneln sehr den Kathodenstrahlen und sollen daher im Zusammenhange mit diesen in der Elektrizitätslehre ausführlicher besprochen werden. Becquerel entdeckte sie zuerst (1896) an Uranverbindungen, die aus der Joachimstaler Pechblende hergestellt waren, weshalb man sie anfänglich als Becquerelstrahlen bezeichnete.

Anomale Dispersion. Körper, welche Oberflächenfarben besitzen (siehe oben), zerstreuen das Licht nicht in der gewöhnlichen Ordnung, sondern erzeugen ein Spektrum, in welchem die Farben eine andere Reihenfolge haben. Diese Erscheinung wird als *anomale Dispersion* bezeichnet. (Entdeckt 1870 von Christiansen, genauer untersucht von Kundt.) Füllt man z. B. ein Hohlprisma aus Glas mit Fuchsinlösung und betrachtet durch dasselbe einen hellen Spalt im Fensterladen eines dunklen Zimmers, so zeigt das Spektrum, das dann erscheint, folgende Reihenfolge der Farben: blau, violett — hierauf folgt eine dunkle Lücke — rot, orange, gelb. Die sonst nach dem violetten Ende des Spektrums zu gelegenen Farben werden also schwächer gebrochen als die nach dem roten Ende zu gelegenen. Die grüne Farbe fehlt ganz, weil sie — als Oberflächenfarbe — total reflektiert und teilweise absorbiert worden ist.

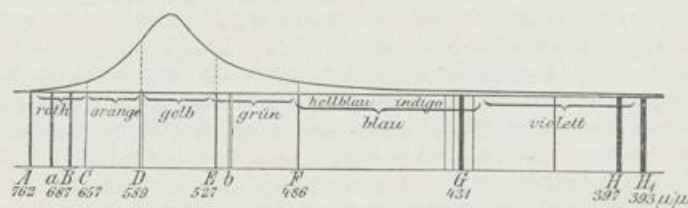


Abb. 93. Spektrum mit den Fraunhoferschen Linien. Darüber die Intensitätskurve.

Arten der Spektren. Je nach der Lichtquelle, der ein Spektrum seine Entstehung verdankt, lassen sich folgende Unterschiede feststellen:

1. Feste und flüssige Körper liefern in glühendem Zustande ein kontinuierliches (oder zusammenhängendes) Spektrum, das keinerlei Unterbrechung durch dunkle Linien zeigt.

2. Das Sonnenspektrum ist zwar auch ein kontinuierliches, aber von zahlreichen dünnen, dunklen Linien — den Fraunhoferschen Linien — der Quere nach durchzogen. Abb. 93 stellt das Sonnenspektrum mit den wichtigsten Fraunhoferschen Linien dar. Dieselben werden (seit Fraunhofer, 1814) mit den Buchstaben A, a, B, C, D, E, b, F, G, H und H₁ bezeichnet. Unter den mit großen Buchstaben bezeichneten Linien stehen die Wellenlängen, in Milliontel Millimetern ausgedrückt, welche das Licht an den betreffenden Stellen eines völlig kontinuierlichen Spektrums besitzt, wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit = 300 000 km gesetzt wird. Über dem Spektrum befindet sich die Intensitätskurve, welche zeigt, wie sich die Intensität oder Lichtstärke auf das Spektrum, seiner ganzen Länge nach, verteilt.

3. Das Spektrum glühender Gase oder Dämpfe besteht aus farbigen, hellen Linien oder Streifen, die durch dunkle Zwischenräume voneinander getrennt sind (Linien- und Bandenspektren).

Diese drei Arten von Spektren heißen Emissionsspektren.

Läßt man

4. das Licht eines glühenden festen Körpers (z. B. eines weißglühenden Platindrahtes) durch einen anderen Körper hindurchgehen, ehe es in ein Prisma eintritt, um so ein Spektrum zu liefern, so erhält man ein verschieden geartetes Absorptionsspektrum, das ein Linien- oder ein Bandenspektrum sein kann und beim Durchtritt des Lichtes durch glühende Gase oder Dämpfe an denselben Stellen dunkle Linien und Streifen zeigt, wo das unter 3. genannte Emissionsspektrum derselben Gase oder Dämpfe helle (farbige) Linien und Streifen aufweist.

Aus dem Letztgesagten ergibt sich der Kirchhoffsche Satz (1860), daß ein glühendes Gas (oder Dampf) die Lichtstrahlen absorbiert, die es selber ausstrahlt; was Kirchhoff in anderer Form auch so ausdrückte: Das Verhältnis

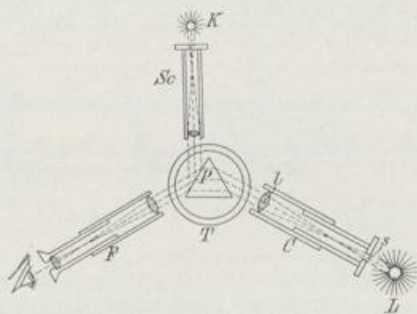


Abb. 94. Spektroskop (Spektroskop) nach Kirchhoff und Bunsen.

zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen ist bei Strahlen derselben Wellenlänge für alle Körper bei derselben Temperatur dasselbe.

Hieraus ist zu folgern, daß die Fraunhoferschen Linien des Sonnenspektrums auf die Weise zustande kommen, daß das von dem festen oder flüssigen, leuchtenden Sonnenkern ausgehende Licht durch eine aus verschiedenen Gasarten zusammengesetzte Dampfatmosphäre hindurch muß, welche den Sonnenkern umhüllt und wo es einer mannichfachen Absorption unterliegt.

Spektralanalyse; Spektroskop. Die unter 3. genannte Tatsache wird zur Feststellung der Natur eines Stoffes benutzt. Man nennt dies Verfahren Spektralanalyse (entdeckt und eingeführt von Kirchhoff und Bunsen, 1859). Mittels der Spektralanalyse läßt sich z. B. ermitteln, welche Metalle in einem Salze enthalten sind, oder aus welchen chemischen Elementen ein Gas zusammengesetzt ist. Wird nämlich ein Salz (und es genügen dazu äußerst geringe Spuren desselben) in die Flamme eines Bunsenschen Brenners gehalten, so wird diese gefärbt und gibt ein genaues Linienspektrum des Dampfes des in dem Salze enthaltenen Metalls, so daß an diesem Spektrum das betreffende Metall erkennbar ist. Ein Gas wird auf die Weise untersucht, daß man es in

eine Geißlersche Röhre bringt (siehe Kapitel 14, Abschnitt: „Die elektrische Entladung in atmosphärischer Luft und verdünnten Gasen“) und elektrische Entladungen hindurchgehen läßt, wodurch es zum Glühen gelangt.

Das Spektrum wird in beiden Fällen mittels eines besonderen Apparats: des Spektroskops, erzeugt und beobachtet. Abb. 94 zeigt die Einrichtung des Spektroskops nach Kirchhoff und Bunsen (auch Spektralapparat genannt), von oben gesehen. T ist ein Tischchen, auf dem das Prisma P mit senkrechter brechender Kante aufgestellt ist. Bei L ist der Licht gebende Körper (z. B. die Flamme eines Bunsenschen Brenners, in welche eine kleine Menge des zu untersuchenden Salzes gehalten wird). Die von L ausgesandten Strahlen gelangen zunächst in den sogenannten Kollimator (C), ein Rohr, das an dem der Flamme zugekehrten Ende einen verstellbaren Spalt (s) und an dem nach dem Prisma zu gelegenen Ende eine Sammellinse (l) enthält, welche die durch s in das Rohr gelangten Strahlen parallel macht. (Vgl. S. 137.) Nach dem Durchtritt durch das Prisma nimmt die nunmehr gebrochenen und zerstreuten Strahlen das (Keplersche) Fernrohr F auf, in dessen äußeres Ende man hineinblickt. Bei richtiger Ein-

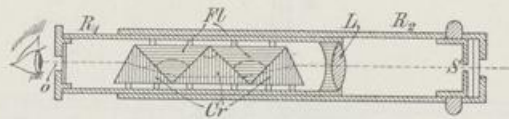


Abb. 95. Geradsichtiges Spektroskop.

stellung der beiden Rohre (beide lassen sich um das Tischchen T in horizontaler Ebene drehen) sieht man durch das Fernrohr das Linienspektrum des in der Flamme (L) enthaltenen Metallampfes. Sc ist das sogenannte Skalennrohr, das an seinem äußeren Ende auf einer Glasplatte eine feine Mikrometerskala trägt, von welcher durch die Lichtstrahlen (die von der Kerze K kommen, durch eine Sammellinse im Skalennrohr gehen und an der vorderen Fläche des Prismas reflektiert werden) ein reelles Bild entworfen wird, das durch das Fernrohr F zugleich mit dem vom Kollimator erzeugten Spektrum gesehen wird, so daß die Stellung der einzelnen Spektrallinien zueinander durch die Skala festgestellt werden kann.

Von handlicherer Form ist das geradsichtige Spektroskop oder Spektroskop à vision directe (Abb 95), in dem mehrere Prismen aus verschiedenen Glassorten, gewöhnlich zwei Flintglas- und drei Crownglas-Prismen (Fl und Cy), unmittelbar hintereinander liegen, und zwar in der Anordnung, wie die Abbildung zeigt: die brechenden Winkel der drei inneren Prismen sind rechte, die der beiden äußeren spitze. Eine solche Prismen-Kombination bewirkt es, daß das Licht, welches hindurchgeht, zwar gebrochen und zerstreut wird, aber der mittlere Teil des Spektrums in gleicher Richtung wieder austritt, wie er eingetreten ist (wie die Abbildung veranschaulicht).

Damit das von der Prismen-Kombination erzeugte Spektrum je nach der Sehweite verschiedener Augen deutlich sichtbar sei, ist das Rohr R_1 , das außer den Prismen die Kollimatorlinse L und bei o die Öffnung für das Auge enthält, in einem zweiten Rohre R_2 verschiebbar, welches bei S den Spalt besitzt,

durch den das Licht in das Spektroskop eintritt und der auf diese Weise der Kollimatorlinse genähert oder von ihr entfernt werden kann.

Wärmewirkungen und chemische Wirkungen des Lichtes. Von dem Lichte, speziell vom Sonnenlicht, gehen nicht nur reine Leuchtwirkungen, sondern auch Wärmewirkungen und chemische Wirkungen aus. Die Wärmewirkungen treten auf, wenn Licht auf einen Körper trifft und seitens desselben eine Absorption erfährt. Die Intensität der Wärmewirkung ist für verschiedene Teile des Spektrums verschieden und entspricht nicht der Lichtintensität, die im Gelb ihr Maximum hat. (Vgl. Abb. 93.) Gewöhnlich liegt das Wärmemaximum mehr nach dem roten Ende des Spektrums. Bei Anwendung von Prismen aus verschiedenem Material fanden Melloni und Seebeck das Wärmemaximum an verschiedenen Stellen des Spektrums: bei einem Wasserprisma im Gelb, einem Crownglasprisma im Rot und einem Steinsalzprisma im Infrarot, d. h. in dem über das rote Ende hinausliegenden unsichtbaren Teil des Spektrums.

Man kann dem Lichte seine Wärmewirkung rauben, wenn man es durch eine Kalialaunlösung gehen läßt. Umgekehrt absorbiert eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff alles Licht, so daß hinter der Lösung vollkommene Dunkelheit herrscht, während die Wärmewirkung ungeschwächt hindurchgeht.

Diese Erscheinungen hat man durch die Annahme der dunklen Wärmestrahlen zu erklären versucht, die zuerst von W. Herschel (1800) entdeckt wurden. Hiernach ist die gesamte Strahlung des Spektrums Wärmestrahlung, und die Wärmestrahlen werden in leuchtende Wärmestrahlen oder Lichtstrahlen und in dunkle Wärmestrahlen unterschieden. Bei dem Durchtritt von Licht durch die Kalialaunlösung werden nun die dunklen Wärmestrahlen absorbiert, die leuchtenden aber nicht; durch die Jodschwefelkohlenstoff-Lösung gehen dagegen die dunklen Wärmestrahlen hindurch, während die leuchtenden absorbiert werden.

Die chemische Wirkung des Lichtes äußert sich in verschiedener Weise, indem teils chemische Verbindungen eingeleitet, teils chemische Zersetzungen veranlaßt werden. Zu jenen gehört die Vereinigung von Chlor und Wasserstoff zu Chlorwasserstoff. Wird ein Gemenge beider Gase bei gewöhnlicher Temperatur im Dunkeln gelassen, so bleibt es unverändert, im gewöhnlichen Tageslicht findet eine allmähliche Vereinigung statt, und bei direktem Sonnenlicht erfolgt die Vereinigung plötzlich und unter Explosion. Auf chemischen Zersetzungsprozessen beruht einerseits das Bleichen, das sich unter dem Einfluß von Licht und Feuchtigkeit vollzieht, und andererseits der wesentliche Vorgang bei der Photographie. Derselbe besteht darin, daß die Halogenverbindungen des Silbers (Chlor-, Brom- und Jodsilber: AgCl , AgBr und AgJ) bei Belichtung reduziert werden, so daß die Subhaloide des Silbers (Ag_2Cl , Ag_2Br und Ag_2J) entstehen, was mit einem Violet- und schließlich Schwarzwerden der Stoffe verbunden ist. Doch werden die Halogenverbindungen des Silbers nur dann vom Lichte beeinflußt, wenn bei ihrer Darstellung aus Silbernitrat (Höllenstein) und den Halogenverbindungen des Kaliums das erstere im Überschuß vorhanden ist, was besonders vom Jodsilber und Bromsilber, in schwächerem Maße vom Chlorsilber gilt. Man spricht daher von empfindlichem Jodsilber, Bromsilber und Chlorsilber im

Gegensatz zu anderen — unempfindlichen — Modifikationen und nennt jene auch $+$ -Jodsilber, $+$ -Bromsilber und $+$ -Chlorsilber.

Auch die chemische Wirkung des Lichtes ist (wie die Wärmewirkung und die eigentliche Lichtwirkung oder Leuchtwirkung) nicht in allen Teilen des Spektrums gleich intensiv. Handelt es sich um die Zersetzung der genannten Silbersalze, so ist der blau-violette Teil des Spektrums am wirksamsten, und auch darüber hinaus — im dunklen Ultraviolett — zeigt sich noch eine beträchtliche chemische Wirkung. Also wieder ist keine Übereinstimmung der Leuchtwirkung des Lichtes mit seiner chemischen Wirkung vorhanden.

Licht, welches durch eine konzentrierte Äskulinlösung von hinreichender Schichtdicke hindurchgegangen ist, übt keine chemische Wirkung mehr aus.

Durch geeignete Zusätze können die Silberhaloide auch für andere Strahlensorten als die im blau-violetten Teile des Spektrums enthaltenen empfindlich gemacht werden. Derartige Zusätze heißen optische Sensibilisatoren. So macht Korallin (Phenylrot) das Bromsilber für gelbgrüne Strahlen empfindlich. Andere optische Sensibilisatoren sind Eosin, Erythrosin usw. Die Wirksamkeit derselben, z. B. des Korallins, beruht darauf, daß dieser Stoff gelbes und grünes Licht absorbiert und dasselbe dadurch photographisch wirksam macht. (Eder.)

Die farbigen Photographien verdanken ihre Entstehung dem Phänomen dünner Blättchen, die sich durch die geeignete Abscheidung verschieden starker Schichten von Silberbromür, Ag_2Br , bilden. (Vgl. über die Farben dünner Blättchen den folgenden Abschnitt.)

Interferenz des Lichtes; Beugung oder Diffraction. Interferenz des Lichtes entsteht (vgl. S. 112), wenn die Strahlen zweier benachbarter gleichartiger Lichtquellen zusammentreffen. Geschieht die Begegnung in einem Punkte, dessen Entfernungen von den beiden Lichtquellen (Strahlenpunkten) sich um ein Vielfaches einer ganzen Wellenlänge oder anders gesprochen: um ein gerades Vielfaches einer halben Wellenlänge unterscheiden, so tritt eine Verstärkung des Lichtes ein; geschieht die Begegnung in einem Punkte, dessen Entfernungen von den beiden Lichtquellen sich um ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge unterscheiden, so tritt eine Auslöschung des Lichtes ein. Es entsteht dadurch auf einem das Licht auffangenden Schirm ein System paralleler, abwechselnd heller und dunkler Streifen: Interferenzfransen oder Interferenzstreifen. (Entdeckt wurde die Interferenz des Lichtes durch Thomas Young, 1800.)

Besitzen die Lichtquellen einfarbiges oder homogenes Licht, so ist außer dem Unterschied von Hell und Dunkel kein weiterer zu bemerken; Interferenzstreifen dagegen, die durch weißes, also zusammengesetztes Licht hervorgerufen werden, erscheinen nicht allein hell und dunkel, sondern sie sind — ausgenommen der mittelste helle Streifen — farbig gesäumt (außen rot, innen violett), was sich aus der Verschiedenheit der Wellenlängen der verschiedenen Spektralfarben erklärt.

Die Interferenz-Erscheinungen des Lichtes sind nur erklärbar, wenn man das Licht als eine Wellenbewegung ansieht. Ihr Dasein ist also ein Beweis für die Wellennatur des Lichts.

Geht Licht durch einen schmalen Spalt, so breiten sich die Ätherwellen seitlich aus (vgl. S. 112), und es findet zwischen den von den einzelnen Punkten des Spaltes ausgehenden Wellensystemen Interferenz statt, so daß das auf einem Schirm aufgefangene Bild des Spaltes nicht nur verbreitert erscheint, sondern zugleich beiderseits von Interferenzfransen durchsetzt ist. Diese Erscheinung heißt *Biegung* oder *Diffraction* des Lichtes. (Grimaldi, 1663.)

Ist das durch den Spalt gehende Licht weiß, so sind die Interferenzfransen farbig gesäumt, und zwar kehrt jeder Saum das Violett dem in der Mitte des Beugungsbildes befindlichen Weiß zu, während das Rot außen liegt. Das Weiß in der Mitte erklärt sich daher, daß daselbst von allen Punkten des Spaltes aus Wellen mit annähernd gleichen Phasen zusammentreffen, während in seitlich gelegenen Punkten des Schirmes die von den verschiedenen Punkten des Spaltes kommenden Wellen auf ungleich langen Wegen, also nacheinander eintreffen, so daß Phasenunterschiede vorhanden sind, welche die Entstehung der Interferenzfransen bewirken; da nun das Violett von allen Spektralfarben die kleinste, das Rot die größte Wellenlänge besitzt, so werden die dem Violett entsprechenden Interferenzstreifen am schmalsten, die dem Rot entsprechenden am breitesten sein, und es muß in jedem Farbensaum das Violett am wenigsten, das Rot am meisten entfernt von der Mitte auftreten. Bei Anwendung homogenen Lichtes, das ein einfarbiges Beugungsbild (von der Farbe des angewandten Lichtes) zeigt, in dem nur hellere und dunklere Streifen zu beobachten sind, tritt der Unterschied der Breite der Interferenzstreifen deutlich hervor: rotes Licht gibt die breitesten Streifen und demgemäß auch das breiteste Beugungsbild, grünes Licht liefert Streifen und Beugungsbild von mittlerer Breite, und beim Violett sind Streifen und Beugungsbild am schmalsten.

Eine kreisförmige Öffnung ruft Interferenzringe hervor.

Die Beugungs-Interferenzstreifen gestatten die genaue Messung der Wellenlängen der verschiedenen Lichtgattungen (verschiedenen Farben).

Auf Biegung beruhen die farbigen Erscheinungen, die man beim Betrachten einer Flamme durch die Fahne einer Vogelfeder, durch eine behauchte Glasscheibe oder beim Blinzeln durch die Augenwimpern wahrnimmt. Ferner ist die Erscheinung der großen Sonnen- und Mondringe auf Biegung zurückzuführen, die durch in der Luft schwebende, schleierartig ausgebreitete Cirruswolken, welche aus Eiskristallen bestehen, bewirkt wird.

Endlich werden auch die Farben dünner Blättchen (Seifenblasen, auf Wasser ausgebreitetes Terpentinöl oder Petroleum, Anlauffarben des Stahls beim Erhitzen usw.) durch Interferenz hervorgerufen, welche infolge der doppelten Reflexion des Lichtes von der oberen und der unteren Begrenzungsfläche der Blättchen entsteht.

Gitterspektren — Nobertsche Gitter. (Vgl. S. 140.)

Polarisation des Lichtes. Wenn man auf einen Spiegel von schwarzem Glase (Abb. 96, S_1) einen Lichtstrahl (AB) unter einem

Einfallswinkel von 55° (ABE) fallen läßt, so hat der reflektierte Strahl (BC) andere Eigenschaften als der einfallende sowie jeder gewöhnliche Lichtstrahl. Fängt man ihn nämlich auf einem zweiten Spiegel (S_2) auf, so wird er von diesem nicht in allen Lagen des Spiegels weiter reflektiert. Sind beide Spiegel einander parallel, wie in der Abbildung, so erfolgt Reflexion (in der Richtung CD); wird der Spiegel S_2 aber um die Richtung des Strahls BC als Achse gedreht, so daß der Einfallswinkel (BCF) stets derselbe bleibt, so unterbleibt die Reflexion, wenn der Spiegel S_2 um 90° gedreht worden ist; bei 180° Drehung ist wieder Reflexion vorhanden; bei 270° Drehung ist sie wieder aufgehoben.

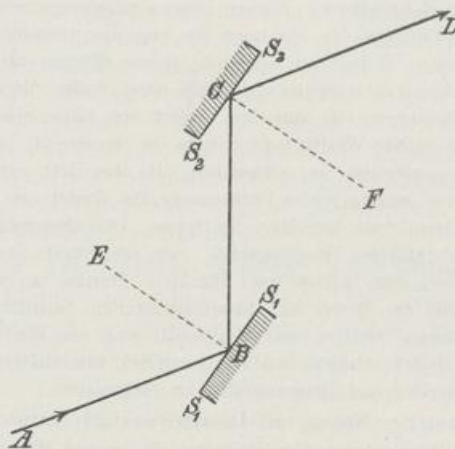


Abb. 96. Polarisation eines Lichtstrahls.

Diesen Sachverhalt erkennt man, wenn man in der Richtung DC auf den Spiegel S_2 blickt, während auf S_1 in der Richtung AB ein Lichtschein fällt; bei 90° und 270° Drehung erscheint dann der Spiegel S_2 dunkel; bei langsamem Drehen tritt die Verdunkelung allmählich ein.

Man nennt einen Lichtstrahl von der geschilderten Beschaffenheit des reflektierten Strahls BC polarisiert, die geschilderte Erscheinung die Polarisation des Lichtes (Malus, 1808.)

Dieselbe findet in folgender Annahme ihre Erklärung: Die Äther-Schwingungen, welche das Licht ausmachen, erfolgen transversal (vgl. S. 112 u. 119), d. h. quer zur Fortpflanzungsrichtung oder zum Lichtstrahl, während z. B. die Schwingungen eines durch die Luft sich fortbewegenden Schalles parallel zur Fortpflanzungsrichtung oder longitudinal erfolgen. Handelt es sich nun

um gewöhnliches — nicht polarisiertes — Licht, so finden die transversalen Schwingungen nach allen Richtungen senkrecht zum Lichtstrahl statt, während im polarisierten Lichtstrahl die Ätherteilchen — gleichfalls transversal — nur in einer Ebene schwingen, die den Lichtstrahl enthält.¹⁾ Wir nehmen ferner an, daß diese Ebene die von dem polarisierten und dem ihn erzeugenden Lichtstrahl gebildete ist. Sie wird die Polarisationssebene genannt. Innerhalb ihrer kann der Strahl weiter reflektiert werden. Wenn nun der Spiegel S_2 (Abb. 96) um 90° gedreht ist, so steht die Reflexionsebene BCF zur Polarisationssebene (ABC) senkrecht. Da die Ätherteilchen des Strahls BC nur in dieser schwingen, in jener es nicht können, so kann der Strahl BC auch nicht in jener Ebene (BCF) reflektiert werden — er wird ausgelöscht.

Eine Polarisation erfolgt bei der Reflexion an Glas auch unter anderen Winkeln als dem angegebenen (von 55°), aber nur unvollständig, d. h. es tritt bei Drehung des Spiegels S_2 um 90° nur eine Verminderung der Helligkeit, keine völlige Verdunkelung ein. Bei einer Reflexion unter einem Winkel von 90° erfolgt keine Polarisation. Der Winkel der vollständigen Polarisation oder Polarisationswinkel ist bei verschiedenen Stoffen verschieden.

Wie durch Reflexion, so läßt sich auch durch Brechung polarisiertes Licht gewinnen; und zwar teilweise polarisiertes durch Brechung in isotropen Körpern, d. h. Körpern, die nach allen Richtungen hin dieselben physikalischen Eigenschaften besitzen (vgl. S. 31—32); vollständig polarisiertes Licht wird durch Brechung in anisotropen Körpern erhalten, d. h. in solchen Körpern, die in verschiedenen Richtungen verschiedene physikalische Eigenschaften aufweisen. Anisotrop sind alle Kristalle außer denen des regulären Systems, welche ihrerseits zu den isotropen Körpern gehören.

Doppelbrechung. Wenn ein Lichtstrahl durch einen anisotropen Körper, z. B. einen Kalkspatkristall (hexagonales System), hindurchgeht, so wird er im allgemeinen doppelt gebrochen, was man daran erkennt, daß ein Punkt, den man durch den Kalkspatkristall betrachtet, doppelt erscheint. (Bartholinus, 1669.) Diejenigen Richtungen eines doppeltbrechenden (anisotropen) Körpers, in denen der Lichtstrahl keine Doppelbrechung erfährt, nennt man optische Achsen. Gewisse Kristalle haben eine optische Achse, andere haben zwei.

¹⁾ Bei der Annahme, daß das Licht in longitudinalen Ätherschwingungen bestehe, würden die Polarisationserscheinungen vollkommen unerklärlich sein. Ein Lichtstrahl müßte sich dann nach jeder Richtung hin gleich verhalten. Die Tatsache der Polarisation zwingt also zu der Annahme, daß das Licht transversal schwingt.

Optisch einachsig sind alle Kristalle des quadratischen und des hexagonalen Systems. Beide Systeme sind dadurch ausgezeichnet, daß die zu ihnen gehörenden Kristalle eine Hauptachse haben, die auf der Ebene der (zwei bzw. drei) gleichen und miteinander gleiche Winkel bildenden Nebenachsen senkrecht steht; mit dieser Hauptachse fällt die optische Achse zusammen.

Optisch zweiachsige Kristalle sind alle diejenigen, deren drei kristallographische Achsen verschiedene Länge besitzen, nämlich die Kristalle des rhombischen, des monoklinen und des triklinen Systems; und hier fällt mit keiner der kristallographischen Achsen eine optische Achse zusammen.

Die beiden Strahlen, in welche ein Lichtstrahl beim Durchtritt durch einen Kristall infolge von Doppelbrechung zerlegt wird, sind stets vollständig polarisiert. Dies erkennt man daran, daß jeder der Strahlen, wenn er in ein zweites doppelbrechendes Mittel eintritt, nicht immer eine abermalige Doppelbrechung erfährt. Folgender Versuch macht dies und die Art der Polarisierung klar:

Man legt ein Kalkspat-Rhomboeder auf ein Blatt Papier, auf welchem ein schwarzer Punkt gezeichnet ist. Dreht man den Kristall, so bleibt von den zwei Bildern des Punktes, welche man durch ihn sieht, eins stehen, während das andere sich um jenes herumbewegt. Den Strahl, dem das erste Bild entspricht, nennt man den ordentlichen (oder ordinären), denjenigen, dem das zweite Bild entspricht, den außerordentlichen (oder extraordinären) Strahl.

Man legt nun auf den auf dem Papier befindlichen Kristall noch einen zweiten Kristall; derselbe nimmt mit jedem der beiden durch den ersten Kristall erzeugten Bilder im allgemeinen abermals eine Zerlegung in zwei Bilder vor, so daß jetzt im ganzen vier Bilder zu sehen sind. Wird aber der obere Kristall gedreht, während man den untern festhält, so verschwinden abwechselnd zwei von den vier Bildern, so oft die Hauptschnitte beider Kristalle, d. h. die die Hauptsache enthaltenden oder ihr parallel liegenden Ebenen, 1. zusammenfallen oder 2. rechtwinklige Stellung zueinander einnehmen.

Der Grund für diese Erscheinung ist der, daß der ordentliche Strahl in der Ebene des Hauptschnitts, der außerordentliche Strahl in einer darauf senkrechten Ebene polarisiert ist. Fallen nun die Hauptschnitte der beiden Kristalle zusammen, so wird der ordentliche Strahl des untern Kristalls, ohne weitere Zerlegung zu erfahren, als ordentlicher, der außerordentliche Strahl als außerordentlicher im oberen Kristall fortgepflanzt: zwei Bilder. Stehen die Hauptschnitte rechtwinklig zueinander, so wird der ordentliche Strahl des untern Kristalls im oberen Kristall zum außerordentlichen Strahl und umgekehrt: wiederum zwei Bilder. Sind aber die Hauptschnitte schiefwinklig gegeneinander geneigt, so erfährt jeder der den untern Kristall verlassenden Strahlen — da die Polarisierungsebenen beider Kristalle (der Hauptschnitt und die darauf senkrechte Ebene)

nicht zusammenfallen — eine abermalige Zerlegung in zwei Strahlen, die nach dem Hauptschnitt des oberen Kristalls und der darauf senkrechten Ebene polarisiert sind: vier Bilder.

Daß in einem nicht regulären Kristall überhaupt eine Zerlegung eines Lichtstrahls in zwei, also eine Doppelbrechung stattfindet, liegt daran, daß die optische Dichte eines solchen Kristalls in verschiedenen Richtungen verschieden ist. In einer Achsenebene (sowie jeder dazu parallelen Ebene), welche nur gleichwertige (in erster Linie: gleich lange) Achsen enthält, ist — bei regulären und optisch einachsigen Kristallen — die optische Dichte nach allen Richtungen hin die gleiche, und ein Lichtstrahl, der senkrecht zu ihr verläuft, dessen Äther-schwingungen also in irgend einer Richtung in sie hinein erfolgen, geht unzerlegt oder einfach weiter.

Nach dem Gesagten ist die Brechung für den ordentlichen und den außerordentlichen Strahl eine verschiedenartige; für jenen erfolgt sie bei den optisch einachsigen Kristallen nach dem auf S. 131 angeführten Snelliusschen Brechungsgesetz, für diesen nach einem weniger einfachen Gesetz; bei den optisch zweiachsigen Kristallen befolgt keiner der beiden Strahlen das Snelliussche Brechungsgesetz. Die Brechung des außerordentlichen Strahls ist beim Kalkspat wie bei einer Reihe anderer optisch einachsiger Kristalle eine schwächere als die des ordentlichen Strahls; man nennt die Kristalle, bei denen dies der Fall ist, negativ. Dagegen heißen diejenigen optisch einachsigen Kristalle positiv, bei denen der außerordentliche Strahl stärker gebrochen wird als der ordentliche (Beispiel: Bergkristall).

Polarisations-Apparate. Um die Eigenschaften des polarisierten Lichtes genauer zu studieren, bedient man sich der Polarisationsapparate. Dieselben sind aus zwei Hauptteilen zusammengesetzt: der polarisierenden und der analysierenden Vorrichtung; durch jene wird der polarisierte Lichtstrahl hervorgebracht, mittels dieser wird seine nähere Beschaffenheit festgestellt.

Da das Vorhandensein zweier polarisierter Strahlen Verwirrung anrichten würde, so muß, wenn die Polarisation durch Brechung bewirkt wird, einer der Strahlen beseitigt werden.

Dies geschieht z. B. durch Anwendung zweier, der Säulenachse parallel geschnittener Turmalinplatten, die gegeneinander drehbar sind (Turmalinzange); der Turmalin absorbiert den ordentlichen Strahl fast vollständig, so daß nur der außerordentliche Strahl hindurchgelassen wird. Hält man nun zwei gleichgeschnittene Turmalinplatten über- oder voreinander und dreht sie so lange, bis die Richtungen der Säulenachsen rechtwinklig zueinander stehen, so geht gar kein Licht hindurch: die Turmalinplatten erscheinen schwarz.

Auf andere Weise wird der ordentliche Strahl im Nicolschen Prisma (1828) beseitigt. Ein länglicher Kalkspatkristall (Abb. 97),

dessen Endflächen so zugeschliffen werden, daß sie mit den Seitenflächen Winkel von 68° bilden, wird rechtwinklig zu den neuen Endflächen (in der Richtung SS) durchgeschnitten, und die beiden Stücke des Kristalls werden längs der Schnittflächen durch eine Schicht von Kanadabalsam wieder zusammengekittet. Trifft nun ein Lichtstrahl (AB) parallel der Längsrichtung des so entstandenen vierseitigen Prismas auf eine der Endflächen, so wird er durch Doppelbrechung in den ordentlichen Strahl BC und den außerordentlichen Strahl BD zerlegt. Infolge der eigenartigen Wahl der Schnittfläche (SS) wird der erstere (BC) von der Balsamschicht total reflektiert und tritt aus dem Kristall bzw. Prisma seitlich aus, während der außerordentliche Strahl (BD), der senkrecht zum Hauptschnitt polarisiert ist, durch die Balsamschicht hindurchgeht und in der Richtung EF , parallel zu AB , austritt. Der letztere Strahl wird als polarisiertes Licht benutzt.

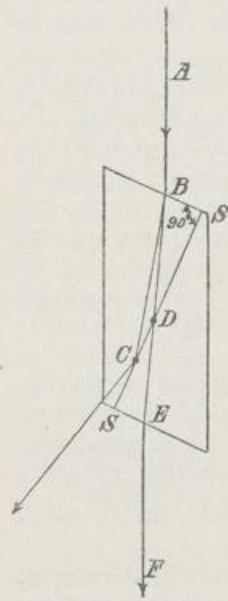


Abb. 97. Nicolsches Prisma.

Durch Verbindung zweier Nicolscher Prismen (zweier „Nicols“) erhält man einen Polarisationsapparat, der ähnlich einer Turmalinzeuge wirkt. Hat der zweite Nicol dieselbe Richtung wie der erste, so durchdringt das aus dem ersten kommende Licht den zweiten, und der letztere erscheint hell; wird aber der zweite Nicol um 90° gedreht, so daß die Hauptschnitte beider rechtwinklig zueinander stehen, so geht das Licht durch den zweiten Nicol nicht hindurch, und der letztere erscheint dunkel.

Der erste — vordere — Nicol heißt der Polarisator, der zweite — hintere — der Analysator.

Der erste — vordere — Nicol heißt der Polarisator, der zweite — hintere — der Analysator.

Polarisations-Erscheinungen. Bringt man eine sehr dünne Platte eines optisch einachsigen oder auch zweiachsigen Kristalls, welche so geschnitten oder gespalten ist, daß die optische Achse, bzw. die beiden optischen Achsen in der Schnittebene liegen, zwischen Polarisator und Analysator eines Polarisationsapparats, so daß also polarisiertes Licht (vom Polarisator erzeugt) durch die Kristallplatte hindurchgeht und danach durch den Analysator betrachtet wird, so erscheint die Kristallplatte im allgemeinen gefärbt. Die Farbe hängt von der Dicke der Platte ab und ändert sich, je nachdem die Kristallplatte selbst oder der Analysator gedreht wird. — Besonders geeignet zu dem genannten Versuche ist der Gips.

Wendet man eine keilförmig geschnittene Gipsplatte an, so treten parallele Streifen auf, die verschieden gefärbt sind — nach der Art der Farben dünner Blättchen (S. 157). Dieser Umstand deutet darauf hin, daß die Erscheinung auf Interferenz zurückzuführen ist, welche sich zwischen zwei Strahlen einstellt, in die der polarisierte Lichtstrahl beim Eintritt in den Kristall zerlegt wird. Ist das Licht, welches durch den Gipskeil geht, nicht das gewöhnliche weiße, sondern einfarbiges (homogenes) Licht, so zeigen die parallelen Streifen nur einen Unterschied zwischen hell und dunkel.

Wird aus einem optisch einachsigen Kristall, z. B. Kalkspat, eine Platte senkrecht zur optischen Achse (die zugleich kristallographische Hauptachse ist) geschnitten, so gehen parallel zu dieser Achse verlaufende Lichtstrahlen durch die Platte im allgemeinen wie durch ein unkrystallisiertes (isotropes) Mittel hindurch.

Konvergent gemachte polarisierte Lichtstrahlen (z. B. solche, die durch eine Sammellinse hindurchgegangen sind) verhalten sich anders: sie erzeugen in der durch ein analysierendes Nicolsches Prisma betrachteten Kristallplatte ein System konzentrischer Farbenringe, welche von einem hellen oder schwarzen Kreuz durchschnitten sind; von jenem, wenn die Polarisationssebenen von Polarisator und Analysator zusammenfallen, von diesem, wenn beide sich rechtwinklig schneiden. Dieses Kreuz entspricht den — in der Mitte des Lichtbündels — parallel verlaufenden Strahlen. Die Farbenringe entstehen durch Interferenz.

Wird der Analysator um 90° gedreht, so geht jede Farbe in ihre Komplementärfarbe über, und das Kreuz erscheint statt hell dunkel oder umgekehrt.

Bei Anwendung einfarbigen (homogenen) Lichtes fehlen die verschiedenartigen, von seiner Eigenfarbe abweichenden Farben; in dem Ringsystem nebst Kreuz treten bloß Unterschiede von hell und dunkel auf.

Optisch zweiachsige Kristalle liefern, senkrecht zur Halbierungslinie des von den optischen Achsen gebildeten Winkels zurechtgeschnitten, ein doppeltes, den beiden optischen Achsen entsprechendes Ringsystem.

Drehung der Polarisations-Ebene. Eine besondere Erscheinung beobachtet man am Bergkristall, wenn man aus demselben eine Platte senkrecht zur optischen Achse geschnitten hat und durch dieselbe, nachdem man sie zwischen Polarisator und Analysator eines Polarisationsapparates gebracht hat, entweder parallele oder konvergente Lichtstrahlen hindurchgehen läßt.

Nehmen wir den Fall des konvergenten Lichtes. Die Polarisationssebenen von Polarisator und Analysator seien vor der Benutzung der Kristallplatte rechtwinklig gekreuzt. Dann bietet das Gesichtsfeld eine ähnliche Farbenercheinung nebst schwarzem Kreuz wie beim Kalkspat dar. Schaltet man nun die Bergkristall-Platte ein, so erscheint die Mitte des Gesichtsfeldes nicht völlig dunkel, sondern farbig.

Bei Anwendung einfarbigen Lichtes erscheint die Mitte des Gesichtsfeldes gleichfalls nicht völlig dunkel, sondern erst dann

tritt gänzliche Auslöschung des Lichtes ein, wenn der Analysator um eine gewisse Winkelgröße — nach rechts oder nach links — gedreht wird. Da jetzt erst die Polarisations Ebenen von Polarisator und Analysator rechtwinklig gekreuzt sind, so waren sie es vor der Drehung nicht. Sie waren es aber ursprünglich, ehe die Kristallplatte sich zwischen beiden Nicols befand. Demnach ist die Polarisations Ebene des vom Polarisator kommenden polarisierten Lichtes beim Durchgange desselben durch die Kristallplatte in ihrer Richtung verändert, aus ihrer ursprünglichen Richtung herausgedreht worden, oder kurz: der Bergkristall hat die Polarisations Ebene gedreht. Manche Bergkristall-Sorten drehen die Polarisations Ebene nach rechts, manche nach links. Die rechtsdrehenden erfordern bei Anwendung weißen Lichtes, daß der Analysator nach rechts — wie der Zeiger der Uhr — gedreht werde, wenn die farbige Mitte des Gesichtsfeldes aus Rot in Gelb, Gelb in Grün, Grün in Blau und Blau in Violett sich verändern soll; die linksdrehenden erfordern für den gleichen Zweck die entgegengesetzte Drehung.

Wie der Bergkristall verhalten sich auch die Lösungen der weinsauren und traubensauren Salze. Die Weinsäure und ihre Salze sind rechtsdrehend, die Traubensäure und ihre Salze linksdrehend. Durch Zusammenkristallisieren der Salze bei der Säuren erhält man neutraltraubensaure Salze, deren Lösungen die Polarisations Ebene nicht drehen. Ihre Kristalle haben keine hemiedrische Beschaffenheit, während das bei den weinsauren und traubensauren Salzen und ebenso bei den verschiedenen Bergkristall-Sorten der Fall ist. Die Hemiedrie bei rechts- und linksdrehenden Kristallen (gleicher Zusammensetzung) ist eine unsymmetrische oder asymmetrische, d. h. ein rechtsdrehender und ein linksdrehender Kristall verhalten sich zueinander wie ein Gegenstand und sein Spiegelbild (enantiomorphe Formen). van't Hoff und Le Bel erklärten dementsprechend die Erscheinung des Rechts- und Linksdrehens der Polarisations Ebene durch die Annahme, daß die betreffenden chemischen Verbindungen zwei oder mehrere asymmetrische Kohlenstoffatome enthalten, d. h. Kohlenstoffatome von der Gestalt eines Tetraeders, an dessen vier Ecken vier verschiedene Radikale sich befinden, in welchem Falle es keine Symmetrie Ebene gibt. (1874.)

Die Polarisations Ebene drehen ferner viele ätherischen Öle und die Lösungen der verschiedenen Arten des Zuckers; Terpentinöl ist linksdrehend, Zitronenöl rechtsdrehend; wässrige Lösungen von Rohrzucker, Traubenzucker und Dextrin sind rechtsdrehend, von unkristallisierbarem Fruchtzucker und mit Säuren behandeltem Rohrzucker sowie von arabischem Gummi, Chinin und Strychnin linksdrehend.

Bei gewissen Körpern, die an sich nicht die Polarisations Ebene zu drehen vermögen, wird diese Eigenschaft unter dem Einfluß magnetischer oder elektrischer Kräfte hervorgerufen (Faraday, 1847). So bei kieselborsaurem Bleioxyd (dem „schweren Glase“ Faradays), Flintglas, Schwefelkohlenstoff, Wasser. Die

Richtung, in welcher die Drehung der Polarisationssebene erfolgt, stimmt (wenigstens für diamagnetische Stoffe) mit der Drehrichtung der Ampère-Ströme überein. (Vgl. über Diamagnetismus und Ampère-Ströme die betreff. Abschnitte in der Elektrizitätslehre.)

Stoffe, welche schon an sich eine Drehung der Polarisationssebene bewirken, erfahren durch magnetische und elektrische Kräfte eine Verstärkung oder Schwächung ihrer Eigenschaft, je nachdem beide Drehungen im gleichen oder entgegengesetzten Sinne erfolgen.

Man führt die elektromagnetische Drehung der Polarisationssebene entweder auf die Weise herbei, daß man die mit der fraglichen Flüssigkeit gefüllte Röhre (Saccharimeter — vgl. d. folg. Abschnitt) mit einer Drahtspirale umgibt, durch die ein kräftiger elektrischer Strom geleitet wird, oder indem man die Enden der Röhre zwischen die Pole eines starken Elektromagnets bringt. Eine Umkehrung der Stromrichtung oder der magnetischen Pole kehrt auch die Drehung der Polarisationssebene um.

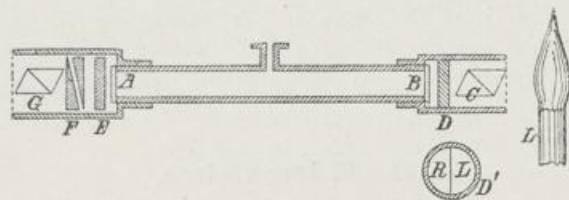


Abb. 98. Saccharimeter.

Saccharimeter. Der Drehungswinkel (die Größe der Drehung der Polarisationssebene) wächst mit der Dicke der drehenden Kristallplatte bzw. mit der Konzentration der drehenden Lösung. Daher gibt der Drehungswinkel einen Maßstab für die Konzentration einer Lösung ab. Man benutzt diesen Umstand zur Bestimmung des Gehaltes von Zuckerlösungen; die dabei Verwendung findenden Apparate heißen Saccharimeter.

Das Saccharimeter von Soleil (1847) hat folgende Einrichtung (Abb. 98):

Die zu untersuchende Zuckerlösung wird in die an den Enden durch ebene Glasplatten geschlossene Röhre AB gefüllt. Das Licht gelangt von der Lichtquelle L aus durch das Nicolsche Prisma C und die Quarzplatte D in die Röhre. Durch das Nicolsche Prisma wird es polarisiert; die Quarzplatte D besteht, wie D' zeigt, aus zwei halbkreisförmigen Quarzstücken: einem rechtsdrehenden und einem linksdrehenden; die Dicke beider Quarzstücke ist eine derartige, daß jedes zwischen den gekreuzten Nicols C und G (bei Ausschluß der Zuckerlösung) genau die gleiche, dunkel-violett-rötliche Farbe, die sogenannte Übergangsfarbe, darbietet. Bei A

verläßt das Licht die Röhre und geht 1. durch die rechtsdrehende Quarzplatte *E*, 2. die aus zwei keilförmig geschliffenen Stücken zusammengesetzte linksdrehende Quarzplatte *F* und 3. das als Analysator dienende Nicolsche Prisma *G* ins Auge. Die Dicke der Quarzplatte *F* ist dadurch veränderlich, daß die beiden Quarzkeile, aus denen sie besteht, sich durch eine Mikrometerschraube aneinander verschieben lassen. Stimmen die Platten *E* und *F* in der Dicke überein, so heben sich ihre drehenden Wirkungen gleichzeitig auf, und beide Hälften der Platte *D* bieten, wenn *AB* keine Flüssigkeit enthält, die Übergangsfarbe dar.

Wird nun die Flüssigkeit eingeschaltet, so gibt sich das geringste Drehungsvermögen derselben dadurch kund, daß die beiden Hälften der Platte *D* ungleich gefärbt erscheinen: die eine blau, die andere rot. Durch Drehung an der Mikrometerschraube verändert man jetzt die Dicke an der Quarzplatte *F*, bis die Übergangsfarbe (in beiden Hälften von *D*) wieder hergestellt ist. Die Größe der Drehung ist dem Prozentgehalt der Lösung proportional.

11. Wärmelehre.

Natur der Wärme. Wie Schall und Licht ist auch die Wärme, die wir durch den in der Haut verbreiteten Temperatursinn oder Wärme- und Kältesinn wahrnehmen, auf einen Bewegungsvorgang zurückzuführen. Man denkt sich denselben als eine Bewegung der Körpermoleküle, und zwar erfolgt diese bei festen Körpern in Form regelmäßiger Schwingungen um eine feste Gleichgewichtslage; bei flüssigen Körpern fehlt diese Gleichgewichtslage, und die Moleküle gleiten alle durcheinander, aber sie entfernen sich doch nicht über eine gewisse Grenze hinaus, die durch das Flüssigkeitsvolum gegeben ist; bei allen luftförmigen Körpern endlich bewegen sich die Moleküle geradlinig fort oder führen kreisende Bewegungen aus, nur gehemmt durch den Zusammenstoß und die infolgedessen stattfindende Zurückwerfung an anderen Molekülen oder an begrenzenden Wänden. Je bedeutender diese molekularen Bewegungen sind oder genauer gesprochen: je beträchtlicher die Bewegungsgröße (Masse mal Geschwindigkeit = $m \cdot v$, vgl. S. 40—41) der Körpermoleküle ist, desto wärmer ist der Körper.

Diese Vorstellungen gründen sich vor allem auf die Tatsache der Umwandlung von mechanischer Arbeit in Wärme und umgekehrt (vgl. den Abschnitt „Mechanisches Wärme-Äquivalent“), gehen aber auch sonst schon aus den Haupteigenschaften der Wärme hervor.

Die verschiedene Größe (Stärke oder Intensität) der Wärme, die uns als fertiger Wärmezustand entgegentritt, bezeichnet man als höheren oder niedrigeren Wärmegrad oder Temperatur.

Werden Körper von verschiedener Temperatur in Berührung gebracht, so gleichen sich ihre Temperaturen allmählich aus: es vollzieht sich ein Übergang von Wärme von dem wärmeren zu dem weniger warmen Körper.

Kälte ist, physikalisch betrachtet, nichts wesentlich anderes als Wärme, sondern nur ein niedriger Grad der letzteren. Wir bezeichnen einen Gegenstand oder Stoff als kalt, wenn er uns Wärme (in größerer oder geringerer Menge) entzieht, bzw. zu entziehen imstande ist.

Ausdehnung durch die Wärme. Eine Hauptwirkung der Wärme ist die, daß sie die Körper ausdehnt oder genauer: daß ein Körper, dem Wärme zugeführt wird, sein Volum vergrößert, ein Körper, dem Wärme entzogen wird, sein Volum verkleinert.

Diese Erscheinung beruht darauf, daß nach der oben angegebenen Auffassung von der Natur der Wärme die Molekularbewegung der Körper bei der Erwärmung gesteigert wird und umgekehrt; oder genauer: eine Zufuhr von Wärme, die einem Körper zuteil wird, bewirkt eine Zunahme der Bewegungsgröße der Moleküle des Körpers und, sofern seine Masse ungeändert bleibt, eine Zunahme der Geschwindigkeit der Moleküle, welche zur Folge hat, daß die Moleküle sich voneinander entfernen (ihre Bewegungen innerhalb weiterer Grenzen vollführen).

Von festen Körpern werden die Metalle besonders stark ausgedehnt. (Zwischen den hintereinander liegenden Eisenbahnschienen werden kleine Zwischenräume gelassen, damit sie bei der infolge starker Erwärmung im Sommer eintretenden Ausdehnung sich nicht verwerfen, d. h. sich krümmen und seitlich heraustreten, oder aber zersprengt werden; die Bolzen eines Plättseisens müssen kleiner sein als dessen Höhlung, damit sie im rotglühenden Zustande hineinpassen; Befestigung eines eisernen Reifens auf einem Rade mittels vorhergehender Erwärmung usw.)

Werden spröde Körper, z. B. Glas, einem schnellen Temperaturwechsel ausgesetzt, so zerspringen sie, was seinen Grund darin hat, daß die neue Temperatur, sei sie nun höher oder niedriger, nicht von allen Körperteilen gleichmäßig angenommen wird, so daß sie sich in verschiedenartiger Weise ausdehnen oder zusammenziehen. Je dünner ein Glas ist, desto geringer ist die Gefahr des Zerspringens infolge von Temperaturwechsel.

Um einen festsitzenden Glasstöpsel zu lockern, erwärmt man den Flaschenhals, weil sich dadurch der Flaschenhals ausdehnt, während der noch kalt bleibende Stöpsel sein Volum beibehält.

Kompensationspendel der Uhren.

Flüssige Körper werden durch die Wärme stärker ausgedehnt als feste; besonders zeichnen sich in dieser Hinsicht Äther, Schwefelkohlenstoff, Benzin

und Petroleum aus. Gefäße, die derartige Flüssigkeiten enthalten, dürfen daher nicht ganz gefüllt sein, da sonst bei einer Temperaturzunahme die Gefäße leicht zersprengt werden.

Am stärksten werden die Gase durch die Wärme ausgedehnt. Dies geht aus ihrer geringen Kohäsion und der damit zusammenhängenden großen Verschiebbarkeit ihrer Teilchen hervor. Läßt man eine Flasche mit langem dünnen Halse mit der Öffnung in Wasser eintauchen und erwärmt den Bauch der Flasche, so entweicht ein Teil der in der Flasche enthaltenen Luft und steigt in Blasenform im Wasser auf. Hält man mit der Erwärmung an, so zieht sich die Luft in der Flasche zusammen, und das Wasser steigt infolge des äußeren Luftdrucks in dem Halse der Flasche empor, indem es den Raum der zuvor entwichenen Luft einnimmt.

Messung der Temperatur durch das Thermometer. Die Tatsache der Ausdehnung der Körper durch die Wärme in Verbindung mit dem vorher bereits erwähnten Umstande, daß die Temperaturzustände sich berührender Körper sich ausgleichen, wird zur Messung der Temperaturen benutzt. Das dabei zur Anwendung kommende Instrument ist das Thermometer.

Bei den gewöhnlich gebrauchten Thermometern wird der Grad der Erwärmung an der Ausdehnung einer in einer Glasröhre eingeschlossenen Flüssigkeit gemessen. Diese Flüssigkeit ist entweder Quecksilber oder blau oder rot gefärbter Weingeist (Alkohol) oder Toluol. Das Gefäß ist eine luftleer gemachte enge Glasröhre, welche unten in eine Kugel (oder ein Gefäß von anderer Form) ausläuft, oben verschlossen ist und überall dieselbe Weite besitzt.

Die Entfernung der Luft geschieht auf die Weise, daß man die Röhre, nachdem sie mit Quecksilber gefüllt worden ist, so weit erhitzt, daß der Inhalt überläuft, und sie dann schnell zuschmilzt. Ob die Röhre überall gleich weit ist, erkennt man daran, daß ein Quecksilbertropfen, den man (vor der Füllung des Thermometers) in die Röhre hineingebracht hat und in derselben hin- und herlaufen läßt, überall dieselbe Länge aufweist.

An der Glasröhre ist eine Gradeinteilung oder Skala angebracht, nach deren Einrichtung und Beschaffenheit drei Arten von Thermometern unterschieden werden: das Celsiussche (C), das Réaumursche (R) und das Fahrenheitsche (F). (Celsius, Schwede, 1742; Réaumur, Franzose, 1730; Fahrenheit, Deutscher, 1714.) Das Celsiussche Thermometer ist in der Wissenschaft allgemein im Gebrauch, in Frankreich auch im gewöhnlichen Leben; in Deutschland ist das Réaumursche Thermometer im gewöhnlichen Gebrauch, während die Engländer nach Fahrenheit zählen.

Jede Thermometerskala hat als feste Punkte oder Fundamentalepunkte den Gefrierpunkt und den Siedepunkt des Wassers. An jenem steht die obere Grenze der Flüssigkeit, wenn das Thermo-

meter in schmelzenden Schnee oder schmelzendes Eis, an diesem, wenn das Thermometer in die Dämpfe siedenden Wassers gehalten wird. Sowohl schmelzender Schnee (bzw. Eis) wie die Dämpfe siedenden Wassers haben gleichbleibende oder konstante Temperaturen.

Der Abstand der beiden genannten Fundamentalpunkte, der Fundamentalabstand der Thermometerskala, wurde von Celsius in 100, von Réaumur in 80, von Fahrenheit in 180 gleiche Teile geteilt; jeder Teil heißt ein Grad. (Somit ist ein Grad des Celsiusschen Thermometers der hundertste Teil des Abstandes zwischen dem Gefrierpunkt und dem Siedepunkt des Wassers.)

Der Gefrierpunkt des Wassers (auch Eispunkt genannt) wird bei dem Celsiusschen und Reaumurschen Thermometer als Nullpunkt der Skala bezeichnet, während Fahrenheit den Nullpunkt 32° unter dem Gefrierpunkt des Wassers festsetzte; er glaubte, in diesem die tiefste überhaupt vorkommende Temperatur gefunden zu haben; es war diejenige, welche durch eine bestimmte Mischung von Schnee und Salmiak (Kältemischung) erzielt wird. — Das Sieden (oder Kochen) des Wassers erfolgt nach dem Gesagten nach dem Celsiusschen Thermometer bei 100° , nach dem Réaumurschen Thermometer bei 80° und nach dem Fahrenheitschen Thermometer bei 212° über Null.

(Vgl. Abb. 99.) Bemerkte sei, daß Celsius selbst den Siedepunkt des Wassers mit 0° und den Gefrierpunkt mit 100° bezeichnete.

Die Grade über dem Nullpunkt werden als Wärme- oder besser Plusgrade, die Grade unter dem Nullpunkt als Kälte- oder besser Minusgrade bezeichnet.

Da Quecksilber bei -39° C fest wird oder gefriert, so muß zur Messung niedrigerer Temperaturen ein Weingeist-Thermometer benutzt werden, während für hohe Temperaturen ein Quecksilber-Thermometer anzuwenden ist, da Weingeist bei $+78^{\circ}$ C siedet. Das neuerdings als Thermometerfüllung mehrfach angewandte Toluol siedet bei $+111^{\circ}$ C und gefriert oder erstarrt erst unter -20° C. Temperaturen über dem Siedepunkt des Quecksilbers ($+360^{\circ}$ C) mißt man mit einem Pyrometer (Platinstange, deren lineare Ausdehnung durch ein Zeigerwerk angegeben wird) oder mit dem Luftthermometer (siehe unten).

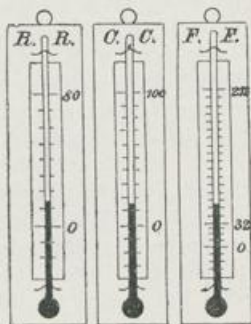


Abb. 99. Thermometer.

Da $100^{\circ} \text{C} = 80^{\circ} \text{R}$ und somit $5^{\circ} \text{C} = 4^{\circ} \text{R}$ sind, so verwandelt man Réaumur'sche Grade in Celsius'sche, indem man erstere mit $\frac{5}{4}$ multipliziert, und Celsius'sche in Réaumur'sche, indem man erstere mit $\frac{4}{5}$ multipliziert.

Um Fahrenheit'sche Grade ($180^{\circ} \text{F} = 100^{\circ} \text{C} = 80^{\circ} \text{R}$ oder $9^{\circ} \text{F} = 5^{\circ} \text{C} = 4^{\circ} \text{R}$) in Celsius'sche bzw. Réaumur'sche zu verwandeln, muß man, da der Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers 32°F unter dem der beiden andern liegt, zuerst 32 subtrahieren und dann den Rest mit $\frac{5}{9}$ bzw. $\frac{4}{9}$ multiplizieren. — Umgekehrt werden Celsius'sche bzw. Réaumur'sche Grade in Fahrenheit'sche verwandelt, indem man sie mit $\frac{9}{5}$ bzw. $\frac{9}{4}$ multipliziert und zu der erhaltenen Zahl 32 addiert.

Das Luftthermometer besteht aus einem kugelförmigen, mit Luft gefüllten Gefäß, das mit einem U-förmig gebogenen, offenen Rohre in Verbindung steht. In letzteres ist Quecksilber gefüllt, durch welches die Luft in dem Gefäße abgesperrt wird. Man richtet durch einen unten an dem Rohr angebrachten Hahn den Stand des Quecksilbers so ein, daß bei 0° das Quecksilber in beiden Schenkeln des Rohres gleich hoch steht. Dann ist die Spannung der Luft im Gefäße gleich dem äußeren Luftdruck, d. h. = 1 Atmosphäre (760 mm). Wird nun das Thermometer z. B. um t° erwärmt, so dehnt sich die Luft im Gefäße aus, und das Quecksilber steigt im offenen Schenkel des Rohres in die Höhe; durch Nachfüllen von Quecksilber wird die Luft auf ihr voriges Volum zusammengedrückt. Steht das Quecksilber im offenen Schenkel um h mm höher als in dem zum Gefäße führenden, so ist nach S. 173, Formel (2): $760 + h = 760(1 + \alpha t)$, woraus t leicht berechnet werden kann.

Maximum- und Minimum-Thermometer. Namentlich für Witterungsbeobachtungen ist es erwünscht, die höchste und niedrigste Temperatur innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes, z. B. eines Tages, kennen zu lernen. Zur Ermittlung derselben dient ein Maximum- und Minimum-Thermometer, auch Thermometrograph genannt. In seiner älteren Form besteht dasselbe aus zwei horizontal liegenden Thermometern, von denen eins mit Quecksilber, das andere mit Weingeist gefüllt ist. Die Röhre des Quecksilber-Thermometers enthält einen feinen Stahlstift, der seitens des Quecksilbers keine Benetzung erfährt und daher von diesem mit vorgeschoben wird, wenn es sich infolge einer Temperaturzunahme ausdehnt, aber liegen bleibt, wenn es sich infolge von Temperaturabnahme zusammenzieht. Die Röhre des Weingeist-Thermometers enthält ein dünnes Glasstäbchen, mit dem das Umgekehrte geschieht: es wird von dem Weingeist, der es benetzt, infolge von Adhäsion mit zurückgezogen, wenn sich der Weingeist zusammenzieht, dagegen bleibt es liegen, wenn der Weingeist sich ausdehnt, indem dieser dann darüber hinfließt. Hieraus geht hervor, daß der Stahlstift die Stelle des stattgehabten Maximums der Temperatur, das Glasstäbchen die des Minimums anzeigen muß.

Das Sixs'sche Maximum- und Minimum-Thermometer besteht aus einem Gefäß mit U-förmig gebogenem Rohr, das sich am Ende erweitert. Das

Gefäß und ein Teil des Rohres ist mit Weingeist, die Biegungsstelle des Rohres mit Quecksilber, der letzte Teil des Rohres bis auf die Hälfte der Erweiterung wieder mit Weingeist, der Rest der Erweiterung mit Luft gefüllt. Vor den Enden des Quecksilberfadens befindet sich innerhalb des Weingeistes je ein Stahlstäbchen, welches das Thermometerrohr so weit ausfüllt, daß zwar der Weingeist, nicht aber das Quecksilber daran vorbeifließen kann. Daher wird bei einer Temperaturzunahme mit dem Quecksilberfaden auch das dem Ende des Thermometerrohres nähere Stahlstäbchen vorwärtsgeschoben, bei einer Temperaturabnahme aber das andere Stahlstäbchen zurückgeschoben, während ersteres liegen bleibt. Zur Anstellung einer neuen Beobachtung werden die Stahlstäbchen mittels eines Magnets wieder vor die Enden des Quecksilberfadens befördert.

Die selbsttätig registrierenden Thermometer, die gleichfalls Thermometrographen genannt werden, bestehen aus einem Metallthermometer (Breguet, 1817) und einem an dessen Zeiger befestigten Schreibstift, an dem ein Papierstreifen langsam vorbeigleitet; auf diesem zeichnet der Stift eine Temperaturkurve auf. Das Metallthermometer ist eine aus Streifen verschiedener Metalle zusammengelötete Spiralfeder, deren eines Ende befestigt ist, während das andere mit einem Zeiger versehen ist. Befindet sich nun auf der Außenseite der Spiralfeder beispielsweise Silber, auf der Innenseite Platin, so wird bei Temperaturerhöhung die Krümmung der Spirale vergrößert, bei Temperaturerniedrigung verringert, weil sich das Silber bei Erwärmung stärker ausdehnt als das Platin — vgl. S. 172.

Bei dem Fieberthermometer, das Quecksilberfüllung besitzt, ist an einer Stelle des Rohres eine Verengung oder eine doppelte Biegung vorhanden. Ist daher durch Erwärmung das Quecksilber auf einen höchsten Stand gebracht worden und findet danach eine Abkühlung statt, so kann das über der genannten Stelle befindliche Stück des Quecksilberfadens nicht zurück und zeigt somit das erreichte Maximum der Temperatur an. (Die normale Blutwärme beträgt $+37,5^{\circ}\text{C}$.) Für einen weiteren Gebrauch wird das emporgeschobene Stück des Quecksilberfadens durch kräftiges Schwingen des Thermometers zurückbefördert.

Hohe Hitzegrade. Einen Anhalt für ungefähre Schätzungen höherer Temperaturen gibt die Farbe, welche die Körper (vor allem das Eisen) bei denselben annehmen. Man unterscheidet die dunkle Rotglühhitze oder dunkle Rotglut (Kirschrotglut) — bei etwa 500°C , die helle Rotglut — bei etwa 700°C und die Weißglühhitze oder Weißglut — bei etwa 1000° bis 1600°C . (Vgl. S. 122.)

Unregelmäßigkeiten bei der Wärmeausdehnung. Eine Ausnahme hinsichtlich der Ausdehnung durch die Wärme macht das Wasser. Es zieht sich bei Erwärmung von 0° auf $+4^{\circ}\text{C}$ zusammen, worauf es sich bei weiterer Temperaturzunahme wieder mit wachsender Geschwindigkeit ausdehnt. Setzt man das Volum des Wassers bei $+4^{\circ}\text{C}=1$, so ist es bei $0^{\circ}=1,000123$ und bei $+100^{\circ}\text{C}=1,043116$.

Ausdehnungskoeffizient. Die Größe der Ausdehnung eines Körpers durch die Wärme gibt der sogenannte Ausdehnungskoeffizient an. Bei festen Körpern unterscheidet man einen linearen und einen kubischen Ausdehnungskoeffizienten, bei flüssigen und gasförmigen Körpern kann nur von einem kubischen Ausdehnungskoeffizienten die Rede sein. — Der lineare Ausdehnungskoeffizient ist das Verhältnis der Längenzunahme bei Temperaturerhöhung um 1°C zur ursprünglichen Länge; der kubische Ausdehnungskoeffizient ist das Verhältnis der Volumzunahme bei Temperaturerhöhung um 1°C zum ursprünglichen Volum. — Der kubische Ausdehnungskoeffizient fester Körper ist annähernd gleich dem dreifachen linearen.

Der lineare Ausdehnungskoeffizient beträgt für

| | | | |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Platin | 0,000 009 | Zinn | 0,000 022 |
| Eisen | 0,000 012 | Aluminium | 0,000 023 |
| Gold | 0,000 015 | Blei | 0,000 028 |
| Kupfer | 0,000 017 | Zink | 0,000 030 |
| Messing | 0,000 019 | Natrium | 0,000 072 |
| Silber | 0,000 019 | Kalium | 0,000 083 |
| | | | |
| Diamant | 0,000 001 | Eis | 0,000 064 |
| Gaskohle | 0,000 005 | Hartgummi | 0,000 060—0,000 080 |
| Glas | 0,000 008—0,000 009 | Paraffin | 0,000 278 |

Der kubische Ausdehnungskoeffizient beträgt für

| | | | |
|--------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| Brom | 0,001 038 | Wasser | 0,000 429 |
| Olivenöl | 0,000 8 | Quecksilber | 0,000 181 |
| Alkohol | 0,000 622 | | |

Gay-Lussacsches Gesetz. Die Gase haben alle denselben Ausdehnungskoeffizienten; oder mit andern Worten: alle Gase werden durch die Wärme gleich stark ausgedehnt. (Gay-Lussacsches Gesetz, 1802.)

Der Ausdehnungskoeffizient ist $= 0,003\,665$ oder $\frac{1}{273}$; man bezeichnet ihn mit α .

Ist das Volum einer Gasmenge bei $0^{\circ} = v_0$, so ist es bei t° :

$$v_t = v_0 + v_0 \alpha t = v_0 (1 + \alpha t) \dots (1).$$

Dies gilt aber nur, wenn der äußere Druck, unter dem das Gas steht, unverändert derselbe geblieben ist.

Bezeichnet man diesen äußeren Druck mit p_0 und bringt durch vermehrten Druck das Gas von dem Volum v_t auf sein Volum

bei $0^\circ (= v_0)$ zurück, so ist, wenn derjenige Druck, unter dem das Volum v_0 jetzt (bei der Temperatur t^0) steht, p_t genannt wird, nach dem Mariotteschen Gesetz (S. 88):

$$p_t : p_0 = v_t : v_0 = v_0 (1 + \alpha t) : v_0 = 1 + \alpha t,$$

$$\text{oder: } p_t = p_0 (1 + \alpha t) \dots (2).$$

Hieraus und aus Formel (1) folgt, da die innere Spannung eines Gases gleich dem äußeren Druck ist, unter dem es steht: Wenn eine bestimmte Menge Gas bei gleichbleibendem Volum auf eine bestimmte Temperatur erhitzt wird, so nimmt die innere Spannung in demselben Verhältnis zu, wie bei gleichbleibendem äußeren Druck (bzw. innerer Spannung) das Volum zunehmen würde.

Der Ausdehnungskoeffizient der Gase ist hiernach zugleich ihr Spannungskoeffizient.

Es entsteht nun die Frage, welche Gesetzmäßigkeit herrscht, wenn bei der Erwärmung einer Gasmenge weder der Druck noch das Volum sich gleichbleibt. Dieser Fall läßt sich auf die Weise erreichen, daß man eine Gasmenge mit dem Volum v_0 , die unter dem Drucke p_0 steht, zunächst bei gleichbleibendem Druck von 0° auf t^0 erwärmt. Wird das Volum dabei $= v'$, so ist nach Formel (1):

$$v' = v_0 (1 + \alpha t).$$

Wenn man nun den Druck steigert, aber nicht so, daß wieder das ursprüngliche Volum v_0 , sondern ein neues Volum $= v$ erreicht wird, was bei dem Drucke p geschehen mag, so ist nach dem Mariotteschen Gesetz (Formel 2, S. 88):

$$p \cdot v = p_0 \cdot v'$$

und, wenn man in diese Gleichung den obigen Wert für v' einsetzt:

$$p \cdot v = p_0 \cdot v_0 (1 + \alpha t) \dots (3).$$

Diese Gleichung wird das Mariotte-Gay-Lussacsche Gesetz oder die Zustandsgleichung der Gase genannt. Mit ihrer Hilfe läßt sich immer eine der drei Größen: Druck, Temperatur und Volum durch die beiden andern ausdrücken.

Kinetische Gastheorie. Eine Erklärung des Gay-Lussacschen Gesetzes ebenso wie des Mariotte-Boyleschen bietet die (besonders von Clausius ausgebaute) kinetische Theorie der Gase. Nach dieser Theorie wird die Gasspannung durch die Stöße hervorgebracht, welche die Gasmoleküle bei ihren Bewegungen auf die das Gas umschließenden Gefäßwände oder die es sonst umgebenden Körper ausüben. Die Größe der Gasspannung hängt von der Zahl und Stärke der Stöße ab, welche die Flächeneinheit der Wand in der Zeiteinheit seitens der Moleküle erfährt. Da nun aber die Zahl dieser Stöße sich entsprechend der Zahl der in der Volumeinheit enthaltenen Moleküle und

deswegen entsprechend der Dichte und umgekehrt wie das Volum ändert, so erklärt sich das Mariotte-Boylesche Gesetz. Da anderseits die Stärke der von den Gasmolekülen ausgeübten Stöße sich nach Maßgabe der Temperatur (d. h. der Intensität der Wärme oder molekularen Bewegung innerhalb des Gases) ändert, so findet hiermit auch das Gay-Lussacsche Gesetz eine Erklärung.

Wärmeerzeugung durch Kompression; Kälteerzeugung durch Ausdehnung. Aus der kinetischen Gastheorie ergibt sich noch eine andere Folgerung. Wird eine bestimmte Gasmenge zusammengepreßt oder komprimiert, so erhöht der dabei ausgeübte Druck die innere (molekulare) Bewegung des Gases, und die Temperatur steigt. (Vgl. den Abschnitt „Quellen der Wärme“: 5. Mechanische Arbeit — pneumatisches Feuerzeug!) Findet umgekehrt eine — möglichst plötzliche — Ausdehnung einer gewissen Gasmenge statt, so geschieht dies auf Kosten der molekularen Bewegung des Gases, und die Folge ist ein Sinken der Temperatur. Dieser Vorgang entspricht durchaus der Volumzunahme eines Gases bei Erwärmung; wird die Wärme (= mechanischer Arbeit), die zu dieser Volumzunahme erforderlich ist, dem Gase nicht von außen zugeführt, so wird sie ihm selbst (und seiner Umgebung) entzogen.

Ungenauigkeit des Gay-Lussacschen Gesetzes. Ebenso wenig wie das Mariotte-Boylesche Gesetz genaue Gültigkeit besitzt, ist das Gay-Lussacsche Gesetz genau richtig. Das wirkliche Verhalten der Gase zeigt Abweichungen von dem Gesetz, so daß dieses nur als Annäherung an die Wirklichkeit bezeichnet werden kann. Die Abweichungen bestehen darin, daß der Ausdehnungskoeffizient 1. nicht für alle Gase vollkommen gleich groß ist, 2. für ein und dasselbe Gas nicht bei allen Temperaturen konstant ist, und daß er 3. bei gleichbleibendem Drucke nicht genau derselbe ist wie bei gleichbleibendem Volum.

Nach Eugen und Ulrich Dühring gilt das Gay-Lussacsche Gesetz, gleich dem Mariotte-Boyleschen, nicht für das Gesamtvolum, sondern für das Zwischenvolum der Gase. (Vgl. S. 89.)

Abnahme der Dichtigkeit bei Erwärmung. Da mit Erhöhung der Temperatur das Volum der Körper sich vergrößert, ihre Masse und somit ihr absolutes Gewicht aber dasselbe bleibt, so muß ihr spezifisches Gewicht oder ihre Dichtigkeit abnehmen.

Hiervon macht das Wasser (nach S. 171) zwischen 0° und $+4^{\circ}$ C eine Ausnahme. Da dasselbe, von 0° auf 4° erwärmt, sich zusammenzieht und erst danach wieder ausdehnt, so hat es bei $+4^{\circ}$ C seine größte Dichtigkeit oder sein größtes spezifisches Gewicht. — Daher hat in allen tieferen Gewässern das unten (auf dem Boden) befindliche Wasser eine Temperatur von $+4^{\circ}$ C. Dies ist für das Dasein der im Wasser lebenden Organismen von entscheidender Wichtigkeit.

Absolute Temperatur. Wenn in der S. 173 angegebenen Gleichung (2):

$$p_t = p_0(1 + \alpha t),$$

worin α den Wert $\frac{1}{273}$ hat, $t = -273^\circ \text{C}$ ist, so wird $p_t = 0$, d. h. die Gase besitzen bei dieser Temperatur keine innere Spannung mehr, bzw. sie erleiden keinen äußeren Druck. Die Bewegung der Moleküle hat alsdann aufgehört.

Die Temperatur -273°C nennt man den absoluten Nullpunkt der Temperatur und die von ihm aus gerechnete Temperatur $T = 273 + t$ (worin t Celsiusgrade bedeutet) die absolute Temperatur. Bei Anwendung derselben ist $t = T - 273$ zu setzen, und die obige Gleichung nimmt folgende Form an:

$$p_t = p_0 \left(1 + \frac{1}{273} [T - 273]\right) \text{ oder:}$$

$$p_t = \frac{p_0 \cdot T}{273} = p_0 \cdot \alpha \cdot T \dots \dots (4a).$$

Gleichung (1) S. 172 wird: $v_t = \frac{v_0 \cdot T}{273} = v_0 \cdot \alpha \cdot T \dots \dots (4b)$

und Gleichung (3) S. 173: $p \cdot v = p_0 \cdot v_0 \cdot \alpha \cdot T \dots \dots (4c).$

Hierin ist $p_0 \cdot v_0 \cdot \alpha$ eine konstante Größe, die sogenannte Gaskonstante, deren Zahlenwert für ein bestimmtes Gas nur von der Wahl der Einheiten abhängt. Setzt man $p_0 \cdot v_0 \cdot \alpha = R$, so ergibt sich als allgemeinsten Ausdruck der Zustandsgleichung der Gase:

$$p \cdot v = R \cdot T \dots \dots (4d).$$

Nach dem Vorstehenden — Gleichung (4a) und (4b) — läßt sich das Gay-Lussacsche Gesetz folgendermaßen aussprechen: Bei gleichbleibendem Druck ist das Volum eines Gases (und bei gleichbleibendem Volum der Druck) proportional der absoluten Temperatur.

Änderung des Aggregatzustandes. Die zweite Hauptwirkung der Wärme — nächst der Ausdehnung der Körper — ist die Änderung des Aggregatzustandes.

Die meisten festen Körper gehen infolge von fortschreitender Erwärmung, sofern sie dadurch keine chemische Veränderung erfahren, bei einer für jeden Körper bestimmten Temperatur in den flüssigen Aggregatzustand über. Dieser Vorgang wird als Schmelzen bezeichnet, und die Temperatur, bei welcher sich dasselbe vollzieht, heißt der Schmelzpunkt des Körpers.

Wird der verflüssigte Körper bis unter den Schmelzpunkt abgekühlt, so wird er wieder fest: er erstarrt oder gefriert.

Bei manchen festen Körpern findet, ehe sie schmelzen, ein Erweichen statt. (Eisen, Glas, Harz, Fette).

Der Schmelzpunkt der Metall-Legierungen liegt meistens tiefer als der ihrer Bestandteile. Die auffallendsten Beispiele bilden das Rosesche Metall (Wismut, Blei und Zinn) und das Woodsche Metall (Wismut, Blei, Zinn und Kadmium), deren Schmelzpunkte $+94^\circ \text{C}$. und $+66$ bis 70°C sind, während Wismut für sich bei 267° , Blei bei 335° , Zinn bei 228° und Kadmium bei 315° schmilzt.

Im allgemeinen stellt sich beim Schmelzen eine Volum-Vergrößerung ein, so daß die Körper im flüssigen Zustande spezifisch leichter sind als im festen. Ausnahmen hiervon machen das Wasser und das Wismut. Die Zunahme des Volums beträgt beim Wasser, wenn es zu Eis erstarrt, ungefähr $\frac{1}{10}$ des Volums im flüssigen Zustande. — Daher kommt es, daß Eis auf Wasser schwimmt und Gefäße, die vollständig mit Wasser gefüllt sind, beim Gefrieren desselben zersprengt werden.

Flüssige Körper gehen bei zunehmender Wärme in steigendem Maße in den gasförmigen Zustand über; in diesem Zustand heißen sie Dämpfe. Erfolgt die Dampfbildung oder Verdampfung nur an der Oberfläche (und allmählich), was schon bei gewöhnlicher Temperatur geschieht, so heißt sie Verdunstung; erfolgt sie auch im Innern, was für jeden Körper (unter der Herrschaft eines bestimmten äußeren Druckes) bei bestimmter, gleichbleibender Temperatur geschieht, so bezeichnet man sie als Sieden oder Kochen.

Der Verdunstung, d. h. der Verwandlung in den gasförmigen Zustand an der Oberfläche und bei beliebiger Temperatur, unterliegen auch in mehr oder minder hohem Grade die festen Körper.

Je gesättigter der über einer Flüssigkeit befindliche Raum mit dem Dampfe der Flüssigkeit ist, d. h. je mehr von diesem Dampfe er enthält, desto schwächer verdunstet die Flüssigkeit. Durch Fortschaffung des Flüssigkeitsdampfes (z. B. durch Blasen, Fächeln oder Schwenken) wird die Verdunstung beschleunigt.

Die Zurückverwandlung eines Dampfes in eine Flüssigkeit heißt Verdichtung oder Kondensation.

Das Sieden einer Flüssigkeit ist vom äußeren Drucke abhängig, findet also unter verschiedenem Drucke bei verschiedener Temperatur statt, und zwar siedet eine Flüssigkeit unter irgend einem Drucke bei derjenigen Temperatur (Siedetemperatur), bei welcher die innere Spannung ihres Dampfes (die ja mit steigender Temperatur zunimmt — S. 173) dem auf ihr lastenden Drucke gleich ist. Je geringer also der äußere Druck — desto niedriger die Siedetemperatur; je größer der Druck — desto höher die Siedetemperatur.

Auf hohen Gebirgen und unter der Luftpumpe tritt demgemäß das Sieden des Wassers bei niedrigerer Temperatur als in der Ebene und im luffterfüllten Raume (100° C) ein. In einem fest verschlossenen Gefäße siedet eine Flüssigkeit (wegen der zunehmenden Spannung der sich über ihr bildenden Dämpfe) erst bei höherer Temperatur als in einem offenen Gefäß. (Papinscher Topf).

Häufig treten Siedeverzüge ein, die ihren Grund hauptsächlich darin haben, daß zum Losreißen der Dampfmoleküle von den Wänden des Siedegefäßes eine gewisse, von der Natur der Wände abhängige Kraft erforderlich ist. In einem glattwandigen, mit heißer konzentrierter Schwefelsäure gereinigten Glaskolben kann Wasser, ohne zu sieden, einige Grade über die Siedetemperatur sich erwärmen. Eine derartige Flüssigkeit heißt überhitzt. Kommt dieselbe schließlich ins Sieden, so erfolgt dasselbe stoßweise, explosionsartig. (Dampfkessel-Explosionen.) Auch völlig luftfreies (ausgekochtes) Wasser siedet in dieser Weise. Dasselbe ist im übrigen spezifisch schwerer als lufthaltiges Wasser und hat einen metallischen Klang.

Eine andere Art anormalen Siedens bietet das Leidenfrostsche Phänomen dar, das darin besteht, daß eine geringe Menge einer Flüssigkeit (z. B. Wasser), auf eine glühende Metallfläche gebracht, nicht ins Sieden kommt, sondern sich zu einem Tropfen abrundet, der in wirbelnde Bewegung gerät und allmählich durch Verdunsten verschwindet. (Leidenfrost, 1756.) Boutigny nannte diesen Zustand der Flüssigkeit den sphäroidalen. Er erklärt sich so, daß sich unter der Flüssigkeit eine Dampfschicht bildet, die den Tropfen trägt. Läßt man die Metallfläche sich abkühlen, so wird die Dampfspannung geringer, und die Dampfschicht vermag nicht mehr den Druck der Atmosphäre und das Gewicht des Tropfens zu tragen; sie verdichtet sich daher, die Flüssigkeit berührt das heiße Metall und verdampft explosionsartig. — Dem Wesen nach dem Leidenfrostschen Phänomen gleich zu erachten ist die Erscheinung, daß Hüttenarbeiter die Hand ohne Gefahr rasch in geschmolzenes Eisen tauchen können; dieselbe wird dabei durch eine sich entwickelnde Dampfschicht des Schweißes und Fettes geschützt.

Destillation. Eine unreine Flüssigkeit, die z. B. irgend welche Stoffe (Salze usw.) gelöst enthält, kann dadurch gereinigt werden, daß man sie ins Sieden bringt und die sich entwickelnden Dämpfe durch Abkühlung wieder zu Flüssigkeiten verdichtet. Dieses Verfahren heißt Destillation.

Von großer praktischer Bedeutung ist die Herstellung destillierten Wassers. Dasselbe wird bei der Destillation nicht nur von gelösten Salzen, sondern auch von der in ihm gelöst enthaltenen Luft befreit. (Vor jedem Sieden von lufthaltigem Wasser sieht man zahlreiche Luftbläschen aufsteigen und an der Oberfläche zerplatzen; erst nach dem Entweichen der Luft tritt die Bildung von Dampfblasen ein. Die letzteren werden anfänglich — wenn die oberen Schichten des Wassers noch nicht genügend erwärmt sind — von diesen wieder verdichtet, wobei ein eigentümlich summendes Geräusch auftritt: das Singen des Wassers.)

Häufig vollzieht man die Destillation zur Trennung mehrerer Flüssigkeiten, die bei verschiedenen hohen Temperaturen sieden: verschiedene Flüchtigkeit besitzen. Die flüchtigere Flüssigkeit geht beim vorsichtigen Erwärmen über, die weniger flüchtige bleibt

zurück. Läßt man mehrere Flüssigkeiten — bei verschiedenen Siedepunkten — übergehen und fängt sie gesondert auf, so heißt die Destillation eine fraktionierte.

Eine zweimal destillierte Flüssigkeit heißt rektifiziert, die zweite, zur vollständigen Reinigung vorgenommene Destillation heißt Rektifikation.

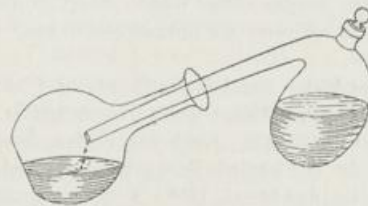


Abb. 100. Einfacher Destillationsapparat.

Die Destillation wird entweder in einem metallenen (kupfernen oder zinnernen) Gefäß, der Destillierblase, vorgenommen, an die sich als Ableitungsrohr der zinnene Helm oder Hut ansetzt; oder man benutzt eine Retorte, die aus Glas besteht, ungefähr die Form einer Birne hat und ein seitlich abwärts gerichtetes Ableitungsrohr besitzt; ist die Retorte

oben mit einer verschließbaren Öffnung versehen, so heißt sie tubuliert. (Abb. 100.)

Die Verdichtung der übergehenden Dämpfe geschieht entweder ohne weiteres in der Vorlage, einem Gefäß, in welches das Ableitungsrohr hineinführt und das — z. B. durch darüberlaufendes kaltes Wasser — gekühlt werden

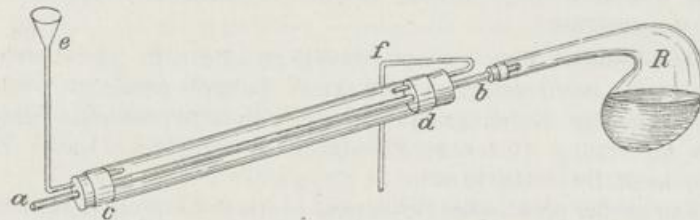


Abb. 101. Liebig'scher Kühler.

kann (Abb. 100), oder — wenn die Dämpfe weniger leicht verdichtbar sind — in einem besonderen Kühlgefäß, welches aus einem mit kaltem Wasser gefüllten Behälter, dem Kühlfaß, und einem durch dasselbe verlaufenden Rohre, dem Kühlrohr oder der Kühl Schlange, besteht.

Eine besondere, sehr handliche Form des Kühlgefäßes bildet der Liebig'sche Kühler (Abb. 101). Derselbe besteht aus einem in geneigter Stellung befindlichen engeren Rohre *ab*, in welches die zu verdichtenden Dämpfe (aus der Retorte *R*) eintreten, und einem das erstere umgebenden weiteren Rohre *cd*, das fortdauernd von kaltem Wasser durchströmt wird. Das Wasser fließt an dem tieferen Ende *c* des Rohres durch das Trichterrohr *e* zu und an dem oberen Ende *d* durch das nach unten gebogene Rohre *f* ab. Dadurch kann es bewirkt werden, daß das Rohre *cd* stets vollständig mit Wasser gefüllt ist. Zu

diesem Zwecke muß der Kühler so gestellt werden, daß der Trichter des Trichterrohres höher als das obere Ende (d) des weiten Rohres bzw. als das Abflußrohr f liegt. (Gesetz der kommunizierenden Gefäße!)

Als trockene Destillation wird die Erzeugung von Dämpfen aus festen Körpern mit nachfolgender Kondensation der Dämpfe bezeichnet. (Trockene Destillation des Holzes und der Steinkohle — Leuchtgas-Fabrikation.)

Sublimation. Von der Destillation unterscheidet sich die Sublimation auf die Weise, daß sich bei ihr Dämpfe nicht zu Flüssigkeiten verdichten, sondern unmittelbar in den festen Zustand übergehen. Wird z. B. Schwefel in einem Kessel erhitzt und werden die sich entwickelnden Dämpfe in eine kalte Kammer geleitet, so schlägt sich an deren Wandungen der Schwefel als feiner Staub nieder, den man Schwefelblumen oder Schwefelblüte nennt. Wird Jod in einer Retorte erhitzt, die in eine Vorlage mündet, so setzen sich an den Wänden der letzteren dunkle Jodkristalle ab, die aus den violetten Joddämpfen entstehen, welche in die Vorlage hinüberströmen.

Die Sublimation dient gleich der Destillation und gleich der Kristallisation zur Reindarstellung von Körpern.

Schmelzungs- und Verdampfungswärme. Während die Temperatur eines Körpers, dem fortdauernd neue Wärme zugeführt wird, im allgemeinen stetig wächst, bleibt die Temperatur eines schmelzenden oder siedenden Körpers trotz zugeführter Wärme so lange unverändert dieselbe, bis der neue Aggregatzustand vollkommen hergestellt ist.

Es dient demnach beim Schmelzen und Verdampfen eine gewisse Wärmemenge nicht zur Temperaturerhöhung, sondern lediglich zur Änderung des Aggregatzustandes; dieselbe geht — für das Gefühl und die Anzeigen des Thermometers — verloren und ist daher latente oder gebundene Wärme genannt worden. Die für die Schmelzung verbrauchte latente Wärme heißt Schmelzungswärme, die für die Verdampfung verbrauchte heißt Verdampfungswärme.

Die Schmelzungswärme des Eises ist so groß, daß sie genügen würde, eine gleich große Gewichtsmenge Wasser von 0° auf $79,25^{\circ}$ C zu erwärmen.

Die Verdampfungswärme des Wassers ist nahezu 7 mal so groß.

Wärmeeinheit. Diejenige Wärmemenge, welche nötig ist, um die Temperatur eines Kilogramms Wasser um 1° C zu erhöhen, nennt man Wärmeeinheit oder Kalorie.

Hiernach ist die Schmelzungswärme des Eises zufolge der vor-

stehenden Angabe = 79,25 Kalorien. Die Verdampfungswärme des Wassers ist = 537 Kalorien.

Freiwerden von Wärme. Wie beim Übergang aus einem dichteren in einen dünneren Aggregatzustand Wärme verbraucht wird, wird umgekehrt beim Übergang aus einem dünneren in einen dichteren Aggregatzustand Wärme erzeugt oder — nach älterer Ausdrucksweise — frei.

Der Wärmeverbrauch beim Schmelzen und Verdampfen (und desgleichen die Wärmeerzeugung bei den umgekehrten Vorgängen) erklärt sich aus der Vorstellung, die man von der Natur der Wärme hat (S. 166). Fassen wir den Prozeß der Schmelzung näher ins Auge! Bei demselben erfahren die Körpertheilchen (im allgemeinen) eine Trennung voneinander; damit diese eintrete, ist eine gewisse Arbeit erforderlich, welche die Wärme — als eine besondere Form der Bewegung — zu leisten imstande ist. Da eine gewisse Wärmemenge diese Arbeit verrichtet, kann sie keine andere Wirkung ausüben, insbesondere keine Ausdehnung der umgebenden Körper (des Quecksilbers im Thermometer usw.) herbeiführen. Sie wird vielmehr für die Schmelzung verbraucht.

Lösungswärme. Da die Auflösung eines festen Körpers in einer Flüssigkeit mit einer Verteilung — gleichsam auch einer Verflüssigung — des ersteren verbunden ist, so wird bei derselben wie beim Schmelzen gleichfalls Wärme verbraucht. (Beispiele: Lösung von Salpeter oder Salmiak in Wasser.)

Salzlösungen gefrieren bei niedrigerer Temperatur als reines Wasser. Daher wird eine Mischung von Kochsalz und Schnee flüssig, und infolge der Verflüssigung sinkt die Temperatur. Man bezeichnet aus diesem Grunde ein derartiges Gemenge als Kältemischung. (Die beste Kältemischung aus Kochsalz und Schnee geschieht im Verhältnis 1:3; andere Kältemischung: 5 Teile Salmiak, 5 Teile Salpeter, 19 Teile Wasser.)

Verdunstungskälte; Eismaschine. Diejenige Wärme, welche beim Verdunsten einer Flüssigkeit verbraucht wird, entnimmt die verdunstende Flüssigkeit der Umgebung, so daß letztere abgekühlt wird: Verdunstungskälte. (Beispiele: Das Besprengen der Straßen; Kältegefühl, wenn man geschwitzt ist, infolge der Verdunstung des Schweißes; Abkühlung von heißen Flüssigkeiten durch Mittel, welche die Verdunstung befördern: Darüberblasen, Fächeln usw.)

Auf der Benutzung der Verdunstungskälte beruht die Einrichtung der Eismaschinen.

Die Carrésche Eismaschine besteht aus zwei Metallbehältern, die durch eine Röhre miteinander in Verbindung stehen. In dem einen Behälter befindet sich eine konzentrierte wässrige Ammoniak-

lösung, der andere ist leer und wird von außen durch Wasser gekühlt. Durch Erhitzen des ersten Behälters wird das gasförmige Ammoniak aus der Lösung ausgetrieben (Steigerung des inneren Gasdrucks) und gelangt in den zweiten Behälter, wo es sich infolge des hohen Druckes, der in dem aus beiden Gefäßen gebildeten geschlossenen System herrschend wird, zu flüssigem Ammoniak verdichtet. Wird nun das Erhitzen eingestellt, so vermag das in dem ersten Behälter zurückgebliebene Wasser wieder Ammoniak zu absorbieren, und es tritt eine schnelle Verdunstung des Ammoniaks im zweiten Behälter ein, die solche Kälte erzeugt, daß in einem in diesen Behälter eingehängten Blechzylinder Wasser, welches er enthält, gefriert. —

Bei den Äther-Eismaschinen wird Äther durch eine Luftpumpe zum Verdampfen gebracht; durch Abkühlung werden die Ätherdämpfe verdichtet und flüssig in den Kälteerzeuger zurückgeleitet. Die bei der Verdunstung des Äthers entstehende Kälte wird zur Eiszeugung benutzt.

Kritische Temperatur. Da eine Flüssigkeit um so schwerer siedet, je größer der äußere Druck ist, unter dem sie steht (S. 176), so läßt sich ein Flüssigkeitsdampf bei einer bestimmten, gleichbleibenden Temperatur dadurch verdichten, daß man einen passenden Druck auf ihn ausübt. Das gleiche gilt für solche Körper, die unter gewöhnlichen Umständen von vornherein als Gase (und nicht als Flüssigkeiten) bestehen.

Aber nicht bei jeder Temperatur läßt sich ein Gas durch gesteigerten Druck in den flüssigen Zustand überführen. Vielmehr gibt es (nach Andrews' Entdeckung, 1869) für jedes Gas eine bestimmte Temperatur, oberhalb welcher es sich durch keinen noch so hohen Druck verflüssigen läßt. Diese Temperatur heißt die kritische Temperatur oder der absolute Siedepunkt (da eben bei dieser Temperatur die Flüssigkeit durch keinen Druck verhindert werden kann, sich in Dampf aufzulösen). Für Kohlensäure ist die kritische Temperatur $= +30,9^{\circ}\text{C}$.

Wird ein Gas bei seiner kritischen Temperatur steigenden äußeren Drucken ausgesetzt, so folgt es (im allgemeinen) zuerst dem Mariotteschen Gesetz (S. 88), bis es bei einem gewissen Druck (Kohlensäure bei 74 Atmosphären) in einen eigentümlichen Zwischenzustand zwischen Gas und Flüssigkeit, den sogenannten kritischen Zustand, eintritt.

Da für die Elemente Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff sowie einige chemisch zusammengesetzte Gase (Stickstoffoxyd, Kohlenoxyd und Grubengas) die kritische Temperatur sehr tief liegt (für Sauerstoff z. B. $= -113^{\circ}\text{C}$) und man dieselben früher, weil man von dem Dasein der kritischen Temperatur nichts wußte, bei nicht genügend niedrigen Temperaturen komprimierte, so gelang es nicht, sie zu verflüssigen; man nannte sie daher permanente Gase. Cailletet und Pictet haben nachgewiesen (1877), daß auch sie sich verflüssigen lassen (koercibel sind).

Die Verflüssigung der Luft ist in vollkommener Weise von Linde im

Jahre 1896 bewerkstelligt worden. Er komprimiert die Luft in einer Kompressionspumpe, dem Kompressor, leitet sie von hier durch einen Kühler (erste Temperaturenniedrigung) in den sogenannten Gegenstromapparat, der aus zwei ineinander liegenden, spiralig aufgewundenen Röhren besteht, die nach außen gut isoliert sind. Die komprimierte Luft durchströmt die innere Schlange, in der sie (wie gleich begründet werden soll) weiter abgekühlt wird (zweite Temperaturenniedrigung) und fließt nach unten in ein Sammelgefäß ab, wo sie durch Ausdehnung eine dritte Temperaturenniedrigung erfährt. (Vgl. S. 174.) Von hier kehrt sie durch den ringförmigen Raum zwischen der äußeren und inneren Schlange zum Kompressor zurück und kühlt dabei ihrerseits die ihr in der inneren Schlange entgegenkommende neue Luft ab. (Vgl. vorher.) Sie selbst wird durch den Kompressor weiter komprimiert und schlägt denselben Weg wie zuvor ein, wobei sie wieder einer dreimaligen Temperaturenniedrigung unterworfen wird. Allmählich sinkt auf diese Weise die Temperatur der Luft so tief, daß letztere unter der Wirkung des Kompressors flüssig wird und in diesem Zustande in das Sammelgefäß abfließt.

Dampfsättigung; Daltonsches Gesetz. Ein begrenzter Raum vermag bei einer jeden Temperatur nur eine gewisse Menge eines Flüssigkeitsdampfes aufzunehmen, welche die Sättigungsmenge des Raumes für die betreffende Temperatur genannt wird. Wird ihm mehr Dampf zugeführt, so verdichtet sich der Überschuß zur Flüssigkeit. Da die Sättigungsmenge mit der Temperatur wächst, so tritt in einem mit einem Flüssigkeitsdampfe gesättigten Raume auch dann eine Verflüssigung ein, wenn die Temperatur sinkt. Ebenso kondensiert sich der Dampf an einem kalten Körper, der in den gesättigten Raum gebracht wird. (Das „Schwitzen“ der Fensterscheiben im Herbst und Winter; das Beschlagen der Brillengläser, wenn man im Winter aus dem Freien in ein warmes Zimmer tritt.)

Wie Dalton festgestellt hat (1801), nimmt ein bestimmter Raum stets dieselbe Menge eines Dampfes auf, gleichgültig, ob er leer oder mit irgend einem anderen Dampfe oder Gase von beliebiger Dichtigkeit gefüllt ist, vorausgesetzt, daß keine chemische Wechselwirkung zwischen beiden Gasen oder Dämpfen stattfindet. Mit anderen Worten: Die Sättigungskapazität eines Raumes für den Dampf einer Flüssigkeit ist unabhängig von dem Vorhandensein und der Natur eines andern Dampfes oder Gases. (Vgl. S. 19.)

Ferner gilt: Der Gesamtdruck des Gasgemisches ist gleich der Summe derjenigen Drucke, die die Gase einzeln ausüben würden, wenn sie jedes für sich den ihnen zu Gebote stehenden Raum erfüllen würden.

Nur den Unterschied weist ein leerer Raum gegenüber einem gaserfüllten auf, daß jener sich schneller mit Dampf sättigt als dieser.

Auch das Daltonsche Gesetz stimmt (gleich dem Mariotte-Boyleschen und dem Gay-Lussacschen) nicht genau. Denn da jedem Gase eines Gasgemisches wegen der Moleküle des andern Gases ein kleineres Zwischenraum zukommt, als wenn das erste Gas den ganzen, dem Gemisch zur Verfügung stehenden Raum allein ausfüllte, so ist der Druck, den das Gasgemisch ausübt (nach dem Mariotte-Boyleschen Gesetz in der Dühringschen Fassung) größer als nach Daltons Annahme.

van't Hoff'sche Lösungstheorie. Dem Daltonschen Gesetz wie den bereits früher besprochenen Gasgesetzen (dem Mariotte-Boyleschen und dem Gay-Lussacschen, vgl. S. 88 und 172) entsprechen nach van't Hoff die bei der Osmose (S. 85) herrschenden Gesetzmäßigkeiten. Er hat demgemäß eine Theorie der verdünnten Lösungen aufgestellt, nach welcher der gelöste Stoff auf die halbdurchlässige (das Lösungsmittel durchlassende, den gelösten Stoff zurückhaltende) Scheidewand einen Druck ausübt, als wenn er ein Gas wäre, welches den gleichen Raum bei gleicher Temperatur erfüllte. Dieser Druck heißt der osmotische Druck des gelösten Stoffes und stellt die Kraft dar, mit welcher der gelöste Stoff in das Lösungsmittel zu diffundieren strebt.

Der osmotische Druck wächst proportional der Konzentration (Mariotte-Boylesches Gesetz) und der absoluten Temperatur (Gay-Lussacs Gesetz) und ist unabhängig von dem osmotischen Druck eines anderen gelösten Stoffes (Daltons Gesetz). —

Lösungen verschiedener Körper mit dem gleichen Lösungsmittel, welche in gleichen Volumen die gleiche Anzahl Moleküle des gelösten Stoffes enthalten, haben bei gleicher Temperatur gleichen osmotischen Druck.

Derartige Lösungen heißen isotonische oder isomolekulare. Die genannte Gesetzmäßigkeit entspricht dem für die Gase geltenden Avogadroschen Gesetz (Avogadro, 1811), wonach gleiche Volume verschiedener Gase, welche die gleiche Anzahl Moleküle enthalten, bei gleicher Temperatur die gleiche Spannkraft besitzen; oder in anderer Fassung: In gleichen Volumen verschiedener Gase sind bei gleicher Spannkraft und gleicher Temperatur gleich viele Moleküle enthalten. Hiernach ist die Dichtigkeit bzw. das Volumgewicht der Gase proportional ihrem Molekulargewicht und die Dichtigkeit bzw. das Volumgewicht der gasförmigen Elemente im allgemeinen auch proportional ihrem Atomgewicht. Eine Ausnahme machen in letzterer Hinsicht die Elemente Phosphor, Arsen, Quecksilber und Kadmium.

Auch das Avogadrosche Gesetz stimmt (wie das Mariotte-Boylesche, Gay-Lussacsche und Daltonsche) nicht genau. Nach Eugen und Ulrich Dühring enthalten nicht gleiche Gesamtvolumen aller Gase gleich viele Moleküle, sondern zu der gleichen Anzahl Moleküle eines jeden Gases gehört dasselbe Zwischen-
volum.

Für isotonische oder isomolekulare Lösungen gilt die weitere Gesetzmäßigkeit, daß sie gleichen Dampfdruck und gleichen Gefrierpunkt haben, und ferner, daß sie in gleichen Volumen ebenso viele Moleküle enthalten wie Gase von gleichem Gasdruck (oder gleicher Spannkraft) und von gleicher Temperatur.

Mengen beliebiger Stoffe, die im Verhältnis ihrer Molekulargewichte stehen, geben, wenn sie in gleichen Mengen desselben (beliebigen) Lösungsmittels gelöst werden, die gleiche Gefrierpunkts-Erniedrigung. (Raoult'sches Gesetz, 1884.)

Nicht alle Lösungen fügen sich der van't Hoff'schen Theorie. So zeigen die Lösungen von Säuren, Basen und Salzen in Wasser einen gegenüber der van't Hoff'schen Theorie zu großen osmotischen Druck; sie enthalten daher in einem bestimmten Volum eine größere Anzahl Moleküle, als der van't Hoff'schen Theorie entspricht. Diese Erscheinung hat Svante Arrhenius (1887) durch die Annahme erklärt, daß in derartigen Lösungen die Moleküle in gewisse Be-

standteile gespalten oder dissoziiert sind. Diese Annahme der Dissoziation wird dadurch bestätigt, daß die genannten Lösungen Elektrolyte sind, d. h. Körper, die den galvanischen Strom leiten, wobei sie in ihre Bestandteile offen zerfallen und freie Dissoziationsprodukte liefern. (Vgl. darüber des genaueren Kap. 14, Abschnitt „Elektrolyse“.)

Feuchtigkeit. Enthält ein Luftgebiet nahezu eine so große Menge Wasserdampf, als zu seiner Sättigung nötig ist, so nennt man es feucht; enthält es nur wenig Wasserdampf, so nennt man es trocken. Bei demselben absoluten Gehalt an Wasserdampf erscheint eine Luftmenge (nach S. 182) um so feuchter, je niedriger ihre Temperatur ist. Tritt eine Temperaturerniedrigung ein und schreitet sie weit genug fort, so erfolgt schließlich eine Verflüssigung eines Teiles des Wasserdampfs: ein Niederschlag. Die Temperatur, bei welcher dies geschieht, wird als Taupunkt bezeichnet.

Unter dem absoluten Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre versteht man diejenige Gewichtsmenge Wasserdampf, die in einer Volumeneinheit Luft enthalten ist. Derselbe ist im Sommer größer als im Winter, nachmittags größer als kurz vor Sonnenaufgang.

Umgekehrt verhält es sich mit dem mittleren Sättigungsverhältnis oder der relativen Feuchtigkeit. Mit diesem Namen bezeichnet man den in der Luft vorhandenen, in Prozenten ausgedrückten Bruchteil der zur Sättigung bei der herrschenden Temperatur notwendigen Wasserdampfmenge.

Zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft dienen die verschiedenen Arten der Hygrometer und das Psychrometer von August; am genauesten erfolgt sie auf dem Wege der Absorption und direkten Wägung.

Die Einrichtung der Hygrometer beruht zum Teil auf der Hygroskopizität der Körper (vgl. S. 20), indem hygroskopische Körper, wie Haare, Darmsaiten, die Fruchtgrannen des Geraniums usw., bei feuchter Luft durch Aufnahme von Wasser sich verlängern bzw. strecken, bei trockener Luft dagegen sich verkürzen bzw. zusammenrollen.

Dampfmaschine. Die bedeutende Spannung, welche der sich aus dem flüssigen Wasser entwickelnde Wasserdampf, besonders bei hohen, über den Siedepunkt gesteigerten Temperaturen besitzt, wird als bewegende Kraft in den Dampfmaschinen benutzt. Hier erzeugt also die starke molekulare Bewegung, welche dem entstehenden Wasserdampf durch Aufnahme der Verdampfungswärme zuteil wird, mechanische Arbeit.

Die Größe der Spannung wird 1. daraus ersichtlich, daß derjenige Wasserdampf, der beim Sieden einer bestimmten Wassermenge bei 100° C entsteht, einen 1700mal so großen Raum als die letztere einnimmt, und 2. daraus, daß Wasserdampf, dessen Spannkraft bei 100° C gleich einer Atmosphäre ist, bei Erwärmung

auf 121° die doppelte, auf 135° die dreifache, auf 145° die vierfache Spannkraft annimmt u. s. f.

Man unterscheidet hauptsächlich zwei Arten von Dampfmaschinen: die Niederdruckmaschinen, die mit Kondensation arbeiten und einen Balancier besitzen, und die Hochdruckmaschinen, die meist ohne Kondensation arbeiten und denen der Balancier fehlt, indem die Kolbenstange durch eine Führung unmittelbar mit der Pleuelstange des Schwungrades verbunden ist.

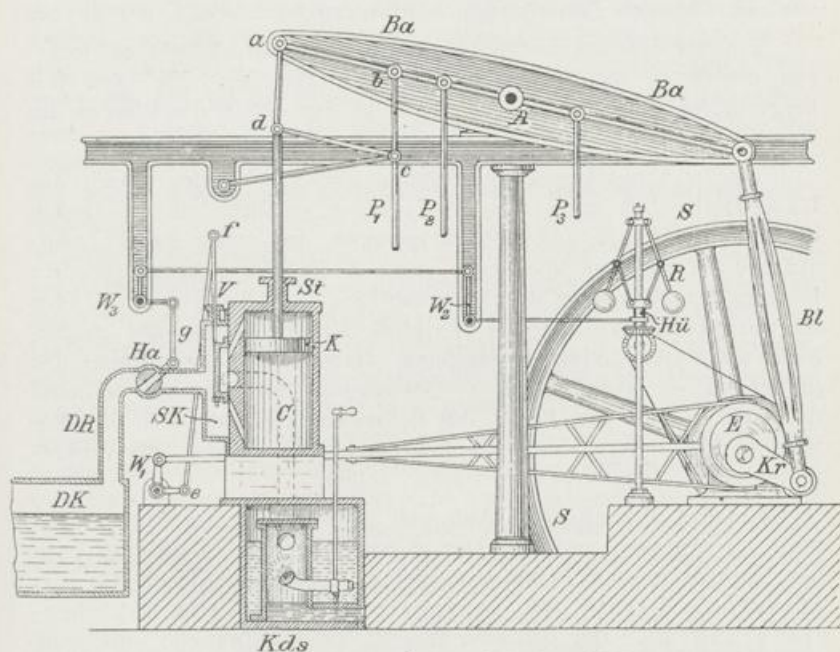


Abb. 102. Dampfmaschine (Niederdruckmaschine).

Niederdruckmaschine. Eine Niederdruckmaschine (Abb. 102) besteht aus folgenden Hauptteilen: Dampfkessel, Zylinder, Steuerung, Balancier, Schwungrad, Kondensator und Regulator.

Die Erzeugung der zur Verwendung kommenden Wasserdämpfe geschieht in dem Dampfkessel *DK*. Derselbe wird mit Wasser gespeist und dieses bis zum Sieden erhitzt. Da der Kessel vollständig geschlossen ist, so steigert sich die Spannkraft der Dämpfe, und das Sieden vollzieht sich bei einer höheren Temperatur als 100° C.

Um Explosionen zu verhüten, die infolge des hohen Dampfdrucks eintreten könnten, ist an dem Kessel ein (in der Abbildung nicht gezeichnetes) Sicherheitsventil angebracht, das sich nach außen zu öffnen vermag, aber von einem einarmigen Hebel, an dessen freiem Ende ein Gewicht angebracht ist, so lange niedergehalten wird, als die Spannkraft der Dämpfe im Kessel den Druck des Gewichts nicht übersteigt; wenn letzteres sich ereignet, wird das Ventil gehoben, es strömt Dampf aus, und die Spannkraft der zurückbleibenden Dampfmenge wird verringert.

Ein am Kessel angebrachtes Manometer ermöglicht es, jederzeit die Größe der Dampfspannung zu erkennen. Ein (aus Glas hergestelltes) Wasserstandsrohr zeigt den Stand des Wassers im Kessel an.

Die im Dampfkessel entwickelten Dämpfe werden durch das Dampfrohr *DR* nach dem Zylinder *C* geleitet, um in diesem den Kolben *K* auf- und niederzubewegen, der durch die Kolbenstange *dK* den um die feste Achse *A* drehbaren Balancier *Ba* bewegt, der seinerseits durch Vermittlung der Pleuelstange oder Bleuelstange *Bl* und der Kurbel *Kr* die Welle des großen Schwungrades *S* in Umdrehung versetzt. (Verwandlung der gleitenden — geradlinigen — Bewegung des Kolbens in eine drehende.) Von der Achse des Schwungrades aus wird die Bewegung auf andere Maschinen übertragen, die durch die Dampfmaschine in Betrieb gesetzt werden sollen. —

Um das abwechselnde Auf- und Niedergehen des Kolbens zuwege zu bringen, muß der Dampf bald oberhalb, bald unterhalb des Kolbens in den Zylinder eintreten. Dies wird durch die sog. Steuerung bewirkt, die in unserer Abbildung eine Schiebersteuerung ist. Der Zylinder besitzt zwei Öffnungen, die eine nahe dem Boden, die andere nahe der Decke, durch welche der innere Zylinderraum mit dem sogenannten Schieberkasten (*SK*) in Verbindung steht, in dem sich der Verteilungsschieber *V* befindet, der seiner Form wegen auch Muschelschieber genannt wird. Dieser teilt den Raum des Schieberkastens in einen äußeren und einen inneren und wird durch ein Gestänge (*V—fe—W₁—E*) von der Achse des Schwungrades aus auf- und abbewegt. Geht der Verteilungsschieber in die Höhe, so gibt er die untere Öffnung des Zylinders frei, und letzterer steht in seinem unteren Teile mit dem äußeren Schieberraum und infolgedessen mit dem Dampfrohr *DB* in Verbindung: der Dampf strömt in den unteren Teil des Zylinders und treibt den Kolben empor. Zugleich steht aber

der obere Teil des Zylinders (durch die obere Öffnung) mit dem inneren Schieberraum in Verbindung, und der über dem Kolben befindliche Dampf vermag — durch diesen Schieberraum und ein in der Abbildung punktiert gezeichnetes Rohr — nach dem Kondensator Kds zu entweichen, wo er zu Wasser verdichtet wird. Der Kondensator ist nämlich ein luftleeres, ringsum von kaltem Wasser umgebenes Gefäß, in das außerdem bei jedem Kolbenstoß kaltes Wasser eingespritzt wird. — Nachdem der Kolben nahe am oberen Ende des Zylinders angelangt ist, bewirkt es das Schiebergestänge ($V-fe-W_1-E$), daß der Verteilungsschieber abwärts bewegt wird. Dann tritt der Zylinder in seinem oberen Teile durch die frei werdende obere Öffnung mit dem äußeren Schieberraum in Verbindung; der Dampf strömt in den oberen Teil des Zylinders und treibt den Kolben hinab, während, wie zuvor, der unter dem Kolben befindliche Dampf nach dem Kondensator entweicht.

Das Schiebergestänge ($V-fe-W_1-E$) besteht aus der auf der Welle des Schwungrades befestigten exzentrischen Scheibe oder dem Exzenter (E), einer von E nach W_1 verlaufenden Schubstange, dem Winkelhebel W_1 , der Verbindungsstange ef und der Schieberstange fV . Infolge der Drehung des Schwungrades befindet sich der größere Teil der exzentrischen Scheibe bald links, bald rechts von der Welle des Schwungrades, so daß die mit ihrem einen Ende auf die exzentrische Scheibe aufgesetzte Schubstange eine wagerecht hin- und hergehende Bewegung erfährt, die durch den Winkelhebel W_1 in eine auf- und niedergehende Bewegung der Verbindungsstange ef und damit des Verteilungsschiebers V verwandelt wird.

Auf dem Schieberkasten (SK) ist eine Stopfbüchse angebracht, durch welche die Schieberstange luft- oder dampfdicht hindurchgeht. Eine gleiche Stopfbüchse (St) befindet sich auf dem Zylinder, um den Dampfaustritt rings um die Kolbenstange (dK) zu verhindern.

Damit die Bewegung der Kolbenstange, die sich infolge der Führung durch den Zylinder zu einer senkrechten gestaltet, durch den Balancier (Ba), dessen Endpunkt a einen Kreisbogen durchläuft, nicht aus der senkrechten Richtung abgelenkt wird, steht die Kolbenstange nicht unmittelbar mit dem Balancier in Verbindung, sondern wird von dem an dem Balancier befestigten sogenannten Wattschen Parallelogramm $abcd$ getragen.

Das Schwungrad (S) hat den Zweck, den Gang der Maschine

gleichförmig zu erhalten. Da nämlich seine Masse eine beträchtliche ist, so ändert es infolge des Beharrungsvermögens oder der Trägheit seinen Bewegungszustand nicht plötzlich, wenn der Dampfzutritt zum Zylinder eingeleitet oder unterbrochen wird, und verhindert insbesondere ein Stillstehen der Maschine, wenn der Dampf vorübergehend abgesperrt ist. Auch ist es das Schwungrad, das der Kurbel über ihren höchsten und ihren tiefsten Punkt (die sog. „toten Punkte“) hinweghilft.

Die Schnelligkeit des Ganges der Dampfmaschine wird durch den Zentrifugalregulator R geregelt. Derselbe besteht aus zwei von kurzen Stangen getragenen Metallkugeln, die sich um eine senkrechte Achse drehen. An den Stangen hängt, abermals von zwei Stangen getragen, eine lose über die Achse geschobene Hülse ($H\ddot{u}$). Die Achse wird durch Vermittlung von Zahnrädern und einer Treibschnur von der Maschine in Umdrehung versetzt. Geht nun die Maschine zu schnell, so treibt die Zentrifugalkraft die beiden Kugeln des Regulators von der Umdrehungsachse fort; dadurch gehen sie selbst und die Hülse $H\ddot{u}$ in die Höhe. An der Hülse ist aber eine Stange befestigt, welche den einen Arm eines Winkelhebels (W_2) darstellt, dessen anderer Arm eine nach links gehende Bewegung ausführt und dadurch einen weiteren Winkelhebel (W_3) bewegt, durch den eine Stange (g) gehoben wird, die einen im Dampfrohr angebrachten Hahn (Ha) schließt, so daß der Dampfzutritt zum Schieberkasten und damit zum Zylinder gehemmt wird. Bei zu langsamem Gange der Maschine geschieht das Umgekehrte.

P_1 , P_2 und P_3 sind Pumpenstangen, die am Balancier befestigt sind und durch ihn in Bewegung gesetzt werden. Sie führen zur Kondensator- oder Luftpumpe (P_1), welche die Aufgabe hat, das warme Wasser und die eingedrungene Luft aus dem Kondensator zu entfernen; zur Speisepumpe (P_2), die einen Teil dieses warmen Wassers nach dem Dampfkessel befördert und so für dessen Speisung sorgt; und zur Kaltwasserpumpe (P_3), durch die das Einspritzen des kalten Wassers in den Kondensator bewirkt wird. —

Erfindung der Dampfmaschine durch Savari, 1688; Newcomen baute die erste sogenannte atmosphärische Maschine, 1705; ferner Papin, 1647—1714; James Watt, 1736—1819; er verbesserte 1763 die Newcomensche atmosphärische Maschine zur doppelt wirkenden oder Niederdruckmaschine.

Hochdruckmaschine. Die Hochdruckmaschinen unterscheiden sich, wie schon bemerkt, von den Niederdruckmaschinen durch

den Umstand, daß sie mit höherer Dampfspannung arbeiten als die Niederdruckmaschinen (die Spannung beträgt gewöhnlich 5–8 Atmosphären gegenüber höchstens 2 Atmosphären bei den Niederdruckmaschinen), und daß sie meist keinen Kondensator besitzen. Der Grund, warum bei Anwendung höherer Dampfspannung der Kondensator entbehrt werden kann, ist der, daß in diesem Falle der Dampf den Gegendruck der atmosphärischen Luft zu überwinden imstande ist und daher in dieselbe frei austreten kann, ohne daß (durch jenen Gegendruck) die Gesamtwirkung der Maschine wesentlich vermindert würde. Schließlich fehlt den Hochdruckmaschinen auch der Balancier. Infolge dieses Umstandes können sie bei weitem schnellere Leistungen vollbringen, während die Balanciermaschinen

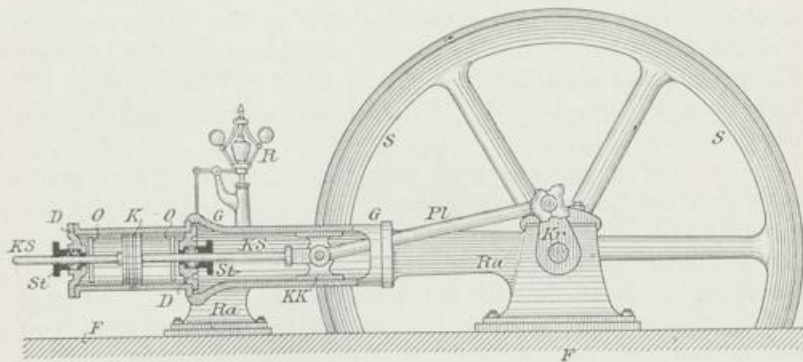


Abb. 103. Hochdruckmaschine.

wegen der bedeutenden Masse und daher Trägheit des Balanciers nur zu solchen Zwecken verwendet werden können, wo eine langsame Umdrehung genügt, wie zur Inbetriebsetzung von Pumpwerken u. dgl. Ein besonderer Vorzug der Hochdruckmaschinen ist der, daß sie weniger Raum beanspruchen als die Niederdruckmaschinen.

Abb. 103 stellt eine liegende Maschine oder Horizontalmaschine dar, d. h. eine Maschine, deren Zylinder eine horizontale Lage hat. Sie besteht aus Dampfessel (in der Abbildung weggelassen), Rahmen, Zylinder, Steuerung, Geradföhrung, Schwungrad und Regulator.

Die ganze Maschine mit ihren Teilen wird, abgesehen vom Dampfessel, von dem auf einem Fundament (*F*) ruhenden Rahmen (*Ra*) getragen, einem Gestell, das bei der in der Abbildung gewählten Form der Dampfmaschine aus zwei größeren Stücken

besteht und wegen der Gestalt des rechts befindlichen Stückes Bajonnetrahmen heißt.

In dem Zylinder C bewegt sich der Kolben K , der an der Kolbenstange KS befestigt ist. An seinen Enden wird der Zylinder von den Deckeln D verschlossen, in welche die Stopfbüchsen St eingesetzt sind, durch die die Kolbenstange hindurchgeht. OO sind die schlitzartigen Öffnungen für den seitlichen Eintritt des Dampfes in den Zylinder.

Die Steuerung, die im gewählten Beispiel eine Schiebersteuerung ist (es gibt außerdem noch Ventil-, Hahn- und gemischte Steuerungen) befindet sich hinter dem Zylinder, ist also in der Abbildung nicht sichtbar.

Die Übertragung der Kolbenbewegung auf das Schwungrad geschieht durch die Geradföhrung (G), in der der sogenannte Kreuzkopf (KK) hin- und hergleitet, ein Eisenstück, das einerseits mit der Kolbenstange (KS), anderseits mit der Pleuelstange (P) verbunden ist, die durch die Kurbel Kr das Schwungrad S in Bewegung setzt.

Der Regulator (R) wird von der Achse des Schwungrades aus durch das Exzenter und eine Treibsehnur- oder Zahnradverbindung, die beide hinter dem Rahmen liegen und daher in der Abbildung nicht sichtbar sind, in Umdrehung versetzt und wirkt durch ein Gestänge derartig auf die Steuerung ein, daß die Dampfzufuhr ähnlich wie bei der Niederdruckmaschine reguliert wird. Der in den Zylinder eingetretene Dampf wird, nachdem er seine Arbeit geleistet, d. h. den Kolben in der einen oder anderen Richtung bewegt hat, nicht zur Kondensation gebracht, sondern man läßt ihn einfach durch eine besondere Öffnung in der Mitte des Zylinders in die atmosphärische Luft auspuffen.

Zu den Hochdruckmaschinen gehören die Lokomotiven. Da dieselben kein Schwungrad haben, wendet man, um die an der Pleuelstange befestigte Kurbel (und damit die Maschine überhaupt) über die toten Punkte hinwegzubringen, zwei Zylinder mit verschiedener Dampfsteuerung an, die derartig wirken, daß die von dem einen Zylinder aus bewegte Kurbel gerade ihre größte Kraftleistung gibt, wenn die durch den andern Zylinder getriebene Kurbel an einem der toten Punkte angelangt ist. Dasselbe ist bei den Dampfschiffen der Fall.

Die erste Lokomotive baute George Stephenson; 1825 eröffnete er die erste Eisenbahn (Stockton—Darlington).

Die Arbeitsleistung einer Dampfmaschine wird berechnet: nach

dem Querschnitt des Kolbens, der Höhe des Zylinders (der Hubhöhe), dem Unterschiede des Dampfdrucks auf beiden Seiten des Kolbens, sowie der Anzahl der Auf- und Niedergänge des Kolbens in einer Zeiteinheit. Man gibt sie meist in Pferdekraften an. (S. 48.)

Gasmotor und Heißluftmaschine. In ähnlicher Weise wie die Dampfmaschinen wirken die Gasmotoren oder Gaskraftmaschinen und die Heißluftmaschinen oder kalorischen Maschinen. Doch ist es bei ihnen nicht der Wasserdampf, der die Kolbenbewegung hervorbringt, sondern die Spannkraft erhitzter Gase. Bei den Gasmotoren wird die Erwärmung durch die Entzündung eines Gemenges von Leuchtgas und Luft durch Gasflämmchen hervor gebracht, wobei entweder in stoßweisen Zwischenräumen eine explosionsartige Vereinigung des Gasgemisches oder (bei den Ottoschen Gasmotoren) eine gleichmäßiger und langsamere Verbrennung stattfindet. Die entstehenden Verbrennungsprodukte: Wasserdampf, Kohlensäure und Stickstoff werden durch die erzeugte große Hitze stark ausgedehnt und üben dadurch im Innern des Zylinders einen beträchtlichen Druck auf den Treibkolben aus. Bei den Heißluftmaschinen befindet sich der vertikal stehende Zylinder, in dem sich der Kolben auf- und abbewegt, auf einem Ofen, durch den die in den Zylinder eintretende Luft erhitzt wird, so daß sie sich ausdehnt und den Kolben hebt.

Spezifische Wärme. Wenn man zwei gleich große Mengen desselben Körpers, welche verschiedene Temperaturen besitzen, miteinander mischt, so liegt die Temperatur, welche das Gemisch annimmt, genau in der Mitte zwischen den ursprünglichen Temperaturen (oder sie ist das arithmetische Mittel zwischen den ursprünglichen Temperaturen; Formel: $\frac{a^{\circ} + b^{\circ}}{2}$).

Anders verhalten sich dagegen gleich große Mengen zweier verschiedener Körper. Es gibt also in diesem Falle der wärmere Körper nicht eben so viel Wärme ab, wie der kältere aufnimmt, was seinen Grund nur darin haben kann, daß die Wärmemengen, welche beiden Körpern vor der Mischung innewohnten, nicht im Verhältnis ihrer Temperaturen zueinander standen.

Aus dieser Tatsache folgt, daß gleiche Gewichtsmengen verschiedener Körper, denen gleiche Wärmemengen zugeführt werden, sich nicht in demselben Maße erwärmen oder mit anderen Worten: nicht dieselbe Temperatur annehmen. Es gehören vielmehr verschiedene Wärmemengen dazu, um an gleichen Gewichtsmengen zweier verschiedener Körper dieselbe Temperatursteigerung zu bewirken. — Besondere Versuche bestätigen diese Folgerung.

Zu beachten ist hierbei übrigens, daß nicht die gesamte einem Körper zugeführte Wärme zur Temperatursteigerung (also zur Erhöhung der Geschwindigkeit der Moleküle) dient, sondern daß ein Teil jener Wärme die Entfernung

der Moleküle (bzw. die Entfernung ihrer Gleichgewichtslagen — vgl. S. 166), d. h. die Ausdehnung des Körpers zu bewirken hat.

Diejenige Wärmemenge, welche nötig ist, um die Temperatur von 1 Kilogramm eines Körpers um 1°C zu erhöhen, heißt die spezifische Wärme (oder Wärmekapazität) des Körpers.

Die spezifische Wärme des Wassers ist nach S. 179 gleich einer Wärmeeinheit oder einer Kalorie oder kurz $= 1$.

Zur Bestimmung der spezifischen Wärme eines Körpers bedient man sich vorzugsweise des Kalorimeters, eines Apparats von verschiedenartiger Einrichtung, der es gestattet: entweder festzustellen, welche Temperaturzunahme eine bestimmte Menge Wasser von bekannter Temperatur erfährt, wenn sie mit einer bestimmten Menge des auf eine bestimmte Temperatur erwärmten Körpers, der untersucht werden soll, gemischt wird; oder zu ermitteln, eine wie große Menge Eis durch eine bestimmte Menge des erwärmten Körpers zum Schmelzen gebracht wird.

Nachfolgend die Zahlenangaben über die spezifische Wärme einiger Stoffe:

| | | | |
|---------------------------------|-------|--------------------|-------|
| Wasser | 1,000 | Schwefel | 0,178 |
| | | Glas | 0,177 |
| Alkohol | 0,632 | Eisen | 0,114 |
| Äther | 0,550 | Kupfer | 0,093 |
| Olivenöl | 0,504 | Silber | 0,057 |
| Terpentinöl | 0,440 | Gold | 0,032 |
| Quecksilber (flüssig) | 0,028 | Blei | 0,031 |
| „ (fest) | 0,032 | Luft | 0,267 |

Hieraus ist ersichtlich, daß die spezifische Wärme der Flüssigkeiten im allgemeinen größer ist als die der festen Körper. Das Wasser hat die größte spezifische Wärme.

Die spezifische Wärme eines Körpers ist nicht für alle Temperaturen dieselbe, sie steigt im allgemeinen mit der Temperatur; d. h. also: Je wärmer ein Körper ist, eine desto größere Wärmemenge ist erforderlich, um seine Temperatur in demselben Maße zu steigern.

Je größer die spezifische Wärme eines Körpers ist, desto langsamer, aber in desto reichlicherem Maße gibt er die ihm zugeführte Wärme bei der Abkühlung ab.

Daraus erklärt es sich z. B., daß heißes Öl auf unsere Gefühlsnerven eine heftigere Wirkung ausübt als gleich heißes Wasser, da das Öl eine geringere spezifische Wärme hat als das Wasser und daher seine Wärme schneller abgibt als dieses. (Hierher gehört auch das leicht erfolgende Verbrennen des Mundes beim Genuß heißer Bouillon.)

Eine wichtige Beziehung besteht zwischen der spezifischen Wärme der chemischen Grundstoffe im festen Aggregatzustande und ihrem Atomgewicht. Beide Größen sind einander umgekehrt proportional, oder ihr Produkt ist stets dieselbe Zahl ($= 6,4$). (Dulong-Petit'sches Gesetz, 1818.) Ausnahmen bilden: Kohlenstoff, Bor, Silicium. — Da das

Produkt aus der spezifischen Wärme und dem Atomgewicht eines chemischen Grundstoffs angibt, wieviel Wärmeeinheiten erforderlich sind, um das Atomgewicht (bzw. das Atom) um 1°C zu erwärmen, so hat man es die Atomwärme genannt. Das Dulong-Petitsche Gesetz läßt sich also auch folgendermaßen fassen: Die chemischen Grundstoffe haben im festen Aggregatzustande die gleiche Atomwärme.

Zum Verständnis dieses Gesetzes diene folgende Betrachtung. Die Größe der Wärme als einer (molekularen) Bewegung wird durch das Produkt aus Masse mal Geschwindigkeit, die sogenannte Bewegungsgröße (vgl. S. 40—41), bestimmt. Haben nun die Atome verschiedener Elemente den gleichen Wärmezustand, d. h. nach dem Gesagten dieselbe Bewegungsgröße, so müssen sich ihre Geschwindigkeiten umgekehrt wie ihre Massen oder, was dasselbe besagt, umgekehrt wie die Atomgewichte verhalten. Zur gleichen Wärmeerhöhung verschieden schwerer Atome zweier Elemente ist es daher nicht erforderlich, die Atomgeschwindigkeit gleich sehr zu steigern, was bei den (gleich schweren) Atomen eines und desselben Elementes der Fall ist, so daß für ein und dasselbe Element und allgemein für ein und denselben Stoff die Wärmezufuhr bei einer bestimmten Temperaturerhöhung proportional der erwärmten Gewichtsmenge ist (gemäß der Definition der spezifischen Wärme — S. 192).

Sind beispielsweise die Atomgewichte zweier Elemente a und $2a$ und befindet sich das erste Element in einem Wärmezustand, in welchem die Atomgeschwindigkeit $= v$ ist, so stellt sich die Bewegungsgröße seiner Atome auf $a \cdot v$. Das zweite Element hat dann den gleichen Wärmezustand, wenn seine Atomgeschwindigkeit $= \frac{v}{2}$ ist, denn dann ist die Bewegungsgröße seiner Atome $= 2a \cdot \frac{v}{2}$, d. h. ebenfalls $= a \cdot v$. Erfährt nun ein Atom des ersten Elements eine Wärmezufuhr, die einer Zunahme der Atomgeschwindigkeit um die Größe x entspricht, so ist die Bewegungsgröße eines Atoms jetzt $a(v+x)$. Die Steigerung der Bewegungsgröße eines Atoms beträgt hiernach $a \cdot x$. Dies gilt für jedes Atom desselben Elements, so daß zwei Atomen, die also das Gewicht $2a$ besitzen, die doppelte Steigerung der Bewegungsgröße zuteil werden müßte. Anders, wenn ein Atom des zweiten Elements — mit dem Atomgewicht $2a$ — dieselbe Temperaturerhöhung erfahren soll. Dasselbe braucht, ebenso wie es bei gleichem Wärmezustande wie ein Atom des ersten Elements nur die halbe Geschwindigkeit besitzen mußte, auch nur die halbe Geschwindigkeitszunahme, so daß seine neue Bewegungsgröße $= 2a \cdot \frac{v+x}{2}$ ist. Die Steigerung der Bewegungsgröße eines Atoms, d. h. also die erforderliche Wärmezufuhr eines Atoms (die Atomwärme) ist alsdann ebenfalls $= a \cdot x$, da sich ja die halbe Geschwindigkeitszunahme wiederum mit dem doppelten Atomgewicht multipliziert. Während sich aber diese Wärmezufuhr bei dem ersten Element auf die Masse a erstreckt, wird sie beim zweiten Element der Masse $2a$ zuteil, so daß hier die Masse a nur die halbe Wärmezufuhr erfährt.

Die spezifischen Wärmen der chemisch einfachen Gase (Sauerstoff, Stick-

stoff, Wasserstoff, Chlor) sind umgekehrt proportional ihren Dichtigkeiten. Und da die Dichtigkeit der gasförmigen Elemente proportional ihrem Molekulargewicht und im allgemeinen auch proportional ihrem Atomgewicht ist (Avogadro'sches Gesetz, vgl. S. 183), so haben die chemisch einfachen Gase im allgemeinen auch, ebenso wie die festen Elemente, untereinander gleiche Atomwärmern.

Dies gilt von der spezifischen Wärme bei konstantem Druck. Die spezifische Wärme der Gase bei konstantem Volum ist eine andere als die bei konstantem Druck; dies gilt für alle Gase. Das Verhältnis beider spezifischen Wärmen zueinander (konst. Druck : konst. Vol.) ist = 1,41, wenn der konstante Druck = 1 Atmosphäre ist.

Daß die spezifische Wärme bei konstantem Druck größer ist als bei konstantem Volum, erklärt sich daraus, daß im ersteren Falle die zugeführte Wärme außer der Temperatursteigerung noch die Arbeit der Volumvergrößerung oder Ausdehnung zu leisten hat. Erhält man das Gas dagegen bei konstantem Volum, so ist der Erfolg ein ähnlicher, als ließe man es sich zuerst ausdehnen und brächte es dann durch Kompression auf das ursprüngliche Volum zurück — ein Vorgang, bei welchem Wärme entwickelt wird, so daß infolgedessen weniger Wärme zugeführt zu werden braucht. (Vgl. S. 174.)

Verbreitung der Wärme. Die Verbreitung der Wärme geschieht auf zweierlei Art: durch Leitung und durch Strahlung.

Die Wärmeleitung erfolgt von Körpermolekül zu Körpermolekül und findet daher entweder innerhalb eines Körpers oder zwischen zwei sich berührenden Körpern statt. Die Wärmestrahlung dagegen geht in derselben Weise vor sich wie die Fortpflanzung des Lichtes: auf beliebig große Entfernungen und ohne daß ein wägbarer Körper die Fortpflanzung vermittelte, wie es der Wärmeübergang von der Sonne zur Erde beweist. Es muß demnach die Wärmestrahlung — ebenso wie die Lichtstrahlung — durch den Äther (Welt- oder Lichtäther) bewerkstelligt werden.

Nicht alle Körper leiten die Wärme gleich gut. Gute Wärmeleiter nehmen die Wärme schneller auf und verlieren sie schneller als schlechte Wärmeleiter. Gute Wärmeleiter sind in erster Linie die Metalle, schlechte Wärmeleiter Holz, Stroh, Pelzwerk, Wolle, Federn, auch Glas; ferner Flüssigkeiten und Gase. Die meisten Gesteine haben ein mittleres Wärmeleitungsvermögen. — Eisen fühlt sich kälter an als Holz, weil es die Wärme der berührenden Hand schneller und in höherem Maße fortleitet als das Holz. Ein an einem Ende erhitzter Eisendraht wird bald auch am andern Ende heiß; hat er an diesem Ende einen hölzernen Griff oder wird er daselbst mit Papier, Stroh u. dgl. umwickelt, so nehmen wir daselbst keine Erwärmung wahr. Schutz der Eiskeller durch Stroh

gegen Erwärmung. Schutz des menschlichen Körpers durch wollene Bekleidung gegen Erkältung. Vorwärmen eines Glasgefäßes, in welches eine heiße Flüssigkeit gefüllt werden soll; die Unterlage muß dabei ein schlechter Wärmeleiter sein (Holz u. dgl., nicht Metall oder Stein). Erhitzen gläserner Gefäße auf einem Drahtnetz oder einem Sandbade — behufs gleichmäßiger Verteilung der Wärme. Doppelfenster — die ruhige Luftschicht zwischen beiden Fenstern ist ein sehr schlechter Wärmeleiter.

Das Wärmeleitungsvermögen der nicht regulären Kristalle ist in verschiedenen Richtungen verschieden.

In einer Flüssigkeit, die von unten her erwärmt wird, erfolgt die Verbreitung der Wärme nicht durch Leitung, sondern durch Strömungen, welche infolge des Leichterwerdens der erwärmten Flüssigkeit entstehen.

Ähnlich ist es bei den Gasen.

Wärmestrahlung erfolgt z. B. von einem geheizten Ofen. Ein Ofenschirm hebt sie auf. Die Wärmestrahlen werden also von gewissen Körpern nicht durchgelassen. Körper, welche die Wärmestrahlen durchlassen, ohne eine erhebliche Menge der Wärme aufzunehmen, heißen diatherman (z. B. Steinsalz); Körper, welche die Wärmestrahlen nicht durchlassen, heißen adiatherman oder atherman (z. B. Ruß, Metalle).

Wie bereits im 10. Kapitel, Abschnitt „Wärmewirkungen und chemische Wirkungen des Lichts“, S. 155 bemerkt ist, gibt es Körper, welche die Lichtstrahlen durchlassen, die Wärmestrahlen aber nicht; so ist der Alaun (Kalialaun) farblos und durchsichtig, aber fast ganz adiatherman; eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff dagegen ist undurchsichtig, läßt aber die Wärmestrahlen hindurch.

Über die Verteilung der Wärmestrahlen im Spektrum vgl. ebenda.

Die Wärmestrahlen unterliegen gleich den Lichtstrahlen den Gesetzen der Brechbarkeit, und es kommt den verschiedenen Wärmestrahlen verschiedene Brechbarkeit zu. Je höher die Temperatur einer Wärmequelle ist, desto mannigfaltigere Wärmestrahlen sendet sie aus, und desto größer ist unter ihnen die Zahl der brechbareren — und damit im sichtbaren Teil des Spektrums und mehr und mehr nach seinem violetten Ende hin liegenden — Wärmestrahlen. Bei der Temperatur des Rotglühens treten neben den ausgesendeten Wärmestrahlen die ersten sichtbaren Strahlen, d. h. also die ersten Lichtstrahlen auf (es sind dies die am wenigsten brechbaren derselben); ist volle Weißglühhitze erreicht, so sind in der Gesamtheit der ausgesendeten Strahlen alle Gattungen der Lichtstrahlen und die Wärmestrahlen in erhöhter Stärke vorhanden. (Vgl. S. 122.)

Daß die Wärmestrahlen auch, genau wie die Lichtstrahlen, reflektiert werden, zeigt folgender Versuch: Es werden zwei metallene Hohlspiegel einander gegenüber aufgestellt (Abb. 104), derart, daß die Achsen beider in gegenseitiger Verlängerung voneinander liegen. Bringt man dann in den Brennpunkt des

einen Spiegels eine Flamme, in den Brennpunkt des andern Spiegels ein Thermometer, so beobachtet man an letzterem ein Steigen des Quecksilbers — ein Beweis dafür, daß die von der Flamme aus auf den ersten Spiegel fallenden Wärmestrahlen parallel der Achse des Spiegels reflektiert werden, in dieser Richtung auf den andern Spiegel fallen und von hier aus insgesamt nach dem Brennpunkt reflektiert werden. — Bringt man das Thermometer aus dem Brennpunkt heraus, so zeigt es keine Temperaturerhöhung an.

Das Wärmestrahlungsvermögen ist für verschiedene Körper ungleich; und zwar senden dunkle und raue Flächen mehr Strahlen aus als helle und glatte; umgekehrt nehmen jene auch mehr Strahlen in sich auf als diese. — In glatten Gefäßen (polierten Teekesseln, Porzellankannen) bleiben daher Flüssigkeiten länger warm als in rauhen. Wir kleiden uns im Sommer hell, im Winter dunkel. Häuserwände, an denen Wein wächst, der der Wärme sehr bedarf, werden schwarz angestrichen.

Von Wichtigkeit ist es, zu bemerken, daß die Wärmestrahlen an sich keine Wärmewirkungen hervorbringen, sondern erst in dem Moment, wo sie auf Körpermoleküle — auf wägbare Materie also — treffen und hier molekulare



Abb. 104. Reflexion der Wärmestrahlen.

Körperbewegungen bewirken. Daher sind die hohen Schichten der Atmosphäre, weil sie verdünnte Luft, also eine verhältnismäßig geringe Anzahl von Körpermolekülen enthalten, kalt, trotzdem sie von den von der Sonne kommenden Wärmestrahlen zuerst getroffen werden. (Übrigens ist außer der Anzahl der Körpermoleküle auch ihre Anordnung und Lagerung von Bedeutung für die Wärme-Aufnahme.) Die feste Erdoberfläche wird von den Wärmestrahlen der Sonne am stärksten erwärmt, und von hier aus teilt sich die Wärme den Schichten der Atmosphäre von unten nach oben durch Berührung mit.

Es gilt also von den Wärmestrahlen ähnliches, wie S. 123 von den Lichtstrahlen ausgesagt wurde, die an sich dunkel sind.

Quellen der Wärme. Als solche sind folgende zu nennen:

1. Die Sonnenwärme. Die Sonnenstrahlen (genauer: die von der Sonne kommenden Wärmestrahlen) wirken um so stärker, je senkrechter sie auffallen, weil bei senkrechter Richtung mehr Sonnenstrahlen auf eine Fläche von bestimmter Größe gelangen als bei schräger Richtung. (Vgl. Abb. 105, Fläche A und Fläche B.)

2. Die Erdwärme. (Lava; heiße Sprudel, Geysire; Tiefbohrungen.)

3. Chemische Prozesse. Kalklöschen; Mischen von konzentrierter Schwefelsäure mit Wasser; Verbrennung. Bei der chemischen Vereinigung von Körpern

findet im allgemeinen eine Temperaturerhöhung statt; die Verbrennung ist ein Akt chemischer Vereinigung, genauer ein Oxydationsprozeß, bei welchem sich die Erwärmung bis zur Lichtentwicklung steigert. Chemische Prozesse, bei denen eine Wärme-Entwicklung erfolgt, heißen exothermische; endothermische Vorgänge sind solche, die zu ihrem Zustandekommen der Zufuhr von Wärme bedürfen; dahin gehört z. B. die Verwandlung von Kupferchlorid in Kupferchlorür.

Auch die Quelle der tierischen Wärme ist der chemische Prozeß.

4. Die Elektrizität. Bei der Vereinigung der beiden entgegengesetzten Elektrizitäten (Blitz, elektrischer Funke) wird Wärme erzeugt (der Blitz vermag zu zünden). Der galvanische Strom erwärmt die ihn leitenden Körper (das elektrische Glühlicht, das Bogenlicht).

5. Mechanische Arbeit. In zwei Formen ist dieselbe instande, Wärme zu erzeugen: als Druck und als Reibung, die übrigens häufig beide gleichzeitig wirksam sind. (Bei Stoß und Schlag wird in erster Linie ein Druck ausgeübt, in zweiter Linie kann Reibung mitwirken.) Beispiele: Gewinnung von Feuer durch Reiben zweier Stücke trockenen Holzes; Pinkfeuerzeug (Feuerstein und Stahl); Streichhölzer; pneumatisches Feuerzeug (hier wird Luft in einem geschlossenen Rohre durch Niederdrücken eines Stempels schnell zusammengepreßt, sie entzündet dann ein unten am Stempel angebrachtes Stückchen Feuerschwamm. Abb. 47, S. 86). Heißwerden der Wagenachsen (Schmieren vermindert die Reibung und daher auch die Erwärmung). Erhitzen des Eisens beim Hämmern.

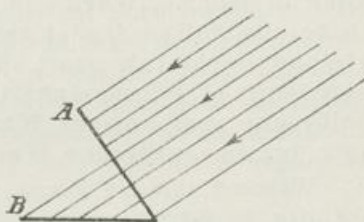


Abb. 105. Erwärmende Wirkung schräg und steil auffallender Sonnenstrahlen.

Mechanisches Wärmeäquivalent. Robert Mayer (gest. 1878) und Joule wiesen nach, daß bei der Entstehung von Wärme aus mechanischer Arbeit ein bestimmtes und unabänderliches Verhältnis zwischen der erzeugten Wärmemenge und der zu ihrer Erzeugung aufgewendeten Arbeit besteht. Aus Joules Versuchen über die Reibung von Gußeisen mit Wasser oder Quecksilber (1850) ergab sich, daß eine Arbeit von 423,55 Kilogramm-Meter dazu gehört, die Temperatur von 1 kg Wasser um 1° C zu erhöhen. — Umgekehrt liefert die Erwärmung von 1 kg Wasser um 1° C jenes Maß mechanischer Arbeit, oder genauer: der Verbrauch einer Wärmemenge, die instande ist, die Temperatur von 1 kg Wasser um 1° C zu erhöhen, d. h. der Verbrauch einer Wärmeeinheit (vgl. S. 179) bietet die Quelle dar für eine mechanische Arbeit von 423,55 Kilogramm-Meter, also beispielsweise für die Hebung eines Gewichtes von 423,55 kg um 1 m. (Vgl. S. 47 und 48.) Eine

Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit findet z. B. bei der Dampfmaschine statt.

Die genannte Zahl (rund 425 Kilogramm-Meter), welche das feste Umwandlungsverhältnis von Wärme und mechanischer Arbeit angibt, wird als das mechanische Wärmeäquivalent bezeichnet.

Die Tatsache der Äquivalenz (Gleichwertigkeit) von Wärme und mechanischer Arbeit findet ihre Erklärung in der Annahme, daß die Wärme ein Bewegungszustand der kleinsten Körperteilchen — eine Molekularbewegung — ist. (Vgl. S. 166.) Zur Erzeugung dieses Bewegungszustandes ist ein gewisses Maß einer Massenbewegung — eine bestimmte mechanische Arbeit — vonnöten.

Das Prinzip der Äquivalenz von Wärme und Arbeit bildet die Grundlage der sogenannten mechanischen Wärmetheorie und läßt sich in folgenden Satz zusammenfassen: Mechanische Arbeit kann in Wärme, Wärme in Arbeit umgesetzt werden, und in beiden Fällen findet zwischen Arbeit und Wärme das gleiche Verhältnis statt. Dieses konstante Umsetzungsverhältnis (1 Wärmeeinheit = rund 425 Kilogramm-Meter) heißt das mechanische Wärmeäquivalent. (Erster Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie.)

Während aber ein Vorrat an mechanischer Energie vollständig in Wärme ungewandelt werden kann (z. B. beim Stoß, bei der Reibung usw.), läßt sich von einer verfügbaren Wärmemenge immer nur ein gewisser Teil in mechanische Arbeit umsetzen, ein anderer Teil geht infolge von Strahlung und Leitung auf andere — kältere — Körper über und kann ohne Anwendung anderweitiger Energie nicht wieder auf einen wärmeren Körper übertragen werden; er geht somit für die Arbeitsentwicklung verloren. (Zweiter Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie.)

Aber nicht nur bei der Umsetzung von Wärme in mechanische Arbeit, sondern auch bei den Umwandlungen aller anderen Energieformen findet eine Vermehrung der Energieform der Wärme statt. So wird das Licht durch Absorption, die elektrische Energie infolge des Leitungswiderstandes in Wärme verwandelt u. s. f. Hieraus folgt, daß der Gesamtvorrat der Wärme im Weltall, den Clausius (1865) als die Entropie der Welt bezeichnet hat, eine fortwährende Vergrößerung erfährt. (Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.) Es muß daher schließlich ein Zustand eintreten, in welchem die gesamte in der Welt vorhandene

Energie in Wärme übergegangen ist und alle Körper dieselbe Temperatur besitzen.

Erhaltung der Kraft. Schon aus den in der Mechanik bei Besprechung der Verhältnisse der schiefen Ebene (S. 46—47), des Keils und der Schraube (S. 48), des Hebels (S. 54) und der hydraulischen Presse (S. 68) angestellten Betrachtungen geht hervor, daß eine in einer bestimmten Zeit geleistete Arbeit nicht verloren geht, sondern in jedem folgenden gleichgroßen Zeitabschnitt in gleicher Größe erhalten bleibt. Dieser Grundsatz gilt nach dem Vorhergehenden nicht nur für die mechanische Arbeit, sondern auch für die in der Form der Wärme auftretende Arbeit.

Mechanische Arbeit sowohl wie Wärme sind Bewegungsarten (Massen- und Molekularbewegung), und daher werden durch beide Kraftleistungen oder Arbeit repräsentiert.

Den Übergang aus einem mechanischen Bewegungsvorgange, z. B. dem Aufschlagen eines Hammers auf einen Amboß, in Wärme — der Amboß (oder ein darauf liegendes Stück Eisen) wird warm — hat man sich so zu denken, daß der Hammer, wenn seine Bewegung seitens des Amboß gehemmt wird, dieselbe an die Moleküle des Amboß mitteilt, sie gleichsam anstößt, so daß an Kraftleistung nichts verloren geht, sondern nur die Form der Bewegung eine andere wird.

Was für die mechanische Arbeit und die Wärme erwiesen ist, gilt auch für die übrigen Arten der Arbeit — die Leistungen sonstiger Kräfte —, und es läßt sich der allgemeine Grundsatz von der Erhaltung der Arbeit oder Kraftleistung in einem bestimmten Zeitabschnitt oder das Gesetz von der Erhaltung der Energie aussprechen.

Der Begründer dieses Gesetzes ist der Heilbronner Arzt Julius Robert Mayer (1842). Doch bezeichnete er es als das Gesetz von der Erhaltung der Kraft, was bei der heutigen Terminologie (vgl. S. 41) nicht mehr empfehlenswert ist.

Energie äußert sich übrigens nicht nur in dem Auftreten oder der Änderung von Bewegungen, sondern auch z. B. in einem Druck, den ein ruhender Körper auf seine Unterlage ausübt, in der elastischen Spannung einer aus ihrer Gleichgewichtsbeschaffenheit gebrachten Spiralfeder oder Gummischnur usw. Beide Arten der Energie unterscheidet man als: kinetische Energie (Energie der Bewegung, bewegende Kraft) und potentielle Energie (Energie der Lage, Spannkraft). Wird in dem Beispiel eines

auf einer Unterlage ruhenden Körpers die Unterlage unter dem Körper fortgezogen, so fällt er und verwandelt seine potentielle Energie in kinetische.

12. Reibungselektrizität.

Elektrische Grunderscheinungen. Wenn man ein Stück Bernstein oder Stangenschwefel, eine Stange Siegellack oder Hartgummi, einen Glasstab oder eine Glasröhre u. dgl. m. mit einem wollenen oder seidenen Lappen reibt, so nehmen jene Körper die Eigenschaft an, leichte Körper, wie Papierschnitzel, Flaumfedern usw. anzuziehen. Nach kurzer Zeit der Berührung erfolgt Abstoßung; aber wenn die zuerst angezogenen, dann abgestoßenen Körperchen mit einem anderen Gegenstande in Berührung gekommen sind, werden sie von den geriebenen Körpern von neuem angezogen, darauf wieder abgestoßen u. s. f.

Da diese Eigenschaft geriebener Körper, andere Körper anzuziehen, zuerst — und zwar schon von den alten Griechen — am Bernstein beobachtet wurde, ist sie Elektrizität genannt worden (Bernstein = Elektron); die geriebenen Körper heißen elektrisch. Gilbert untersuchte die elektrischen Erscheinungen zum ersten Male (im Jahre 1600) genauer.

Von den elektrischen Körpern unterschied man früher die anelektrischen; als aber Stephan Gray (1729) den Nachweis geführt hatte, daß auch diese elektrisiert werden können, den elektrischen Zustand aber leicht verlieren, weil sie ihn schnell auf größere Entfernungen fortpflanzen, so ersetzte man jene Unterscheidung durch die zwischen Leitern und Nichtleitern. Zu den Nichtleitern gehören die zu Anfang genannten Körper; sie behalten ihre Elektrizität, weil dieselbe an der Stelle, wo sie durch Reiben erzeugt worden ist, verbleibt; die Leiter geben ihre Elektrizität von Molekül zu Molekül weiter und übertragen sie leicht auch auf andere Körper; nur dann vermögen sie die Elektrizität zu bewahren, wenn sie rings von Nichtleitern umgeben: durch dieselben isoliert sind. Die Nichtleiter heißen daher auch Isolatoren. In der Mitte zwischen Leitern und Nichtleitern stehen die sogenannten Halbleiter (oder unvollkommenen Leiter).

Leiter sind: alle Metalle, Kohle, Graphit, Wasser, Lösungen von Säuren, Basen und Salzen, der tierische Körper, feuchte Luft; Halbleiter: trockenes Holz, Papier, Gesteine, Alkohol, Äther; Nichtleiter oder Isolatoren: Harze, Schwefel, Glas, Seide.

Haare (Wolle), Federn, fette Öle, trockene Luft, trockene Gase, der luftleere Raum. Gase in sehr verdünntem Zustande, wie sie in den Geißlerschen Röhren (vgl. S. 239—240) und desgl. in den Crookeschen oder Hittorfschen Röhren (Kap. 16) enthalten sind, sowie glühende Gase und deswegen Flammen sind Leiter der Elektrizität.

Man hänge einen leichten Körper, etwa ein Holundermarkkugeln, isoliert auf, z. B. mittels eines Seidenfadens (Abb. 106), reibe einen Glasstab mit einem Stück wollenen Zeuges und nähere ihn der Kugel. Dann wird diese zunächst angezogen, bis sie den Glasstab berührt. Hierauf wird sie alsbald abgestoßen.

Durch die Berührung mit dem (elektrisch gemachten) Glasstab ist die Kugel selbst elektrisch geworden. Zwei gleichartig elektrische Körper stoßen sich also ab. Der Versuch verläuft in gleicher Weise, wenn statt des Glasstabes ein Hartgummistab benutzt wird: Die Kugel flieht vor demselben, wenn sie ihn zuvor, nachdem er elektrisch gemacht worden war, berührt hatte.

Wenn man aber der Kugel, nachdem sie durch Berührung mit dem Glasstab elektrisch geworden war, den Hartgummistab nähert, zieht dieser sie an. Umgekehrt zieht der Glasstab die Kugel an, wenn sie zuvor durch Berührung mit dem Hartgummistab elektrisch geworden war. Hieraus folgt, daß ungleichartig elektrische Körper einander anziehen. Und es ist die Annahme am Platze, daß es zwei Arten von Elektrizität gibt: Glaselektrizität und Harzelektrizität oder positive und negative Elektrizität (+E und -E).

Die ersten zusammenhängenden Versuche über die elektrische Abstoßung rühren von Otto v. Guericke her (1672).

Würde man die Holundermarkkugel nicht isoliert aufhängen, z. B. an einem Leinenfaden, so würde die ihr mitgeteilte Elektrizität sofort durch den Faden, da er zu den Leitern gehört, fortgeleitet werden, und die Kugel würde in allen Fällen bei Annäherung eines elektrischen Körpers angezogen werden wie jeder unelektrische Körper.

Der Apparat Abb. 106 heißt ein elektrisches Pendel und kann dazu verwendet werden, den elektrischen Zustand eines Körpers zu untersuchen. Man berührt mit dem zu untersuchenden Körper das Holundermarkkugeln. Danach nähert man letzterem nacheinander einen geriebenen Glasstab und einen

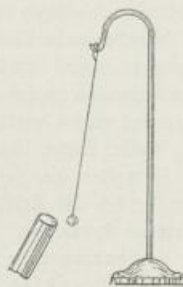


Abb. 106. Elektrisches Pendel.

geriebenen Hartgummistab. Wird die Kugel von beiden angezogen, so war der fragliche Körper unelektrisch; wird sie vom Glasstab angezogen, vom Hartgummistab abgestoßen, so war der Körper negativ elektrisch; wird sie vom Glasstab abgestoßen und vom Hartgummistab angezogen, so war der Körper positiv elektrisch.¹⁾

Hypothesen über die Natur der Elektrizität. Eine bequeme, wenngleich sicher falsche Vorstellung über das Wesen der beiden Arten der Elektrizität ist die von Symmer (1759) begründete, daß positive und negative Elektrizität unwägbar und unsichtbare Flüssigkeiten (Fluida) seien, welche in allen unelektrischen Körpern in gleichen Mengen enthalten sind, so daß sie sich in ihren Wirkungen (wie zwei gleich große Zahlen mit entgegengesetzten algebraischen Vorzeichen) aufheben. Hiernach bezeichnet man die unelektrischen Körper als neutral elektrisch. Beim Reiben zweier Körper wird die neutrale Elektrizität in positive und negative zerlegt, beide Körper werden elektrisch, und es geht auf den einen die gesamte $+E$, auf den andern die gesamte $-E$ über. (Dualistische Hypothese.)

Nachfolgende Reihe von Körpern (die sogenannte Spannungsreihe für Reibungselektrizität) hat die Anordnung, daß jeder vorangehende Körper, mit irgend einem folgenden gerieben, positiv elektrisch wird, während jeder folgende Körper, mit irgend einem vorangehenden gerieben, negativ elektrisch wird: (+) Pelz, Glas, Wolle, Seide, Holz, Metalle, Harze, Schwefel (—).

Je weiter die geriebenen Stoffe in dieser Reihe auseinander stehen, desto günstiger ist der Erfolg, d. h. desto größer ist die bei der Reibung erzeugte elektrische Spannung. (Vgl. über diese den folgenden Abschnitt.)

Der dualistischen Hypothese über das Wesen der Elektrizität steht die von Benjamin Franklin (1750) und Äpinus (1755) begründete unitäre gegenüber, wonach der positiv elektrische Zustand eines Körpers in einem Überschuß, der negativ elektrische Zustand in einem Mangel an ein und demselben Fluidum besteht, während ein neutral elektrischer Körper dieses Fluidum in einer gewissen normalen Menge enthält. Die in neuerer Zeit von Edlund vertretene Ansicht schließt sich der unitären Hypothese an, insofern als nach ihr der Lichtäther sowohl die positiv wie die negativ elektrischen Erscheinungen hervorrufen und die positiv elektrischen Körper einen Überschuß, die negativ elektrischen einen Mangel an freiem Äther haben sollen; in unelektrischen (oder neutral elektrischen) Körpern soll der Äther im normalen Zustande, an die Körpermoleküle gebunden, enthalten sein.

Schließlich ist nach den vorbereitenden Forschungen Faradays (1833) von Maxwell (1873) die Hypothese aufgestellt worden, daß die elektrischen Erscheinungen auf Spannungs- und Bewegungszustände in den an die elektrischen Körper angrenzenden Isolatoren zurückzuführen sind, in denen der darin intramolekular, d. h. zwischen den Molekülen enthaltene Lichtäther das Medium für

¹⁾ „Anziehung“ und „Abstoßung“ sind natürlich zunächst nur Worte, welche die Erscheinungen, um die es sich handelt, bildlich bezeichnen; in Wahrheit beobachtet man nichts weiter als eine Annäherung bzw. Entfernung der beweglichen (elektrischen oder unelektrischen) Körper.

die elektrischen Wirkungen abgibt. Da nämlich die Isolatoren das Verhalten des Lichtäthers verändern, so müssen durch sie die elektrischen Erscheinungen, wenn sie ihren Sitz im Äther haben — wie das Licht in einem durchsichtigen Medium — beeinflußt werden.

Positive und negative Elektrizität lassen sich durch die Lichtenbergschen Figuren unterscheiden. Man berühre eine isolierende Platte, z. B. eine Hartgummiplatte, an verschiedenen Stellen mit einem positiv, an anderen mit einem negativ elektrisch gemachten Körper. Dann haftet an diesen Stellen teils $+E$, teils $-E$. Überstreut man hierauf die Platte mit einem leichten Pulver, z. B. Lycopodium- (Bärlapp-) Samen, so sammelt sich dasselbe an den elektrischen Stellen in eigenartigen Figuren an, und zwar an den positiv elektrischen Stellen in Form von Sternen, die baumförmig verzweigte Strahlen aussenden, an den negativ elektrischen Stellen in Form von rundlichen Flecken.

Elektrische Spannung. Ein Körper, in welchem durch Reiben Elektrizität erzeugt worden oder auf den sie durch Berührung übertragen worden ist, heißt ein elektrisch geladener Körper. Er verliert seine Elektrizität allmählich wieder, indem er sie an seine Umgebung abgibt, wenn diese auch aus ziemlich guten Isolatoren bestehen sollte. Aus Spitzen und vorspringenden Kanten eines elektrisch geladenen Körpers strömt die Elektrizität leicht aus, aus stumpfen, abgerundeten Enden dagegen nur schwer. — Das Ausströmen geschieht im Dunkeln unter Lichterscheinung; die $+E$ strömt in Gestalt größerer leuchtender Büschel, die $-E$ in Gestalt leuchtender Punkte aus. (Büschelentladung.)

Steht ein elektrisch geladener Körper einem unelektrischen oder entgegengesetzt elektrischen Leiter gegenüber und sind beide durch einen isolierenden Körper — ein Dielektrikum — getrennt, so findet ohne weiteres kein Übergang von Elektrizität statt; erst wenn die Menge der Elektrizität im erstgenannten Körper (bzw. in dem entgegengesetzt geladenen Leiter) sehr groß geworden ist und sich eine erhebliche elektrische Spannung (ein hohes elektrisches Potential oder besser: eine beträchtliche Potentialdifferenz — vgl. den folgenden Abschnitt) eingestellt hat, erfolgt ein Übergang von Elektrizität, und zwar unter Licht- und Wärmeerscheinung: in Gestalt eines elektrischen Funkens.

Infolge der Abstoßung gleichartiger Elektrizitäten sammelt sich die Elektrizität, die einem isolierten Leiter mitgeteilt wird, auf seiner Oberfläche an (hier ist sie möglichst weit verteilt). Dies zeigt z. B. folgender Versuch: Eine massive Metallkugel, die von einem isolierenden Glasstab getragen wird, umgebe man, nachdem sie elektrisch gemacht worden ist, mit zwei metallenen Halbkugeln, an denen isolierende Handgriffe angebracht sind. Nimmt man nach kurzer Berührung die Halbkugeln fort, so zeigt es sich, daß alle Elektrizität der Vollkugel auf die Halbkugeln übergegangen ist, während die Vollkugel selbst unelektrisch zurückbleibt.

Elektrisches Potential. Hier bedarf der Begriff des Potentials einer eingehenderen Betrachtung. — Allgemein wird ein Raum, in dem elektrische Kräfte wirken, ein elektrisches Feld genannt.

Ferner wird nach dem C.G.S.-System (vgl. S. 11) als Einheit der Ladung oder Elektrizitätsmenge diejenige Ladung genommen, welche auf eine ihr gleiche, in 1 cm Entfernung befindliche Ladung eine Kraft gleich einem Dyn (S. 41) ausübt (die elektrostatische Einheit der Elektrizitätsmenge). Hiernach ist dann die elektrische Feldstärke oder die elektrische Kraft in einem Punkte P des Feldes diejenige mechanische Kraft, die seitens des Feldes auf einen in P befindlichen materiellen Punkt mit der Ladung $+1$ ausgeübt wird. (Als positiv gilt die Ladung im Falle der Abstoßung, als negativ im Falle der Anziehung.)

Rührt nun das elektrische Feld von einem mit positiver Ladung versehenen materiellen Punkt M her und bewegt sich (infolge der Abstoßung) der Punkt P in der Richtung der Kraft MP , so leistet diese Kraft Arbeit oder erzeugt kinetische Energie. In seiner Ruhelage repräsentiert daher der Punkt P mit seiner Ladung potentielle Energie (so wie ein über dem Erdboden befindliches Gewicht im Felde der Schwerkraft potentielle Energie repräsentiert). Diese potentielle Energie heißt das Potential im Punkte P des elektrischen Feldes.

Dasselbe läßt sich noch anders definieren. Da nämlich die Energie des Punktes P verbraucht ist, wenn er in unendliche Entfernung von M gebracht ist oder — annähernd — in solche Entfernung, daß die elektrische Wirkung unmerklich wird, so ist das Potential in einem Punkte P des elektrischen Feldes (mit der Ladung $+1$) diejenige Arbeit, welche die elektrischen Kräfte leisten müssen, um die Elektrizitätsmenge $+1$ von P bis in unendliche Entfernung von dem das Felderzeugenden Punkte (M) zu bringen, oder auch diejenige Arbeit, welche gegen die elektrischen Kräfte geleistet werden muß, um die Elektrizitätsmenge $+1$ aus unendlicher Entfernung nach P zu bringen.

In dem Maße, wie infolge der Abstoßung P von M entfernt wird, nimmt das Potential in dem Punkte P ab. Unter sonst gleichen Verhältnissen werden aber die gleich weit von M entfernten Punkte gleiches Potential besitzen. Alle Punkte gleichen Potentials bilden eine Niveaufläche. (Dieselbe hat, wenn in verschiedenen Richtungen ungleiche Bedingungen herrschen, speziell wenn statt des Punktes M ein unregelmäßig geformter Körper vorhanden ist, keine Kugelgestalt.)

Wird ein materieller Punkt in einer solchen Niveaufläche verschoben, so findet kein Umsatz von potentieller Energie in kinetische statt, oder es ist kein Aufwand von Arbeit nötig. Demnach wirkt innerhalb eines Elementes der Niveaufläche keine Kraftkomponente; das besagt aber, daß die ganze auf die Elektrizitätsmenge $+1$ wirkende Kraft auf dem Element der Niveaufläche senkrecht steht. Eine Linie, welche die Elemente sämtlicher um den Zentralpunkt M verlaufenden Niveauflächen senkrecht durchschneidet und die daher in jedem Punkte die Richtung der wirkenden Kraft angibt, heißt Kraftlinie. Ein Raum, den man sich durch eine Anzahl aufeinander folgender Kraftlinien

begrenzt denkt (also ein pyramidaler Ausschnitt längs der Krafrichtung) heißt eine Krafröhre.

Der Unterschied oder die Differenz der Potentialwerte zweier verschiedener Niveauflächen wird als Potentialdifferenz bezeichnet. Da das Potential jeder einzelnen Niveaufläche gleich der Arbeit ist, welche zur Annäherung der Elektrizitätsmenge $+1$ aus dem Unendlichen bis zu der betreffenden Niveaufläche erforderlich ist, so ist die Potentialdifferenz gleich derjenigen Arbeit, die gebraucht wird, um die Elektrizitätsmenge $+1$ von einer Niveaufläche bis zur andern zu bewegen.

Unter Potentialgefälle versteht man das Verhältnis der Potentialdifferenz zweier beliebiger nahe benachbarter Punkte des elektrischen Feldes zu ihrer gegenseitigen Entfernung. (Es ist das Potentialgefälle also der Zuwachs des Potentials an einem Punkte, bezogen auf die Weg-Einheit.)

Das Potentialgefälle ist am größten in der Richtung der Kraftlinien; längs einer Niveaufläche ist es gleich Null.

In einem Leiter, auf welchem elektrisches Gleichgewicht herrscht, findet keine Verschiebung der beweglichen Elektrizität mehr statt. Alle Punkte des Leiters haben dasselbe Potential, wie auch die Elektrizitätsmengen, die das Potential hervorrufen, verteilt sind. Demnach ist die Oberfläche des Leiters eine Niveaufläche (mit dem Potentialwert des Leiters). Die Kraft, welche auf ein Teilchen der Ladung wirkt, ist senkrecht zur Oberfläche in den angrenzenden Isolator hineingerichtet.

Werden zwei Leiter von verschiedenem Potential miteinander in leitende Verbindung gebracht, so geht Elektrizität von dem Leiter mit höherem Potential auf den mit niedrigerem Potential über, bis das Potential auf beiden Körpern gleich ist. (Dieser Vorgang läßt sich durch einen Vergleich mit den kommunizierenden Gefäßen veranschaulichen.)

Durch elektrische Messungen können stets nur Potentialdifferenzen, nicht aber absolute Potentialwerte ermittelt werden. Will man daher die Potentialwerte der Körper bestimmen, so muß das Potential eines Körpers willkürlich festgesetzt werden. Demgemäß setzt man das Potential der Erde gleich Null. Dann ist das Potential eines Leiters die Arbeit, welche auf die Elektrizitätsmenge $+1$ ausgeübt werden muß, um sie von der Erde auf den Leiter zu schaffen (d. i. die Potentialdifferenz zwischen dem Leiter und der Erde). — Ein zur Erde abgeleiteter Körper hat das Potential Null.

Durch das Potential wird der elektrische Zustand eines Leiters ebenso unzweideutig bezeichnet wie der Wärmezustand eines Körpers durch die Angabe seiner Temperatur.

Je größer die einem Leiter zugeführte elektrische Ladung oder Elektrizitätsmenge ist, desto größer ist seine Wirkung auf einen bestimmten materiellen Punkt in seinem elektrischen Felde, d. h. desto größer ist sein Potential. Somit gilt: Das Potential eines Leiters ist proportional seiner Ladung.

Um verschiedene Leiter auf dasselbe Potential zu bringen, genügen nicht immer die gleichen Elektrizitätsmengen. Wird z. B. die Oberfläche eines Leiters, der ein bestimmtes Potential hat, dadurch vergrößert, daß er mit einem zweiten Leiter verbunden wird, so breitet sich die Elektrizität über

beide Leiter aus, erfüllt also eine größere Oberfläche, und das Potential sinkt. Somit erfordern Leiter mit größerer Oberfläche für das gleiche Potential größere Elektrizitätsmengen oder größere Ladungen.

Diejenige Ladung, welche einem Leiter das Potential 1 erteilt, heißt die elektrostatische Kapazität (oder das Fassungsvermögen) des Leiters.

Bezeichnet man die Kapazität mit C , so ist eine Ladung Q , die das Potential V hervorruft, V mal so groß als C , also: $Q = C \cdot V$

$$\text{und: } C = \frac{Q}{V},$$

d. h. die Kapazität eines Leiters ist gleich der Ladung, dividiert durch das Potential.

Elektroskop. Um geringe Mengen Elektrizität nachzuweisen und ihrer Art nach zu erkennen, bedient man sich — statt des elektrischen Pendels — des Elektroskops (Abb. 107).



Abb. 107. Elektroskop.

Dasselbe besitzt als wesentlichen Bestandteil einen Messingdraht (D), der oben einen kugelförmigen Messingknopf (K) trägt, während an seinem unteren Ende zwei nebeneinander hängende, leicht bewegliche Körper (gewöhnlich zwei Streifen Blattgold, B) befestigt sind. Um zu verhüten, daß die Blattgoldstreifen oder Goldblättchen beschädigt werden, um ferner Luftströmungen abzuhalten, durch die die Goldblättchen bewegt werden könnten, und um schließlich einer schnellen Zerstreung der den Goldblättchen mitgeteilten Elektrizität vorzubeugen, umgibt man den unteren Teil des Elektroskops mit einer (von einem Stativ getragenen) Glaskugel, durch deren Hals der Messingdraht, auf irgend eine Weise isoliert, hindurchtritt.

Wird der Messingknopf des Elektroskops mit einem elektrischen Körper berührt, so gehen die Goldblattstreifen, da sie mit gleichartiger Elektrizität geladen werden, auseinander.

Aber diese Spreizung tritt bereits ein, wenn der elektrische Körper — z. B. ein geriebener Harzstab — sich noch in einiger Entfernung von dem Messingknopf befindet, und wird um so bedeutender, je mehr man den Stab dem Messingknopf nähert.

Diese Erscheinung erklärt man auf die Weise, daß der elektrische Harzstab die in dem Messingknopf nebst Draht und Goldblättchen enthaltene neutrale Elektrizität in positive und negative zerlegt. Die $+E$ wird von dem negativ elektrischen Harzstabe angezogen und geht nach oben, in den Messingknopf, während die $-E$ abgestoßen wird und sich in die Goldblättchen begibt, die

nun, weil gleichartig elektrisch, sich gegenseitig abstoßen und daher auseinandergehen. — Beim Entfernen des Harzstabes fallen die Goldblättchen wieder zusammen.

Berührt man, während der Harzstab über den Messingknopf gehalten wird, den Messingdraht mit dem Finger, so leitet man dadurch die von dem Harzstab abgestoßene $-E$ nach der Erde ab. (Die erst gespreizten Goldblättchen fallen zusammen.) Zieht man alsdann den Finger weg und entfernt hierauf den Harzstab, so bleibt das Elektroskop mit $+E$ geladen, welche die Goldblättchen von neuem auseinandertreibt und sie in gespreizter Stellung erhält.

Nähert man jetzt dem Elektroskop einen positiv elektrischen Körper (z. B. eine geriebene Glasstange), so gehen die Goldblättchen noch weiter auseinander, weil die vorhandene $+E$ des Elektroskops und (durch Zerlegung) neu hervorgerufene $+E$ in die Goldblättchen hineingetrieben werden. Nähert man dagegen dem Elektroskop einen negativ elektrischen Körper (z. B. abermals einen geriebenen Harzstab), so nähern sich die Goldblättchen einander und fallen schließlich ganz zusammen, weil ihnen einerseits ihre $+E$ durch Anziehung seitens des negativ elektrisch geladenen Körpers entzogen wird und sich in den Messingknopf begibt und anderseits vielleicht $-E$ neu entsteht, die sich mit der $+E$ vereinigt und sie neutralisiert. Nähert man endlich dem Elektroskop einen unelektrischen Körper, so ändern die Goldblättchen ihre Stellung nicht.

Entsprechende Erscheinungen zeigen sich, wenn das Elektroskop anfangs mit $-E$ geladen wird.

Diese Erscheinungen ermöglichen es, die Elektrizitätsart, die ein Körper besitzt, festzustellen.

Influenzelektrizität. Wie wir gesehen haben, kann man einen Körper (im Vorstehenden das Elektroskop, insbesondere die Goldblättchen) mit Elektrizität laden oder elektrisch machen, ohne ihm Elektrizität durch Berührung mitzuteilen. Diese elektrische Einwirkung aus der Ferne wird als elektrische Verteilung oder Influenz bezeichnet.

Durch folgenden Versuch kann die elektrische Influenz klar dargetan werden. Einen Metallzylinder C (Abb. 108), der an seinen Enden in zwei Kugeln ausläuft und von einem $-$ isolierenden $-$ Glasstab getragen wird, stelle man einem positiv elektrisch geladenen Körper (K), z. B. dem Konduktor einer Reibungs-Elektrifiziermaschine, gegenüber. Als bald tritt eine Verteilung der neutralen Elektrizität in C ein: die $-E$ geht in das dem Körper K zugekehrte, die $+E$ in das ihm abgekehrte Ende des Zylinders C . Man erkennt dies daran, daß sich

je zwei Holundermarkkugeln, die in der Nähe eines jeden Endes von C an leitenden Fäden (z. B. Leinenfäden) aufgehängt sind, voneinander entfernen, sobald der Zylinder C dem elektrischen Körper K genähert wird. (Vgl. die Abbildung.) Hieraus folgt zunächst, daß die Kugeln H_1 untereinander und ebenso die Kugeln H_2 untereinander die gleiche Elektrizität besitzen. Nähert man nun den Kugeln H_1 und H_2 einen geriebenen Glas- bzw. Hartgummi- stab, so läßt sich auf Grund der stattfindenden Anziehungen und Abstoßungen feststellen, daß die Holundermarkkugeln H_1 negativ, die Holundermarkkugeln H_2 positiv elektrisch geworden sind. — Berührt man nun den Zylinder C irgendwo mit dem Finger, so wird die (von K abgestoßene) $+E$ abgeleitet, und es bleibt nach Entfernung des Zylinders C von dem Körper K freie $-E$ in C zurück, was wieder durch einen genäherten elektrischen Glas- oder Hartgummi- stab entschieden werden kann.

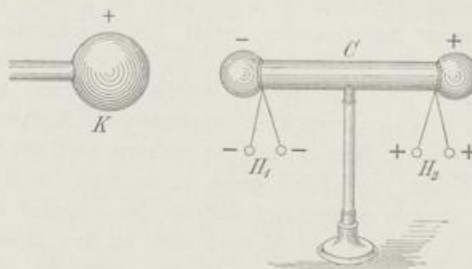


Abb. 108. Elektrische Influenz.

Eine elektrische Verteilung findet übrigens auch bei der elektrischen Ladung mittels Berührung statt, wie folgender Versuch lehrt: Man berühre den Messingknopf eines Elektroskops mit einem elektrischen Körper, z. B. einem geriebenen Harzstabe; dann gehen die Goldblättchen aneinander; sie fallen aber wieder zusammen, wenn man den Harzstab entfernt. Dies kann nur so erklärt werden, daß der Harzstab bei der Berührung, in gleicher Weise wie bei der bloßen Annäherung, die neutrale Elektrizität des Elektroskops in $+E$ und $-E$ zerlegt, die $+E$ anzieht und die $-E$ abstößt, so daß sich die letztere in die Goldblättchen begibt und diese auseinandertreibt, während die $+E$ in der Messingkugel festgehalten wird; wenn nun der Harzstab entfernt wird, vereinigen sich die beiden Elektrizitäten im Elektroskop wieder zu neutraler Elektrizität, so daß die Goldblättchen zusammenfallen.

Wenn man den negativ elektrischen Harzstab dem Elektroskop nähert und durch Berührung des Messingdrahts mit dem Finger die abgestoßene $-E$ ableitet, so ist die im Elektroskop (Messingknopf) zurückbleibende $+E$ so lange gebunden, d. h. sie kann sich so lange nicht frei bewegen und nicht frei wirken, wie der Harzstab sich in der Nähe des Messingknopfes befindet. Erst mit der Entfernung des Harzstabes wird die $+E$ frei, verbreitet sich über den ganzen (isolierten) Leiter und treibt die Goldblättchen auseinander (bringt sie zur Divergenz).

Daß man einen leicht beweglichen Leiter (Holundermarkkugeln) oder einen Isolator durch Berührung mit einem elektrischen Körper mit (freier positiver oder negativer) Elektrizität laden kann, beruht darauf, daß im ersten Falle — vorausgesetzt, daß der elektrische Körper negativ elektrisch ist — die durch Influenz erregte $+E$ sich mit der $-E$ des elektrischen Körpers vereinigt und der Leiter wegen der in ihm verbleibenden $-E$ alsbald fortgestoßen wird, und daß im zweiten Falle auch jene Vereinigung stattfindet, während die abgestoßene $-E$ wegen der Isolation nicht zu der $+E$ zurück- und sich mit ihr wieder vereinigen kann.

Ebenso wie die elektrische Ladung eines Leiters durch Berührung mit einem elektrischen Körper ist auch seine durch Überspringen eines Funkens erfolgende Ladung zu erklären. Wenn ein, z. B. negativ elektrischer Körper

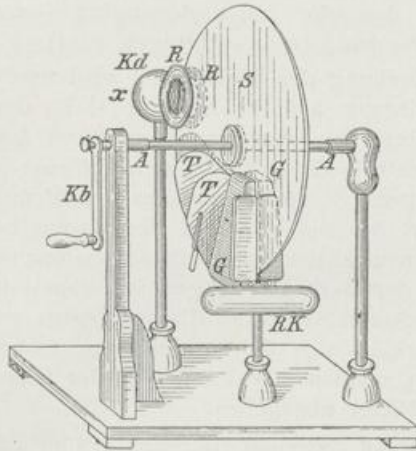


Abb. 109. Reibungs-Elektrisierungsmaschine.

einem Metallgegenstande gegenübergehalten wird, so tritt in letzterem eine Spaltung der neutralen Elektrizität in $+E$ und $-E$ ein; befindet sich der elektrische Körper dem Metallgegenstande nahe genug, so erfolgt eine Vereinigung der $-E$ des Körpers mit der $+E$ des Metallgegenstandes unter Funkenerscheinung durch die trennende Luftschicht hindurch, und der Metallgegenstand bleibt negativ (also gleich dem ihm genäherten Körper) geladen.

Reibungs-Elektrisierungsmaschine. Zur Erzeugung größerer Mengen von Elektrizität dient die Elektrisierungsmaschine. Wir unterscheiden die (1672 von Otto v. Guericke erfundene) Reibungs-Elektrisierungsmaschine und die Influenz-Elektrisierungsmaschine. Die wesentlichen Teile der Reibungs-Elektrisierungsmaschine (Abb. 109) sind: der geriebene Körper (eine Glasscheibe S), die von der isolierenden Achse A getragen wird und mittels der Kurbel Kb in Umdrehung

versetzt werden kann); das Reibzeug (dasselbe besteht aus einer etwas federnden, hölzernen Gabel GG , welche innen zwei mit Kienmayerschem Amalgam — ein Teil Zinn, ein Teil Zink und zwei Teile Quecksilber — beschriebene Reibkissen trägt und gegen die Glasscheibe drückt; die Gabel wird von einem isolierenden Glasstab getragen; die bei ihrer Umdrehung erzeugte Elektrizität wird durch die Taffetlappen TT vor Zerstreuung in die Luft geschützt); der Konduktor (oder Elektrizitätssammler) Kd nebst dem Saugapparat RR (letzterer besteht aus zwei Holzringen, zwischen welchen die Glasscheibe läuft; an den der Scheibe zugekehrten Seiten sind Rinnen in die Ringe eingeschnitten, die mit Metallspitzen ausgekleidet sind; von diesen strömt die Elektrizität nach dem Konduktor, den eine hohle Messingkugel darstellt und der von einem isolierenden Glasstab getragen wird).

Durch die Drehung der Glasscheibe wird nun die infolge der Reibung am Reibzeug auf ihr erzeugte $+E$, durch die Taffetlappen TT geschützt, bis vor den Saugapparat RR befördert und zerlegt dessen neutrale Elektrizität durch Influenz in $+E$ und $-E$. Die $-E$ wird angezogen und strömt aus den Metallspitzen auf die Glasscheibe über, wo sie sich mit der darauf befindlichen $+E$ vereinigt und so neutralisiert wird. Die im Saugapparat entstandene $+E$ wird von der $+E$ der Glasscheibe abgestoßen und begibt sich in den Konduktor, wodurch dieser geladen wird. Der Name „Saugapparat“ erklärt sich daher, daß man früher annahm, die Spitzen desselben saugten direkt die $+E$ der Glasscheibe auf, um sie an den Konduktor abzugeben.

Bei der Reibung zwischen Glasscheibe und Reibzeug entsteht nicht nur in der Glasscheibe $+E$, sondern zugleich im Reibzeug $-E$, welche man ableiten muß, damit sie sich nicht alsbald wieder mit jener $+E$ vereinige. Diese Ableitung geschieht durch den Reibzeug-Konduktor KK , an dem man eine zum Tisch, zum Erdboden oder am besten zur Gasleitung führende Kette befestigen kann.

Bei x trägt der Konduktor eine kleine (in der Abbildung nicht sichtbare) Messingkugel, welche wegen ihrer kleineren Oberfläche die Spannung der auf sie überströmenden Elektrizität erhöht.

Elektrophor. Ehe wird die Influenz-Elektrisirermaschine besprochen, fassen wir einen andern Apparat ins Auge, dessen Einrichtung ebenfalls auf den Gesetzen der elektrischen Influenz beruht und der zur Aufbewahrung und dauernden Entnahme von Elektrizität dient. Es ist das Elektrophor (Volta, 1775.) Die wesentlichen

Teile desselben sind eine Scheibe aus nichtleitendem Stoffe, gewöhnlich einer Harzmasse, Harzkuchen genannt (Abb. 110, *s*), und ein leitender Deckel (*D*), der von isolierenden Seidenschnüren getragen wird, bzw. mit einer isolierenden Handhabe versehen ist. Die Scheibe ruht entweder auf einer leitenden Unterlage oder sie ist in einer besonderen leitenden Form (*F*) enthalten. Will man den Apparat benutzen, so nimmt man den Deckel fort und macht die Scheibe (*s*) — am besten durch Schlagen mit einem Fuchschwanz — negativ elektrisch. Hiernach setzt man den Deckel auf; alsbald wird durch Influenz von der Scheibe aus die neutrale Elektrizität desselben in $+E$ und $-E$ zerlegt. Durch Berührung des Deckels mit dem Finger leitet man die abgestoßene $-E$ ab, während die $+E$ in gebundenem Zustande (gebunden durch die $-E$ der Scheibe) zurückbleibt. Wird nun der Deckel von

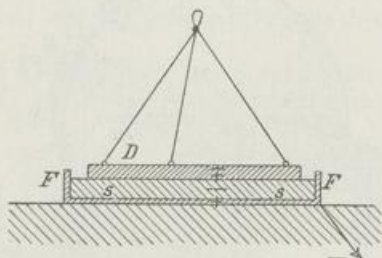


Abb. 110. Elektrophor.

der Scheibe entfernt, so wird die $+E$ des ersteren frei, so daß sie an einen anderen Körper abgegeben werden kann. Es geschieht dies in Gestalt eines kleinen knisternden Funkens. Setzt man den Deckel nach erfolgter Entladung wieder auf die Scheibe auf, so tritt abermals eine Scheidung seiner neutralen Elektrizität ein, und man kann von neuem eine gewisse Menge $+E$ vom Deckel auf einen anderen Körper übertragen. Dies Verfahren kann fortgesetzt wiederholt werden, weil die $-E$ der Scheibe erhalten bleibt, und zwar aus folgendem Grunde: Die Scheibe wirkt nicht nur nach oben auf den Deckel verteilend, sondern auch nach unten auf die leitende Form, deren $-E$ abgestoßen wird und durch den Tisch usw. nach dem Erdboden entweicht, während die $+E$ der Form von der $-E$ der Scheibe zurückgehalten und diese ihrerseits von jener festgehalten wird.

Influenz-Elektrisierungsmaschine. Die Influenz-Elektrisierungsmaschine kommt in verschiedenen Konstruktionen vor. In der

ältesten, ihr von Holtz (1865) gegebenen Form besteht sie aus zwei kreisförmigen, mit den Flächen einander zugekehrten und einander sehr nahe befindlichen (der besseren Isolierung halber gefirnißten) Glasscheiben von ungleicher Größe. Die größere, hintere Scheibe (Abb. 111, S_1) steht fest, während die kleinere, vordere Scheibe (S_2) durch eine Kurbel (Kr) und die Vermittlung einer Treibschnur in Umdrehung versetzt werden kann. Die größere, feststehende Scheibe besitzt an zwei einander diametral gegenüberliegenden Stellen ihres Umfanges Ausschnitte (A und B), neben denen der Rückseite der Scheibe Papierbelegungen (Pa und Pb) aufgeklebt sind, welche die vorspringenden Papierspitzen c und d in die Ausschnitte hineinsenden. Diesen Papierbelegungen stehen

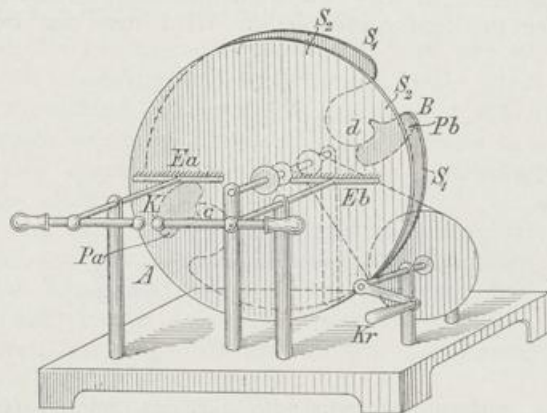


Abb. 111. Holzsche Influenz-Elektriermaschine.

auf der Vorderseite der kleineren, drehbaren Scheibe die beiden mit einer Reihe von Metallspitzen versehenen Einsauger Ea und Eb gegenüber, die zu den beiden Konduktorkugeln oder Elektroden K hinführen.

Bei Beginn des Versuchs muß die Maschine geladen werden. Dies geschieht auf die Weise, daß man der einen Papierbelegung, z. B. Pa , eine geriebene Harzstange nähert und die Konduktoren bei K in leitende Verbindung setzt. Dann wird Pa negativ elektrisch; die $-E$ daselbst wirkt verteilend auf die neutrale Elektrizität des (metallischen und daher leitenden) Einsaugers Ea ; die in demselben gebildete $+E$ strömt, von der $-E$ in Pa angezogen, aus den Metallspitzen auf die bewegliche Scheibe über, die $-E$ dagegen begibt sich, von der $-E$ in Pa abgestoßen, über K nach Eb . Von hier aus strömt sie aus den Metallspitzen auf die bewegliche Scheibe über, so daß (vorausgesetzt, daß die Scheibe sich nach rechts dreht) die untere Hälfte

derselben, da sie zuvor an dem Einsauger *Eb* vorübergegangen ist, mit $-E$ geladen wird, während die obere Hälfte der Scheibe, da sie zuvor an dem Einsauger *Ea* vorübergegangen ist, mit $+E$ geladen wird. Kommen nun die positiv elektrischen Teile der Scheibe vor die Papierspitze *d*, so machen sie diese und die Papierbelegung *Pb* gleichfalls positiv elektrisch, was auf die Weise geschieht, daß zunächst die neutrale *E* der Papierbelegung in $+E$ und $-E$ zerlegt wird und sodann die so entstandene $-E$ aus der Papierspitze *d* auf die bewegliche Scheibe überströmt, wo sie durch deren $+E$ neutralisiert wird, während die $-E$ frei in der Papierbelegung zurückbleibt. Ist dies geschehen, so wirkt *Pb* in umgekehrter Weise auf den Einsauger *Eb* ein, wie anfangs *Pa* auf *Ea*, d. h. es strömt von *Eb* aus $-E$ auf die bewegliche Scheibe, wodurch die $-E$ der unteren Scheibenhälfte verstärkt wird, und $+E$ begibt sich über *K* nach *Ea* und strömt von hier auf die Scheibe, wodurch die $+E$ der oberen Scheibenhälfte verstärkt wird.

Hieraus ist ersichtlich, daß — bei anfänglicher geringer Ladung der Maschine — die (positive und negative) Elektrizität auf der beweglichen Scheibe fortgesetzt zunimmt — einfach infolge der durch die Umdrehung, also durch eine mechanische Arbeit, bewirkten Influenz. (Vgl. das Gesetz von der Erhaltung der Kraft, S. 199.)

Wenn man nun die Konduktoren bei *K* voneinander entfernt, so kann die $-E$ von *Ea* nach *Eb* und die $+E$ von *Eb* nach *Ea* nicht mehr überströmen, sondern es sammelt sich jene (die $-E$) in der linken Konduktorkugel, diese (die $+E$) in der rechten Konduktorkugel an, und nur wenn die Spannung in den Konduktorkugeln zu groß geworden ist, erfolgt ein Ausgleich beider Elektrizitäten in Gestalt eines die Luft zwischen den Konduktorkugeln (bei *K*) durchschlagenden Funkens.

Bei der selbsterregenden Influenz-Elektrisirermaschine wird die Elektrizität gleich anfangs selbst erzeugt, indem bei der Drehung der Maschine Metallpuscheln oder Bürsten über Metallknöpfe oder Stanniolbelege hinweggleiten. Sie wurde 1879 von Töppler erfunden. Abb. 112 zeigt eine selbsterregende Influenzmaschine nach dem verbesserten Wimshurstschen System.

Dieselbe besitzt zwei Hartgummischeiben (*S*), von denen in der Abbildung nur die eine sichtbar ist; dieselben können mittels der Kurbel *Kr* und der beiden Riemenscheiben *TT* dadurch in entgegengesetzte Umdrehung versetzt werden, daß die Treibschnur, welche die eine Riemenscheibe mit der die eine Hartgummischeibe tragenden Achse verbindet, offen, die um die andere Riemenscheibe laufende Treibschnur, welche zur Achse der anderen Hartgummischeibe führt, gekreuzt ist. (Vgl. S. 6.) Auf den nach außen gelegenen Seiten der beiden Hartgummischeiben befindet sich je eine bestimmte Anzahl von Stanniolbelegen, an denen bei der Drehung der Maschine die von je einem Ausgleichungskonduktor getragenen Metallpuscheln *PP* vorübergleiten. Die Ausgleichungskonduktoren müssen, wenn die Maschine funktionieren soll, beiderseits so gestellt werden, daß sich, wie die Abbildung zeigt, das obere Ende links, das untere rechts befindet; beide Ausgleichungskonduktoren sind hiernach gegeneinander gekreuzt. Auf den beiden Glassäulen *GG* ruhen die Hauptkonduktoren (oder Konduktoren schlechthin) *KK*, welche die mit isolierenden Griffen (Hartgummigriffen)

versehene Elektrodenstangen (*KE*) mit den Elektrodenkugeln *EE* tragen. Ferner tragen die Konduktoren die die Hartgummischeiben umfassenden Einsauger *Ea* und *Eb*: zwei mit Saugblechen versehene Metallbügel. Und schließlich führen von den Konduktoren die Metallbügel *BB* zu den Leydener Flaschen *LL*, durch welche die sich in den Konduktoren bzw. Elektroden ansammelnden Elektrizitäten verstärkt werden. (Vgl. den folgenden Abschnitt.) Bei *HH* befinden sich zwei von einem wagrecht stehenden, isolierenden (Hartgummi-)Stabe getragene Metallkugeln, an denen metallene Haken angebracht sind. Sie haben den Zweck, behufs Anstellung besonderer Versuche die in den Elektroden angesammelten

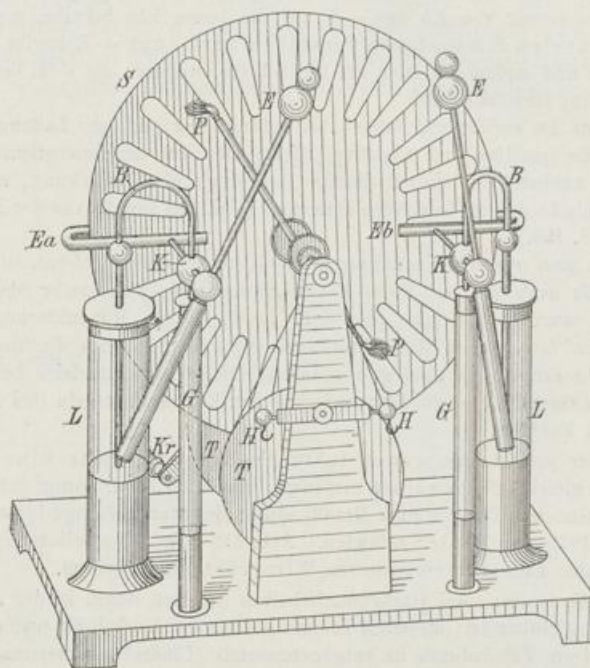


Abb. 112. Wimshurstsche (selbsterregende) Influenz-Elektriermaschine.

Elektrizitäten durch an die Haken *HH* gehängte Metallketten oder -drähte fortzuleiten; es werden alsdann die Elektrodenstangen so nach unten gedreht, daß die Elektrodenkugeln die bei *HH* befindlichen Metallkugeln berühren.

Die Wirksamkeit der Maschine erklärt sich nun auf folgende Weise. Durch das Reiben der Metallpuscheln an den Stanniolbelegen (infolge der Umdrehung der Hartgummischeiben) sei einer der Belege der vorderen Scheibe etwas elektrisch geworden, und zwar z. B. positiv elektrisch. Wenn nun die Belege der hinteren Scheibe an ihm vorbeierotieren, übt er eine Influenzwirkung auf dieselben aus. Er wird daher in einem dieser Belege (der hinteren Scheibe), der gerade mit dem

hinteren Ausgleichungskonduktor in Berührung ist, — E erzeugen, während die zugleich erzeugte + E durch den Ausgleichungskonduktor zum diametral gegenüberliegenden Belag der hinteren Scheibe abgeleitet wird. Bei der weiteren Drehung bleibt diese Ladung der beiden Belege der hinteren Scheibe bestehen und wirkt wieder auf die gerade durch den Ausgleichungskonduktor verbundenen Belege der vorderen Scheibe durch Influenz elektrizitätserregend ein. So verstärkt sich die Ladung der Belege und erzeugt beim Vorübergange der Belege an den Einsaugern in diesen auf dem Wege der Influenz Elektrizität, und zwar jeder positiv elektrische Belag — E, die auf die Scheibe übergeht, und + E, die in den mit dem betreffenden Einsauger verbundenen Konduktor abfließt, jeder negativ elektrische Belag umgekehrt.

Leydener Flasche; Entlader. Zur Aufspeicherung größerer Mengen von Elektrizität dient die Verstärkungsflasche, auch Leydener oder Kleist'sche Flasche genannt. (Erfunden von v. Kleist zu Kamin in Pommern 1746 und fast gleichzeitig von Cuneus und Musschenbroek zu Leyden.) Dieselbe besteht im wesentlichen aus zwei guten Leitern, die durch einen isolierenden Körper getrennt sind. Der letztere ist ein zylindrisches Glasgefäß (Abb. 113); dasselbe ist außen und innen mit einer nicht bis zum oberen Rande reichenden Stanniolbelegung versehen. Mit der inneren Belegung steht ein Messingstab in leitender Verbindung, der oben eine Messingkugel trägt.

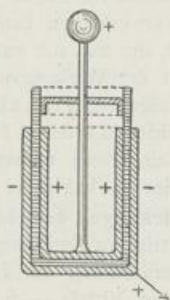


Abb. 113. Leydener Flasche.

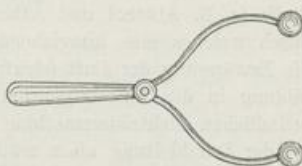


Abb. 114. Entlader.

Berührt man die Messingkugel mit dem z. B. positiv geladenen Konduktor einer Elektrisiermaschine, während die äußere Belegung mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt wird (etwa durch die Hand, mit welcher man die Flasche hält, durch den Körper hindurch nach den Füßen), so wird nächst der Messingkugel auch die innere Belegung positiv elektrisch, wirkt verteilend auf die neutrale Elektrizität der äußeren Belegung und bindet die daselbst entstehende — E, während die + E nach dem Erdboden abfließt. Da sich nun die + E der inneren Belegung und die — E der äußeren Belegung gegenseitig anziehen, so wird nicht nur die letztere (— E) durch die erstere (+ E) gebunden, sondern auch umgekehrt die + E der inneren Belegung durch die — E der äußeren, und es kann sich keine der beiden Elektrizitäten nach außen entfernen.

Infolge dieser Bindung der auf die innere Belegung übergegangenen + E vermag diese nicht nach außen zu wirken, stößt also eine weitere Ladung

gleichartiger Elektrizität von dem Konduktor aus nicht zurück, bis die Anhäufung der Elektrizität aus räumlichen Gründen ihre Grenze findet.

Die Entladung der Flasche geschieht auf die Weise, daß man beide Belegungen (die Messingkugel und die äußere Belegung) in leitende Verbindung miteinander setzt. Man bedient sich dazu am besten eines Entladers, welcher an einer isolierenden Handhabe (Glasstab) zwei gegeneinander drehbare, am Ende mit Metallknöpfen versehene Metallbügel besitzt. (Abb. 114.)

Legt man den unteren Metallknopf des Entladers an die äußere Belegung der Leydener Flasche und nähert den oberen Metallknopf der Messingkugel, so schlägt bei geeigneter Entfernung (entsprechend der Größe der Ladung, welche der Flasche erteilt war) von der Messingkugel der Flasche nach dem Metallknopf des Entladers ein Funke über: der Entladungsfunke, der beträchtliche Länge und Stärke erlangen kann. Er ist von einem mehr oder minder heftigen Knall begleitet, der von der entstandenen Lufterschütterung herrührt.

Mit der Wirkungsweise der Leydener Flasche im Wesen übereinstimmend ist diejenige der Franklinschen Tafel.

Mehrere Leydener Flaschen, deren äußere Belegungen einerseits und deren innere Belegungen andererseits untereinander in leitende Verbindung gesetzt sind, bilden eine elektrische Batterie.

Wirkungen der elektrischen Entladung. Die hauptsächlichsten Wirkungen der elektrischen Entladung sind folgende: Der schon erwähnte Funke nebst Knall bei Unterbrechung der Leitung (Einschaltung eines Dielektrikums, d. h. eines isolierenden Mittels — S. 203); das Durchschlagen von Kartenblättern und Glascheiben seitens des Entladungsfunkens (das in einem Kartenblatt entstehende Loch hat beiderseits aufgeworfene Ränder); die Entzündung brennbarer Stoffe (z. B. Alkohol und Äther); die Erwärmung eines dünnen Metalldrahtes, durch welchen eine hinreichend große Elektrizitätsmenge entladen wird, desgl. die Erwärmung der Luft (elektrisches Luftthermometer von Rieß, 1837); Ozonbildung in der Luft (eigentümlicher Geruch, der auch von einer in Tätigkeit befindlichen Elektrisiermaschine ausgeht); die Einwirkung auf die Nerven (z. B. bei der Durchleitung eines mäßigen Entladungsschlages durch beide Hände und Arme); Muskelzuckungen.

Ähnliche physiologische Erscheinungen wie beim Entladungsschlag zeigen sich, wenn man die Elektrizität einer Elektrisiermaschine in den auf einem isolierenden Gegenstande (z. B. einem sog. Isolierschemel) stehenden menschlichen Körper einströmen läßt und diesem nun einen Leiter nähert, wobei es gelingt, elektrische Funken aus dem Körper des Elektrisierten zu ziehen. Das nicht unterbrochene Durchströmen der Elektrizität durch den Körper äußert keine physiologische Wirkung. Nähert man dem Kopfe eines auf dem Isolierschemel Stehenden, während er elektrisiert wird, einen Leiter, z. B. die Hand, so sträuben sich die Haare des Elektrisierten — eine Folge elektrischer Anziehung.

Geschwindigkeit des elektrischen Entladungsschlages der Leydener Flasche = 464 000 km oder etwa 60 000 Meilen in der Sekunde.

Blitz. Als ein elektrischer Funke von ungeheurer Größe ist der Zickzackblitz anzusehen. Der Donner entspricht dem den Funken begleitenden Knall. Er folgt dem Blitze, weil der Schall sich langsamer fortpflanzt als das

Licht. Träger der atmosphärischen Elektrizität sind in erster Linie die Gewitterwolken, sodann die Wolken überhaupt und schließlich die Luft im allgemeinen. Franklin wies zuerst die elektrische Natur des Gewitters mit Hilfe des elektrischen Drachens nach (1749).

Ihre Entstehung verdankt die atmosphärische Elektrizität nach der 1880 von mir begründeten Hypothese der Reibung des atmosphärischen Wassers 1. an den verschiedenen Körpern der Erdoberfläche, 2. an dem in der Luft befindlichen Staube usw. und 3. — hauptsächlich — an der trockenen Luft selber; das atmosphärische Wasser (Wasserdampf und Wassertröpfchen) wird dabei positiv elektrisch. — Starke elektrische Erscheinungen beim Ausströmen von Wasserdampf, Wassertröpfchen und Asche aus Vulkanen. Die Sankt-Elmsfeuer bestehen in einer Ausströmung von Elektrizität (besonders nach Schneegestöbern) aus spitzen Gegenständen: Baumzweigen, Schiffsmasten, Türmen usw. in Form von Lichtbüscheln (Büschelentladung — vgl. S. 203).

Der Blitzableiter (Franklin, 1749) besteht aus einer eisernen Auffangestange mit vergoldeter oder Platin-Spitze (Schutz gegen Oxydation) und aus der Ableitung, die von Kupfer sein und tief ins feuchte Erdreich geführt werden muß. Schwebt eine Gewitterwolke über einem mit Blitzableiter versehenen Gebäude, so wird sie allmählich entladen, indem im Blitzableiter Influenz-Elektrizität entsteht und die der Elektrizität der Wolke entgegengesetzte Elektrizität aus der Spitze des Blitzableiters ausströmt und die Wolkenelektrizität neutralisiert. Schlägt der Blitz ein, so geht er durch den Blitzableiter, ohne Schaden anzurichten, in den Erdboden.

13. Magnetismus.

Natürliche und künstliche Magnete. Gewisse Eisenerze, vor allem der Magneteisenstein (Eisenoxyduloxyd), haben die Eigenschaft, Eisenteile anzuziehen. Derartige Erze heißen natürliche Magnete (nach der Stadt Magnesia in Kleinasien, in deren Nähe sie zuerst — und zwar bereits im Altertum — gefunden wurden).

Die Anziehung der natürlichen Magnete ist nicht an allen Punkten derselben gleich groß; an einzelnen Stellen, die man Pole nennt, ist sie am stärksten, während sich dazwischen eine unwirksame Stelle (die Indifferenzzone) befindet. (Vgl. Abb. 115.)

Wenn man einen Stahlstab mit einem natürlichen Magnet bestreicht, so wird jener ebenfalls magnetisch; man nennt ihn einen künstlichen Magnet oder Stahlmagnet. Das Bestreichen muß in der Weise erfolgen, daß die beiden Hälften des Stahlstabes mit entgegengesetzten Polen des natürlichen Magnets berührt werden. (Einfacher Strich.)

Auch an einem Stahlmagnet lassen sich zwei Pole (an den beiden Enden des Stabes) erkennen (Abb. 115), deren Verbindungslinie magnetische Achse genannt wird.

Hängt man einen Stahlmagnet in horizontaler Lage frei beweglich auf, so nimmt er nach einigen Schwankungen eine ganz bestimmte — annähernd von Norden nach Süden gerichtete — Lage ein. Hiernach nennt man den nach Norden zeigenden Magnetpol den Nordpol, den nach Süden zeigenden den Südpol des Magnets. — Bestreicht man mit einem Stahlmagnet wiederum einen Stahlstab, so erhält die mit dem Nordpol des Magnets bestrichene Hälfte den magnetischen Südpol, die mit dem Südpol bestrichene Hälfte den magnetischen Nordpol.



Abb. 115. Natürlicher und künstlicher (Stahl-)Magnet.

Ein dünner, an den Enden spitz zulaufender Stahlmagnet, der (mittels eines Hütchens) wagerecht und frei beweglich auf einer Stahlspitze ruht, heißt eine Magnetnadel. (Gilbert, 1600.) (Abb. 116.)

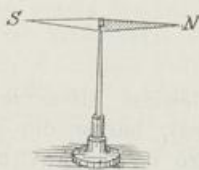


Abb. 116. Magnetnadel.

Magnetische Anziehung und Abstoßung. Wird der Nordpol eines Stahlmagnets nacheinander den beiden Polen einer Magnetnadel genähert, so zeigt es sich, daß er nur den Südpol anzieht, den Nordpol aber abstößt; umgekehrt verhält sich der Südpol des Magnets, so daß sich das Gesetz ergibt:

Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige Pole ziehen sich an.

Auf Grund dieses Gesetzes läßt sich feststellen, ob ein Eisenstab magnetisch ist und wie seine Pole angeordnet sind. Unmagnetisch ist er, wenn jedes seiner Enden beide Pole einer Magnetnadel gleichmäßig anzieht; magnetisch, wenn eines der Enden den einen Pol anzieht, den andern abstößt; stößt es z. B. den Nordpol ab, so ist es selbst ein Nordpol.

Magnetische Influenz. Wenn man einem unmagnetischen Eisenstück den einen Pol, z. B. den Nordpol, eines Magnets nähert, so wird es ebenfalls magnetisch, und zwar wird dasjenige Ende des Eisenstücks, welches dem Nordpol des Magnets zugekehrt ist, zum Südpol, während das entgegengesetzte zum Nordpol wird. — Das

magnetisch gewordene Eisenstück ist nunmehr in stande, seinerseits ein zweites Eisenstück zu magnetisieren u. s. f.

Diese Erscheinung erinnert vollkommen an die elektrische Influenz (S. 207 u. 208); sie wird als magnetische Influenz bezeichnet.

Auf ihr beruht es, daß ein in Eisenfeilspäne eingesenkter Pol eines Magnetstabes sich mit einem Büschel oder Barte reihenweis aneinander hängender Späne bedeckt (Abb. 115).

Besondere Erscheinungen des Magnetismus. Der magnetischen Influenz gegenüber verhalten sich weiches Eisen und Stahl verschieden. Jenes nimmt den Magnetismus (die magnetische Eigenschaft und Kraft) alsbald in vollem Maße an, verliert sie aber sofort wieder nach Entfernung des Magnets. Ähnlich verhält sich das weiche Eisen bei der Magnetisierung durch Bestreichen mit einem Magnet. Der Stahl dagegen ist schwerer magnetisierbar, behält aber seinen Magnetismus länger und vollständiger bei. — Dies läßt sich so erklären, daß der Stahl im Gegensatz zum weichen Eisen sowohl der Trennung wie der Wiedervereinigung der beiden Magnetismen — Nord- und Südmagnetismus, die man (ähnlich wie in der Elektrizitätslehre zwei Arten der Elektrizität) annehmen kann — einen gewissen, beträchtlichen Widerstand entgegengesetzt, den man als Koerzitivkraft bezeichnet, während dieser Widerstand im weichen Eisen gering ist.

Stärkere Wirkungen als ein gerader Magnetstab äußern die Hufeisenmagnete (Abb. 117) und die aus mehreren hufeisenförmigen Blättern oder Lamellen zusammengesetzten magnetischen Magazine.

Das vor die beiden Pole (*N* und *S*) des Hufeisenmagnets (Abb. 117) gelegte Stück weichen Eisens (*sn*) wird Anker genannt; auf dasselbe wirken *N* und *S* durch Influenz, sich gegenseitig unterstützend; dadurch erhält der — auf diese Weise armierte — Magnet eine größere Tragkraft.

Wird ein Stahlstab mittels eines Hufeisenmagnets magnetisiert, so geschieht dies durch den sogenannten Doppelstrich, d. h. in der Weise, daß man beide Pole des Hufeisenmagnets auf die Mitte des Stahlstabes aufsetzt und nach dem einen Ende desselben — doch nicht darüber hinaus — bewegt, desgleichen zurück nach dem andern Ende u. s. f.; das letzte Mal wird nur bis zur Mitte gestrichen und dann abgehoben. Die im Stahlstab entstehenden Pole liegen auch hier — wie beim einfachen Strich (S. 217 u. 218) — denen des Hufeisenmagnets entgegengesetzt.

Bricht man einen Magnetstab (z. B. eine magnetisch gemachte Stricknadel) entzwei, so ist jedes Stück ein vollständiger Magnet mit zwei Polen. Somit ist

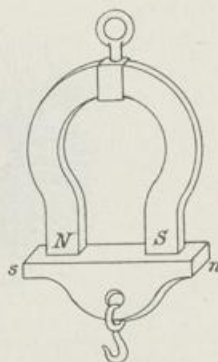


Abb. 117. Hufeisenmagnet.

nicht etwa die ganze eine Hälfte eines Magnetstabes nordmagnetisch und die ganze andere Hälfte süd magnetisch, sondern in jedem Massenteilchen des Magnetstabs sind beide Magnetismen enthalten; dieselben sind nur in der Mitte des Stabes nach außen unwirksam, weil sich daselbst die Wirkungen der (beieinander liegenden) Massenteilchen aufheben. Auch in einem unmagnetischen Eisenstabe sind alle Massenteilchen mit beiden Magnetismen versehen; nur sind sie nicht allesamt gleichgerichtet, sondern liegen ungeordnet durcheinander, so daß ihre Wirkung nach außen gleich Null ist. Das Magnetisieren ist hiernach als eine die Massenteilchen ordnende oder richtende Kraft aufzufassen, und die Koerzitivkraft stellt sich demgemäß als ein Widerstand gegen diese richtende Kraft dar. (Vgl. S. 219.)

Zu dieser Anschauung stimmt die Tatsache, daß Magnete durch plötzliche, starke Erschütterungen, sowie durch raschen Temperaturwechsel geschwächt werden (denn beiderlei Einflüsse wirken störend auf die Anordnung der kleinsten Teilchen). Glühhitze hebt den Magnetismus dauernd auf.

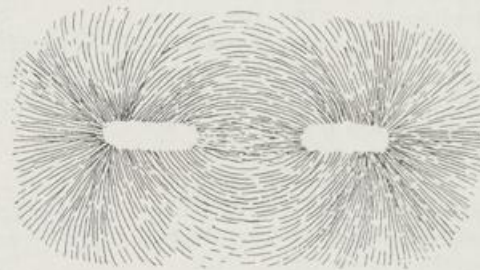


Abb. 118. Magnetische Kurven.

Ein Magnet wirkt auf Eisen nicht nur durch die Luft, sondern auch durch beliebige andere Körper (Papier, Glas usw.) hindurch; dagegen wird die magnetische Wirkung durch eine dünne Eisenplatte, wenn sie dem Magnetpol ihre breite Fläche zukehrt, aufgehoben.

Wenn man auf ein über einen Magnet gelegtes Blatt Papier Eisenfeilspäne streut, so ordnen sich dieselben in den magnetischen Kurven oder Kraftlinien an, die es im magnetischen Felde ebenso wie im elektrischen gibt. Sie verlaufen von Pol zu Pol und stellen in jedem ihrer Punkte die Richtung der magnetischen Kraft dar. (Abb. 118.) Das magnetische Feld ist der gesamte Raum um den Magnetstab, innerhalb dessen richtende und anziehende (bzw. abstoßende) magnetische Wirkung herrscht. Die Art, in welcher diese stattfindet, wird am besten durch die schematische Darstellung in Abb. 119 veranschaulicht, in der die Pfeile die Richtung angeben, in welche der Nordpol einer dem Magnetstabe *NS* genäherten Magnetnadel gezogen wird. Eine solche Magnetnadel stellt sich hiernach, wenn sie sich den Polen des Magnetstabes (*N* oder *S*) gegenüber befindet, so, daß ihr Nordende nach links zeigt, und wenn sie sich seitlich vom Magnetstabe befindet, so, daß ihr Nordende nach

rechts zeigt. Führt man sie vom einen Pole des Magnetstabes aus längs desselben hin bis zum andern Pole, so schlägt sie zweimal (seitlich vom Magnetstabe in der Nähe der Pole desselben) um.

Die Stärke der magnetischen Anziehung und Abstoßung hängt außer von der Größe der wirksamen magnetischen Kraft auch von der Entfernung ab, und zwar gilt nach Coulomb (1784) das Gesetz, daß die Stärke oder Intensität, mit der zwei Magnetpole sich anziehen oder abstoßen, den Mengen der auf einander wirkenden Magnetismen direkt, dem Quadrat ihrer Entfernung aber umgekehrt proportional ist. — Das gleiche Gesetz gilt auch für die elektrische Anziehung und Abstoßung. (Vgl. Newtons Gravitationsgesetz, S. 12.)

Magnetische und diamagnetische Körper. Die Eigentümlichkeit, vom Magnet angezogen zu werden, besitzen außer dem Eisen auch einige chemische Verbindungen desselben (Magnetkieserling und Titanerz), sowie die chemischen Elemente Nickel und Kobalt.

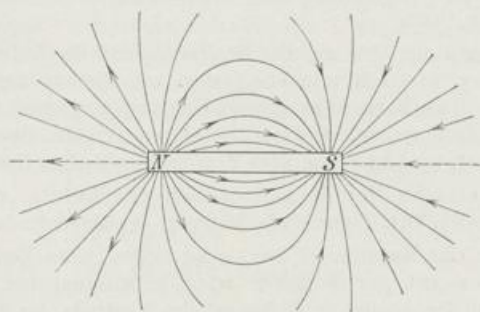


Abb. 119. Schematische Darstellung der magnetischen Kraftlinien.

Sehr starke magnetische Kräfte (wie sie die Pole eines Elektromagnets entwickeln — siehe Kapitel 15, Abschnitt „Elektromagnetismus“) üben auf alle Körper eine magnetische Einwirkung aus; hierbei aber zeigt sich folgender Unterschied im Verhalten der Körper: Die einen werden, zwischen die Pole eines Elektromagnets gebracht, von denselben angezogen und stellen sich in die Verbindungslinie beider Pole — magnetische Körper; die andern werden von den Polen abgestoßen und stellen sich senkrecht zur Verbindungslinie derselben — diamagnetische Körper. (Faraday, 1845.) Magnetisch sind: Eisen, Nickel, Kobalt, Mangan, Platin usw.; diamagnetisch: Wismut, Antimon, Zink, Zinn, Blei, Silber, Kupfer, Gold usw., ferner: Wasser, Alkohol, Schwefelsäure usw.

Erdmagnetismus; Deklination und Inklination. Die auf S. 218 beschriebene Erscheinung, wonach ein frei aufgehängter Magnetstab oder eine frei schwebende Magnetnadel eine von Norden nach Süden gerichtete Lage einnimmt, erklärt man durch die Annahme, daß der Erdkörper magnetisch ist. Nach dem auf S. 218 an-

geführten Gesetz über die magnetische Anziehung und Abstoßung muß alsdann die nördliche Halbkugel Magnetismus von der Art des Südmagnetismus, die südliche Halbkugel Magnetismus von der Art des Nordmagnetismus besitzen.

Die geographischen Pole der Erde sind annähernd auch die magnetischen Pole. Genaue Beobachtungen zeigen indessen, daß die magnetische Achse einer Magnetnadel von der Meridianrichtung abweicht, und zwar so, daß das Nordende nach einem für unsere Gegenden westlich vom Nordpol gelegenen Punkte (auf der Insel Boothia Felix im hohen Norden Amerikas) hinzeigt. Dieser Punkt ist der magnetische Nordpol, der vom Kapitän John Ross tatsächlich (1831) erreicht worden ist. Der magnetische Südpol liegt südlich von der Ostküste Australiens auf Viktorialand, zwischen den Vulkanen Erebus und Terror. (James Ross, 1841.)

Die Abweichung der Magnetnadel vom geographischen (oder astronomischen) Meridian eines Ortes, in Winkelgraden ausgedrückt, heißt die magnetische Deklination des Ortes.

Verbindet man alle Orte gleicher Deklination auf der Erdoberfläche durch Linien miteinander, so erhält man ein System von Kurven, welche Isogonen genannt werden. Den Namen Agone trägt eine vom magnetischen Nordpol zum magnetischen Südpol verlaufende Linie, längs welcher die Magnetnadel keine Deklination besitzt, sondern genau nach dem geographischen Norden zeigt.

Als magnetische Meridiane bezeichnet man Kurven, welche in ihrem Verlauf die an jedem Orte herrschende Richtung der Magnetnadel angeben.

Hängt man eine Magnetnadel längs eines magnetischen Meridians in ihrem Schwerpunkte so auf, daß sie sich in vertikaler Richtung frei bewegen kann, so neigt sich auf der nördlichen Halbkugel das Nordende der Nadel dem Erdboden zu — eine Folge der stärkeren Anziehung des (auf der nördlichen Halbkugel näheren) magnetischen Nordpols. Die Abweichung der Nadel von der Horizontalrichtung heißt magnetische Inklination, eine in der angegebenen Weise aufgehängte Magnetnadel: Inklinationsnadel (wogegen eine auf die gewöhnliche Art aufgehängte oder frei schwebende Magnetnadel als Deklinationsnadel bezeichnet wird).

Am magnetischen Nordpol beträgt die Inklination 90° , d. h. das Nordende der Nadel zeigt senkrecht nach unten.

Auf der südlichen Halbkugel ist das Südende der Inklinationsnadel abwärts geneigt, und am magnetischen Südpol zeigt es senkrecht nach unten.

Linien gleicher Inklination heißen Isoklinen. Die Verbindungslinie sämtlicher Punkte der Erdoberfläche, an denen die magnetische Inklination = 0 ist, heißt der magnetische Äquator. Derselbe durchschneidet den geographischen Äquator in zwei Punkten, läuft also zum Teil nördlich, zum Teil südlich von diesem um die Erde.

Sowohl die Größe der magnetischen Deklination wie die der magnetischen Inklination und desgleichen die Stärke oder Intensität der erdmagnetischen Anziehung erfahren für die einzelnen, bestimmten Orte der Erdoberfläche gewisse

Änderungen, die teils periodische sind (hauptsächlich tägliche), teils säkulare (durch Jahrhunderte in gleichem Sinne fortschreitende, nicht übersehbare), teils unregelmäßige, welche plötzlich eintreten, schnell vorübergehen und u. a. mit den Nordlichtern im Zusammenhang stehen. — Die tägliche Periode der Deklination besteht darin, daß die Magnetnadel während der Nacht (von ungefähr 9 Uhr abends bis Sonnenaufgang) nahezu stillsteht; mit dem Erscheinen der Sonne über dem Horizont geht ihr Nordende nach Westen, um gegen 1 oder 2 Uhr nachmittags seine westlichste Lage zu erreichen (der Nordpol der Nadel flieht vor der Sonne); danach nimmt das Nordende der Nadel eine rückläufige Bewegung an und kommt gegen 9 Uhr abends zur Ruhe. Diese tägliche Variation ist im Sommer größer als im Winter; desgleichen ist sie in den nördlichen Gegenden der Erde im allgemeinen größer, aber weniger regelmäßig.

Anwendungen des Magnetismus. Die Magnetnadel wird als Bussole zu Winkelmessungen, im Kompaß zur Orientierung in unbekanntem Gegenden, hauptsächlich seitens der Schiffer auf offener See, benutzt. Der Kompaß ist eine mit einer Windrose verbundene und von einer Dose umschlossene Magnetnadel. Seit dem 12. Jahrhundert in Europa, früher schon bei den Chinesen bekannt.)

Sonstige Anwendungen des Magnets sind: die Aussonderung von Eisenpartikeln aus Pulvern (z. B. von Gesteinen); die Entfernung von Eisenstäubchen oder -splittern aus dem Auge; die Verwendung beim Bau magnetoelektrischer Maschinen (siehe Kapitel 15, Abschnitt „Magnetoelektrizität oder magnetische Induktion“).

14. Galvanismus.

Ruhende und strömende galvanische Elektrizität. Wenn man in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß zwei Platten verschiedener (heterogener) Metalle, z. B. eine Zink- und eine Kupferplatte eintaucht, so werden die oberen, aus der Flüssigkeit hervorragenden Enden der Metallplatten elektrisch, und zwar sammelt sich in der Zinkplatte negative, in der Kupferplatte positive Elektrizität an.

Die Entstehung dieser Elektrizität ist eine Folge der chemischen Vorgänge, die sich zwischen den Metallen und der verdünnten Säure abspielen.

Bringt man nun die aus der Flüssigkeit hervorragenden Enden der Metallplatten in leitende Verbindung, z. B. durch einen Kupferdraht (Abb. 120), so findet eine Vereinigung der Elektrizitäten statt, indem die $+$ E des Kupfers (im Sinne des Pfeils) zum Zink und die $-$ E des Zinks (dem Pfeil entgegen) zum Kupfer hinüberströmt. Aber da die chemischen Vorgänge in der Flüssigkeit sich weiter abspielen, sammeln sich neue Mengen Elektrizität im Zink und im

Kupfer an, welche sich abermals — durch den verbindenden Kupferdraht hindurch — ausgleichen u. s. f. Auf diese Weise entsteht ein andauernder elektrischer Strom von $+E$ vom Kupfer zum Zink und von $-E$ vom Zink zum Kupfer.

Bei der chemischen Wechselwirkung zwischen den Metallen und der Flüssigkeit werden aber nicht nur die ersteren, sondern auch die Flüssigkeit elektrisch. Man kann sich diesen Vorgang so denken, daß die neutrale Elektrizität, die anfänglich in den Metallen und der Flüssigkeit vorhanden ist, infolge der chemischen Vorgänge in $+E$ und $-E$ zerlegt wird. Dabei geht an der Berührungsstelle zwischen Flüssigkeit und Zink die $-E$ nach oben in die Zinkplatte, die $+E$ aber in die Flüssigkeit, während die Verteilung an der Berührungsstelle zwischen Flüssigkeit und

Kupfer umgekehrt erfolgt, so daß sich die $+E$ in das Kupfer, die $-E$ in die Flüssigkeit begibt. Zwischen den beiden entgegengesetzten Elektrizitäten in der Flüssigkeit findet nun ebenso wie in dem Kupferdraht eine Vereinigung statt, so daß auch in der Flüssigkeit zwei entgegengesetzt gerichtete elektrische Ströme entstehen, die aber den umgekehrten Verlauf zwischen den Metallen nehmen wie im Kupferdraht: die $+E$ geht vom Zink zum Kupfer (im Sinne des Pfeils), die $-E$ vom

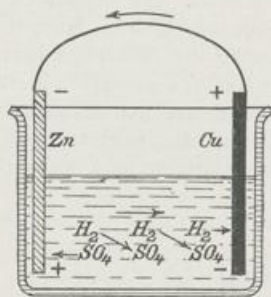


Abb. 120. Galvanischer Strom (Galvanisches Element).

Kupfer zum Zink (entgegengesetzt der Pfeilrichtung).

Die Annahme solcher in entgegengesetzter Richtung durch einander hindurchfließender Ströme geschieht aber nur unter der Voraussetzung, daß die dualistische Hypothese der Elektrizität richtig ist, oder sagen wir: unter der Voraussetzung, daß wir uns auf der Grundlage dieser Hypothese bewegen.

Die genannten elektrischen Ströme bewirken in der Flüssigkeit eine chemische Zersetzung derselben: die Schwefelsäure H_2SO_4 wird in die beiden Bestandteile H_2 und SO_4 gespalten; es wird also durch die elektrischen Ströme Wasserstoff aus der Schwefelsäure ausgeschieden. Eine derartige Entwicklung von Wasserstoff bewirkt nun freilich auch eine Zinkplatte an sich, wenn sie in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht wird. Aber die elektrischen Ströme verstärken diese Wirkung, was man leicht daran erkennen kann, daß bei Entfernung des zwischen der Kupfer- und Zinkplatte angebrachten Kupferdrahtes die Gasentwicklung in dem Gefäß erheblich schwächer wird, während

sie sogleich wieder lebhaft einsetzt, wenn aufs neue die Verbindung zwischen den beiden Metallplatten durch den Kupferdraht hergestellt wird.

Im ganzen entwickelt sich nach dem Gesagten in dem System Zink/verdünnte Schwefelsäure/Kupfer nebst Verbindungs- oder Leitungsdraht ein zusammenhängender Strom positiver Elektrizität vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer und weiter durch den Leitungsdraht zum Zink und ein zusammenhängender Strom negativer Elektrizität vom Kupfer durch die Flüssigkeit zum Zink und weiter durch den Leitungsdraht zum Kupfer.

Von beiden Strömen wird allgemein nur der positive näher betrachtet, da der negative ihm allemal entgegengesetzt gerichtet ist. Um die Richtung des ersteren zu behalten, merkt man sich zweckmäßig die kurze Regel: Der positive Strom geht vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer.

Man nennt diesen (elektrischen) Strom einen galvanischen und die Elektrizität, welche er fortführt, galvanische Elektrizität oder Galvanismus. — Im Gegensatz zur galvanischen Elektrizität faßt man Reibungs- und Influenzelektrizität als statische Elektrizität zusammen.

Der Name „galvanisch“ usw. ist nach dem Entdecker des Galvanismus: Luigi Galvani, Professor der Medizin in Bologna (1737—1798), gebildet worden. Dieser hatte (1789) enthäutete Froschschenkel mittels kupferner Haken an einem eisernen Gitter aufgehängt; kamen nun die Froschschenkel mit letzterem in Berührung, so stellten sich heftige Muskelzuckungen in ihnen ein. Hier lieferte das System Eisen/Froschschenkel/Kupfer einen elektrischen (galvanischen) Strom, dessen physiologische Wirkung in den Zuckungen der Froschschenkel bestand.

Alessandro Volta (1745—1827), Professor der Physik in Pavia, der sich mit dieser Entdeckung beschäftigte, suchte die Erscheinung auf die Weise zu erklären (1793), daß er annahm, es entstehe bei der bloßen Berührung zweier verschiedener Metalle (Eisen und Kupfer) Elektrizität, und die Froschschenkel seien nur ein Mittel zum Nachweis dieser Elektrizität (durch ihre Zuckungen), ohne zu der Entstehung der Elektrizität selbst erforderlich zu sein. Nach seiner Anschauung heißt die in Frage stehende Art der Elektrizität daher Berührungs- oder Kontakt-Elektrizität.

Voltascher Fundamentalversuch. In der Tat gelingt es auch mit Hilfe des von Volta erfundenen Kondensators (der im Prinzip der Einrichtung einer Leydener Flasche gleichkommt, in der äußeren Form einem Elektroskop ähnlich sieht), das Auftreten von Elektrizität bei der bloßen Berührung zweier mit isolierenden Handhaben versehener Metallplatten (z. B. Kupfer und Zink) nachzuweisen (Voltas Fundamentalversuch). Doch ist es (auf Grund neuerer Versuche) wahrscheinlich, daß auf solchen Platten dünne Oxydschichten oder Überzüge von Feuchtigkeit sich gebildet haben, die dann bei der Berührung zur

Abspielung chemischer Vorgänge den Anlaß geben, auf Grund deren die galvanische Elektrizität gebildet wird.

Voltasche Spannungsreihe. Die bei der Berührung zweier verschiedener (heterogener) Metalle entstehende Elektrizität ist auf dem einen positiv, auf dem andern negativ; und es lassen sich die Metalle in eine Reihe ordnen, derart, daß jedes voranstehende, mit einem folgenden berührt, positiv, jedes folgende, mit einem vorhergehenden berührt, negativ elektrisch wird. Diese Reihe heißt Voltasche Spannungsreihe; sie lautet:

(+) Zink, Blei, Zinn; Wismut, Antimon; Eisen, Kupfer, Silber; Gold und Platin (—). An das negative Ende dieser Reihe schließt sich von Nichtmetallen die Kohle (Gas- oder Retortenkohle) an.

Bei der Berührung zweier Körper der Spannungsreihe entsteht eine bestimmte elektrische Spannungsdifferenz (Potentialdifferenz), die ausschließlich von der Natur der Körper, nicht aber von der Größe und Form ihrer Berührungsfläche abhängig ist. Je weiter die sich berührenden Körper in der Spannungsreihe voneinander entfernt sind, desto größer ist die gebildete Spannungsdifferenz. Folgen die in Berührung gebrachten Körper nicht unmittelbar in der Spannungsreihe aufeinander, so ist ihre Spannungsdifferenz gleich der Summe der Spannungsdifferenzen der zwischenliegenden Körper. Werden daher zwei Metalle durch ein Zwischenglied der Reihe in leitende Verbindung gesetzt, so ist die sich in beiden entwickelnde Spannungsdifferenz dieselbe, als ob sie sich unmittelbar berührten.

Leiter erster und zweiter Klasse. Diesem Gesetz der Spannungsreihe folgen nicht: die Säuren, die Salzlösungen, die geschmolzenen Salze, überhaupt die chemisch zusammengesetzten Flüssigkeiten. Sie nannte Volta Leiter zweiter Klasse im Gegensatz zu den Körpern der Spannungsreihe als Leitern erster Klasse. In einem geschlossenen Kreise, welcher mehrere Leiter erster Klasse und auch nur einen Leiter zweiter Klasse enthält, ist die Spannungsdifferenz von Null verschieden, wogegen ein geschlossener Kreis, der nur aus Leitern erster Klasse besteht, dem Gesetz der Spannungsreihe zufolge die Spannungsdifferenz Null besitzt, d. h. keinen elektrischen Strom aufweist.

Die Leiter zweiter Klasse besitzen die Eigentümlichkeit, den elektrischen Strom nur zu leiten, indem sie eine chemische Zersetzung erleiden, wie es bereits in dem Abschnitt „Ruhende und strömende galvanische Elektrizität“ erwähnt worden ist und in dem Abschnitt „Elektrolyse“ noch des näheren zur Erörterung kommen soll.

Elektromotorische Kraft. Die Tatsache, daß bei der Berührung zweier verschiedener leitender Stoffe nicht allein getrennte positive und negative Elektrizität auftritt, sondern auch eine Wiedervereinigung beider Elektrizitäten unterbleibt, findet ihre Erklärung in der Annahme einer besonderen Kraft, die an der Berührungsstelle wirksam wird und die Ursache der auftretenden elektrischen Spannung oder Potentialdifferenz ist. Sie heißt elektromotorische Kraft. Man wird sie auf die stattfindenden chemi-

sehen Vorgänge zurückzuführen oder doch mit ihnen in innigem Zusammenhange stehend anzusehen haben.

Galvanisches Element und galvanische Batterie. Das auf S. 223 bis 225 beschriebene, einen galvanischen Strom liefernde System Zink / verdünnte Schwefelsäure / Kupfer (nebst Verbindungs- oder Leitungsdraht) heißt eine einfache galvanische Kette oder ein galvanisches Element. Läßt man den Verbindungs- oder Leitungsdraht fort, so ist der Strom unterbrochen, und es sammeln sich — wie schon auf S. 223 erwähnt — die entstehenden Elektrizitäten in den oberen Enden der Metallplatten an. Ein solche Kette heißt eine offene. Durch den Verbindungs- oder Leitungsdraht wird sie — und damit der galvanische Strom — geschlossen; daher heißt der Draht auch Schließungsdraht. Die Enden der Metalle in einer offenen Kette heißen die Pole oder

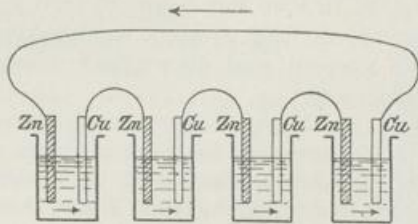


Abb. 121. Galvanische Batterie (von 4 Elementen).

Elektroden und werden als positiver und negativer Pol unterschieden. (Im behandelten Beispiel merke man: **Kupfer positiv**, **Zink negativ**.)

Wenngleich die galvanische Elektrizität sich dadurch von der statischen Elektrizität vorteilhaft unterscheidet, daß sie einen andauernden Strom liefert, so steht sie doch insofern hinter letzterer zurück, als ihre Spannung geringer ist. Also bei der statischen Elektrizität: große Spannung, unterbrochene Entladung; bei der galvanischen Elektrizität: kleine Spannung, fortwährendes Fließen der Elektrizität.

Einen stärkeren elektrischen Strom erzielt man durch Vereinigung mehrerer einfacher Ketten zu einer zusammengesetzten Kette oder einer galvanischen Batterie (Abb. 121); dies geschieht in der Weise, daß jeder folgende Zinkpol mit dem vorhergehenden Kupferpol verbunden wird (Schaltung hintereinander oder Reihenschaltung). Die äußerste Zink- und die äußerste Kupferplatte

bilden dann die Pole der Batterie, sie sind in der Abbildung durch einen Schließungsdraht miteinander verbunden.

Durch die beschriebene Anordnung wird der Potentialunterschied (oder die Spannung) zwischen dem ersten und dem letzten Pol gesteigert, da durch jedes folgende galvanische Element zu der Potentialdifferenz, die das vorhergehende hervorruft, eine gleich große Potentialdifferenz hinzugefügt wird.

Eine andere Art der Verbindung von Elementen ist die Schaltung nebeneinander oder die Parallelschaltung. Sie erfolgt auf die Weise, daß man einerseits alle Zinkplatten und andererseits alle Kupferplatten untereinander verbindet. Hierdurch wird die elektromotorische Kraft und damit die Potentialdifferenz nicht gesteigert, wohl aber die Elektrizitätsmenge.

Ein anderes als das erwähnte Zink-Kupferelement ist das sogenannte Flaschenelement oder Chromsäureelement, das aus Zink und Kohle besteht, welche in eine mit Schwefelsäure gemischte Lösung von doppelt-chromsaurem Kali getaucht werden können.

Aus denselben Körpern sind die vielfach angewendeten Tauchbatterien zusammengesetzt.

Die Voltasche Säule (1800) ist eine Batterie, welche aus übereinander gelegten Zink- und Kupferplatten und damit abwechselnden, mit Kochsalzlösung getränkten Tuch- oder Pappscheiben aufgebaut ist; Reihenfolge, wenn mit Kupfer begonnen wird: Kupfer, feuchter Leiter; Zink, Kupfer, feuchter Leiter; Zink, Kupfer, feuchter Leiter usw., zuletzt: Zink, Kupfer, feuchter Leiter; Zink. Bei dieser Anordnung stellt ein unten (am Kupfer) befestigter Draht den positiven Pol dar, ein oben (am Zink) befestigter Draht den negativen Pol.

Konstante Ketten. Die Wirkung der angeführten galvanischen Ketten (und Batterien) nimmt nach einiger Zeit an Stärke ab, und der elektrische Strom hört zuletzt ganz auf. Der Grund für diese Erscheinung liegt in der chemischen Zersetzung, welche der Strom in der Flüssigkeit hervorruft; infolge derselben werden die Grundstoffe des Wassers: Wasserstoff und Sauerstoff frei (vgl. den Abschnitt „Elektrolyse“). Der Wasserstoff wandert mit dem positiven Strom (siehe S. 224, Abb. 120, sowie S. 230—233) und legt sich der Kupferplatte an, während der Sauerstoff sich in entgegengesetzter Richtung zur Zinkplatte begibt und Oxydation und infolge davon Auflösung des Zinks und Bildung von Zinkvitriol an Stelle der Schwefelsäure bewirkt. Die Umhüllung des Kupfers mit Wasserstoff verhindert die unmittelbare Einwirkung der Flüssigkeit auf das Kupfer und bewirkt sogar die Entstehung eines Gegenstroms (Berührung von Kupfer und Wasserstoffgas) — eine Erscheinung, die als elektrische Polarisation bezeichnet wird.

Um dem gedachten Übelstande abzuhelpen, wendet man statt einer: zwei Flüssigkeiten an, von denen die eine den entwickelten Wasserstoff verbraucht (Kupfervitriollösung, Salpetersäure u. a.). Beide Flüssigkeiten werden durch einen porösen, den Durchtritt des elektrischen Stromes nicht hindernden Tonzylinder

(eine Tonzelle) voneinander getrennt. Derartige Ketten, welche aus zwei Metallen und zwei Flüssigkeiten bestehen, heißen konstante Ketten.

Solche sind: 1. Die Daniellsche Kette oder das Daniellsche Element (1836). — Ihre Bestandteile sind Kupfer in konzentrierter Kupfervitriol-Lösung und Zink in verdünnter Schwefelsäure. Das Glasgefäß *G* (Abb. 122) enthält die verdünnte Schwefelsäure, in welche der an beiden Enden offene Zinkzylinder *Zn* eingestellt ist; er umgibt die unten geschlossene Tonzelle *Th*, welche zur Aufnahme der Kupfervitriol-Lösung und des Kupferblechzylinders *Cu* bestimmt ist. Infolge von Zersetzung des Kupfervitriols lagert sich auf dem Kupferblechzylinder metallisches Kupfer (statt des Wasserstoffs) ab. — Die Klemmschrauben *K* dienen zur Aufnahme des Schließungsdrahtes bzw. eines Drahtes, der das Element mit einem zweiten, benachbarten zu einer Batterie verbindet. — Eine Zink-Kupferkette ohne Tonzelle ist die Meidingersche (1859).

2. Die Bunsensche Kette oder das Bunsen-Element (1842). — Ihre Bestandteile sind Kohle in konzentrierter Salpetersäure und Zink in verdünnter Schwefelsäure.

3. Das Leclanché-, Braunstein- oder Salmiak-Element. — Dessen Bestandteile: Kohle, welche zwischen zwei Platten eingeklemmt ist, die aus einer Mischung von Braunstein, Kohle, Gummiharz und doppelt-schwefelsaurem Kali bestehen, und Zink; nur eine Flüssigkeit: Salmiaklösung, die andere wird durch den sauerstoffreichen Braunstein ersetzt.

Die sogenannten Trockenelemente sind meist nach dem Leclanché-Typus gebaut und enthalten einen Stoff, der die Flüssigkeit aufsaugt, aber keine elektrische Wirkung ausübt, z. B. Sägespäne; oder sie sind wasserdicht verkittet.

Akkumulatoren. Von besonderer Bedeutung in der modernen Elektrotechnik sind die Polarisations- oder Sekundär-Elemente, auch Akkumulatoren genannt. (Planté, 1859; Faure, 1881.) Ein Akkumulator besteht aus zwei formierten, d. h. auf besondere Weise zubereiteten Bleiplatten, die in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß gestellt sind; die Platten werden als die positive und die negative unterschieden. Die positiven Platten sind (um eine große Oberfläche darzubieten) mit spiralig verlaufenden Riefen versehen; die negativen Platten bilden ein Maschenwerk, in welches bei der Herstellung eine Paste gestrichen wird, deren wesentlicher Bestandteil Mennige (Pb_3O_4) ist. Die Formierung oder Formation der positiven Platten erfolgt in der Weise, daß dieselben in verdünnte Schwefelsäure gestellt werden und ein galvanischer Strom hindurchgeleitet wird; dann bildet sich infolge chemischer Umsetzung (vgl. unten) auf der Oberfläche der Platten Bleisuperoxyd (PbO_2), das eine braune Farbe besitzt. Die negativen Platten werden entsprechend formiert, nur daß der galvanische Strom entgegengesetzt wie bei der Formierung der positiven Platten gerichtet ist. Infolgedessen wird die Mennige zu metallischem Blei (in Form von Blei-

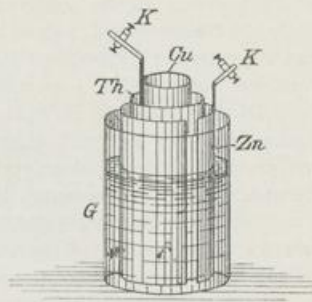


Abb. 122. Daniellsche Kette.

schwamm) reduziert. Die Formierung der negativen Platten hat lediglich den Zweck der Vergrößerung der Oberfläche; sonst würden einfache Bleiplatten genügen. Die Formierung dauert 20—40 Tage.

Der Akkumulator stellt nun eine neue Art eines galvanischen Elementes dar: Blei und Bleisuperoxyd in verdünnter Schwefelsäure. Er liefert einen Strom, der aber eine Zersetzung der Schwefelsäure und eine Reduktion des Bleisuperoxyds der positiven Platte bewirkt, so daß nach einiger Zeit eine Ladung des Akkumulators stattfinden muß.

Diese Ladung erfolgt so, daß der positive Strom bei der positiven Platte eintritt und von hier durch die verdünnte Schwefelsäure zur negativen Platte geleitet wird. Er bewirkt eine chemische Zerlegung der Schwefelsäure und in zweiter Linie des Wassers, so daß Wasserstoff und Sauerstoff abgeschieden werden (vgl. den Abschnitt „Elektrolyse“). Der Sauerstoff geht nun, entgegengesetzt dem positiven Strom, an die positive Platte und oxydiert sie wiederum (an der Oberfläche) zu Bleisuperoxyd, während der Wasserstoff sich an die negative Platte begibt und sie entweder unverändert läßt oder — wenn die Schwefelsäure sie chemisch verändert haben sollte — zu metallischem Blei reduziert.

Ist dergestalt das Element geladen, so gibt es (nach Ausschaltung der zum Laden benutzten Batterie) einen Strom, der entgegengesetzt gerichtet ist wie der Ladungsstrom, denn er tritt bei der positiven Platte aus. Er heißt im Vergleich zum Ladungsstrom: Sekundärstrom.

Der Sekundärstrom zersetzt ebenfalls die Flüssigkeit und führt (umgekehrt wie der Ladungsstrom) Wasserstoff an die positive Platte, so daß die darauf gebildete Schicht von Bleisuperoxyd allmählich abermals reduziert wird; hat sich so das Bleisuperoxyd vollständig in Blei zurückverwandelt, so hört der Sekundärstrom auf: der Akkumulator ist entladen. Bei unbenutztem Stehenlassen entladet er sich erst nach sehr langer Zeit.

Zu erneutem Gebrauch ist eine abermalige Ladung vonnöten.

Wirkungen des elektrischen Stromes. Die Wirkungen des elektrischen Stromes sondern sich in: chemische Wirkungen, Wärme- und Lichterscheinungen, magnetische Wirkungen, physiologische Wirkungen und Induktionswirkungen.

Wir betrachten zuerst die chemischen Wirkungen, die unter dem Namen der Elektrolyse zusammengefaßt werden.

Elektrolyse. Bereits auf S. 224, 228 und 229—230 ist auf chemische Umsetzungen hingewiesen worden, die der elektrische oder galvanische Strom hervorruft, wenn er einen Leiter zweiter Klasse passiert. Eine jede Zersetzung eines solchen Leiters wird Elektrolyse genannt; der zersetzte Körper (also ein Leiter zweiter Klasse) heißt Elektrolyt, die Bestandteile, in die er zerfällt, die Ionen (oder Ionten).

Diese wandern — das eine Ion mit dem positiven, das andere mit dem negativen Strom und kommen an den Stellen, wo der (positive) Strom in den Elektrolyt ein- bzw. aus ihm austritt, d. h.

also an den Polen, zur Ausscheidung, wie dies Abb. 120 an der Schwefelsäure veranschaulicht (die Ionen sind H_2 und SO_4).

Die in den Elektrolyt eintauchenden Pole oder Elektroden werden als Anode und Kathode unterschieden. Die Anode ist diejenige Elektrode, an welcher der positive Strom in den Elektrolyt eintritt (der positive Pol), die Kathode diejenige Elektrode, an welcher der positive Strom aus dem Elektrolyt austritt (der negative Pol). — Abb. 123.

Das mit dem positiven Strom wandernde Ion nennt man den elektropositiven Bestandteil oder das Kation, das ihm entgegen (also mit dem negativen Strom) wandernde Ion den elektronegativen Bestandteil oder das Anion.

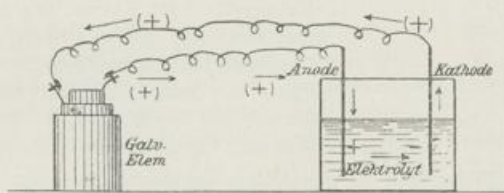


Abb. 123. Elektrolyse.

Da der positive Strom (innerhalb des Elektrolyts) von der Anode zur Kathode wandert (Abb. 123), so scheidet sich das Kation an der Kathode und das Anion an der Anode ab (der elektropositive Bestandteil am negativen Pol, der elektronegative Bestandteil am positiven Pol). — Vgl. Abb. 124.

Die Namen Anode und Kathode, die zunächst nur bei der Elektrolyse von Bedeutung sind, hat man auch auf den Fall des Durchgangs einer elektrischen Stromentladung durch Luft oder sonstige Gase sowie des Ausgleichs von positiver und negativer statischer Elektrizität übertragen und nennt somit allgemein einen positiven elektrischen Pol Anode, einen negativen Kathode.

Die Elektrolyse des Wassers wurde zuerst (und zwar unter Anwendung der Voltaschen Säule) i. J. 1800 von Ritter in Jena und etwas später von Nicholson und Carlisle beobachtet. Sie vollzieht sich am bequemsten im Hofmannschen Wasserzersetzungsapparat (Abb. 124). Derselbe besteht aus einem U-förmig gebogenen Rohr, dessen Schenkel in ihrem unteren Teil je eine Platinplatte (+P und -P) enthalten, die durch einen in die Glaswand eingeschmolzenen Platindraht und eine weitere Drahtleitung mit einer galvanischen Batterie in Verbindung stehen; im oberen Teil sind die Schenkel des Rohres mit Öffnungen versehen, die durch Glashähne verschließbar sind. Die Füllung des U-förmigen Rohres mit angesäuertem Wasser geschieht durch ein Ansatzrohr,

das an die untere Krümmung des ersteren angeschmolzen ist, höher emporragt als die Schenkel des U-förmigen Rohres und in eine kugelförmige Erweiterung ausläuft. Dieses Ansatzrohr dient zugleich zur Aufnahme der Flüssigkeit, welche durch die infolge der Elektrolyse sich entwickelnden Gase aus den Schenkeln des U-förmigen Rohres verdrängt wird. Der (positive) elektrische Strom geht von der Anode zur Kathode im Sinne des Pfeils durch die untere Krümmung des U-förmigen Rohres.

Die durch den Strom erfolgende Zersetzung des Wassers ist keine direkte. Es wird vielmehr zunächst die Schwefelsäure (H_2SO_4) zerlegt (vgl. S. 224 und Abb. 120) und zwar in Wasserstoff (H_2) und den Atomkomplex SO_4 , der aber

keinen freien Bestand hat; derselbe entzieht daher dem Wasser seinen Wasserstoff und bildet wieder Schwefelsäure, während der Sauerstoff des Wassers frei wird. Der Wasserstoff ist nun elektropositiv (das Kation), der Sauerstoff elektronegativ (das Anion). Daher wandert der Wasserstoff mit dem positiven Strom und scheidet sich an der Kathode (dem negativen Pol) aus, während sich der Sauerstoff an der Anode (dem positiven Pol) ausscheidet.

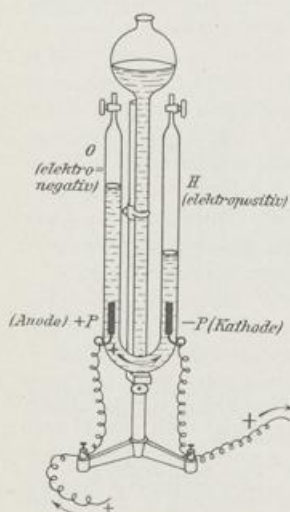


Abb. 124. Hofmannscher Wasserzersetzungapparat.

Das Volumverhältnis der freiwerdenden Gase (Wasserstoff zu Sauerstoff) ist dabei = 2 : 1.

Da die Menge der in einer bestimmten Zeit abgeschiedenen Gase der Stärke oder Intensität des galvanischen Stromes — der Stromstärke — proportional ist (Faraday), so kann sie zur Messung der letzteren benutzt werden. (Voltmeter; Jacobi, 1839. Vgl. Genaueres in dem Abschnitt „Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes.“)

Wie aus Wasser und Schwefelsäure der Wasserstoff an der negativen Elektrode (oder Kathode) frei wird, so werden

aus Lösungen von Metallsalzen z. B. Kupfervitriol, Cyansilber + Cyankalium, Cyangold, Goldchlorid, die Metalle, die gleich dem Wasserstoff elektropositiv sind, also mit dem positiven Strom wandern, an der negativen Elektrode abgeschieden. Werden Gegenstände mit dieser verbunden oder bilden die Gegenstände selbst die Kathode, so schlägt sich auf ihnen das Metall (Kupfer, Silber, Gold) nieder. Es lassen sich so 1. Kupferabdrücke von Gegenständen herstellen (Galvanoplastik; Jacobi, 1838, St. Petersburg); oder 2. die Gegenstände werden mit einem unmittelbaren Überzug einer Silber-, Gold-, desgl. Nickelschicht usw. versehen: galvanisch versilbert, vergoldet, vernickelt u. s. f. (Galvanisation oder Galvanostegie).

— Reingewinnung von Metallen, z. B. Aluminium, auf elektrolytischem Wege aus den Verbindungen (Aluminiumoxyd).

Die Hypothese von der Wanderung der Ionen (Grothuss, 1805) besagt, daß in jedem Molekül eines Elektrolyts das elektropositive Ion (Kation) und das elektronegative Ion (Anion) sich trennen, sobald der elektrische Strom hindurchgeht (nach Arrhenius' neuerer Ansicht herrscht von vornherein in jedem Elektrolyt eine solche Trennung, Dissoziation genannt), und daß das Kation eines an der Anode befindlichen Moleküls von dieser abgestoßen wird (beide positiv elektrisch!) und sich mit dem Anion des nächsten Moleküls verbindet u. s. f., bis das Kation des letzten Moleküls — an der Kathode — übrig bleibt und frei wird. Umgekehrt verhält es sich mit dem Anion. (Vgl. auch Abb. 120.)



Abb. 125. Elektrische Glühlampe.

Nach Faraday (1834) verhalten sich die Gewichtsmengen der durch den gleichen Strom aus verschiedenen Elektrolyten ausgeschiedenen Bestandteile wie ihre chemischen Äquivalentgewichte. (Äquivalentgewicht = Atomgewicht, dividiert durch die Wertigkeit oder Valenz, also 1 g Wasserstoff = 1 H; 35,5 g Chlor = 1 Cl; 8 g Sauerstoff = $\frac{8}{2}$; $\frac{14}{3}$ g Stickstoff = $\frac{N}{3}$ usw.)

Wärme- und Lichtwirkungen des elektrischen Stromes. Wenn zwischen die Pole eines galvanischen Elements bzw. einer Batterie ein Metalldraht gespannt wird, so daß der elektrische Strom ihn durchfließt, so findet eine Erwärmung des Drahtes statt, die sich bis zum Glühen und Schmelzen steigern kann, wenn der Draht dünn genug ist. Ferner erscheint in dem Augenblicke, in welchem die metallische Leitung des elektrischen Stromes an einer Stelle unterbrochen wird, so daß eine Öffnung des Schließungskreises der Kette eintritt, ein Funke: der Öffnungsfunke. Auch wenn man eine offene galvanische Kette durch gegenseitige Annäherung und Berührung der Poldrähte, d. h. der an den Polen befestigten Leitungsdrähte, schließt, tritt ein Funke auf, vorausgesetzt, daß die Stärke des Stromes, die Leitungsfähigkeit der Drähte und der Widerstand des Dielektrikums im geeigneten Verhältnis zueinander stehen.

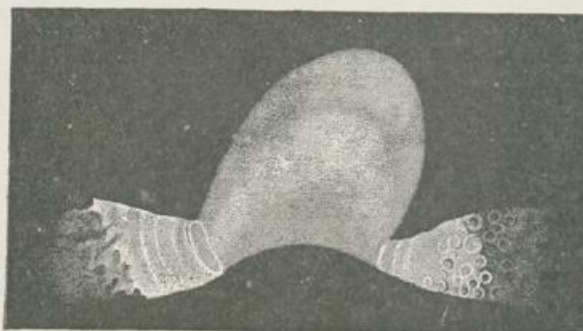
Von diesen Erscheinungen wird im elektrischen Licht Anwendung gemacht. Es sind zwei Arten desselben zu unterscheiden: das Glühlicht, das darin besteht, daß in einem luftleer gemachten Glasgefäß, der sogen. Glasbirne (Abb. 125), ein Kohlenfaden zum Glühen gebracht wird; und das Bogenlicht, bei dem zwei Kohlenstäbe in die metallische Leitung eingeschaltet werden, zwischen

denen ein Lichtstreifen, der galvanische oder Davysche Lichtbogen, übergeht. (Davy, 1821.)

Der Name Lichtbogen erklärt sich daher, daß bei wagerechter Stellung der Kohlenstäbe der entstehende aufsteigende Luftstrom den Lichtstreifen nach oben treibt, so daß er sich bogenförmig krümmt. (Abb. 126.) Die Temperatur des Bogens ist ungefähr 4000° C.

Die elektrischen Lampen. Abb. 125 zeigt eine elektrische Glühlampe, Abb. 127 die Einrichtung einer elektrischen Bogenlampe. Die in den Glühlampen befindlichen Kohlenfäden werden auf die Weise hergestellt, daß man Zellulosefäden, die in Kohlenpulver eingebettet werden, unter Luftabschluß (in sogenannten Muffeln, d. h. feuerfesten Kästen) erhitzt.

Ein so entstandener Kohlenfaden wird mit seinen Enden an Drähten aus Nickelstahl und Platin befestigt, die in die Glasbirne eingeschmolzen werden. Letztere



Positiver Pol

Negativer Pol

Abb. 126. Davyscher Lichtbogen.

muß luftleer gepumpt werden, weil in Luft bald eine Verbrennung des glühenden Kohlenfadens stattfinden würde. (Erfindung der Glühlampe durch Edison, 1879.)

Bei der Bogenlampe erfolgt das Übergehen des Lichtbogens zwischen den beiden aus Gas- oder Retortenkohle hergestellten Kohlenstäben in Luft. Daher findet eine fortgesetzte Verbrennung der Kohlenstäbe an den Spitzen statt, und es muß, da hiermit die gegenseitige Entfernung der Spitzen zunehmen und infolgedessen der Lichtbogen erlöschen würde, dafür gesorgt werden, daß die Kohlenstäbe in dem Maße, wie sie sich abnutzen, fortdauernd einander genähert werden. Dies geschieht durch den sogenannten Regulierungsmechanismus, der von verschiedener Art sein kann. Hier sei nur ein System besprochen, das in der Differentiallampe von Siemens & Halske (konstruiert von Hefner von Alteneck, 1879, Abb. 127) zur Anwendung gelangt ist.

Bemerkt sei zuvor die beachtenswerte Tatsache, daß der galvanische (oder Davysche) Lichtbogen von beiden Kohlenstäben den positiven Stab oder die Anode stärker angreift als den negativen oder die Kathode, so daß jener eine

kraterähnliche Vertiefung erhält, während die durch den Lichtbogen von der Anode fortgeführten Kohlentelchen sich zum Teil an der Kathode in Form von kleinen Höckern wieder ansetzen. (Vgl. Abb. 126.) Das Leuchten rührt dabei nur in geringem Grade von dem Lichtbogen selbst her, vielmehr senden die Kohlen spitzen, die in lebhaftes Weißglut geraten, das Licht aus, und zwar die positive Kohle in höherem Maße, besonders der Krater derselben.

In der Abb. 127 sind K_1 und K_2 die beiden Kohlenstäbe, und zwar K_1 der positive, K_2 der negative. (Die positive Kohle muß sich oben befinden, damit das hauptsächlich von ihr ausgehende Licht nach unten fällt.) Ehe der auf der linken Seite der Abbildung in der Richtung des Pfeils eintretende positive Strom zum positiven Kohlenstabe (K_1) gelangt, wird er (bei A) in zwei Teile zerlegt, deren jeder eine von zwei übereinanderstehenden Drahtspulen (B und C) spiralförmig durchläuft. Zwischen beiden Spulen befindet sich ein Zwischenraum; und in die Höhlungen der Spulen ragt ein Stab aus weichem Eisen (DD') mit je einem seiner Enden hinein. In der Mitte des Eisenstabes ist ein um F drehbarer Hebel EG befestigt, der bei G eine Hülse trägt, durch welche — auf- und abschiebbar — ein mit einem Hemmungsstift H versehener Stab geht, der seinerseits durch Vermittlung eines weiteren Stabes bzw. Gestäbes die obere (positive) Kohle K_1 hält. Die untere (negative) Kohle K_2 steht fest. — Der elektrische Strom kann nun von A aus zwei Wege einschlagen: 1. durch die untere Spule C nach F, G , durch das dort hängende Gestäbe bis K_1 und, von hier durch die Luft (im Lichtbogen) zu K_2 übergehend, durch die Drahtleitung pqr zur Stromquelle zurück oder zu einer folgenden Bogenlampe; 2. durch die obere Spule B , von hier herunter nach p und auf dem Wege pqr ebenfalls zur Stromquelle zurück oder zu einer folgenden Lampe. Der erste Weg wird als Hauptschließung, der zweite als Nebenschließung bezeichnet. Da die Drahtwicklung der oberen Spule (B) mehr Windungen besitzt als die der unteren Spule (C), so bietet die Nebenschließung dem Strome einen größeren Widerstand dar als die Hauptschließung. (Vgl. über elektrische Widerstände den Abschnitt „Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes.“) Da nun pqr ebenfalls zur Stromquelle eine von einem elektrischen Strom durchflossene Drahtspirale die Eigenschaften eines Magnets annimmt sowie einen in ihrem Innern befindlichen Eisenstab magnetisch macht, so werden (bei geeigneter Anordnung der Drahtwindungen von B und C) die beiden Hälften des Eisenstabes DD' von den beiden Spulen in entgegengesetzten Richtungen

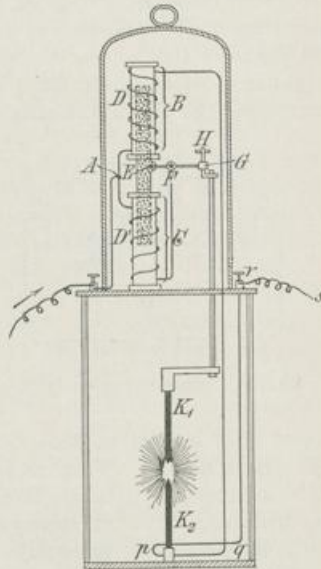


Abb. 127. Elektrische Bogenlampe.

angezogen, so daß in der Tat die Differenz der anziehenden Kräfte der Spulen wirksam ist (daher der Name „Differentiallampe“).

Denken wir uns nun, daß die Kohlenspitzen voneinander getrennt sind, so durchläuft der elektrische Strom nicht die Hauptschließung, sondern er schlägt den Weg von *A* durch die Spirale *B* und über *p q r s* usw. ein. Da nun *B* vom Strom durchflossen wird, erfährt der Eisenstab *DD'* eine Anziehung und geht in die Höhe. Infolgedessen bewegt sich das rechte Ende *G* des Hebels *EG* nach unten, und da somit das die obere Kohle *K₁* tragende Gestäbe nicht mehr durch den Hemmungsstift *H* gehalten wird, senkt sich dasselbe, und die Kohle *K₁* kommt mit *K₂* in Berührung. Jetzt ist die Leitung in der Hauptschließung geschlossen (von *A* aus durch *C*, *FG*, *K₁-K₂*, *p q r s* u. s. f.), und der Strom geht nun, da der Widerstand in der Hauptschließung geringer als in der Nebenschließung ist, durch die Hauptschließung. Die Folge davon ist, daß die Kohlenspitzen sich entzünden. Gleichzeitig aber wird der Eisenstab *DD'* seitens der Spirale *C* nach unten gezogen, der Hebel geht infolgedessen bei *G* in die Höhe und hebt die Kohle *K₁*. Durch die eintretende Entfernung der beiden Kohlenstäbe wird der Widerstand des Lichtbogens vermehrt; hierdurch wiederum nimmt die Anziehung der Spirale *B* auf den Eisenstab *DD'* zu usw., bis sich bei einem bestimmten Widerstande des Lichtbogens die von *B* und *C* (auf *DD'*) ausgeübten Anziehungskräfte das Gleichgewicht halten. Wenn nun auch die Kohlenstäbe langsam abbrennen, so stellt sich doch immer wieder von selbst die gleiche Länge des Lichtbogens her; denn sowie diese Länge zu groß werden sollte, wird der Strom in *C* geschwächt, in *B* verstärkt, *DD'* geht in die Höhe, *G* nach unten, und der Kohlenstab *K₁* senkt sich und nähert sich *K₂*. Wird umgekehrt die Lichtbogenlänge zu gering, so geht *DD'* nach unten, *G* in die Höhe, und die Kohle *K₁* wird (durch Vermittlung des Hemmungsstiftes *H*) emporgehoben. Wird endlich im Stromkreise außerhalb der Lampe die Stromstärke verändert, so bringt dies in der Lampe keine Veränderung hervor, weil sich alsdann in beiden Drahtspiralen *B* und *C* die Stromstärke im gleichen Verhältnis ändert.

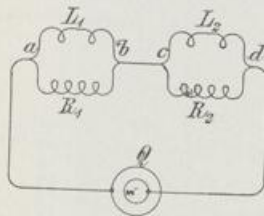


Abb. 128. Teilung des elektr. Stromes.

Eine große Schwierigkeit, die der Einführung des elektrischen Lichtes in den praktischen Gebrauch lange Zeit hinderlich im Wege stand, bildete die Teilung des elektrischen Stromes. Eine solche ist notwendig, da, wenn mehrere Lampen von einer Licht-Maschine (elektrisches Licht erzeugenden Maschine, z. B. einer galvanischen Batterie oder einer Dynamomaschine — siehe Kap. 15) gespeist werden, die verschiedenen Lampen sich gegenseitig beeinflussen und stören. Um dies zu vermeiden, ist eben ein Regulierungsmechanismus vonnöten — wie er bei der Bogenlampe beschrieben wurde — von der Art, daß die in dem System Lampe-Regulierungsmechanismus herrschende Stromstärke unabhängig ist von den Vorgängen in den übrigen Lampen. Dies geschieht, wie im beschriebenen Beispiel, auf die Weise, daß man den Strom an

einer Stelle (a in Abb. 128) in zwei Teile zerlegt, die sich in b wieder zu einem Strom vereinigen, und in den einen dieser Teile (L_1) die elektrische Lampe, in den andern (R_1) den zugehörigen Regulierungsmechanismus einschaltet. Die gleiche Teilung findet vor einer zweiten Lampe (bei c) statt u. s. f.

Nach den Kirchhoffschen Gesetzen der Stromverzweigung ist dann die Summe der Stromstärken in L_1 und R_1 gleich der Gesamt-Stromstärke in der ungeteilten Leitung von der Elektrizitätsquelle Q bis a , und die Stromstärke in dem Stück der Leitung von b bis c ist wiederum dieser Summe gleich. Somit tritt der Strom aus dem Endpunkte der Verzweigung b unverändert heraus, und die in L_2 eingeschaltete Lampe steht nicht unter dem Einfluß der Vorgänge in der Lampe in L_1 bzw. im Verzweigungsgebiete von a bis b . In gleicher Weise erscheint der elektrische Strom am Endpunkte der zweiten Verzweigung d unverändert u. s. f. R_1 und L_1 stehen nun — wie es im Beispiel der Bogenlampe erörtert wurde — in der Beziehung zueinander, daß, wenn die Lampe in L_1 in ihrer Tätigkeit nachläßt, durch den Regulierungsmechanismus in R_1 diese Tätigkeit gehoben wird und umgekehrt, so daß eine möglichst gleichmäßige Funktionierung der Lampe gesichert ist.

Das sogenannte Bremer-Licht (Bremer, 1900) ist elektrisches Bogenlicht, das dadurch zu hellerem Leuchten gebracht wird, daß der Kohle fremde Stoffe, vor allem Calciumsalze, zugesetzt werden. Ein weiterer Vorzug der Bremer-Lampe besteht darin, daß ihr die Reguliervorrichtung fehlt. Jeder Pol besteht aus zwei Kohlenstiften, die, von oben her unter einem spitzen Winkel zusammenstoßend, durch ihr Eigengewicht bis zur Berührungsstelle herunterrutschen, so daß diese immer am gleichen Orte bleibt, wenn sich auch die Länge der einzelnen Kohlen infolge des Abbreinens vermindert. Beide Pole stehen nun nahezu rechtwinklig derart zueinander, daß der Lichtbogen zwischen ihnen horizontal liegt und seitens des die Kohlen durchfließenden Stroms eine Ablenkung nach unten erfährt, infolge deren er sich fächerartig ausbreitet. — Das Bremer-Licht ist blendend und gelb, während das gewöhnliche Bogenlicht eine violette Färbung besitzt.

In der Nernst-Lampe passiert der Strom einen in Luft (nicht im luftleeren Raum) befindlichen Glühkörper, der ein Gemisch verschiedener Oxyde (von Magnesium, Cer, Thorium, Yttrium usw.) ist, die als feste Elektrolyte (oder feste Leiter zweiter Klasse) bezeichnet werden. Die Moleküle derselben zersetzen sich durch den Strom in Sauerstoff und das betreffende Metall, das sich aber alsbald wieder mit dem Sauerstoff der Luft zu dem Oxyd verbindet, d. h. verbrennt, wodurch der Leuchteffekt hervorgebracht wird. Notwendig ist es bei Ingebrauchsetzung einer Nernst-Lampe, daß der Glühkörper vorgewärmt wird, damit sein Widerstand herabgemindert wird und der Strom ihn passiert. Dies Vorwärmen geschieht entweder durch ein brennendes Streichholz oder durch eine besondere selbsttätige Einrichtung der Lampe, die aber deren Herstellung verteuert. Der Glühkörper muß nach einiger Zeit erneuert werden, da allmählich eine molekulare Veränderung des Materials eintritt. Das Licht der Nernst-Lampe ähnelt dem Tageslicht.

Die elektrische Entladung in atmosphärischer Luft und verdünnten Gasen. Eigenartige Erscheinungen bietet der Durchgang der Elektrizität durch

verdünnte Luft oder andere im verdünnten Zustande befindliche Gase dar. Um diese Erscheinungen zu verstehen, ist es notwendig, zuvor die Art der elektrischen Entladung in gewöhnlicher atmosphärischer Luft genauer ins Auge zu fassen. Da atmosphärische Luft im trockenen Zustande ein Isolator ist, so geht innerhalb derselben die Elektrizität zwischen zwei entgegengesetzt elektrischen Metallkugeln nicht einfach über, sondern die Elektrizitäten sammeln sich in (bzw. auf) den Metallkugeln — den *Konduktorkugeln* oder *Elektroden* — an, bis ihre Spannung so groß geworden ist, daß das Dielektrikum Luft gewaltsam durchschlagen wird: es tritt ein elektrischer Funke auf. Je nach der Größe der elektrischen Spannung und der Entfernung der Elektroden folgen die elektrischen Entladungsfunken schneller oder langsamer aufeinander und sind schwächer oder stärker. Der in der Luft befindliche, von elektrischen Funken

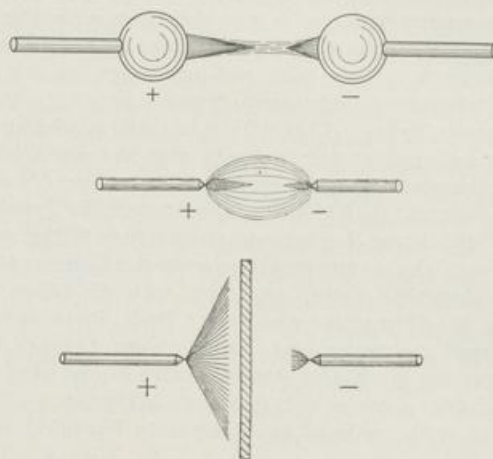


Abb. 129 a—c. Verschiedene Formen der elektrischen Entladung.

durchschlagene Raum zwischen den beiden Elektroden wird *Funkenstrecke* genannt. Diese Funkenstrecke tritt bei geeigneter kleiner Entfernung der Elektroden auch auf, wenn dieselben nicht kugelförmig, sondern spitz endigen. Die Speisung der Elektroden mit Elektrizität kann sowohl durch den galvanischen Strom wie durch eine Influenzmaschine oder auch durch eine Reibungsmaschine erfolgen.

Ist nun die Entfernung der Elektroden eine verhältnismäßig geringe und somit der elektrische Funke klein, so beobachtet man — statt der sonst auftretenden, baumzweigähnlich hin- und hergebogenen Gestalt des Funkens — daß der letztere, wie Abb. 129 a zeigt, gerade verläuft, aber nach der Mitte zu, jedoch näher der negativen Elektrode oder Kathode, zusammengezogen ist, und daß die Mitte schwächer leuchtet, also gleichsam eine dunkle Unterbrechungsstelle des eigentlichen, hellen Funkens darstellt. Nach dieser Stelle hin erstrecken sich von den Elektroden aus zwei kräftiger leuchtende Lichtstiele, von denen

der von der positiven Elektrode oder Anode ausgehende länger ist. In diesen Lichtstielen bewegen sich die beiden Elektrizitäten. Die $+E$ kommt somit der $-E$ weiter entgegen, was nach Eugen Dreher (1894) dadurch zu erklären ist, daß die Anode auf die durch Berührung mit ihr gleichfalls $+e$ elektrisch gewordenen Luftmoleküle kräftiger abstoßend wirkt als die Kathode, so daß vor der Anode im Vergleich mit der Kathode ein luftverdünnter Raum entsteht. Da nun verdünnte Luft die Elektrizität leitet, kann die von der Anode ausgehende $+E$ das Dielektrikum Luft besser durchheilen als die von der Kathode ausgehende $-E$; daher der längere Lichtstiel der Anode. An der dunklen Unterbrechungsstelle des Funkens findet der Ausgleich, die Neutralisierung der beiden Elektrizitäten statt. Worin hat nun die stärkere Abstoßung der $+E$ ihren Grund? — Nach der unitären Hypothese über das Wesen der Elektrizität (vgl. S. 202) darin, daß die $+E$ in einem Überschuß, die $-E$ in einem Mangel an elektrischem Fluidum oder freiem Äther besteht. Diese Anschauung liefert auch für die Lichtenbergschen Figuren (S. 203) eine Erklärung von derselben Art.

Sehr schön läßt sich die stärkere Abstoßung auf der Seite der Anode beobachten, wenn man zwischen beide Elektroden eine Kerzenflamme hält; es wird dann die Flamme (bzw. die in derselben glühenden Gase) nach der Kathode hinübergeweht.

Laufen die Elektroden, statt in Kugeln, in Spitzen aus, so findet wegen der Spitzenwirkung (vgl. S. 203) bei genügend kleinem Abstand der Elektroden keine größere Ansammlung der Elektrizitäten und daher keine (unterbrochene) Funkenentladung statt, sondern es erfolgt ein fortdauerndes, allmähliches Überströmen der Elektrizitäten zwischen den Elektroden in Gestalt einer nur schwach leuchtenden, eiförmigen Lichtmasse: des „elektrischen Eies“ (Abb. 129 b), in das abermals von den Elektroden aus etwas hellere Lichtstiele hineinragen, und zwar wiederum von der Anode aus der längere.

Die schon S. 203 erwähnte Büschelentladung wird aufs beste sichtbar, wenn man zwischen beide Elektroden eine Metallplatte hält (Abb. 129 c); von der Anode geht dann ein großer, weit ausgebreiteter, schwach leuchtender Lichtbüschel aus, von der Kathode dagegen nur ein sehr kurzer, eng zusammengezogener, als leuchtender Punkt oder Stern bezeichneter Lichtbüschel.

Wie bereits erwähnt, ist verdünnte Luft (und verdünnte Gase allgemein) leitend. Der elektrische Funke sucht sich daher bei größerem Abstände der Elektroden, in welchem Falle die Luft zwischen denselben verschiedene Beschaffenheit der Dichtigkeit und der Feuchtigkeit besitzt (und auch feuchte Luft leitet besser als trockene), diejenigen Stellen des Dielektrikums aus, die am besten leiten, die er also am schnellsten durchheilen kann; daher seine alsdann baumzweig-ähnlich hin- und hergebogene Gestalt, die sich auch beim Blitz, der ungenauerweise als Zickzackblitz bezeichnet wird, wiederfindet.

Pumpt man nun aus Glasröhren die Luft aus, so daß eine nicht zu weit gehende Luftverdünnung darin hergestellt wird oder stellt man Glasröhren mit anderen verdünnten Gasen her und läßt zwischen zwei in die Enden solcher Glasröhren eingeschmolzenen Platindrähten eine elektrische Entladung (sei es die einer Influenzmaschine oder einer galvanischen Batterie) übergehen, so zeigt sich

wegen der Leitungsfähigkeit des Röhreninhalts keine Funkenbildung — ebenso wenig wie beim elektrischen Ei; sondern es findet der Ausgleich der entgegengesetzten Elektrizitäten in Gestalt einer nahezu das ganze Innere der Entladungsröhre erfüllenden, mäßig hellen Lichtmasse statt, die (im Falle der Röhreninhalt verdünnte Luft ist) auf der Kathodenseite bläulich-violett, auf der Anodenseite rötlich-gelb aussieht.

Derartige Röhren heißen Geißlersche Röhren. Sie sind von den später (Kap. 16) zu besprechenden Crookeschen oder Hittorfschen Röhren zu unterscheiden, in denen die Luftverdünnung beträchtlich weiter, nämlich unter 1 mm Spannung oder Druck getrieben ist und wo eigenartige, neue Phänomene sich geltend machen.

Den bei der elektrischen Entladung in Geißlerschen Röhren sich darbietenden Erscheinungen aber soll nunmehr nähergetreten werden. In Abb. 130 ist der bei *A* eingeschmolzene Platindraht die Anode, der bei *K* die Kathode. Das in der Nähe von *A* befindliche Ansatzrohr dient zum Auspumpen der Luft. Nach erfolgtem Auspumpen wird es zugeschmolzen. Die Pfeile geben die Richtung an, welche die positive Elektrizität einschlägt.

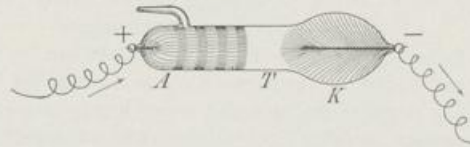


Abb. 130. Geißlersche Röhre.

Das Anodenlicht besteht aus abwechselnd helleren und dunkleren, querliegenden Schichten, die der Kathode zugewölbt sind und nach derselben hinwogen. Von besonderer Wichtigkeit ist es, daß das Anodenlicht bedeutend weiter ausgedehnt ist als das Kathodenlicht und daß sich dazwischen (bei *T*) ein dunkler Trennungsraum befindet. Damit tritt die Entladung in Geißlerschen Röhren durchaus der zuvor beschriebenen elektrischen Entladung in atmosphärischer Luft an die Seite. Der dunkle Raum ist die Vereinigungsstelle der positiven und negativen Elektrizität; und wiederum eilt die $+E$ der $-E$ mit größerer Geschwindigkeit entgegen, als es umgekehrt geschieht, und der Treffpunkt beider liegt näher der Kathode.

Wählt man als Inhalt der Geißlerschen Röhren andere Gase als die Luft, so sind die Lichterscheinungen, die ihren wesentlichen Charakter beibehalten, von anderer Farbe. Und wieder andere, mannigfaltigere und außerordentlich schöne Farbenwirkungen werden bei Anwendung fluoreszierender Glassorten erzielt, durch die man die elektrische Entladung gehen läßt.

Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes. Es gibt zwei Arten der magnetischen Wirkung eines elektrischen oder galvanischen Stromes. Die eine derselben ist die Ablenkung der Magnetsnadel aus ihrer durch den Einfluß der Erde

bestimmten Lage. (Entdeckt durch Örsted, 1777—1851, zu Kopenhagen im Jahre 1820.) In welcher Weise die Ablenkung erfolgt, wird am besten durch die Ampèresche Regel bestimmt, und zwar für alle Fälle, mag die Nadel über, unter oder neben dem galvanischen Strom leitenden Drahte sich befinden. Die Regel lautet: Denkt man sich in dem positiven Strome mit demselben schwimmend, so daß das Gesicht der Magnetnadel zugewendet ist, so wird das Nordende der Nadel nach links abgelenkt.

Die Nadel kehrt in ihre ursprüngliche, normale Lage erst zurück, wenn der Strom unterbrochen wird.

Wird der Strom umgewendet, d. h. nimmt er — durch Vertauschung der Pole der Batterie oder mittels Anwendung eines sogenannten Kommutators oder Stromwenders — die entgegengesetzte Richtung im Drahte an, so schlägt das Nordende der Nadel nach der entgegengesetzten Seite aus wie zuvor.

Da eine jede Magnetnadel unter dem richtenden Einfluß des Erdmagnetismus steht, so vermag ein elektrischer Strom, der durch eine mit der Richtung der erdmagnetischen Kraft, d. i. mit dem magnetischen Meridian, zusammenfallende Drahtleitung fließt, die Nadel nicht völlig senkrecht zu seiner eigenen Richtung (der Stromrichtung) zu stellen, sondern aus beiden Kräften: der Kraft des Stromes und der des Erdmagnetismus ergibt sich eine Resultierende, welche die Nadel so stellt, daß sie einen spitzen Winkel mit der Drahtleitung bildet.

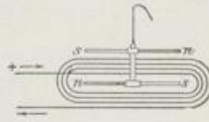


Abb. 131. Astatische Nadel.

Um den Einfluß des Erdmagnetismus möglichst auszuschließen, kann man die einfache Magnetnadel durch eine sogenannte astatische Nadel ersetzen. (Abb. 131.) Dieselbe besteht aus zwei Magnetnadeln von nahezu gleicher magnetischer Kraft, die durch einen senkrechten Querstab derartig miteinander verbunden sind, daß sie parallel stehen, aber ihre gleichnamigen Pole entgegengesetzte Lage haben. Bei dieser Beschaffenheit der beiden Nadeln heben sich ihre Magnetismen nahezu auf, und die richtende Wirkung der Erde auf das Nadelpaar ist äußerst gering, so daß ein elektrischer Strom, der an dem System, parallel der Längsrichtung der Nadel, vorbeifließt, um so leichter und energischer richtend darauf wirken kann; der Einfluß des Stromes erstreckt sich dann auf diejenige Nadel, deren Magnetismus den der andern um ein wenig überwiegt.

Die Größe der Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom hängt nach einem bestimmten Gesetz von der Stromstärke ab, so daß sie zur Messung der letzteren benutzt werden kann. (Tangentenbusssole; Pouillet, 1837.)

Der Einfluß schwacher elektrischer Ströme auf die Magnetnadel wird verstärkt, wenn man den den Strom leitenden Draht in mehrfachen (möglichst zahlreichen) Windungen um die Nadel herumführt. Dies geschieht im Multiplikator. (Schweigger, 1820 und Poggenдорff, 1821; vgl. Abb. 131.)

Die verschiedenen Drahtwindungen sind der Isolierung halber mit Seide umspinnen. Der Multiplikator wird als Strommesser auch Galvanometer genannt.

Jeder galvanische Strom erleidet eine gewisse Schwächung, wenn er eine Leitung — die die Pole verbindenden Drähte — durchläuft: Leitungswiderstand. Bei gleichem Querschnitt der leitenden Drähte ist dieser Widerstand der Länge proportional, bei gleicher Länge der Größe des Querschnitts umgekehrt proportional. Von der Gestalt des Querschnitts ist er unabhängig, dagegen noch abhängig von der Temperatur sowie der Substanz der leitenden Drähte. Bezüglich der Temperatur gilt, daß die elektrische Leitungsfähigkeit der Metalle mit steigender Temperatur abnimmt, der Widerstand also zunimmt, während der Widerstand der Elektrolyte mit steigender Temperatur abnimmt. (Vgl. die Nernstlampe, S. 237.) Hinsichtlich der spezifischen Leitungsfähigkeit der Metalle seien folgende Angaben gemacht: Setzt man die Leitungsfähigkeit des Quecksilbers = 1, so ist die des Bleis = 5, die des Eisens = 10, die des Kupfers = 62. Kupfer leitet also die Elektrizität außerordentlich gut, sein Leitungswiderstand ist sehr gering. Daher werden die Leitungsdrähte meistens aus Kupfer hergestellt.

Eine besondere Schwächung erfährt der Strom beim Durchgang durch Flüssigkeiten, so innerhalb der Elemente, die den Strom erzeugen, selbst: innerer Widerstand.

Ohmsches Gesetz. Über die Beziehung der Stromstärke zu der elektromotorischen Kraft und dem Widerstande gibt das Ohmsche Gesetz (1826) Auskunft. Nach demselben ist die Stromstärke der Summe aller in der Kette wirksamen elektromotorischen Kräfte direkt, der Summe aller Leitungswiderstände umgekehrt proportional:

$$J = \frac{E}{W} \quad (1).$$

Elektrische und magnetische Maße. Die elektrischen Maße scheidet man in die elektrostatischen und die elektromagnetischen. Erstere dienen zur Messung statischer oder ruhender Elektrizität, letztere zur Messung strömender Elektrizität (elektrischer Ströme). Von den elektrostatischen Maßen ist bereits S. 204 die Rede gewesen.

Als elektrostatische Einheit (Einheit der Elektrizitätsmenge) wurde diejenige Elektrizitätsmenge oder -ladung definiert, die auf eine gleich große, in der Entfernung 1 cm befindliche Menge eine Kraft von 1 Dyn ausübt.

Hiernach übt die Elektrizitätsmenge q auf die Einheit der Elektrizitätsmenge in 1 cm Entfernung eine Kraft = q Dyn aus; die Elektrizitätsmengen q und q' üben in r cm Entfernung die Kraft

$$f = \frac{q \cdot q'}{r^2} \text{ Dyn} \quad (2)$$

aufeinander aus, da nach Coulomb die elektrische Kraft proportional dem Quadrat der Entfernung abnimmt (1788). Sind beide Elektrizitätsmengen q und q'

gleichartig, so ist f positiv und bedeutet die abstoßende Kraft; sind die Elektrizitäten ungleichartig, so ist f negativ und bedeutet die anziehende Kraft. Wird $q = q'$, so ist:

$$f = \frac{q^2}{r^2}$$

$$\text{und: } q = r\sqrt{f} \quad (3).$$

Da die vorstehend definierte elektrostatische Einheit sehr klein ist, wird statt ihrer meist eine andere gebraucht, die $3 \cdot 10^9$ oder 3000 Millionen mal so groß ist. Eine derartige Elektrizitätsmenge heißt ein Coulomb; dieselbe muß in der Sekunde durch den Querschnitt eines elektrischen Stromleiters gehen, um $\frac{1}{10}$ der absoluten elektromagnetischen Einheit (oder 1 Ampère) zu erzeugen.

Da die elektromagnetischen Maße sich auf die magnetischen Maße stützen, so muß zum Verständnis der ersteren zunächst kurz auf die letzteren eingegangen werden.

Nach dem C.G.S.-System ist die Einheit des Magnetismus diejenige Menge desselben, die auf eine gleich große, in der Entfernung 1 cm befindliche Menge eine Kraft von 1 Dyn ausübt. Sie wird ein Gauß genannt. Zwei magnetische Teilchen ziehen sich mit einer Kraft an, die gleich ist dem Produkt der Mengen ihres Magnetismus, dividiert durch das Quadrat ihrer Entfernung. (Coulomb, 1784, vgl. S. 221.) Als das magnetische Moment eines Magnets bezeichnet man das Produkt aus der Menge seines Nordmagnetismus und dem Abstand seiner Pole. Hiernach kommt die Einheit des magnetischen Moments einem Magnet zu, dessen Pole 1 cm voneinander entfernt sind und bei dem die Menge des Magnetismus in jedem Pol 1 Gauß beträgt.

Unter der absoluten elektromagnetischen Einheit (E.M.E) versteht man nun diejenige Stromstärke, welche, einen Stromleiter von 1 cm Länge durchfließend, auf eine 1 cm entfernte magnetische Einheit eine ablenkende Kraft von 1 Dyn ausübt. (W. Weber, 1842.) Der zehnte Teil dieser Einheit, dessen man sich bei der praktischen Anwendung gewöhnlich bedient, da die volle Einheit zu groß ist, heißt, wie bereits erwähnt, ein Ampère.

Als elektrochemische Einheit der Stromstärke oder Jacobische Einheit wird derjenige Strom bezeichnet, der beim Durchgange durch angesäuertes Wasser in einer Minute 1 ccm Knallgas von 0° C und 760 mm Quecksilberdruck liefert.

Da 1 Ampère in einer Minute 10,54 ccm Knallgas liefert, so beträgt 1 Ampère rund 10 Jakobische Einheiten. (Ferner wird ein Ampère auch dargestellt durch den unveränderten elektrischen Strom, der beim Durchgange durch eine wässrige Lösung von Silbernitrat in einer Sekunde 0,001 118 g Silber niederschlägt.)

Einheit des Widerstandes ist das Ohm. Man versteht darunter den Widerstand eines Quecksilberfadens von 1 qmm Querschnitt und 106,3 cm oder rund 1 m Länge bei 0° C ; die Masse dieses Quecksilberfadens ist = 14,4521 g. 1 Million Ohm = 1 Megohm; 1 Milliontel Ohm = 1 Mikroh.

Als Einheit der elektromotorischen Kraft (Einheit der Spannung oder Potentialdifferenz) wird hiernach diejenige elektromotorische Kraft angesehen, die in einem Stromkreise von 1 Ohm Gesamtwiderstand die Stromstärke von 1 Ampère erzeugt. Man nennt diese elektromotorische Kraft ein Volt. Sie ist sehr nahe gleich derjenigen eines Daniellschen Elementes: 1 Daniell = 1,1 Volt. Die elektromotorische Kraft eines Leclanché-Elementes ist = 1,5 Volt, eines Bunsen-Elementes = 1,9 Volt, einer Akkumulator-Zelle = 2 Volt. Der Draht, welcher einer Glühlampe den elektrischen Strom zuführt, hat bei den Berliner Elektrizitätswerken einen Zustand von 110 Volt, der Leitungsdraht der elektrischen Straßenbahnen ungefähr 500 Volt.

Da nach dem Ohmschen Gesetz [Formel (1) S. 242] die Stromstärke der Summe der elektromotorischen Kräfte direkt, der Summe der Widerstände (Leitungswiderstände) umgekehrt proportional ist, so folgt:

$$1 \text{ Ampère} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}.$$

Wenn man sich den elektrischen Strom unter dem Bilde einer in einem schräg abwärts gerichteten Flußbett sich fortbewegenden wirklichen Flüssigkeit vorstellt, so hat man ein Ampère als die Menge der sich fortbewegenden Flüssigkeit, ein Volt als die Gefällhöhe der Flüssigkeit anzusehen.

Als ein Farad bezeichnet man (im praktischen Maßsystem) die Kapazität eines Kondensators (vgl. S. 225 u. 249), auf dessen innerer Belegung eine Elektrizitätsmenge von 1 Coulomb ein Potential von 1 Volt erzeugt, wenn die äußere Belegung zur Erde abgeleitet ist. Da 1 Volt = $\frac{1}{300}$ der elektrostatischen Einheit des Potentials und 1 Coulomb = $3 \cdot 10^9$ mal der elektrostatischen Einheit der Elektrizitätsmenge ist, so ergibt sich 1 Farad = $3 \cdot 10^9 : \frac{1}{300} = 9 \cdot 10^{11}$ absoluten Kapazitätseinheiten. Da diese Größe zu bedeutend ist, bedient man sich zu Maßbestimmungen meist des millionten Teiles eines Farad, der ein Mikrofarad genannt wird.

Elektrische Arbeit. Denken wir uns einen von einem elektrischen Strome durchflossenen Leitungsdraht, innerhalb dessen die Stromstärke J (in Ampère gemessen) und an dessen Enden die von den elektromotorischen Kräften des Stromerzeugers (der Batterie) gelieferten elektrischen Spannungen oder Potentiale V_1 und V_2 (in Volt gemessen) herrschen, so gibt J die Zahl der Elektrizitätseinheiten an, welche in der Sekunde von V_1 nach V_2 übergehen, und es ist $J(V_1 - V_2) \cdot t$ die hierbei in der Zeit t von der Elektrizität geleistete Arbeit, was sich auf folgende Weise ergibt:

Ebenso wie die elektrischen Kräfte Arbeit zu leisten vermögen, weswegen sie als eine Form der Energie anzusehen sind, ist umgekehrt eine gewisse Arbeit erforderlich, um einen Körper elektrisch zu laden, oder mit andern Worten: um ihm Energie in der Form der Elektrizität zuzuführen. Unter dem Potential eines Leiters, allgemein: eines Punktes, ist diejenige Arbeit zu verstehen, welche nötig ist, um — allen wirkenden Kräften entgegen — 1 Coulomb an den betreffenden Punkt zu bringen, und zwar von einer Stelle her, wo das Potential Null ist, d. h. ans dem Unendlichen. Um statt eines Coulomb 2, 3, 4 usw. auf den Leiter zu bringen, muß die 2-, 3-, 4-fache Arbeit geleistet werden. Hat also ein Punkt ein gewisses Potential und wird eine bestimmte Elektrizitätsmenge

an ihn gebracht, so ist die dazu erforderliche Arbeit proportional dem Produkt aus dem Potential und der zugeführten Elektrizitätsmenge, und es ist alsdann der Punkt der Träger einer derartigen Energie. Da nun die Elektrizitätsmengen in Coulomb, die Potentiale in Volt gemessen werden, so ist die Arbeit, die ein elektrisch gemachter Leiter leisten kann, bzw. die in ihm steckende Energie durch die Maßgröße Volt \times Coulomb oder kurz Volt-Coulomb auszudrücken. Um diese Maßgröße in Harmonie mit der Einheit der mechanischen Arbeit: 1 Kilogramm-Meter (vgl. S. 47) zu bringen, hat man ein Volt (= 1 Ampère \times 1 Ohm, vgl. S. 244) so gewählt, daß

$$1 \text{ Volt-Coulomb} = \frac{1}{g} \text{ Kilogramm-Meter}$$

ist, worin g die Maßzahl der Erdschwere = 9,81 bedeutet.

Geht nun durch einen Leiter ein elektrischer Strom und besitzt der Leiter an seinen Enden verschiedene Potentiale, so daß eine gewisse Anzahl Coulomb im Verlaufe des Stromes von einem höheren auf ein niedrigeres Potential fällt, so ist die dabei frei werdende Arbeit gleich der Anzahl der Coulomb mal der Differenz der Volt (das Produkt gemessen in Volt-Coulomb).

Da in einem dauernd fließenden Strome in jedem Zeiteilchen, z. B. in jeder Sekunde, eine gewisse Anzahl Coulomb abfließt, so ist die innerhalb einer bestimmten Zeit frei werdende Arbeit der Anzahl der Sekunden proportional; und da die in einer Sekunde abfließende Anzahl Coulomb nach den obigen Definitionen nichts anderes als die in Ampère gemessene Stromstärke ist, so ergibt sich die in t Sekunden seitens des elektrischen Stromes geleistete Arbeit gleich der Stromstärke in Ampère mal der Differenz der Volt mal t , also = $J(V_1 - V_2)t$.

Der Arbeits-Effekt, d. h. die in der Zeiteinheit = 1 Sekunde geleistete Arbeit (vgl. S. 48) ist hiernach = $J(V_1 - V_2)$, gemessen in Volt-Ampère; und es ist, wie die Definitionen gewählt sind, 1 Volt-Ampère gerade = 1 Watt (S. 48).

Joulesches Gesetz. Wenn die durch den Ausdruck $J(V_1 - V_2)t$ dargestellte Arbeit eines Stromleiters ganz in demselben verbleibt, ohne nach außen in Wirksamkeit zu treten, so wird sie in Wärme verwandelt, die der Arbeit äquivalent ist (vgl. Kapitel 11, Abschnitt „Mechanisches Wärmeäquivalent“ u. f.). Bezeichnet man die so erzeugte Wärmemenge mit W und wählt als Einheit für dieselbe eine der Arbeitseinheit äquivalente Menge, so gilt:

$$J(V_1 - V_2)t = W \quad (1).$$

Bezeichnet man ferner den elektrischen Widerstand des Stromleiters mit R , so ist nach dem Ohmschen Gesetz (S. 242):

$$J = \frac{V_1 - V_2}{R} \quad \text{und} \quad V_1 - V_2 = J \cdot R.$$

Setzt man den vorstehenden Wert von J in die Gleichung (1) ein, so folgt:

$$\frac{(V_1 - V_2)^2}{R} \cdot t = W \quad (2).$$

Substituiert man dagegen den Wert von $V_1 - V_2$ durch $J \cdot R$, so ergibt sich:

$$J^2 \cdot R \cdot t = W \quad (3).$$

Diese Gleichung wird als das Joulesche Gesetz bezeichnet. Die Gleichungen (1) und (2) sind gleichbedeutende Ausdrücke desselben. Joule fand das

Gesetz in der Form (3) auf experimentellem Wege (1841). In Worten lautet es, gemäß der Gleichung (3):

Die durch einen elektrischen Strom in einem Stromleiter erzeugte Wärme ist dem Quadrat der Stromstärke, dem Widerstande des Leiters und der Zeitdauer des Stromes proportional.

Kurzschluß. Durchläuft bei irgend einer elektrischen Stromanlage der Strom nicht den ganzen vorgesehenen Weg außerhalb der elektrischen Kraftquelle — durch Leitungsdrähte und etwa eine Anzahl elektrischer Lampen —, sondern findet zwischen zwei den Polen der Kraftquelle nähergelegenen Stellen des Stromweges, in denen die Stromrichtungen einander entgegengesetzt sind, eine Verbindung statt (z. B. durch unmittelbare Berührung der Drähte, deren Umwicklung schadhaft geworden ist, durch den menschlichen Körper oder einen anderen leitenden Stoff), so daß der Strom den näheren Weg einschlägt, so wird dieser Vorgang als Kurzschluß bezeichnet. Da dann in der kürzer gewordenen Leitung der Widerstand geringer ist, so erfolgt ein momentanes Anwachsen der Stromstärke, und es kann ein Durchbrennen oder Schmelzen des Leitungsdrahtes eintreten, ein entzündlicher Gegenstand in Brand geraten, der menschliche Körper Schaden erleiden oder schließlich die elektrische Kraftquelle selbst zerstört werden, da sich der Strom mit größerer Stärke auf sie wirft, die jetzt einen beträchtlicheren Teil des Stromkreises darstellt als zuvor. Eine Vorkehrung, durch die solche bei Kurzschluß eintretenden Unfälle bis zu einem gewissen Grade verhütet werden, ist die Sicherung. Dieselbe besteht aus einem Stückchen Blei, das in die Leitung eingefügt wird und eine derartige Querschnittsgröße besitzt, daß es — zugleich in Anbetracht des hohen Widerstandes und des niedrigen Schmelzpunktes des Bleis — bei zu großer Stromstärke durchschmilzt und den Strom unterbricht.

Die zweite Art der magnetischen Wirkung eines galvanischen Stromes wird im nächsten Kapitel besprochen werden.

Physiologische Wirkungen des Galvanismus. Die physiologischen Wirkungen des Galvanismus bestehen in Muskelzuckungen (beim Anfassen und Loslassen der beiden Polenden mit angefeuchteten Fingern), sowie in Lichterscheinungen vor den Augen (wenn eine Stelle der Stirn mit der einen Polplatte, die Lippen mit der andern berührt werden) und in Geschmacksempfindungen (wenn der Strom die Zungennerven durchströmt).

Elektrische Induktion. Der galvanische Strom vermag ähnlich wie die Reibungselektrizität Fernwirkungen auszuüben, welche man als Induktion bezeichnet.

Wenn ein auf eine Holzspule gewickelter, isolierter Kupferdraht — eine Drahtspirale —, welche ein galvanischer Strom durchfließt, einer andern Drahtspirale, welche mit einem Galvanometer verbunden ist und die kein Strom durchfließt, genähert wird, so entsteht in der zweiten Spirale ein elektrischer Strom, wie man an dem Ausschlag der Galvanometernadel erkennt. Dieser Strom heißt Induktionsstrom; seine Richtung ist der des erzeugenden Stroms

oder Hauptstroms entgegengesetzt. Er ist nur von kurzer Dauer. Aber beim Entfernen der ersten Spirale entsteht in der zweiten Spirale abermals ein Induktionsstrom, der dem ersten Induktionsstrom entgegen-, dem Hauptstrom also gleichgerichtet ist. (Abb. 132.)

Die erste Spirale, welche der erzeugende Strom durchfließt, heißt Hauptspirale oder primäre Spirale, die zweite, in welcher der induzierte Strom auftritt, heißt Nebenspirale oder sekundäre Spirale.

Die gleichen Induktionsströme, wie beschrieben, werden auch erzeugt, wenn man die Hauptspirale, bevor sie von einem galvanischen Strom durchflossen wird, in die (größere) Nebenspirale

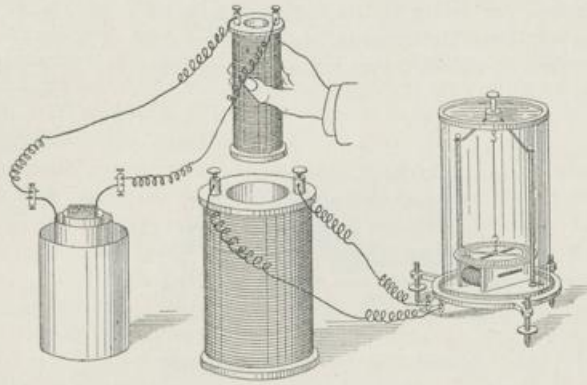


Abb. 132. Elektrische Induktion.

hineinsteckt und dann in der Hauptspirale einen Strom entstehen und verschwinden läßt, was durch Schließen und Öffnen der mit der Hauptspirale verbundenen galvanischen Kette geschieht. Der durch Schließen der Kette in der Nebenspirale erzeugte Induktionsstrom heißt Schließungsstrom (er ist dem induzierenden Strom entgegengesetzt), der durch Öffnen der Kette erzeugte Induktionsstrom heißt Öffnungsstrom (er ist dem induzierenden Strom gleichgerichtet).

Entdeckung der Induktionsströme durch Faraday, 1831.

Induktionsapparate und Transformatoren. Um mittels der Induktionsströme starke physiologische Wirkungen zu erzielen, ist in den Induktionsapparaten ein selbsttätiger Stromunterbrecher angebracht, welcher ein fortgesetztes schnelles, abwechselndes Öffnen und Schließen des Hauptstroms bewirkt. Dadurch erhält man in der Nebenspirale eine Reihe schnell aufeinander folgender, entgegengesetzt gerichteter Induktionsströme, die von großer Stärke sein können. Derartige hin- und hergehende, nicht dauernd im gleichen

Sinne fließende Ströme nennt man Wechselströme; der bisher besprochene, dauernd in gleicher Richtung fließende galvanische Strom heißt Gleichstrom.

Ein Wechselstrom übt keine chemischen Zersetzungs-Wirkungen aus und lenkt die Magnetnadel nicht ab; wohl aber ruft er — ebenso wie der Gleichstrom Wärmewirkungen hervor und vermag einen Eisenkern magnetisch zu machen (im speziellen: in die Spirale hineinzuziehen) — vgl. Kap. 15.

Der in Abb. 133 dargestellte, vom Mechaniker Ruhmkorff konstruierte, besonders zur Erzeugung kräftiger Funken dienende Induktionsapparat, Ruhmkorffscher Induktor oder Funkeninduktor genannt, zeigt bei K_1 und K_2 zwei Klemmschrauben, an denen die den primären Strom (irgend einer Batterie) zu- bzw. ableitenden Drähte befestigt werden. Von ihnen aus geht der Strom durch unterseits verlaufende Drähte nach Passierung des Stromunterbrechers zu der primären der beiden bei Sp befindlichen Spiralen, die zwecks Isolierung nach außen mit einer Hartgummischale umgeben sind. Aus dieser ragen die Klemmschrauben E_1 und E_2 heraus, zu denen von innen her die Drahtenden der

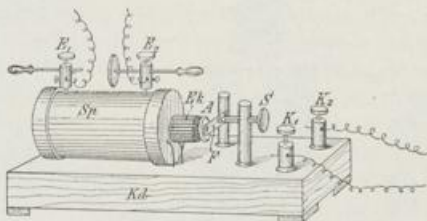


Abb. 133. Ruhmkorffscher Induktor.

sekundären Spirale führen. E_1 und E_2 stellen die Elektroden dar und können 1. wenn es sich um die Erzeugung kräftiger Funken handelt, zwei Messingstäbe aufnehmen, die mit isolierenden Handgriffen versehen sind und deren einer spitz zuläuft, während der andere mit einer angeschraubten Metallplatte endigt (vgl. die Abbildung); 2. können an ihnen, wenn der Strom weitergeführt werden und zu irgendwelchen sonstigen Zwecken Verwendung finden soll, isolierte Leitungsdrähte befestigt werden, wie sie gleichfalls die Abbildung aufweist.

In der primären Spirale, welche die innere von beiden ist und aus wenig Windungen eines dicken Drahtes besteht, während die sekundäre Spirale jene umgibt und aus zahlreichen Windungen eines dünnen Drahtes hergestellt ist (beide Drähte wohl isoliert), befindet sich der Eisenkern Ek , der von einer Anzahl dünner Eisenstäbe gebildet wird und die Induktionswirkung, wie es aus den Erörterungen des nächsten Kapitels hervorgehen wird, erhöht. Vor diesem Eisenkern ist der Stromunterbrecher angebracht, der bei der in der Abbildung dargestellten Form des Induktors ein sogenannter Neef'scher Hammer ist. Derselbe besteht aus dem Anker A — einer Eisenplatte, die von einem federnden Metallstreifen (der Feder F) getragen wird — und dem mittels

Schraubengewindes in einen als Stativ dienenden Metallstab eingesetzten Metallstift S ; letzterer berührt mit seinem spitzen Ende die Feder, die an der betreffenden Stelle der besseren Haltbarkeit wegen ein Platinplättchen trägt, und kann mittels des Schraubengewindes der Feder genähert oder von ihr entfernt werden.

Der primäre Strom geht nun von K_1 zunächst nach S und von hier, bei stattfindender Berührung zwischen S und F , über F nach der primären Spirale in Sp und von dieser nach K_2 . Sobald aber der Strom den Eisenkern Ek umkreist, wird dieser, wie im folgenden Kapitel besprochen werden wird, magnetisch und zieht den Anker A an. Infolgedessen wird die Berührung zwischen F und S aufgehoben, und der primäre Strom ist unterbrochen. Damit wird aber der Eisenkern unmagnetisch und zieht den Anker nicht mehr an, den nun die Feder F zurückschnellen macht, so daß abermals eine Berührung zwischen F und S stattfindet, der Strom geschlossen ist, Ek magnetisch wird u. s. f.

Die bei Öffnung und Schließung des primären Stromkreises durch den Stromunterbrecher in der sekundären Spirale entstehenden, entgegengesetzt gerichteten Induktionsströme sind von ungleicher Dauer und Stärke, und zwar ist der Öffnungsstrom kürzer, aber intensiver als der Schließungsstrom. Dies erklärt sich folgendermaßen:

Der primäre Strom wirkt nicht nur induzierend auf die sekundäre Spirale, sondern auch von jeder Windung aus auf die übrigen Windungen der primären Spirale, so daß auch innerhalb der primären Spirale Induktionsströme entstehen, die man Extraströme nennt. Der Schließungs-Extrastrom ist nun nach dem im vorigen Abschnitt Erörterten dem primären Strom entgegengesetzt, schwächt ihn daher und läßt ihn nicht plötzlich in der größten, von ihm erreichbaren Stärke auftreten. Der Öffnungs-Extrastrom ist dem primären Strom gleichgerichtet, verlängert also seine Dauer und läßt ihn nicht plötzlich auf Null herabsinken. Da nun die Intensität der in der sekundären Spirale auftretenden Induktionsströme wesentlich von der Geschwindigkeit des Entstehens und Verschwindens des induzierenden Stromes bedingt wird, so sind beide Extraströme der Entwicklung des Induktionsstromes in der sekundären Spirale schädlich; aber der Schließungs-Extrastrom in höherem Maße, weil er erstens, wie gesagt, den in der sekundären Spirale entstehenden Schließungsstrom direkt schwächt und zweitens vollständig zur Entwicklung kommen kann, da er in der primären Spirale eine vollkommen geschlossene Leitung findet, während der Öffnungs-Extrastrom nur so lange andauern kann, als der Öffnungsfunke besteht, der an der Unterbrechungsstelle des primären Stromes auftritt. Somit muß von beiden Induktionsströmen in der sekundären Spirale der Schließungsstrom schwächer, der Öffnungsstrom intensiver sein, letzterer aber wegen der geringeren Dauer des Öffnungs-Extrastromes zugleich kürzer.

Um die Intensität des Öffnungsstromes noch mehr zu verstärken, sucht man die Dauer des Öffnungsfunkens im primären Strom möglichst zu verringern, was durch die Einschaltung des Fizeauschen Kondensators (1853) in den primären Strom geschieht. Derselbe besteht aus einem großen, zusammengefalteten Stück Wachstaffel, dessen beide Seiten mit Stanniol beklebt sind. Er ist in einem

unter dem eigentlichen Induktionsapparat befindlichen Kasten (Abb. 133, *Kd*) eingeschlossen. Indem sich die beiden entgegengesetzten Elektrizitäten des Extrastromes, die sich im Öffnungsfunken auszugleichen streben, auf den Stanniolbelegungen des Kondensators gegenseitig binden, wird ihre Spannung an der Unterbrechungsstelle vermindert und damit die Dauer des Funkens verkürzt.

Wegen der abwechselnd entgegengesetzten Richtung der bei Schließung und Unterbrechung des primären Stromes auftretenden Induktionsströme müßten die beiden Enden der sekundären Spirale und damit die beiden Elektroden (E_1 und E_2) abwechselnd entgegengesetzte Pole werden. Da aber nach der vorstehenden Erörterung der Öffnungsstrom intensiver als der Schließungsstrom ist, gehen durch die Luft zwischen den Elektroden immer nur Öffnungsströme hindurch, und es ist daher die eine Elektrode dauernd der positive, die andere dauernd der negative Pol.

Durch Induktionsapparate von der vorstehend beschriebenen Einrichtung (dicker primärer Draht mit wenig Windungen und dünner sekundärer Draht mit zahlreichen Windungen) erhält man mittels eines Batteriestromes von geringer Spannung (und elektromotorischer Kraft), aber großer Stromstärke (wegen des geringen Widerstandes, den der primäre Draht infolge seiner Dicke und Kürze darbietet), einen Induktionsstrom von geringer Stromstärke (wegen des großen Widerstandes, den der dünne, lange sekundäre Draht darbietet) und hoher Spannung. Infolge der hohen Spannung kann man mittels des Ruhmkorffschen Induktors alle (auf hohen Potentialen beruhenden) Erscheinungen der Reibungs- und der Influenz-Elektrizität hervorbringen.

Von ähnlicher Art wie die Induktionsapparate, aber mit einer der beschriebenen entgegengesetzten Wirkungsweise ausgestattet, sind die Transformatoren. (Gaulard und Gibbs, 1883.) Da nämlich bei ihnen die primäre Spirale aus zahlreichen Windungen eines dünnen Drahtes und die sekundäre Spirale aus wenigen Windungen eines starken Drahtes besteht, so wird durch einen schwachen primären Strom von hoher Spannung ein Induktionsstrom von geringer Spannung, aber großer Stromstärke hervorgerufen. Man kann daher mit Hilfe eines Transformators, ohne die Stromenergie zu ändern, einen Strom von hoher Spannung und geringer Stärke in einen solchen von niedriger Spannung, aber großer Stärke überführen. Der besseren Isolierung halber befinden sich die Transformatoren in Gefäßen, die mit Öl gefüllt sind.

Anziehung und Abstoßung von Stromleitern. Sind zwei bewegliche Stromleiter (Drähte) parallel nebeneinander aufgehängt, so ziehen sie sich nach der Entdeckung Ampères (1820) gegenseitig an, wenn sie von gleichgerichteten Strömen durchflossen werden, und stoßen einander ab, wenn sie von entgegengesetzt gerichteten Strömen durchflossen werden.

Stehen zwei von galvanischen Strömen durchflossene Stromleiter zueinander gekreuzt, so suchen sie sich gegenseitig so zu

stellen, daß sie parallel werden und die Ströme in beiden gleichgerichtet sind.

Die durch die beiden vorstehenden Gesetze ausgedrückte Wechselwirkung der Stromleiter hat Ampère die elektrodynamische genannt.

15. Elektromagnetismus und Magnetoelektrizität; Elektrodynamik und Dynamoelektrizität; Thermo- und Pyroelektrizität.

Elektromagnetismus. Die zweite Art der magnetischen Wirkung eines elektrischen Stroms nächst der Ablenkung der Magnetnadel (S. 240) besteht darin, daß er Eisen, welches unmagnetisch ist, magnetisch macht. Wird in eine Drahtspirale ein Stück weiches Eisen gesteckt, so wird dasselbe von dem Augenblicke an zu einem Magnet, wo ein galvanischer Strom die Spirale durchfließt. Erst mit dem Aufhören des Stromes verliert auch das Eisen seine magnetischen Eigenschaften.

Ein derartiger Magnet heißt ein Elektromagnet, sein Magnetismus Elektromagnetismus.

Ein Stahlstab wird gleichfalls unter dem Einfluß eines elektrischen Stromes magnetisch, unterscheidet sich aber vom weichen Eisen dadurch, daß er seinen Magnetismus beibehält, wenn der Strom unterbrochen ist.

Auch wenn man ein Stück weiches Eisen einer von einem elektrischen Strome durchflossenen Drahtspirale nur nähert, wird es magnetisch; beim Entfernen wird es wieder unmagnetisch.

Die Polarität eines in einer Drahtspirale befindlichen Elektromagnets richtet sich einerseits nach der Art, wie die Spirale gewunden ist — nach dem Sinn der Windungen — und anderseits nach der Richtung des die Spirale durchfließenden Stromes.

Was den Sinn der Windungen betrifft, so unterscheidet man rechts gewundene und links gewundene Spiralen. Rechts gewunden nennt man eine Spirale — wie wir es bereits in der Mechanik für die Schrauben angegeben haben (S. 49) — wenn beim Aufsteigen auf den Windungen mit nach innen, d. h. der Achse der Spirale zu, gerichtetem Gesicht die rechte Schulter vorangeht. Geht dagegen im gleichen Falle die linke Schulter voran, so heißt die Spirale links gewunden. Die Abbildungen 134, *a* und *c* zeigen rechts gewundene, *b* und *d* links gewundene Spiralen. In

den Abbildungen 134, *a* und *d* fließt der positive elektrische Strom von links nach rechts, in *b* und *c* von rechts nach links, wie es durch die Pfeile angedeutet ist. Die Buchstaben *N* und *S* (Nordpol und Südpol) lassen erkennen, wie in den verschiedenen Fällen die Pole des in der Spirale steckenden, zum Magnet werdenden Eisenstabes angeordnet sind. Hierüber lassen sich folgende Regeln aufstellen:

1. Bei rechts gewundener Spirale entsteht an demjenigen Ende, wo der positive Strom eintritt, der Südpol, bei links gewundener Spirale wird das gleiche Ende der Nordpol.

2. Denkt man sich im positiven Strome mit demselben schwimmend und hält das Gesicht dabei nach innen gekehrt, so entsteht in allen Fällen links der Nordpol. (Vgl. die Ampèresche Regel)

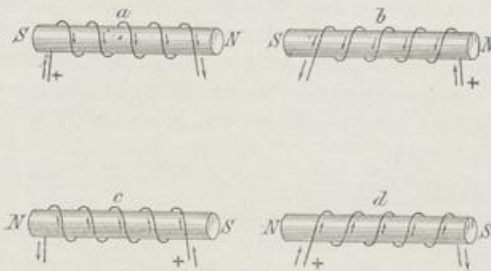


Abb. 134. Verschiedene Formen von Elektromagneten.

über die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom, S. 241.)

Ampères Theorie des Magnetismus. Aus diesen Tatsachen des Elektromagnetismus, zusammengehalten mit der Erfahrung, die über Anziehung und Abstoßung beweglicher Stromleiter gemacht worden war (S. 250), leitete Ampère seine elektrische Theorie des Magnetismus ab (1826). Nach derselben ist ein Magnet als ein Eisenstab aufzufassen, dessen Moleküle von einander parallelen elektrischen Kreisströmen umflossen werden, die so gerichtet sind, daß, wenn man sich in einem der Ströme mit demselben schwimmend denkt und den Magnet dabei anblickt, der Nordpol desselben sich links befindet.

Werden nun zwei Magnete einander mit ungleichnamigen Polen genähert (z. B. Abb. 134, *a* und *b* oder: *c* und *d* oder auch zwei Magnete von einer und derselben der vier Formen, *a*, *b*, *c* oder *d*), so sind die elektrischen Ströme der Magnete jedesmal gleich ge-

richtet, und es muß Anziehung der Pole stattfinden. Werden aber zwei Magnete einander mit gleichnamigen Polen genähert (z. B. mit den beiden Nordpolen — Abb. 134, *a* und *d*), so sind die elektrischen Ströme der beiden Magnete entgegengesetzt gerichtet, und die Pole müssen sich abstoßen.

Solenoid. Eine besondere experimentelle Bestätigung erfährt die Ampère'sche Theorie durch das Solenoid. Man versteht darunter eine frei beweglich aufgehängte Drahtspirale, die von einem elektrischen Strom durchflossen wird — ohne Eisenkern. (Ein Solenoid kann aber einer Reihe nebeneinander befindlicher Kreisströme nicht ohne weiteres gleichgesetzt werden, da bei ihm die Art der Windung — ob rechts oder links gewunden —, sowie der Ort des Eintritts des elektrischen Stromes in den Draht und damit die Richtung, in welcher der Strom den Draht durchfließt, von Bedeutung ist, was bei Kreisströmen nicht in gleicher Weise in Betracht kommt.)

Ein Solenoid verhält sich äußerst ähnlich einem frei aufgehängten Magnetstabe, insofern als seine Enden zu Nord- und Südpol werden und das ganze Solenoid sich mit seiner Achse in die Nord-Südrichtung (die Richtung des magnetischen Meridians) einstellt, so daß das eine Ende nach Norden, das andere nach Süden zeigt.

Ein Unterschied, der zwischen einem Solenoid und einem Magnetstab zutage tritt, besteht darin, daß der Magnetstab fast ausschließlich an den Polen und so gut wie gar nicht in seiner Mitte Eisenfeilspäne anzieht, während bei einem in Eisenfeilspäne eingetauchten Solenoid alle Windungen eine gleich starke Anziehung auf die Eisenfeilspäne ausüben.

Hierbei sei erwähnt, daß jeder irgendwie, z. B. geradlinig verlaufende Leitungsdraht, der von einem elektrischen Strome durchflossen wird, seiner ganzen Länge nach anziehend auf Eisenteilchen wirkt, mit denen er in Berührung kommt.

Es entsteht nun die Frage, ob sich im Umfange eines solchen Drahtes irgendwelche Art von Polarität offenbart. Dies ist nicht der Fall, wie folgender Versuch lehrt:

Um einen senkrecht verlaufenden Metalldraht oder noch besser einen senkrecht gestellten Metallzylinder, den ein elektrischer Strom durchfließt, wird eine Magnetnadel (am besten von kleinen Dimensionen) geführt. Dieselbe richtet sich niemals mit einem ihrer Enden nach der Achse des Zylinders oder, was dasselbe besagt, senkrecht zur Zylinderoberfläche, sondern stets tangential zur letzteren.

Abb. 135, welche dies Experiment zur Anschauung bringt, zeigt den Metallzylinder im Querschnitt; der positive Strom tritt von oben ein, fließt also von oben nach unten durch den Zylinder hindurch; die Anordnung der Pole ist in drei verschiedenen Lagen der Magnetnadel dargestellt. Sie entspricht der An-

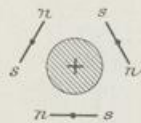


Abb. 135. Richtung einer Magnetnadel durch einen senkrecht dazu verlaufenden elektrischen Strom.

péreschen Regel über die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom (vgl. S. 241).

Das Experiment erklärt sich aus dem Verlauf der Kraftlinien um den elektrischen Strom, bzw. um den Stromleiter (Metallzylinder oder Leitungsdraht). Die Kraftlinien stellen konzentrische Kreise dar, deren Mittelpunkt in der Achse des Stromleiters liegt. Man kann sie sichtbar machen, wenn man den Stromleiter durch ein horizontales Blatt Papier führt und dieses mit Eisenfeilspänen bestreut.

Der Hauptunterschied zwischen einer von einem elektrischen Strom durchflossenen Drahtspirale ohne Eisenkern (wie sie, frei aufgehängt, ein Solenoid darstellt) und einer Drahtspirale mit Eisenkern — ein Unterschied, der besonders für die Praxis von Wichtigkeit ist — besteht darin, daß beim Vorhandensein eines Eisenkerns die magnetische Wirkung (magnetische Feldstärke bzw. Kraftlinienzahl) wesentlich größer ist als beim Fehlen des Eisenkerns (unter Umständen 100 bis 1000 mal so groß).

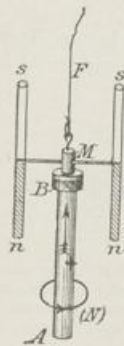


Abb. 136. Rotation eines beweglichen Magnets um einen elektrischen Strom.

Der Metallstab AB (Abb. 136), der an seinem oberen Ende B ein Quecksilbernäpfchen trägt, wird in der Richtung des gefiederten Pfeils (also von unten nach oben) von einem positiv elektrischen Strom durchflossen. In das Quecksilber des Gefäßes taucht das an dem Faden F hängende Metallstück M mit einer unten an ihm befestigten Spitze ein, so daß der elektrische Strom von dem Quecksilber aus in M eintritt, um von hier aus durch einen in der Zeichnung nicht dargestellten Draht seitlich weitergeleitet zu werden. Das Metallstück trägt ferner zwei horizontale Querarme, an deren Enden zwei Magnete (ns, ns), beide mit dem Nordpol nach unten, angebracht sind. Da der elektrische Strom nur bis zu dem Metallstück M , d. h. nur bis zur Mitte der Magnete, zwischen diesen verläuft, so stehen (wesentlich) nur die Nordpole der Magnete unter dem Einfluß des Stromes. Die Folge ist daher, daß das von F, M und den beiden Magneten gebildete System in der Richtung des Pfeiles (N), also, von oben gesehen, entgegengesetzt wie der Zeiger einer Uhr, bewegt wird.

Telegraphie; Morsescher Schreibtelegraph. Eine außerordentlich wichtige Anwendung wird vom Elektromagnetismus in der Telegraphie gemacht, und zwar auf die Weise, daß die Fortpflanzung der Elektrizität in Metalldrähten zur Mitteilung von Signalen oder Schriftzeichen auf größere Entfernungen benutzt wird.

Rotation eines Magnets um einen Stromleiter.

Bringt man einen Magnet so in der Nähe eines elektrischen Stromleiters frei beweglich an, daß nur der eine der beiden Pole, z. B. der Nordpol, unter dem Einfluß des elektrischen Stromes steht, so wird derselbe im Kreise um den Stromleiter herumgeführt. Dies läßt sich durch folgenden Versuch demonstrieren:

Der Metallstab AB (Abb. 136), der an seinem oberen Ende B ein Quecksilbernäpfchen trägt, wird in der Richtung des gefiederten Pfeils (also von unten nach oben) von einem positiv elektrischen Strom durchflossen. In das Quecksilber des Gefäßes taucht das an dem Faden F hängende Metallstück M mit einer unten an ihm befestigten Spitze ein, so daß der elektrische Strom von dem

Der in Preußen im öffentlichen Gebrauch befindliche Telegraph ist der Morsesche Schreibtelegraph, 1837. (Der erste Telegraph, von Gauß und Weber, Göttingen 1833, beruhte auf der Ablenkung der Magnethadel durch den galvanischen Strom.) Der Morse-Telegraph besteht aus dem Schreibapparat und dem Schlüssel oder Taster; der Schreibapparat befindet sich an der Empfangsstation, der Schlüssel oder Taster an der Aufgabestation (zeichengebenden Station). Der Schreibapparat (Abb. 137) besteht aus einem hufeisenförmigen Elektromagnet (E), vor dessen Polen sich ein Anker (A) befindet, der den einen Arm eines zweiarmigen, um die Achse O drehbaren Hebels darstellt, dessen anderer Arm den Schreibstift S trägt; vor diesem bewegt sich der Papierstreifen PPP vorbei, den ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit zwischen den Walzen W hindurchzieht. Auf diesem Papierstreifen bringt der Schreibstift einen

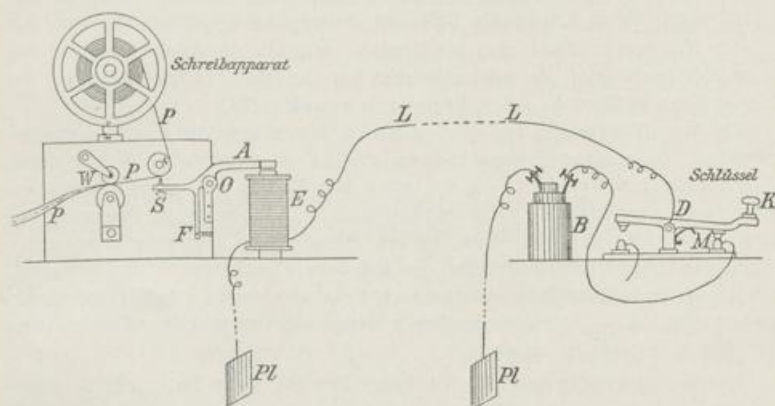


Abb. 137. Morsescher Schreibtelegraph.

Eindruck, bzw. einen farbigen Strich hervor, wenn und solange der Anker A von den Polen des Elektromagnets angezogen wird. Eine Spiralfeder (F) bringt den Anker in seine Ruhelage zurück, wenn keine Anziehung seitens des Elektromagnets stattfindet. Diese Anziehung nun tritt ein, sobald der elektrische Stromkreis vom Elektromagnet bis zu dem Schlüssel der Aufgabestation geschlossen ist. Die Schließung erfolgt, wenn der Schlüssel mittels des Knopfes K niedergedrückt wird. Die Leitung LL geht nämlich — vom Elektromagnet herkommend — nach D , dem Drehpunkt des hebelartigen, metallenen Schlüssels und von diesem durch den unter ihm befindlichen Metallknopf M nach der Batterie B (die Figur gibt der Einfachheit wegen nur ein Element wieder). Läßt man den Schlüssel los oder locker, so wird er durch eine elastische Feder (unterhalb des Hebelarmes DK) nach oben gedrückt, und der Stromkreis ist geöffnet.

Der am Schlüssel oder Taster arbeitende Telegraphist kann hiernach durch längeres oder kürzeres Niederdrücken des Knopfes K und Einhalten gewisser Pausenlängen auf dem Papierstreifen PPP in der Empfangsstation längere oder kürzere Striche (Striche oder Punkte) hervorbringen; durch verschiedene Zu-

sammenstellung solcher Striche und Punkte hat man ein Alphabet gebildet, dessen man sich statt des Buchstabenalphabets zur Mitteilung von Gedanken (Wörtern und Sätzen) bedient.

Die Drahtleitung *LL* muß gut isoliert sein. Sie befindet sich entweder in der Luft und wird dann von Telegraphenstangen getragen, an denen sie durch glockenförmige Träger von Porzellan (einem Isolator) befestigt ist, oder sie ist eine unterirdische oder unterseeische Leitung und besitzt in diesem Falle eine isolierende Guttapercha-Umhüllung (Kabel; das erste transatlantische Kabel 1866 zwischen England und Amerika).

Zur völligen Schließung der Drahtleitung sollten eigentlich zwei Drähte zwischen beiden Stationen vorzöden sein. Indessen kann der eine entbehrt werden (Steinheil, 1838), weil der leitende Erdkörper die Rückleitung des Stromes besorgt, wenn man die Enden des Leitungsdrahtes mit zwei Metallplatten (*Pl, Pl*) in Verbindung setzt, die in die feuchte Erde (das Grundwasser) versenkt werden.

Ein Telegraph, durch den die Depesche sofort in Buchstabenform auf das Papier übertragen wird, der aber eine sehr komplizierte Konstruktion besitzt, ist der Hughessche Druck- oder Typentelegraph (1861).

Bei der überseeischen Telegraphie lassen sich nur schwache Ströme verwenden, da stärkere Ströme in dem das Kabel umgebenden Wasser durch Influenz Elektrizität erregen, die von störendem Einfluß ist. Diese schwachen Ströme sind nur imstande, ein empfindliches Galvanometer in Bewegung zu setzen, dessen Magnetnadel einen kleinen Spiegel trägt (Spiegelgalvanometer). Der auf den Spiegel fallende Schein einer Lampe wird auf einen Schirm geworfen, an dem sich beobachten läßt, ob eine nach links oder rechts gehende Ablenkung stattgefunden hat. — Ozeantelegraphen neuerer, sehr verwickelter Konstruktion übertragen die Depesche selbst.

Die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes hat sich je nach dem Material und der Länge des leitenden Drahtes sehr verschieden herausgestellt. In oberirdischen Leitungen ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Telegraphenstromes ungefähr = 12000 km oder = 1600 Meilen in der Sekunde.

Relais. Da bei langen Telegraphenleitungen der elektrische Strom zu sehr geschwächt wird, um den Schreibhebel (*S*) mit der nötigen Kraft zu bewegen, so benutzt man gewöhnlich den die Leitung vom Schlüssel zum Schreibapparat (oder: vom Geber zum Empfänger) durchlaufenden Strom, den sog. Linienstrom, gar nicht zur Erregung des den Schreibhebel bewegenden Elektromagnets (*E*), sondern nur dazu, einen anderen Elektromagnet, das sogenannte Relais, zu erregen, der mit seinem sehr leicht beweglichen Anker eine an der Empfangsstation aufgestellte Lokalbatterie schließt, die nun erst ihrerseits den zuerst genannten Elektromagnet (*E*) erregt.

Elektrische Klingel. Die elektrische Klingel (auch als elektrischer Haustelegraph zu bezeichnen) besitzt als wesentlichsten Bestandteil ebenfalls einen Elektromagnet, dessen Anker mit einem Klöppel versehen ist, der gegen eine Glocke schlägt, wenn der Anker angezogen wird. Nun ist der Strom durch den Stiel des Ankerklöppels geführt, doch so, daß an der Eintrittsstelle des

Stroms in diesen Stiel eine Unterbrechung des Stromes eintritt, sobald der Anker angezogen wird. Geschieht das letztere, so verliert der Eisenkern des Elektromagnets seinen Magnetismus, der Anker wird nicht mehr angezogen und schnell — infolge des Drucks einer elastischen Feder — zurück. Dadurch tritt aber wieder eine Schließung des Stromkreises ein, und der Elektromagnet zieht den Anker von neuem an, der Klöppel schlägt abermals an die Glocke u. s. f. — Die erste Schließung des Stromes erfolgt durch Drücken auf einen Knopf, der einen — nicht selbsttätigen — Stromunterbrecher, einen sog. Kontakt, darstellt; so lange gegen diesen Knopf gedrückt wird, dauern die Glockenschläge an.

Elektrische Uhr. Die Bewegung einer Pendeluhr (Normaluhr) kann auf die Weise auf zahlreiche Nebenuhren übertragen werden, daß an der Pendeluhr ein mit einem Stift versehenes Rädchen angebracht ist, das nach Ablauf jeder Minute den Stromschluß einer galvanischen Batterie bewirkt. Dadurch wird der Anker eines in die Stromleitung der Batterie eingeschlossenen Elektromagnets, der sich in der Nebenuhr befindet, angezogen und mittels eines an dem Anker befestigten Hakens ein Zahnrad mit 60 Zähnen um einen Zahn weitergerückt; auf die Achse dieses Zahnrades ist der Minutenzeiger der Nebenuhr aufgesetzt, der somit alle Minuten weiterrückt und sich in einer Stunde einmal vollständig um die Achse herumdreht. — Anwendung bei den Bahnhofsuhren.

Magnetoelektrizität oder magnetische Induktion. Wie der elektrische Strom Magnetismus hervorrufen kann, so ist umgekehrt die magnetische Kraft imstande, einen elektrischen Strom zu erzeugen. Ein solcher magnetoelektrischer Strom entsteht, wenn einer Drahtspirale ein Magnet genähert wird, und ein zweiter, dem ersten entgegengesetzt gerichteter Strom, wenn der Magnet wieder entfernt wird. Dasselbe findet statt, wenn in die Drahtspirale ein Stab aus weichem Eisen gesteckt und dieser nun (durch Annäherung eines Magnets oder durch einen galvanischen Strom) magnetisiert und wieder entmagnetisiert wird. (Abb. 138.)

Die geschilderte Erscheinung wird auch als magnetische Induktion bezeichnet.

Die Richtung der entstehenden Ströme läßt sich bei Zugrundelegung der Ampèreschen Theorie des Magnetismus mittelst der Tatsachen der rein elektrischen Induktion (S. 246) feststellen.

Der magnetoelektrische Rotationsapparat (Stöhrer, 1844) liefert Ströme von ähnlicher Art wie ein Induktionsapparat.

Lenzsche Regel. Eine noch allgemeinere elektrische Wirkung kommt dem Magnetismus nach der von Lenz (1834) aufgestellten Regel zu: Durch gegenseitige Bewegung von Stromleitern und Magnetpolen werden Induktionsströme erzeugt, deren Richtung stets eine derartige ist, daß die durch den Induktionsstrom wirksam werdenden elektromagnetischen Anziehungs- oder Abstoßungskräfte auf die Bewegung hemmend einwirken.

Telephon. Die Magnetoelektrizität findet eine besondere Anwendung beim Telephon oder Fernsprecher, mit Hilfe dessen gesprochene oder gesungene Worte sowie Töne von Instrumenten auf größere Entfernungen übertragen werden können. (Graham Bell, 1877; die Erfindung von Philipp Reis, 1861, war ein Mikrophon — vgl. den nächsten Abschnitt.)

Das Bellsche Telephon (Durchschnitt desselben Abb. 139) besteht aus drei wesentlichen Bestandteilen: einem Stahlmagnet *S*, der sich in einem hölzernen Gehäuse (*G*) befindet; einem sich an das vordere Ende des Magnets ansetzenden kurzen Zylinder (*C*) aus weichem Eisen, der den Kern einer Drahtspirale (Induktionsrolle) bildet; und einer davor ausgespannten dünnen Eisenplatte oder Eisenmembran (*M*), die zwischen das Holzgehäuse *G* und den darauf geschraubten Deckel *D* eingespannt ist. Der Deckel *D* ist mit einer runden

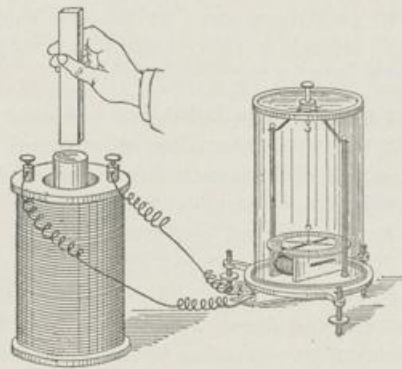


Abb. 138. Magnetische Induktion.

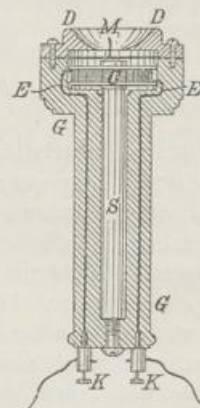


Abb. 139. Telephon.

Schallöffnung versehen, in welche man hineinspricht. Die Enden der Drahtspirale (*EE*) führen (nach unten) zu zwei Klemmschrauben (*KK*), von denen Leitungsdrähte nach der Empfangsstation angelegt sind, an welcher ein ähnlicher Apparat wie der eben beschriebene zur Aufnahme und Wiedergabe des Gesprochenen dient. Das erstgenannte, an der Aufgabestation befindliche Telephon wird *Tonsender* oder *Transmitter* genannt, der an der Empfangsstation befindliche Apparat *Tonempfänger* oder kurz *Empfänger* oder *Hörer*.

Wird in die Schallöffnung des Telefons hineingesprochen, gesungen usw., so teilen sich die erzeugten Schallwellen der Eisenplatte *M* mit; diese beginnt zu schwingen und gerät infolgedessen in eine abwechselnd nähere oder weitere Entfernung von dem Eisenkern *C*. Da nun der letztere auf Grund der Einwirkung des Stahlmagnets *S* selbst magnetisch ist und die Eisenplatte bei ihrer Annäherung oder Entfernung gegenüber *C* und *S* auch ihrerseits eine größere oder geringere, zu- oder abnehmende Magnetisierung erfährt, so greift deswegen eine

Änderung im Magnetismus des Eisenkerns Platz. Diese Änderung ruft magneto-elektrische Induktionsströme in der Drahtspirale hervor, die nach Richtung und Stärke verschieden sind. Durch die Drähte *EE* begeben sich diese Induktionsströme nach den Klemmschrauben *KK* und werden von hier durch die Leitungsdrähte nach dem Empfänger fortgeleitet, in welchem sich nunmehr die umgekehrten Vorgänge wie die eben beschriebenen abspielen: Durch die Induktionsströme, welche daselbst die Drahtspirale durchfließen, wird der Magnetismus des Eisenkerns verändert und die Eisenplatte in wechselndem Maße angezogen bzw. abgestoßen, so daß sie in Schwingungen gerät, die sich auf die Luft übertragen und einem an die Schallöffnung gehaltenen Ohr als die gleichen Worte usw. erscheinen wie diejenigen, die in den gebenden Apparat hineinerschallen.

Die in die Stromleitung der meisten Telephone eingeschaltete galvanische Batterie (von Leclanché-Elementen) ist für die Wirksamkeit des Telephons nicht unbedingt notwendig; sie dient hauptsächlich dazu, den Weckruf einer elektrischen Klingel erschallen zu lassen.

Im modernen Telephon- oder Fernsprechbetriebe ist das Telephon mit dem sogleich zu besprechenden Mikrophon verbunden; das Telephon dient als Hörer, das Mikrophon als Tonsender.

Mikrophon. Das Mikrophon (Philipp Reis, 1861; verbessert von Hughes, 1878) ist ein Apparat, der leise Geräusche auf größere Entfernungen überträgt. Es besteht aus drei Stäben eines Leiters, z. B. Gaskohle, von denen zwei auf einem Resonanzkästchen liegen, während der dritte quer über jenen liegt. Die beiden erstgenannten Stäbe — und damit auch das dritte Stäbchen — werden in eine Telephonleitung eingeschaltet, die zugleich mit einer galvanischen Batterie verbunden ist. Wird nun das obere Stäbchen durch Schallwellen erschüttert, so wird der Widerstand der Leitung an der Berührungsstelle zwischen ihm und den unteren Stäben geändert — in einem Wechsel von Zeitdauer und Stärke, der dem der Schallwellen entspricht und daher aus dem als Empfänger dienenden Telephon die gleichen oder ähnliche Schallwellen heraustreten läßt.

Diese Art der Verwendung des Mikrophons nennt man die direkte Einschaltung des Mikrophons in den Telephonverkehr. Behufs besserer Überwindung des Leitungswiderstandes bei weiteren Entfernungen gebraucht man die indirekte Einschaltung. Dieselbe besteht darin, daß man den veränderlichen Batteriestrom an der Aufgabestation, nachdem er das Mikrophon passiert hat, durch die primäre Spirale einer Induktionsrolle gehen läßt und hierauf zur Batterie zurückführt, während nur die solchergestalt in der sekundären Spirale erregten Induktionsströme nach dem an der Empfangsstation befindlichen Telephon geleitet werden.

Auf diese Weise kann man die Sprache Hunderte von Kilometern weit übertragen. In Europa ist die längste Linie die von London über Paris nach Marseille, mit einer Länge von 1250 km.

Elektrodynamik. Da nach S. 250 zwei galvanische Ströme anziehende oder abstoßende Kräfte aufeinander ausüben, ist es möglich, mittels des Galvanismus auch in ausgedehnterem Maße Bewegungen zu erzeugen.

Die Lehre von derartigen, durch Elektrizität erzielten Bewegungen und damit auch Kraftleistungen heißt Elektrodynamik.

Auf Grund der im vorigen Kapitel, Abschnitt „Anziehung und Abstoßung von Stromleitern“ erwähnten elektrodynamischen Wechselwirkung, wonach zwei gekreuzte Stromleiter, die von galvanischen Strömen durchflossen werden, in parallele Stellung und zu gleicher Stromrichtung zu gelangen suchen, läßt sich ein elektrodynamischer Rotationsapparat herstellen, in welchem ein Stromleiter um einen andern, feststehenden von kreisförmiger Gestalt eine kreisende Bewegung ausführt.

Statt des feststehenden Kreisstroms läßt sich auch wegen der engen Beziehung zwischen elektrischen Strömen und Magnetismus ein Magnetpol verwenden, um den sich der Stromleiter dreht. Umgekehrt kann, wie es schon auf S. 254 beschrieben wurde, ein beweglicher Magnet um einen feststehenden Stromleiter in Bewegung gebracht werden.

Praktische Anwendung zur Erzeugung mechanischer Arbeitsleistungen finden die elektrodynamischen Motoren oder Elektromotoren, die als umgekehrt wirkende Dynamomaschinen aufgefaßt werden können und deren Einrichtung daher aus der nachfolgenden Beschreibung der letzteren zu entnehmen ist.

Dynamoelektrizität; Dynamomaschine. Von der umgekehrten Beschaffenheit wie die elektrodynamischen Erscheinungen sind die dynamoelektrischen: mechanische Arbeit dient bei ihnen zur Erzeugung elektrischer Ströme.

Eine dynamoelektrische Maschine oder kurz Dynamomaschine, auch schlechtweg Dynamo genannt, ähnelt in ihrer Einrichtung sehr einer magnetoelektrischen; der Unterschied zwischen beiden liegt darin, daß die dynamoelektrische Maschine nicht wie die magnetoelektrische einen im voraus vorhandenen Magnet, z. B. einen durch einen besonderen elektrischen Strom hergestellten Elektromagnet enthält, sondern daß der von der Maschine gelieferte Strom selbst zur Erzeugung eines Magnets benutzt wird.

Denken wir uns, daß in Abb. 140, welche eine Form der Dynamomaschinen schematisiert darstellt, NS und N_1S_1 zwei Elektromagnete sind, an deren Polen eiserne Armaturen M und M_1 angebracht sind, zwischen denen ein starker Eisenring R oder besser ein ringförmiges Bündel zahlreicher dünner Eisendrähne in Umdrehung (um die Achse A) versetzt werden kann. Der Ring ist von einem Drahtgewinde umgeben. — Er heißt der Grammesche Ring (erfunden 1868 von Pacinotti, für die technische Benutzung ausgebildet 1871 von Gramme). — Sobald man denselben — im Sinne des großen Pfeiles — dreht, werden die einzelnen Drahtwindungen gegen die Pole N und S_1 und die durch dieselben im Eisenkern des Ringes erzeugten entgegengesetzten Magnetpole verschoben; die Folge ist, daß die Windungen von einem elektrischen Strom durchflossen werden (Lenz'sche Regel, S. 257), dessen Richtung durch die kleinen Pfeile angedeutet ist; dieselbe ist auf der linken Hälfte des Ringes derjenigen auf der rechten entgegengesetzt.

Suchen wir diese Richtung für die obere Hälfte des Ringes festzustellen! — Den ganzen Eisenkern des Ringes können wir uns aus zwei Magneten — einem oberen und einem unteren — zusammengesetzt denken; beide haben ihren Nordpol auf der rechten Seite (gegenüber S_1), ihren Südpol auf der linken (gegenüber N). Die Lage beider Pole an sich (im Raume) bleibt bei der Drehung des

Ringes unverrückbar dieselbe, weil sie den festliegenden Polen N und S , der Elektromagnete NS und N_1S_1 ihre Entstehung verdanken; den sich drehenden Ring dagegen durchwandern die Pole, oder sagen wir: der Ring dreht sich über die Pole hinweg.

Nach der Ampèreschen Vorstellung von der Natur des Magnetismus können wir uns einen Magnet als einen Eisenstab vorstellen, den ein elektrischer Strom von solcher Richtung umfließt, daß — wenn wir in dem Strome mit demselben schwimmen und den Stab ansehen — der Nordpol sich linker Hand befindet; diese Richtung würde für den unteren Magnet durch den Pfeil p angegeben werden. Dem Nordpol dieses Magnets nähert sich nun die rechte

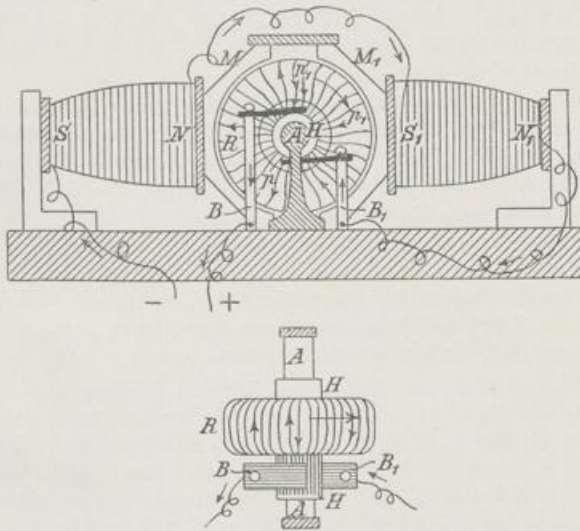


Abb. 140 a u. b. Dynamoelektrische Maschine.

Hälfte des den oberen Magnet umgebenden Drahtgewindes fortdauernd; nach der Lenzschen Regel muß daher in den Windungen derselben ein Strom von solcher Richtung erzeugt werden, daß er den den Magnetismus des unteren Magnets darstellenden Strom von der Richtung p abstoßen würde. Da aber entgegengesetzt gerichtete Ströme einander abstoßen, so muß die Richtung des in dem rechten oberen Viertel des Drahtgewindes erzeugten Stromes die entgegengesetzte von p sein; sie wird durch die Pfeile p_1 angegeben.

Die die linke Hälfte des oberen Magnets umgebenden Windungen entfernen sich von dem Südpol des unteren Magnets; daher muß der sie durchfließende Strom dem den Magnetismus darstellenden Strom von der Richtung p gleichgerichtet sein, d. h. so, wie es die Pfeile angeben.

In gleicher Weise, wie hier entwickelt, findet man die Richtung des Stromes in der unteren Hälfte des Ringes. —

An den beiden oben und unten befindlichen Punkten des Ringes, welche um 90° von den links und rechts befindlichen Polen entfernt liegen, also Indifferenzpunkte sind, fließen die Ströme der linken und rechten Hälfte des Drahtgewindes zusammen bzw. auseinander. Oben gehen sie auf die Speichen, welche sich zwischen dem Ringe und einem die Achse umgebenden Holzzylinder H ausspannen, über und von hier auf Metallstreifen des Holzzylinders selbst (siehe Abb. 140b, welche den Ring mit den zunächst daran sitzenden Teilen von oben gesehen zeigt). Der Holzzylinder H nebst Metallstreifen wird als Kollektor (Stromsammeler) oder Kommutator (Stromwender) bezeichnet. Über die Metallstreifen desselben schleift die aus einem Bündel von Kupferdrähten bestehende Bürste B , von welcher ein Leitungsdraht den (positiven) Strom fortführt. In die rechts befindliche Bürste B_1 tritt der Strom ein und geht auf die Windungen der unteren Hälfte des Ringes über und nach beiden Seiten auseinander, wie die Pfeile zeigen.

Hätten wir es nun mit einer magnetoelektrischen Maschine zu tun, so würde der an B_1 befindliche Leitungsdraht gleich dem an B befindlichen frei endigen. Bei der dynamoelektrischen Maschine sind aber die beiden Eisenkerne NS und N_1S_1 von diesem Drahte umwickelt, so daß der Strom des letzteren ihren Elektromagnetismus erzeugt. Die freien Enden des Drahtes sind durch $+$ und $-$ bezeichnet.

Nach dem Gesagten entsteht durch die bloße Umdrehung des Ringes: erstens in den Windungen des Ringes der bei $+$ austretende und bei $-$ eintretende positiv elektrische Strom, und dieser Strom ist es zugleich zweitens, welcher NS und N_1S_1 zu Elektromagneten macht.

Gegen diese Erklärung könnte der Einwand erhoben werden, daß die Magnete NS und N_1S_1 vorher vorhanden sein müssen, damit dann der das Drahtgewinde durchfließende Strom entstehe, daß man daher nicht erst mittels des letzteren Stromes die Magnete erzeugen könne. Allein es ist anzunehmen, daß in NS und N_1S_1 eine gewisse, wenn auch noch so geringe Menge von Magnetismus zurückgeblieben ist (remanenter Magnetismus); infolgedessen entsteht beim Drehen des Ringes in dem Stromleiter, sobald er geschlossen ist, zunächst ein schwacher Strom. Dieser verstärkt nun den Magnetismus der Pole N und S_1 und wird dadurch selbst wiederum stärker. So steigern sich gegenseitig Strom und Magnetismus bis zu einer Grenze hinauf, welche eintritt, wenn NS und N_1S_1 bis zur Sättigung magnetisiert sind.

In der Erzeugung des Elektromagnetismus (von NS und N_1S_1) durch den von der Maschine selbst gelieferten Strom besteht das von Werner Siemens 1851 (und gleichzeitig von Wheatstone) entdeckte elektrodynamische Prinzip, auf Grund dessen Siemens 1867 die erste Dynamomaschine konstruierte.

Die Elektromagnete NS und N_1S_1 , welche für den Grammeschen Ring das magnetische Feld liefern, werden Feldmagnet genannt; der Grammesche Ring selbst heißt der Anker. Dieser Name kommt (auch bei anders konstruierten Dynamomaschinen) stets demjenigen Elektromagnet zu, in dessen Windungen die Induktionsströme entstehen. Der Grammesche Ring wird seiner speziellen Form

und Einrichtung wegen als Ringanker bezeichnet. Andere Ankerarten sind der Trommelanker und der Scheibenanker.

Die Anordnung der Drahtwindungen in der vorstehend beschriebenen Dynamomaschine ist die sogenannte Reihenschaltung. Bei ihr folgen einfach die Ankerwindungen, die Windungen des Feldmagnets oder Schenkelwindungen und die äußere Drahtleitung hintereinander oder: die Schenkelwindungen sind in den Hauptstromkreis eingeschaltet. Eine andere Schaltungsart ist die Parallelschaltung oder Nebenschlußschaltung, bei der die Schenkelwindungen im Nebenschluß zur äußeren Leitung liegen. Sie vermeidet den Nachteil der Reihenschaltung, daß, wenn der Widerstand der äußeren Leitung wächst, eine Abnahme der Stromstärke im ganzen unverzweigten Stromkreise, also auch in den Schenkelwindungen stattfindet und damit (wegen der Schwächung des Feldmagnets) die induzierte elektromotorische Kraft herabgemindert wird. Eine Maschine mit gemischter Bewicklung ist die Compoundmaschine, bei der ein Teil der Schenkelbewicklung aus wenig Windungen eines dicken Drahtes (für Reihenschaltung) und der andere Teil aus zahlreichen Windungen eines dünnen Drahtes (für Nebenschlußschaltung) besteht. Werden beide Teile der Bewicklung passend abgeglichen, so ist die elektromotorische Kraft und damit die Klemmenspannung oder Potentialdifferenz der Polklemmen innerhalb der vorkommenden Grenzen des äußeren Widerstandes unabhängig von diesem, die Maschine daher als Gleichspannungsmaschine zu bezeichnen.

Während die dynamoelektrische Maschine, wenn sie auf die zuvor beschriebene Art in Betrieb gesetzt wird, auf Kosten mechanischer Arbeit einen elektrischen Strom liefert, der zu verschiedenen Zwecken, z. B. zur Speisung elektrischer Lampen, benutzt werden kann, vermag sie auch die umgekehrte Tätigkeit zu entfalten, d. h. auf Kosten eines elektrischen Stromes mechanische Arbeit zu leisten. Wird nämlich durch den bei $+$ und $-$ endigenden Draht ein elektrischer Strom geschickt, so erzeugt derselbe Magnetpole im Eisen, und zwar gleichnamige in den einander nahestehenden Teilen des Ringes und des Magnets; dieselben stoßen sich ab, und es wird so eine Umdrehung des Ringes bewirkt. Schlägt der positive Strom die in der Abbildung angegebene Richtung ein, so dreht sich der Ring in umgekehrter Richtung, als es der große Pfeil anzeigt. Von der Achse des Ringes aus kann durch einen Treibriemen die drehende Bewegung auf die Achse eines Schwungrades usw. übertragen werden.

Eine derartig wirkende elektrische Maschine ist nichts anderes als der bereits im vorigen Abschnitt erwähnte elektrodynamische Motor oder Elektromotor.

Wendet man zwei dynamoelektrische Maschinen an, so kann man eine Übertragung von Kraft auf weite Strecken ins Werk setzen. Es liefert dann die eine Maschine (der Dynamo) den Strom; daher wird sie auch Stromerzeuger oder Generator genannt. Von ihr wird der Strom durch eine Drahtleitung zu der andern Maschine (dem Stromempfänger), die als Elektromotor wirkt, befördert. Doch kann ein Elektromotor auch durch eine andere elektrische Kraftquelle, z. B. eine Akkumulatorbatterie, in Tätigkeit versetzt werden.

Bei der elektrischen Eisenbahn liefern in einer Zentralstation Dynamomaschinen von bedeutender Dimension den Strom, der zu den unter dem Wagen

angebrachten Elektromotoren führt, von hier in die Räder geht und die Schienen entlang zur Zentralstation zurückkehrt. Die Zuführung des Stromes zu den Elektromotoren des Wagens ist entweder oberirdisch oder unterirdisch. Die oberirdische Stromzuführung geschieht durch einen kupfernen Leitungsdraht, an dem die auf dem Verdeck des Wagens angebrachte Kontaktstange entlanggleitet; bei der unterirdischen Stromzuführung befindet sich unter der einen Schiene, welche zerschlitzt ist, ein Kanal, in dem der Länge nach eine metallische Leitung angelegt ist. In diesen Kanal reicht durch den Schienenschlitz eine unten am Wagen befestigte Kontaktstange hinein. Die Übertragung der Umdrehung der Motoren auf die Wagenräder geschieht durch Zahnräder. Durch eine am Vorderteil des Wagens befindliche Kurbel vermag der Wagenführer verschieden starke Widerstände in den Stromkreis einzuschalten und so die Fahrgeschwindigkeit zu regulieren oder durch Unterbrechung des Stroms den Wagen anzuhalten. (Werner Siemens ließ die erste elektrische Bahn 1879 durch die Firma Siemens & Halske erbauen.)

Wechselströme und Drehströme. Der Grammesche Ring liefert in der oben beschriebenen Beschaffenheit einen elektrischen Gleichstrom. Doch kann man bei einer Änderung der Stromabnahme auch Wechselströme von ihm erhalten. Diese Änderung besteht darin, daß der Kollektor oder Kommutator weggelassen wird und statt seiner zwei voneinander isolierte Metallringe mit der Maschine verbunden werden, auf denen die Bürsten schleifen. Aber noch ein weiterer Unterschied ist zwischen der Wechselstrommaschine und der Gleichstrommaschine vorhanden. Da nämlich bei ersterer der in die Leitung gehende Strom wegen seines fortwährenden Richtungswechsels nicht zur Erregung des Magnetfeldes benutzt werden kann, so dient hierzu eine besondere, Gleichstrom erzeugende kleine Strommaschine als Beihilfe, oder die Wechselstrommaschine selbst ist mit einer solchen Erregungsmaschine zu einem Ganzen verbunden. Eine andere Anordnung der Wechselstrommaschine beruht darauf, daß der Anker unbeweglich bleibt und das Magnetfeld in Rotation versetzt wird, so daß der Strom ohne Anwendung von Schleifbürsten unmittelbar in die feststehenden Klemmen der Maschine und von da in den äußeren Stromkreis übergeführt werden kann. Gewöhnlich wird das magnetische Feld durch zwei Reihen kreisförmig angeordneter, an zwei vertikalen Gestellen befestigter, einander mit entgegengesetzten Polen gegenüberstehender Magnete gebildet, zwischen denen eine Reihe entsprechend angeordneter flacher Drahtspulen als Anker rotiert. Da die Wechselstrommaschinen hochgespannte Ströme liefern, die sich für bedeutende Energieübertragung mit geringer Stromstärke durch dünne und folglich verhältnismäßig billige Leitungen auf weite Entfernungen führen lassen, so hat in neuerer Zeit die Benutzung dieser Maschinen einen bedeutenden Aufschwung erfahren, wobei besonders die Anwendung von Transformatoren (vgl. S. 250) in Frage kommt.

Eine Kombination mehrerer Wechselströme wird als Mehrphasenstrom bezeichnet. Derselbe verbindet den Vorteil des Wechselstroms, auf größere Entfernungen fortgeleitet werden zu können, mit der Fähigkeit des Gleichstroms, Motoren in bequemer Weise zu betreiben. Der Dreiphasenstrom oder Drehstrom kommt dadurch zustande, daß an die Wicklung des Ringes an drei gleichweit, also 120° , voneinander entfernten Stellen Drahtzweige angeschlossen und

die Enden derselben mit drei auf der Achse isoliert befestigten Metallringen verbunden werden, an denen drei gesonderte Metallstreifen entlangschleifen. Durch diese treten dann Wechselströme aus, die in den zu gleicher Zeit vorhandenen Stromphasen (die durch die Stromstärke und das Vorzeichen des Stromes — positiv oder negativ — bestimmt sind) fortwährend verschieden, im ganzen genommen aber gleich sind. Wenn diese drei Wechselströme in dreifacher Leitung nebeneinander fließen und die Leitungen in derselben Weise miteinander in Verbindung gesetzt werden, wie dies zum Zwecke der Anbringung einer gemeinsamen Rückleitung geschehen müßte (Dreieckschaltung oder Sternschaltung), so resultiert ein Dreiphasenstrom, der (bei der genannten Stromverkettung) als Drehstrom bezeichnet wird.

Thermo- und Pyroelektrizität. Es seien am Schlusse dieses Kapitels noch zwei besondere Arten der Entstehung von Elektrizität angeführt. Erstens entsteht ein elektrischer Strom in einer aus lauter Leitern erster Klasse (Metallen) zusammengesetzten geschlossenen Kette, wenn eine der Berührungsstellen (Lötstellen) erwärmt wird: Thermoelektrizität (Seebeck, 1821). Beim Abkühlen der gleichen Lötstelle entsteht ein umgekehrt gerichteter Strom. Wird durch zwei zusammengelötete Metalle ein elektrischer Strom geleitet, so erzeugt derselbe an der Lötstelle — je nach seiner Richtung — Erwärmung oder Abkühlung, und zwar nach dem Gesetz, daß die thermische Wirkung derartig ist, daß sie selbst einen entgegengesetzt gerichteten Strom hervorrufen würde, also schwächend auf den erzeugenden Strom zurückwirkt. Diese Erscheinung heißt der Peltier-Effekt (Peltier, 1834). — Verbindung mehrerer aus Wismut und Antimon bestehender Thermo-elemente zu einer thermoelektrischen Säule, Thermosäule oder Thermobatterie durch Nobili und Melloni (1830) und Verwendung derselben, verbunden mit einem Galvanometer, zu empfindlichen Wärmemessungen. Die Verbindung von Thermosäule und Galvanometer wird Thermomultiplikator genannt. (Das Bolometer von Langley, das ebenfalls zu Wärmemessungen benutzt wird, ist ein Draht aus Platin oder Eisen, der unter dem Einfluß einer Wärmestrahlung seinen elektrischen Widerstand ändert.)

Die zweite, hier zu nennende Art der Entstehung von Elektrizität zeigt sich an einer Anzahl von Kristallen, welche erwärmt oder abgekühlt, gedrückt, zerbrochen oder gespalten werden. Man bezeichnet sie als Pyroelektrizität; besser ist indessen der Name „Kristallelektrizität“, da, wie gesagt, nicht nur die Wärme, sondern auch der Druck usw. die elektrischen Erscheinungen an Kristallen hervorruft.

Hauptsächlich haben Kristalle mit hemiedrischen Flächen (z. B. Boracit, Quarz, Turmalin) die Eigenschaft, wenn sie gedrückt werden, an gewissen Flächen, Kanten oder Ecken positive, an anderen negative elektrische Ladung anzunehmen. Bei Abnahme des Druckes tritt da, wo vorher positive Ladung geherrscht hatte, negative Ladung auf.

Beim Erwärmen der gekennzeichneten Kristalle ist die auftretende Elektrizität gleicher Art wie bei der Druckabnahme, beim Abkühlen gleicher Art wie bei der Druckzunahme.

16. Elektrische Wellen und Strahlen und Radioaktivität.

Kathodenstrahlen. Wenn eine Geißlersche Röhre (vgl. S. 240) derartig geformt ist, daß innerhalb derselben zwischen Anode und Kathode kein geradliniger Übergang möglich ist, so biegt sich beim Durchgange der elektrischen Entladung durch die Röhre das von der Kathode ausgehende Licht nach der Anode hinüber. Dies zeigt Abb. 141, wo der bei *K* befindliche metallene Hohlspiegel die Kathode und einer der drei bei *A*₁, *A*₂ oder *A*₃ eingeschmolzenen Platindrähte die Anode ist.

Wird nun die Luftverdünnung in der Röhre noch weiter getrieben, als es nach Geißlerschem Verfahren geschieht, und zwar noch unter 1 mm Spannung

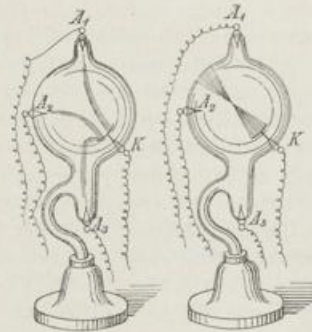


Abb. 141. Geißlersche Röhre. Abb. 142. Crookesche Röhre.

oder Druck, so gehen schließlich von der Kathode Strahlen aus, die sich, wie Abb. 142 zeigt, nicht mehr krümmen und daher nicht mehr behufs des elektrischen Ausgleichs die Anode aufsuchen, sondern geradlinig verlaufen. Diese Strahlen heißen Kathodenstrahlen; Röhren mit solcher Luftverdünnung, daß Kathodenstrahlen darin auftreten, werden Crookesche oder Hittorfsche Röhren genannt. (Hittorf, 1869; Crookes, 1879.)

Die Kathodenstrahlen sind an sich dunkel, was daran liegt, daß sie die Luft in der Crookeschen Röhre in keiner Weise so beeinflussen, daß — wie bei einem Lichtstrahl — von den Teilchen der Luft seitliche Lichtwirkungen ausgehen. Wo sie aber die Glaswand der Röhre treffen, erzeugen sie einen hellleuchtenden (gelbgrünen) Fluoreszenzfleck. Auch auf andere fluoreszenzfähige Substanzen (Bariumplatinocyanür, Schwefelcalcium, Flußspat usw.) wirken sie lichterregend. Hinter einem Metallblech, einer Glimmerplatte usw. unterbleibt das Leuchten, so daß also eine Schattenbildung stattfindet.

Ein der Röhre genäherter Magnet bewirkt eine Ablenkung der Kathodenstrahlen aus ihrer Richtung und damit eine Ortsveränderung des Fluoreszenzflecks. Bei geeigneter Versuchsanordnung tritt dabei zugleich eine Verbreiterung des

Fluoreszenzflecks sowie eine Zerlegung desselben in mehrere verwaschene Bestandteile auf, die in ihrer Gesamtheit gewissermaßen ein Spektrum vorstellen. Hiernach gibt es verschiedene Arten von Kathodenstrahlen, auf die der Magnet in verschieden hohem Grade ablenkend wirkt. (Birkeland, 1896.) Nach Goldstein besitzt eine Art der Kathodenstrahlen überhaupt keine magnetische Ablenkbarkeit.

Weitere Eigenschaften der Kathodenstrahlen sind: Die Herstellung elektrischer Leitfähigkeit von Luft oder anderen Gasen, die von den Kathodenstrahlen getroffen werden; diese Wirkung wird als Ionisierung der Gase bezeichnet, da man sie auf das Auftreten freier Ionen zurückführt, wie sie Arrhenius in den Elektrolyten annimmt (vgl. S. 233). — Die Bewegung kleiner Körper (Flügelrädchen), auf welche die Kathodenstrahlen fallen. — Die Erwärmung der getroffenen Körper. — Die Färbung von Salzen (Kochsalz, Chlorkalium usw.) bei längerer Einwirkung.

Setzt man in die Glaswand einer Crookeschen Entladungsröhre ein kleines, dünnes Plättchen aus Aluminium, ein sogenanntes Aluminiumfenster, ein, so treten die Kathodenstrahlen aus dem luftverdünnten Raum der Röhre in die Atmosphäre aus und zeigen hier neue Eigenschaften, die Philipp Lenard (1894) genauer untersucht hat. Man hielt sie infolgedessen für eine besondere Art von Strahlen und hat sie als Lenardsche Strahlen bezeichnet. Dieselben erregen nicht nur aufs neue Fluoreszenz, sobald sie auf fluoreszenzfähige Körper treffen, unter denen sich vor allem das Bariumplatincyanür auszeichnet, sondern sie vermögen auch auf eine photographisch empfindliche Silberplatte einzuwirken.

Röntgenstrahlen. Aber nicht nur durch ein Aluminiumfenster, sondern auch direkt durch die Glaswand der Crookeschen Röhre kann ein Teil der Kathodenstrahlen in die freie Atmosphäre gelangen, wenn die Luftverdünnung in der Röhre weit genug getrieben und die in ihr sich vollziehende elektrische Entladung stark genug ist. Es treten dann an den in die Atmosphäre eindringenden Strahlen die schon an den Lenardschen Strahlen beobachteten Eigenschaften noch deutlicher und ausgeprägter hervor, Eigenschaften, die Röntgen (1895) nicht nur genauer studiert und weiter verfolgt, sondern auch praktisch ausgenutzt hat. Er bediente sich zur Erzeugung der Strahlen, die er selbst X-Strahlen genannt hat, die man aber jetzt allgemein als Röntgenstrahlen bezeichnet, eines Ruhmkorffschen Induktors, dessen Entladungen er durch eine Crookesche Röhre gehen ließ. Doch entstehen die Strahlen auch bei Anwendung einer Influenz-Elektriermaschine.

Die Haupteigenschaften der Röntgenstrahlen sind: ihre geradlinige Ausbreitung; ihre Fähigkeit, in fluoreszenzfähigen Körpern Fluoreszenz zu erregen; ihre starke Einwirkung auf photographisch empfindliche Platten und Papiere; die Ionisierung der Luft (Hervorrufung ihrer elektrischen Leitfähigkeit); die Färbung von Salzen; ihre physiologische Wirkung (Entzündung der menschlichen Haut); ihre Nichtablenkbarkeit durch den Magnet (innerhalb der unverdünnten Atmosphäre); ihre Eigentümlichkeit, einen Körper um so besser zu durchdringen, je spezifisch leichter oder mit andern Worten: je weniger dicht derselbe ist (also z. B. Holz, Leder, die Fleischteile des menschlichen Körpers leichter als Glas, Knochen und Metalle).

Infolge der letztgenannten Eigenschaft der Röntgenstrahlen, in Verbindung mit ihrer photographischen Wirksamkeit, gelingt es, eigenartige Bilder von Gegenständen herzustellen, die das Innere der letzteren erkennen lassen. Man hat diese Bilder Röntgensche Photographien, das Darstellungsverfahren derselben Radiographie genannt.

Die Röntgenschen Photographien sind keine Photographien im gewöhnlichen Sinne, d. h. sie bieten keine Oberflächenansichten der Gegenstände dar, sondern es sind Schattenbilder (Silhouetten) der letzteren, die auf Grund der Durchstrahlung der Gegenstände durch die Röntgenstrahlen die inneren Dichtigkeits-Verhältnisse der Gegenstände zur Anschauung bringen. Ein Beispiel möge dies klar machen. Abb. 143 zeigt die Versuchsanordnung, wie sie bei der Radiographie üblich ist.

Das Stativ *S* trägt einestheils die Crookesche oder Hittorfsche Röhre *H*, andernteils (oben) die zu den Elektroden der Röhre (*K* und *A*) führenden elek-

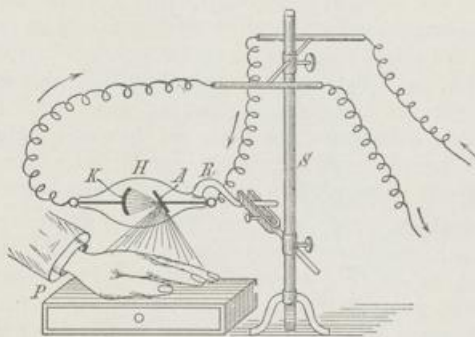


Abb. 143. Photographie mit Röntgenstrahlen.

trischen Leitungsdrähte. Die Richtung des positiven Stromes deuten die Pfeile an. Die Röhre ist eine sogenannte Fokusröhre, auch Röntgenröhre genannt; in einer solchen stellt die Kathode (*K*) einen kleinen Hohlspiegel dar, der die von ihm ausgehenden Kathodenstrahlen in einen Fokus oder Brennpunkt sammelt; letzterer fällt auf die als Anode dienende ebene Platinplatte *A*, die unter einem Winkel von 45° zur Längsachse der Röhre geneigt ist, so daß sie das auf sie fallende Bündel von Kathodenstrahlen (im Mittel) senkrecht nach unten reflektiert. Das Ansatzrohr *R* dient beim Auspumpen der Luft aus der Röhre zur Verbindung mit dem Rezipienten der Luftpumpe, späterhin zur Befestigung der Röhre, wie die Abbildung zeigt. Unter die Crookesche Röhre wird ein die photographisch empfindliche Platte enthaltender Kasten (*P*) gestellt und zwischen diesen und die Crookesche Röhre wird der zu radiographierende Gegenstand — in der Abbildung eine menschliche Hand — gebracht.

Geht nun die elektrische Entladung in der Röhre vor sich, so durchsetzen die nach unten austretenden Röntgenstrahlen die Fleishteile der Hand leichter

als die Knochen, und es entsteht, nachdem sie auch durch das Holz des Kastens *P* leicht hindurchgegangen sind, auf der photographischen Platte in *P* ein Bild (Negativ), welches die Knochen hell, die Fleischteile dunkel wiedergibt. Stellt man mittels dieses Negativs nach gewöhnlichem photographischen Verfahren ein Positiv her, so zeigt dies umgekehrt die Knochen dunkel, die Fleischteile hell — also gewissermaßen eine Schattenphotographie des Skeletts.

Mittels der Radiographie lassen sich Knochenverletzungen, sowie metallene Fremdkörper (Geschosse, Nadeln usw.), die in den menschlichen Körper eingedrungen sind, erkennen. Sie ist daher von Bedeutung für die Medizin, insbesondere die Chirurgie. Man ist ferner in stande, mit Hilfe der Radiographie gewisse Verfälschungen von Nahrungsmitteln nachzuweisen, manche Edelsteine von ihren Imitationen zu unterscheiden, sowie den Inhalt von Koffern u. dgl. zu prüfen.

Zu derartigen Untersuchungen kann man sich auch eines Fluoreszenzschirmes, d. h. eines mit Bariumplatincyänür bestrichenen Blattes Kartonpapier, bedienen; läßt man auf diesen Schirm die Röntgenstrahlen fallen, während zwischen Schirm und Röntgenröhre der zu untersuchende Gegenstand, z. B. die menschliche Hand, gehalten wird, so erscheint auf dem erhellten Schirm das (positive) Schattenbild des Gegenstandes.

Nach G. v. Metz (1897) stellt sich die magnetische Ablenkbarkeit der Röntgenstrahlen (deren Fehlen den Hauptunterschied zwischen Röntgen- und Kathodenstrahlen bildet) in dem Falle ein, daß die von einer Crookeschen Entladungsröhre ausgehenden Röntgenstrahlen in eine ebenfalls luftverdünnte Röhre, die an die Crookesche Röhre angeschmolzen ist, eintreten.

Radiumstrahlen; Radioaktivität. Der Radiumstrahlen ist bereits auf S. 151 in dem Abschnitt „Lumineszenz“ Erwähnung getan. Sie wurden, wie dort ebenfalls angeführt, zuerst i. J. 1896 von Becquerel an gewissen Uranverbindungen beobachtet, die aus der Joachimstaler Pechblende hergestellt waren. Curie und Frau wiesen aber dann (1898) nach, daß der darin wirksame Bestandteil nicht das Uran, sondern das von ihnen entdeckte Element Radium sei. Die Eigenschaft desselben, ähnliche Wirkungen wie die Röntgenstrahlen, aber ohne vorhergehende Energiezufuhr (durch Elektrizität oder Licht), sondern aus sich selbst — dauernd — hervorzubringen, nannte Becquerel Radioaktivität. Sie kommt auch Verbindungen des Radiums, wie dem Radiumchlorid, Radiumbromid usw. zu. Daß das Uran und ferner die von dem Ehepaar Curie entdeckten Elemente Polonium und Aktinium ebenfalls radioaktiv sind, kann vielleicht auf ihre Berührung mit dem Radium in dem Erz, woraus sie gewonnen wurden, zurückzuführen sein, da die Radioaktivität eines Körpers durch Berührung oder Annäherung einem andern Körper (wenn auch nicht dauernd) induziert werden kann.

Der sogenannte Radiumstab ist ein Stahlstab, der an dem einen Ende einen etwas ausgehöhlten Hartgummikopf besitzt, in welchem sich ein Radiumpräparat befindet. Folgende Eigenschaften lassen sich daran beobachten: 1. Selbständiges Leuchten des Radiumpräparates im Dunkeln; es geht dabei ein Lichtnebel von dem Radium aus (Koronastrahlen). 2. Aufleuchten fluoreszierender Substanzen, denen der Radiumstab genähert wird, z. B. Bariumplatincyänür, dgl. Diamant.

3. Durchleuchtung von Gegenständen, so daß auf einem Fluoreszenzschirm Schattenbilder derselben ähnlich den Röntgenschen entstehen. 4. Wirkung auf die photographische Platte. 5. Ionisierung der Luft (Entladung eines Elektroskops, Funktionierung einer vorher untätigen Funkenstrecke). 6. Färbung von Salzen (bei wochenlanger Einwirkung der Radiumstrahlen). 7. Verwandlung des in der Luft enthaltenen Elementes Argon in das auf der Sonne entdeckte Element Helium. 8. Wärmeentwicklung (Radiumpräparate sind um etwa $1\frac{1}{2}^{\circ}$ wärmer als ihre Umgebung). 9. Physiologische Wirkungen: Verwelken von Pflanzenteilen, Entwicklungshemmung kleiner Tiere, Entzündungen der menschlichen Haut.

Bezüglich der Natur der Kathoden-, Röntgen- und Radiumstrahlen neigt man sich der Ansicht zu, daß sie nicht wie das Licht und die Wärme eine besondere Form der Wellenbewegung des Äthers sind, sondern in Stoffteilchen von außerordentlicher Kleinheit — Elektronen — bestehen, die mit

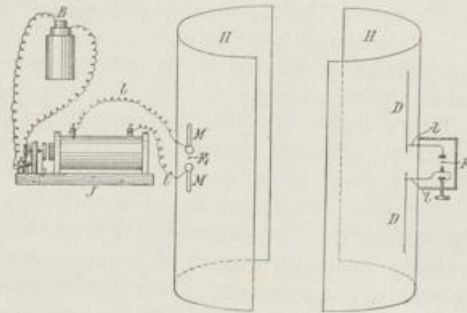


Abb. 144. Strahlen elektrischer Kraft. (Hertz'sches Hauptexperiment.)

großer Kraft und Geschwindigkeit in den Raum hinausgeschleudert werden. Die Geschwindigkeit der von dem Radium abgesandten Elektronen hat Becquerel auf 160000 km pro Sekunde, d. h. etwa gleich der halben Lichtgeschwindigkeit, berechnet.

Strahlen elektrischer Kraft. Besondere elektrische Strahlen sind aber die von Heinrich Hertz i. J. 1888 entdeckten Strahlen, die auf folgende Art ihre Wirksamkeit entfalten.

In Abb. 144 bedeuten *MM* zwei mit kugelförmigen Enden versehene Messingzylinder, zwischen denen sich eine Funkenstrecke (F_1) von ungefähr 3 mm Länge befindet. Letztere wird durch einen Ruhmkorff'schen Induktor (*J*) hervorgerufen, den eine galvanische Batterie (*B*) speist. Die Leitungsdrähte (*ll*) des Induktors durchsetzen einen metallenen Hohlspiegel (*H*) mit parabolischem Querschnitt, in dessen Brennpunkt die erwähnte Funkenstrecke (F_1) gebracht wird. Diesem Hohlspiegel steht ein zweiter völlig gleicher gegenüber, in dessen Brennpunkt sich zwei Drahtstücke (*DD*) mit etwa 5 cm Abstand befinden, von denen aus, ebenfalls den Hohlspiegel durchsetzend, zwei Leitungsdrähte (*ll*) zu einer zweiten oder sekundären Funkenstrecke (F_2) führen.

Wird nun die primäre Funkenstrecke (F_1) durch den Induktor in Tätigkeit versetzt, so werden auch in der sekundären Funkenstrecke (F_2) Funken hervorgerufen. Der Übergang der Entladungen innerhalb der primären Funkenstrecke auf die Drahtstücke DD kann nach der gesamten Anordnung des Versuchs nicht anders erfolgen als durch eine Wellenbewegung, die von der primären Funkenstrecke ausgeht und deren Strahlen auf den linken Hohlspiegel fallen, von diesem in paralleler Richtung (weil sie von der Brennlinie ausgehen — vgl. S. 127) reflektiert werden, nun auf den rechten Hohlspiegel fallen und von diesem nach der Brennlinie reflektiert werden, wo sie die Drahtstücke DD elektrisch erregen und damit zur Funkenbildung innerhalb der sekundären Funkenstrecke (F_2) Veranlassung geben.

Die Wirksamkeit der zwischen den beiden Hohlspiegeln übergehenden Strahlen erstreckt sich bis zu einer Entfernung von 16 bis 20 m, welche man den Hohlspiegeln voneinander geben kann.

Metalle sowie der menschliche Körper sind für die elektrischen Strahlen undurchlässig; durchlässig dagegen sind Holz, Glas, Paraffin, Schwefel, kurz: Isolatoren.

Außer der Reflexion der elektrischen Strahlen (an Metallflächen) wurde auch ihre Brechbarkeit (in Prismen aus Pech), ihre Interferenz- und Beugungsfähigkeit sowie ihre Polarisierbarkeit (mit Hilfe von Drahtgittern) festgestellt.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Wellen beträgt etwa 300000 km = 40000 Meilen pro Sekunde; sie ist somit gleich der des Lichtes.

Teslas Licht. Während Hertz mit außerordentlich raschen Oszillationen experimentierte, stellte Tesla Versuche mit elektrischen Schwingungen an, bei denen die Schwingungsdauer etwas kleiner, aber immer noch bedeutend, die elektrische Spannung jedoch viel höher war.

Es geschah das auf die Weise, daß durch eine starke Elektrizitätsquelle, z. B. einen großen Ruhmkorffschen Induktor, zwei große Leydener Flaschen geladen wurden, deren in raschen Oszillationen (in 1 Sekunde bis zu 1 Million) bestehende Entladungen durch eine primäre Induktionsspirale von sehr geringem Widerstande geschickt wurden. Dadurch entstanden in dieser Wechselströme von großer Frequenz (oder Schwingungszahl) und verhältnismäßig großer Stromstärke; die Unterbrechungsvorrichtung, wie sie sonst der Funkeninduktor besitzt, kam bei dieser Spirale in Wegfall. Um die primäre Spirale war eine sekundäre Spirale gewickelt, die aus äußerst zahlreichen Windungen eines dünnen (gut isolierten) Drahtes bestand. Die in dieser Spirale erzeugten Induktionsströme besaßen eine große Frequenz und vor allem eine außerordentlich hohe Spannung (weil eben der primäre Strom in so kurzer Zeit seine Stärke und Richtung änderte). Der so beschaffene Induktionsapparat bildete einen Transformator (vgl. S. 250).

Die auffallendsten Erscheinungen, die diese hochgespannte Elektrizität darbietet, sind Lichterscheinungen. Nähert man z. B. die Pole der sekundären Spirale des Transformators einander und bläst einen Luftstrom gegen den Zwischenraum, so bildet sich in diesem ein Flammenstrom, der aus dünnen und dicken, silberglänzenden Fäden besteht und gewissermaßen ein Netzwerk von elektrischen Funken darstellt. Befestigt man an einem Pole einen langen Draht, der am Ende isoliert ist, so schießen aus ihm seiner ganzen Länge nach senkrecht

zu ihm gerichtete bläuliche Strahlen hervor. Nähert man einem Pole eine Geißler'sche Röhre, ohne beide miteinander in Berührung zu bringen, so leuchtet die Röhre hell auf. Die physiologische Wirkung der Teslaströme ist gering, weil der Wechsel der Stromrichtung zu rasch erfolgt und jeder einzelne Induktionsstoß von zu kurzer Dauer ist.

Wahrscheinlich dringen die raschen Schwingungen gar nicht in das Innere der Leiter ein, sondern umfließen sie nur. Ja, die Annahme liegt nahe, daß die Elektrizität überhaupt nicht in den Leitern strömt, sondern an ihnen entlang, in den Isolatoren; läßt doch nach den Hertz'schen Versuchen (vgl. den vorigen Abschnitt) ein Metallschirm die elektrischen Strahlen bzw. Wellen nicht hindurch, wohl aber ein Gegenstand aus Holz, Glas usw. Ein leitender Metalldraht leitet hiernach die Elektrizität nur insofern, als er sie zwingt, an seiner Oberfläche zu bleiben und sich nicht zu zerstreuen. Die Elektrizität staut sich längs des Drahtes und fließt an ihm dahin, vielleicht, indem sie kreisende Bewegungen um ihn ausführt.

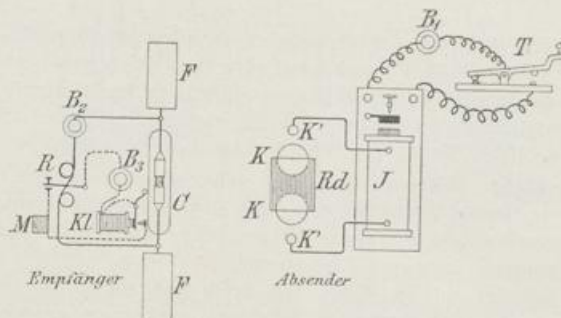


Abb. 145. Telegraphie ohne Draht.

Telegraphie ohne Draht oder Funkentelegraphie. Durch geeignete Verwendung der elektrischen Wellen gelingt es, ohne Anwendung eines Leitungsdrahtes bestimmte Zeichen von Ort zu Ort zu übertragen: zu telegraphieren. (Marconi, 1897.) Der hierbei zur Verwendung kommende Apparat besteht aus einem Absender und einem Empfänger (vgl. Abb. 145). Ersterer enthält als wichtigsten Bestandteil den Radiator (Rd), von dem die elektrischen Strahlen bzw. Wellen ihren Ausgang nehmen. Der Radiator besteht aus zwei zum Teil in einem Vaselinebade steckenden Metallkugeln (KK), denen zwei kleinere Metallkugeln ($K'K'$) gegenüberstehen. Die letzteren sind mit den Polen eines Induktors (J) verbunden, der durch die Batterie B , in Tätigkeit versetzt wird, sobald der in die Batterieleitung eingeschaltete Taster T niedergedrückt und dadurch der Strom geschlossen wird. Wenn dies geschieht, verbreiten sich die von den Funkenstrecken $KK'—KK'$ des Radiators ausgehenden Wellen durch die Luft und treffen auf den sogenannten Kohärer (C), einen eigenartigen Bestandteil des Empfängers, erfunden von Branly i. J. 1890. Derselbe ist eine Glasröhre, in die von beiden Enden her sogenannte Polschuhe (kleine Silberzylinder) eingesetzt sind, zwischen

denen sich ein Gemisch aus Nickel- und Silberfeilspänen nebst einer Spur Quecksilber befindet. Außen tragen die Poldröhte des Kohärrers zwei Kupferblechstreifen, die Flügel (*FF*), welche ein besseres Auffangen der vom Absender kommenden elektrischen Wellen bewirken. Die Poldröhte des Kohärrers führen nun zu einer galvanischen Batterie (*B₂*), in deren Stromkreis ein Relais (*R* — vgl. S. 256) eingeschaltet ist. Für gewöhnlich ist dieser Stromkreis nicht geschlossen, da das Metallfeilicht des Kohärrers eine Unterbrechung herstellt. Sobald aber elektrische Wellen auf den Kohärer treffen, ordnen sich die Feilspäne derartig, daß ihr Widerstand verringert und der Strom geschlossen wird. Alsdann wird vermittelst des Relais ein zweiter Stromkreis des Empfängers, der von der Batterie *B₃* ausgeht und in den ein Morsescher Schreibapparat (*M*) eingeschaltet ist, geschlossen, so daß dieser in entsprechender Weise, wie der Taster *T* niedergedrückt und losgelassen wird, die bekannnten telegraphischen Schriftzeichen produziert. Da nun die Metallfeilspäne des Kohärrers, nachdem sie sich durch den Einfluß der vom Radiator kommenden elektrischen Wellen geordnet haben, nicht von selbst wieder durcheinander fallen, wird dies durch den sogenannten Klopfer (*KI*) bewerkstelligt, einen kleinen, in die Strombahn der Batterie *B₃* eingeschalteten Elektromagnet, dessen Anker mit einem Hämmerchen versehen ist, welches bei jedem Stromschluß an den Kohärer schlägt.

Die Aussendung der Schwingungen wird dadurch gefördert, daß man an dem einen Pol der Funkenstrecke einen langen in die Luft emporragenden Draht, die sogenannte Antenne, befestigt.

Sachregister.

(Die beigeetzten Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.)

- Abdampfen 23.
Absorption 20; des Lichtes 122.
Absorptionsspektrum 153.
Abstoßende Kraft 13.
Abstoßung, elektrische 201; magnetische 218; von elektrischen Stromleitern 250.
Achromatische (Doppel-)Linse 139. 149.
Achse, Kristall- 25; magnetische 217; optische 30. 159.
Adhäsion 13. 16. 18; A. und spez. Gew. 82.
Adiatherman 195.
Adsorption 20.
Aggregatzustände 13; Änderung derselben 175.
Agone 222.
Akkommodation des Auges 143. 144.
Akkumulator 229.
Aktion und Reaktion, Prinzip der Gleichheit beider 48.
Akustik 112.
Alkoholometer 81.
Aluminiumfenster 267.
Amalgam, Kienmayersches 210.
Amalgamieren 19.
Amorph 21.
Ampère (Maßeinheit) 243.
Ampèresche Regel 241.
Ampères Theorie des Magnetismus 252.
Ampère-Ströme 165.
Amplitude der Oszillation 65. 117.
Analysator 162.
Analysierende Vorrichtung 161.
Anelektrisch 200.
Aneroidbarometer 94.
Anion 231.
Anisotropie des Auges 144.
Anisotrop 22. 32. 159.
Anker eines Magnets 219; einer Dynamomaschine 262.
Anode 231.
Antenne 273.
Anziehung, elektrische 201; magnetische 218; von Eisenspänen durch einen elektrischen Strom 253; von elektrischen Stromleitern 250.
Anziehungskraft (der Erde) 10.
Äquivalent, mechanisches, der Wärme 197.
Aräometer 79.
Arbeit 47; elektrische 244; Erhaltung der Arbeit 199; Maß der Arbeit 47; Maß der elektrischen Arbeit 245.
Arbeitseffekt 48. 245.
Arbeitsstärke 48.
Archimedisches Prinzip 73. 105.
Armatür, Armierung, magnetische 219.
Artesischer Brunnen 69. [260.
Astatiche Nadel 241.
Asymmetrisches Kohlenstoffatom 164.
Asymmetrisches System 29.
Äther, Welt- oder Licht- 119; -Stöße 13.
Atherman 195.
Atmosphärendruck 92.
Atmosphärische Dampfmaschine 188; atm. Elektrizität 217.
Atom 9.
Atomwärme 193.
Attraktion 10.
Atwoodsche Fallmaschine 36.
Auflösung 19.
Aufschwemmen 20.
Auftrieb in Flüssigkeiten 72; in Luft 105.
Auge 141.
Ausdehnung 1. 7. 167; unregelmäßige, des Wassers 171; Kälte-Erzeugung durch dieselbe 174.
Ausdehnungskoeffizient 172.
Ausfallswinkel 107. 124.
Ausflußgeschwindigkeit d. Flüssigkeiten
Ausscheiden, Ausscheidung 21. [70.
Ausströmungsgeschwindigkeit der Gase
Außerordentlicher Strahl 160. [98.
Avogadrosches Gesetz 183.
Balancier 185. 186.
Balancieren 58.
Barometer 92.
Batterie, elektrische 216; galvanische 227.
Becquerelstrahlen 152. 269.
Beharrungsgesetz, -vermögen 2. 4.
Benetzung 17. 82.
Berührungs-Elektrizität 225.
Beschleunigung, Beschleunigungswiderstand 3. 4.
Biegung 112; des Lichtes 157.
Bewegung, Arten derselben 3; Erlöschen derselben 5.
Bewegungen, Übereinanderlagerung kleiner 111.
Bewegungsfähigkeit 1.

- Bewegungsgröße 41; der Körpermoleküle 166. 193.
 Bild, optisches 124; reelles 125; scheinbares oder virtuelles 124.
 Bildpunkt 124. 127.
 Binokulares Sehen 144.
 Biograph 145.
 Bleilot 32.
 Bleuelstange oder Plenelstange 186. 190.
 Blitz 216.
 Blitzableiter 217.
 Bodendruck in Flüssigkeiten 68.
 Bogenlampe, elektrische 234.
 Bogenlicht elektrisches 233.
 Bolometer 265.
 Boylesches, Mariotte-, Gesetz 88.
 Brachymetropie des Auges 143.
 Brahma'sche Presse 68.
 Braunstein-Element 229.
 Brechung des Lichtes 130.
 Brechungsexponent 131.
 Brechungsgesetz, Snelliussches 131.
 Brechungswinkel 130.
 Bremer-Licht 237.
 Brennfläche eines Hohlspiegels 127; einer Konkavlinse 134.
 Brennkurve 127.
 Brennlinie 127.
 Brennpunkt eines sphär. Spiegels 126; einer Linse 133.
 Brennweite eines sphär. Spiegels 126; einer Linse 134.
 Brille 144.
 Brückenwaage 63.
 Bunsensche Kette 229.
 Bürette 70.
 Bürste 213. 262.
 Büschelentladung, elektrische 203. 217.
 Bussole 223; Tangenten- 241. [239].
 Camera obscura 120. 121.
 Cartesianischer Taucher 74.
 Centesimalwaage 63.
 C. G. S.-System 11.
 Chemische Wirkungen des Lichtes 155.
 Chladnische Klangfiguren 116.
 Chromatische Abweichung 150.
 Compoundmaschine 263.
 Cortische Fasern 118.
 Coulomb (Maßeinheit) 243.
 Coulombs Gesetz der magnet. und der elektr. Anziehung und Abstoßung 221. 242. 243.
 Crookes'sche Röhren 240. 266.
 Daltonsches Gesetz 19. 182.
 Dampfkessel 185.
 Dampfmaschine 184; atmosphärische 188; mit Kondensation 185; ohne Kondensation 185.
 Dampfsättigung 182.
 Dampfschiff 190.
 Dampfsteuerung (bei der Dampfmaschine)
 Dampfzylinder 186. [186].
 Daniellsche Kette 229.
 Davyscher Lichtbogen 234.
 Decimalwaage 63.
 Dekantieren 20.
 Deklination, magnetische 221. 222.
 Deklinationsnadel 222.
 Densimeter 79.
 Destillation 177; fraktionierte 177; trockene 179.
 Diakaustische Fläche 134.
 Dialysator 85.
 Dialyse 85.
 Diamagnetische Körper 221.
 Diatherman 195.
 Dichtigkeit 74; Abnahme derselben bei Erwärmung 174.
 Dichtigkeits-Waage 77.
 Dielektrikum 203.
 Differentialhebelpresse 54.
 Differentiallampe, elektrische 234.
 Diffraktion des Lichtes 157.
 Diffusion 19.
 Dihexaeder 30.
 Dimorph 30.
 Dioptrik 130.
 Diosmose 85.
 Dispersion des Lichtes 145; anomale 152.
 Dissonanz 118.
 Dissoziation, elektrolytische 184. 233.
 Döhreinersches Feuerzeug 20.
 Donner 216.
 Doppelbrechung 159.
 Doppelstrich, magnetischer 219.
 Dopplers Prinzip (der Änderung der Tonhöhe) 115.
 Drachen, elektr. 217.
 Drehstrom 264.
 Drehungsmoment 53.
 Dreieckschaltg. ein. Dynamomasch. 265.
 Dreiphasenstrom 264.
 Druck, Ausbreitung desselben in einer Flüssigkeit 67; in einem Gase 91; innerer Druck bei Gasen 86.
 Druckpumpe 99.
 Druck- oder Typentelegraph 256.
 Duboscq'sche Lampe 137.
 Dührings Gesetze über das Zwischen-
 volumen der Gase 89. 174. 182. 183.
 Dulong-Petitsches Gesetz 192.
 Dunkelkammer 121.
 Durchscheinende Körper 122. 123.
 Durchsichtige Körper 122.
 Dyn, Dyne 41.
 Dynamik 14.
 Dynamisch 14.

- Dynamoelektrische Maschine, Dynamomaschine 260.
 Dynamoelektrizität 260.
- E**
 Echo 113.
 Ecke, kristallographische 24.
 Effekt 47. 48. 245.
 Einfallslot 107. 124. 127.
 Einfallswinkel 107. 124. 132.
 Eisenkern 254.
 Eismaschine, Äther- 181; Carrésche 180.
 Elastizität 15; der Gase 86.
 Elektrische Abstoßung 201; Anziehung 200. 201; Eisenbahn 263; Entladung 203. 216. 237; in Geißlerschen Röhren 239; in Crookeschen oder Hittorf'schen Röhren 266; Klingel 256; Ladung 203. 215; Lampe 234; Spannung 203; Strahlen 270; Uhr 257; Verteilung 207; Wellen 266. 270.
 Elektrischer Drachen 217; Funke 203. 216. 233. 238; Haustelegraph 256; Strom 223. 225; Fortpflanzungsgeschwindigkeit desselben 256; Teilung des elektr. Stroms 236; Wirkungen des elektr. Stroms 230. 233. 240. 251.
 Elektrisches Feld 204; Licht 233; Luftthermometer 216; Pendel 201; Potential 204. [bungs- 209.
 Elektrisiermaschine, Influenz- 211; Reilektrizität 200; atmosphärische 217; Ausbreitung derselben 203; Ausströmen derselben 203; Berührungs- oder Kontakt-225; Fortpflanzungsgeschwindigkeit derselben 216. 256. 271; freie, gebundene 208; galvanische 223. 225; Glas- 201; Halbleiter derselben 200; Harz- 201; Influenz- 207; Isolatoren derselben 200; Leiter derselben 200. 226; Natur derselben 202; negative 201; neutrale 202; Nichtleiter derselben 200; positive 201; Reibungs- 200; statische 225. 227.
 Elektrochemische Einheit 243.
 Elektroden 227. 331.
 Elektrodynamik 259.
 Elektrodynamische Wechselwirkung von Stromleitern 250.
 Elektrodynamischer Motor 260. 263; Rotationsapparat 260.
 Elektrodynamisches Prinzip 262.
 Elektrolyse 230; des Wassers 231.
 Elektrolyt 230; Dissoziation der Elektrolyte 184. 233.
 Elektromagnet, Elektromagnetismus 251.
 Elektromagnetische Einheit 243.
 Elektromotor 260. 263.
 Elektromotorische Kraft 226; Einheit derselben 244.
- Elektronen 270.
 Elektrophor 210.
 Elektroskop 206.
 Elektrostatische Einheit 204. 242.
 Elektrostatische Kapazität 206. 244.
 Element, galvanisches 227. 229.
 Elmsfeuer, Skt.- 217.
 Emanationstheorie, Emissionstheorie des Lichtes 119.
 Emissionsspektrum 152 153.
 Emmetropie des Auges 143.
 Emulsion 19.
 Enantiomorphie 164.
 Endosmose 85.
 Endothermisch 197.
 Energie 41; der Bewegung 199; der Lage 199; kinetische 199; potentielle 199.
 Entlader 215.
 Entladung, elektrische 203. 216. 237; Wirkungen derselben 216.
 Entladungsfunke 203. 216.
 Entladungsschlag, elektrischer, Geschwindigkeit desselben 216.
 Entropie 198.
 Erdmagnetismus 221.
 Erg 47.
 Erhaltung der Energie oder Kraft 199.
 Erstarren, Erstarrung 22. 175.
 Erweichen 175.
 Exosmose 85.
 Exothermisch 197.
 Expansionskraft 13.
 Expansivkraft der Gase 86.
 Extraktresse, Realsche 69.
 Extraordinärer Strahl 160.
 Extrastrom 249.
 Exzenter, exzentrische Scheibe 187.
- F**
 Fall, freier 9. 32; im leeren Raum 38; auf der schiefen Ebene 45; -Beschleunigung 38. 66; -Gesetze 33 u. f.; -Maschine, Atwoodsche 36; -Richtung 32; -Röhre 38.
 Farad (Maßeinheit) 244.
 Farben, Komplementär- 148; dünner Blättchen 157; natürliche 148; Spektral- 146. 147.
 Farbenkreisel, Newtons 146.
 Farbenzerstreuungsvermögen 149.
 Farbige Säume 150.
 Fassungsvermögen eines elektr. Leiters
 Fata morgana 131. [206.
 Feldmagnet 262.
 Fernrohr 140.
 Fernsprecher 258.
 Feste Körper 13. 14. 51.
 Festigkeit 14.
 Feuchtigkeit 184; absolute 184; relative 184.
 Feuerspritze 99.

- Fieberthermometer 171.
 Flächenmaße 7.
 Flächenwinkel 24.
 Flammenfärbungen 122.
 Flaschenzug 55.
 Fliehkraft 50.
 Flüchtigkeit der Flüssigkeiten 177.
 Fluoreszenz 150. 266.
 Fluoreszenzschirm 269.
 Flüssige Körper, Flüssigkeiten 13. 16.
 Flüssigkeitsoberfläche 67. [67.
 Fluidum, elektrisches 202.
 Fokus einer Linse 133; eines sphärischen
 Spiegels 126.
 Fokusröhre 268.
 Formation oder Formierung der Platten
 eines Akkumulators 229.
 Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei Wel-
 lenbewegungen 109; der elektr. Wellen
 271; des elektrischen Entladungs-
 schlagcs 216; des elektrischen Stromes
 256; der Farben 146. 147; des Lichtes
 121; des Schalls 113.
 Franklinsche Tafel 216.
 Fraunhofersche Linien 152.
 Fresnelsche Linse 138. [169.
 Fundamentalabstand des Thermometers
 Fundamentalpunkte des Thermometers
 168.
 Funke, elektrischer 203. 216. 233. 238.
 Funkeninduktor 248.
 Funkenstrecke 238. 270.
 Funkentelegraphie 272.

Galaktometer 81.
 Galvanisation 232.
 Galvanische Batterie 227. 228; Elektri-
 zität, ruhende und strömende 223.
 225; Kette, offene und geschlossene
 227; Vergoldung usw. 232.
 Galvanischer Lichtbogen 234; Strom 225.
 Galvanisches Element 227. 229. [227.
 Galvanismus 225; physiologische Wir-
 kungen desselben 246.
 Galvanometer 242; Spiegel- 256.
 Galvanoplastik 232.
 Galvanostegie 232.
 Gasdruck eines Gemisches 19. 182.
 Gase, gasförmige Körper 13. 16. 86;
 Körperlichkeit derselben 87.
 Gaskonstante 175.
 Gaskraftmaschine 191.
 Gasmotor 191.
 Gastheorie, kinetische 173.
 Gauß (Maßeinheit) 243.
 Gay-Lussacsches Gesetz 172.
 Gefrieren 175.
 Gefrierpunkt 168. 175.
 Gefrierpunkts-Erniedrigung 183.

 Geißlersche Röhren 240.
 Generator 263.
 Geradföhrung 190.
 Geräusch 114.
 Geschwindigkeit 3; Fallgeschwindigkeit
 34; Winkelgeschwindigkeit 51.
 Gewicht, Gewichtsmaße 9. 10. 42; ab-
 solutes 74; spezifisches 74. 75. 77.
 81. 82. 90.
 Gewichts-Ärömeter 76; -Verlust, schein-
 barer 72.
 Gewitter 216.
 Gitter, Nobertsche 140. 157.
 Gitterspektrum 157.
 Glaselektrizität 201.
 Glashahn 70.
 Gleichgewicht, Arten desselben 56; in-
 differentes 57; labiles 57; stabiles 57.
 Gleichspannungsmaschine 263.
 Gleichstrom 248. 264; Gleichstromma-
 schine 264.
 Glühlampe, elektrische 234.
 Glühlicht, elektrisches 233.
 Goldene Regel der Mechanik 47.
 Goniometer 24.
 Grad (Wärmegrad) 169.
 Grammescher Ring 260.
 Grammophon 118.
 Granatoeder 27.
 Graßmannscher Hahn 102.
 Gravitation 10.
 Gravitationsgesetz 12.
 Gravitationskonstante 13.

Haarrohr 83.
 Hahnluftpumpe 102.
 Halbfächer 24. 27. 30.
 Halbleiter der Elektrizität 200.
 Härte 14.
 Härteskala 14.
 Harzelektrizität 201.
 Hauchfiguren 19.
 Hauptpunkte einer Konvexlinse 135.
 Hauptschnitt 160.
 Hauptspirale 247.
 Haustelegraph, elektrischer 256.
 Hebel 52; Winkelhebel 53.
 Hebelarm 52.
 Hebelgesetz 53.
 Heber-Apparate 96.
 Heberbarometer 94.
 Heißluftmaschine 191.
 Heliostat 125.
 Hemiedrisch 27.
 Hertzsche Strahlen elektrischer Kraft 270.
 Heterogen 226.
 Heteromorph 30.
 Heterotrop 32.
 Hexaeder 27.

- Hexagonales System 29.
 Hittorfsche Röhren 240. 266.
 Hitzgrade, hohe 171.
 Hochdruckmaschine 185. 188.
 Hofmannscher Wasserzersetzungsa-
 pparat Höhenmessung 95. [rat 231.
 Hohlspiegel 126. 130.
 Holoedrisch 27.
 Holosteric (Aneroidbarometer von Vidi)
 94. 95.
 Homogen 22.
 Homogenes Licht 148.
 Hörer (beim Telephon) 258.
 Horizontal 33.
 Hörrohr 114.
 Hydraulische Presse 68.
 Hydromechanik 67.
 Hydrostatische Wage 72. 77.
 Hygrometer 184.
 Hygroskopisch 20. 184.
 Hypermetropie oder Hyperopie des
 Hypothese 10. [Auges 143.
Jacobische Einheit 243.
 Immersion 140.
 Imponderabler Stoff 119.
 Indifferenzzone, magnetische 217.
 Induktion, elektrische 246; magnetische
 Induktionsapparat 247. [257.
 Induktionsstrom 246.
 Induktor, Funken-, Ruhmkorfscher 248.
 Influenz-Elektrizität 207.
 Influenz, magnetische 219.
 Infrarot des Spektrums 155.
 Inhalationsapparat 97.
 Inklination, magnetische 222.
 Inklinationsnadel 222.
 Intensität der elektrischen Anziehung
 und Abstoßung 242. 243; der magne-
 tischen Anziehung und Abstoßung 221;
 des elektrischen Stromes 242; des
 Lichtes 121. 123. 140; des Schalls
 113. 117.
 Interferenz 112; des Lichtes 156.
 Interferenzfransen oder -streifen 156.
 Interferenzringe 157.
 Intervall, musikalisches 115.
 Ion, Ionen (Ionten) 230; Wanderung
 derselben 233.
 Ionisierung der Gase 267.
 Joule (Maßeinheit) 48; Joulesches Ge-
 setz 245.
 Isochronismus der Schwingungen 65.
 Isogon 30. 31.
 Isogonen 222.
 Isoklinen 222.
 Isolatoren der Elektrizität 200.
 Isolierschemel 216.
 Isomolekulare Lösung 183.
 Isomorph 30. 31.
 Isotonische Lösung 183.
 Isotrop 30. 31. 159.
Kabel, elektrisches 256.
 Kaleidoskop 126.
 Kalorie 179.
 Kalorimeter 192.
 Kalorische Maschine 191.
 Kälte 167.
 Kälteerzeugung durch Ausdehnung 174.
 Kältemischung 169. 180.
 Kanalwage 69.
 Kante, kristallographische 24.
 Kantenwinkel 24.
 Kapazität, elektrostatistische 206. 244.
 Kapillaranalyse 84.
 Kapillarität 83.
 Kapillarrohr 83.
 Katakaustische Fläche 127; katakaust.
 Kathode 231. [Linie 127.
 Kathodenstrahlen 266.
 Kation 231.
 Katoptrik 124.
 Kegel, schwebender 56.
 Keil 48.
 Kette, galvanische 227; konstante 228.
 Kienmayersches Amalgam 210.
 Kilogramm-Meter 47.
 Kinematograph, Kinetograph, Kineto-
 kinetische Energie 199. [skop 145.
 Kinetische Gastheorie 173.
 Kirchhoffscher Satz über Absorption
 und Emission des Lichtes 153.
 Kirchhoffs Gesetze der elektr. Strom-
 verzweigung 237.
 Klären 20.
 Klangfarbe 117.
 Klangfiguren, Chladnische 116.
 Kleistsche Flasche 215.
 Klemmenspannung einer Dynamo-
 maschine 263.
 Klinorhombisches System 29.
 Klinorhomboidisches System 29.
 Knallbüchse 86.
 Kochen 176.
 Koercible Gase 181.
 Koercitivkraft 219. 220.
 Kohärer 272.
 Kohäsion 13.
 Kollektivlinse 139.
 Kollektor 262.
 Kollimatorlinse 137. 154.
 Kolloidsubstanzen 85.
 Kommunizierende Gefäße 69.
 Kommunikationsrohr 114.
 Kommutator 241. 262.
 Kompaß 223.
 Kompensationspendel 167.

- Komplementärfarben 148.
 Komponente (Kraft-) 44.
 Kompression 99; Wärmeerzeugung durch
 Kompressionspumpe 106. [dieselbe 174.
 Kondensation 176.
 Kondensator, Dampf- 187; elektr. 225.
 Kondensieren 176. [249.
 Konduktor 210.
 Konkavlinse 133. 137.
 Konkavspiegel 126.
 Konsonanz 118.
 Kontakt-Elektrizität 225.
 Konvexlinse 133.
 Konvexspiegel 130.
 Körper 1.
 Körpermaße 7. [20
 Körpervolum, Veränderlichkeit desselben
 Kraft 1; Arten derselben 40; bewegende
 199; Erhaltung der Kraft 199; leben-
 dige 47; momentan und dauernd
 wirkende 5. 40; Pferde- 48; Spann-
 kraftimpuls 41. [199.
 Kraftleistung 21. 41. 47.
 Kraftlinien, elektrische 204. 254; magne-
 krafröhre, elektrische 205. [tische 220.
 Kräfte, Parallelogramm derselben 43;
 Zusammensetzung derselben 43.
 Kreuzkopf 190.
 Krimstecher 140.
 Kristall 21; negativer 161; positiver 161.
 Kristallachsen 25.
 Kristallelektrizität 265.
 Kristallform 21. 23; ideale 26.
 Kristallinisch 22.
 Kristallmehl 22.
 Kristallographie 21.
 Kristalloidsubstanzen 85.
 Kristallsystem 25.
 Kristallwasser 23.
 Kritische Temperatur 181.
 Kritischer Zustand 181.
 Kubus 27.
 Kühler, Liebig'scher 178.
 Kugelbarometer 93.
 Kurzschluß, elektrischer 246.
 Kurzsichtigkeit 143.

Labil 57.
 Ladung, elektrische 203. 209.
 Längenmaße 7.
 Latente Wärme 179.
 Laterna magica 137.
 Laugenspindel 81.
 Lebende Photographien 145.
 Lebensrad 145.
 Leclanché-Element 229.
 Legierung 20.
 Leidenfrost's Phänomen 177.
 Leistungsfähigkeit einer Maschine 48.

 Leiter der Elektrizität 200; des elek-
 trischen Stromes 226; erster und zwei-
 ter Klasse 226.
 Leitungsdraht 223. 224. 225. [alle 242.
 Leitungsfähigkeit, elektrische, der Me-
 leitungswiderstand, elektrischer 242.
 Lenardsche Strahlen 267.
 Lenzsche Regel 257.
 Leuchten 121. 122.
 Leuchtfarbe, Leuchtmaterie 151.
 Leuchtturm-Linsen 138.
 Leydener Flasche 215.
 Libelle 67.
 Licht 119; Ausbreitung desselben 119;
 Beugung oder Diffraktion desselben
 156; Brechung desselben 130; chemi-
 sche Wirkungen desselben 155; Fort-
 pflanzungsgeschwindigkeit desselben
 121; homogene 148; Interferenz des-
 selben 156; Natur desselben 119; Po-
 larisation desselben 157; Reflexion
 desselben 124; Wärmewirkungen des-
 selben 155; Zerstreuung oder Disper-
 sion desselben 145.
 Lichtäther 119. [sion desselben 145.
 Lichtbogen, Davyscher oder galvanischer
 Lichtenbergsche Figuren 203. [234.
 Lichtspektrum 146. 152.
 Liebig'scher Kühler 178.
 Linienstrom 256.
 Linsen, Lichtbrechung in denselben 132.
 Lochsirene 114.
 Löslichkeit 23.
 Lösung 19. 21.
 Lösungstheorie, van't Hoff'sche 183.
 Lösungswärme 180.
 Lokalbatterie 256.
 Lokomotive 190.
 Longitudinalschwingungen 112. 113.
 Lot 32.
 Lotrecht 32.
 Luft, Schwere derselben 90.
 Luftballon 105.
 Luftdruck 91.
 Luftförmige Körper 13. 16. 86.
 Luftleerer Raum 91.
 Luftpumpe 100; Versuche mit derselben
 105; Radfahr-Luftpumpe 106.
 Luftspiegelung 131.
 Luftthermometer 170; elektrisches 216.
 Luftwiderstand 5.
 Lumineszenz 122. 151.
 Lupe 136.

Magdeburger Halbkugeln 105.
 Magnet, Hufeisen- 219; künstlicher 217;
 natürlicher 217; Stahl- 217.
 Magnetische Achse 217; Anziehung und
 Abstoßung 218; Armierung 219; In-
 duktion 257; Influenz 219; Kraft-

- linien oder Kurven 220; magnetische und diamagnetische Körper 221.
 Magnetischer Äquator 222; Meridian 222; Pol 217.
 Magnetisches Feld 220; Magazin 219.
 Magnetismus 217; Anwendungen desselben 223; Erd- 221; Nord- und Süd- 219; remanenter 262; Ampères Theorie desselben 252.
 Magnetnadel 218.
 Magnetoelektrizität 257.
 Magnetoelektrischer Rotationsapparat
 Magnetpole 217; der Erde 222. [257.
 Manometer 99. 186.
 Mariotte-Boylesches Gesetz 88.
 Mariotte-Gay-Lussacsches Gesetz 173.
 Masse 10.
 Maßanalyse, chemische 70. 96.
 Maße 7; Längen-M., Flächen-M., Körper-M. 7; Gewichts-M. 10; M. für die Arbeit 47; für den Effekt 48; für die Kraft 41; magnetische und elektrische 204. 242.
 Maßsystem, absolutes 11.
 Materie 1.
 Mechanik, allgemeine 32; der festen Körper 51; der flüssigen Körper 67; der luftförmigen Körper 86; goldene Regel der Mech. 47.
 Mechanische Wärmetheorie 198.
 Mechanischer Nachteil 47; Vorteil 47.
 Mechanisches Wärmeäquivalent 197.
 Medizinalgewichte 11.
 Megerg 47.
 Megohm 243.
 Mehrphasenstrom 264.
 Meniskus, konkaver und konvexer 83.
 Meßpipette 97.
 Metallic (Aneroidbarometer v. Bourdon)
 Mikrofarad 244. [94.
 Mikrohm 243.
 Mikrometerschraube 49.
 Mikron 8.
 Mikrophon 259.
 Mikroskop 138.
 Mischung 19.
 Mitschwingen 117.
 Mittönen 117.
 M.K.S.-System 11.
 Mohrsche Wage 77.
 Molare Bewegung 43.
 Molekel, Molekül 9.
 Molekularaggregat 22. 31.
 Molekularbewegung 166. 167. 173. 175.
 Molekularkräfte 13. [184. 193.
 Moment, magnetisches 243; statisches 53.
 Monoklines System 29.
 Monosymmetrisches System 29.
 Montgolfiere 105.
 Morsescher Schreibtelegraph 254.
 Multiplikator 241.
 Musikinstrumente 116.
 Mutoskop 145.
 Mutterlauge 23.
 Myopie des Auges 143.
 Nachbild 145. 148.
 Nachhall 113. 114.
 Nähepunkt des Auges 143.
 Nebenspirale 247.
 Nebenschlußschaltung einer Dynamo-
 Neefischer Hammer 248. [maschine 263.
 Nernst-Lampe 237.
 Newtonsches Gravitationsgesetz 12.
 Nicholsonsche Senkwage 76.
 Nichtleiter der Elektrizität 200.
 Nicolsches Prisma 161.
 Niederdruckmaschine 185.
 Niederschlag 184.
 Niveaufläche, elektrische 204.
 Nivellierwage 69.
 Nobertsche Gitter 140. 157.
 Nordlicht 223.
 Nullpunkt des Thermometers 169; absoluter Nullpunkt der Temperatur 175.
 Oberflächenfarben 149.
 Oberflächenspannung 84.
 Obertöne 117.
 Öffnungsfunke 233. 249.
 Öffnungsstrom, elektrischer 249.
 Ohm (Maßeinheit) 243.
 Ohmsches Gesetz 242.
 Oktaeder 26; Quadrat-O. 28.
 Opernglas 140.
 Optik 119. [achsige Kristalle 160.
 Optisch einachsige Kristalle 160; zwei-
 Optische Achse 30. 159.
 Optischer Mittelpunkt (einer Linse) 134.
 Optische Sensibilisatoren 156.
 Ordentlicher (ordinärer) Strahl 160.
 Osmose 85.
 Osmotischer Druck 183.
 Oszillationsamplitude 65. 109.
 Oszillationsgeschwindigkeit 109.
 Ozeantelegraph 256.
 Papinscher Topf 176. [sches 187.
 Parallelogramm, der Kräfte 43; Watt-
 Parallelschaltung einer galvanischen
 Batterie 228; einer Dynamomaschine
 Peltier-Effekt 265. [263.
 Pendel 64; elektrisches 201.
 Pendelgesetze 65.
 Permanente Gase 181.
 Pfeife, gedeckte 116; offene 116.
 Pferdekraft 48.
 Phasendifferenz 109.
 Phenakistoskop 145.

- Phiolenbarometer 93.
 Phonograph 118.
 Phosphoreszenz 151.
 Photographie 155; farbige 156; lebende Photographien 145.
 Photometer, Photometrie 123.
 Pinakoid 28.
 Pinkfeuerzeug 197.
 Pipette 96.
 Plantésches Element 229.
 Platten, planparallele 132.
 Pleuelstange 186. 190.
 Pneumatik 86.
 Pneumatisches Feuerzeug 86. 197.
 Pol, elektrischer 227; magnetischer 217.
 Polarisation, des Lichtes 157; elektrische
 Polarisations-Apparate 161. [228.
 Polarisations-Ebene 159; Drehung derselben 163; -Element 229; -Winkel [159.
 Polarisator 162. [159.
 Polarisierende Vorrichtung 161.
 Poren, porös, Porosität 8.
 Potential, elektrisches 203. 204. 244.
 Potentialdifferenz 205. 226.
 Potentialgefälle 205.
 Presbyopie des Auges 144.
 Pressen 49. 54. 68. 69.
 Primäre Spirale 247.
 Prisma 25. 132; Nicolsches 161.
 Psychrometer, Augusts 184.
 Pumpe 98. 99; Luft- 100. 106.
 Pykno-Aräometer 81.
 Pyknometer 79.
 Pyroelektrizität 265.
 Pyrometer 169.
Quadratisches System 28.
 Quadratoktaeder 28.
 Quecksilberbarometer 92.
 Quecksilberluftpumpe 103.
 Quellbarkeit 8.
 Quetschhahn 70.
Radfahr-Luftpumpe 106.
 Radiator 272.
 Radioaktivität 269.
 Radiographie 268.
 Radiolumineszenz 151.
 Radiumstab 269.
 Radiumstrahlen 269.
 Raoult'sches Gesetz 183.
 Rahmen (einer Dampfmaschine) 189.
 Rasierspiegel 130. [heit beider 48.
 Reaktion und Aktion, Prinzip der Gleich-Realsche Extraktresse 69.
 Reelles Bild 125.
 Reflektor 130. 140.
 Reflexion, elastischer Körper 106; der Wellen im allgemeinen 109; der Schallwellen 113; des Lichtes 123. 124; der Wärmestrahlen 195; der elektrischen Wellen 271; totale 131; zersprengte, des Lichtes 123.
 Reflexionswinkel 124.
 Refraktion des Lichtes 130.
 Refraktor 140.
 Regulator(einer Dampfmaschine) 51. 188.
 Regenbogenfarben 147.
 Reguläres System 26.
 Reibung 5.
 Reibungselektrizität 200.
 Reibungskoeffizient 6.
 Reihenschaltung einer galvanischen Batterie 227; einer Dynamomaschine Reiter 78. [263.
 Relais 256.
 Repulsivkraft 13.
 Resonanz 117.
 Resonator 117.
 Resultierende (Kraft) 44.
 Rhombendodekaeder 27.
 Rhombisches System 29.
 Rhomboeder 30.
 Riemen ohne Ende 7.
 Riemenscheibe 7.
 Ringanker 263.
 Röntgenröhre 268.
 Röntgenstrahlen 267.
 Rohrpost 106.
 Rolle 54.
 Rosches Metall 175.
 Rotation eines Magnets um einen elektr. Strom 254; eines Stromleiters um einen Magnetpol 260.
 Rotationsapparat, elektrodynamischer 260; magnetoelektrischer 257.
 Ruhmkorff'scher Induktor 248.
Saccharimeter 165.
 Saccharometer 81.
 Saiteninstrumente 116.
 Sammellinse 133.
 Sättigung, Dampf- 182. 184; einer Lösung 23.
 Sättigungskapazität 182. [sung 23.
 Sättigungsmenge eines Dampfes 182.
 Saugen 96.
 Saugheber 97.
 Saugpumpe 98.
 Säule, quadratische 28; sechsseitige 30;
 Säurenspindel 81. [Voltasche 228.
 Schädlicher Raum 102.
 Schall, Entstehung und Natur desselben 112; Fortpflanzungsgeschwindigkeit desselben 113; zusammengesetzter 114.
 Schallintensität 113.
 Schallrohr 114.
 Schallstärke 113.
 Schallverstärkung 113.
 Schallwellen 113.

- Schaltung einer galvanischen Batterie 227. 228; einer Dynamomaschine 263.
 Schatten 121.
 Schaumköpfe der Wellen 108.
 Scheibenanker 263.
 Scheinwerfer 130.
 Schieber (Muschel-, Verteilungs-) 186.
 Schieberkasten 186.
 Schiefe Ebene, Fall auf derselben 45; Gesetz derselben 46; Gleichgewicht
 Schielen 144. [auf derselben 46.
 Schlämmen 20.
 Schließungsdraht, elektrischer 227.
 Schließungsstrom, elektrischer 247.
 Schlüssel, telegraphischer 255.
 Schmelzen 175.
 Schmelzpunkt 175.
 Schmelzwärme 179; des Eisens 179.
 Schnellseher 145.
 Schnellwage 62.
 Schnur ohne Ende 7.
 Schönen 20.
 Schraube 48.
 Schrauben-Gang 48; -Gewinde 49; -Lehre 49; -Mutter 49; -Pressen 49; -Spindel 49.
 Schreibtelegraph, Morsescher 254.
 Schwarzer Körper 123.
 Schweben 73.
 Schwebender Kegel 56.
 Schwebungen, akustische 118.
 Schwere 9; der Luft 90.
 Schwerkraft 9.
 Schwerpunkt 55.
 Schwimmen 73. [selben 65.
 Schwingungen 64; Isochronismus der-Schwingungs-Arten 112; -Bäuche 111; -Bogen 64; -Dauer 65. 109; -Knoten 111; -Phase 109; -Punkt eines physischen Pendels 66; -Weite 65; -Zahl 65. 109; Schwingungszahlen der Töne 115; der Farben 147.
 Schwingkraft 50.
 Schwungrad 186. 187. 190.
 Scliptikon 137.
 Segnersches Wasserrad 71.
 Sehen 141; binokulares 144; stereo-
 Sehpurpur, Sehrot 142. [skopisches 144.
 Schweite 143.
 Schwinkel 144.
 Seitendruck der Flüssigkeiten 71.
 Sekundärelement 229.
 Sekundäre Spirale 247.
 Sekundärstrom 230.
 Sekundenpendel 66.
 Selbstleuchtende Körper 122.
 Senkblei 33.
 Senkrecht 32.
 Senkwage, Nicholsonsche 76.
 Sensibilisatoren, optische 156.
 Setzwage 33.
 Sicherheitsventil 54. 186.
 Sicherung, elektr. 246.
 Sichtbarkeit, mangelnde, der Lichtstrahlen 123; der Kathodenstrahlen 266.
 Sieden 176.
 Siedepunkt 168. 169. 176; absoluter 181.
 Siedetemperatur 168. 176.
 Siedeverzüge 177.
 Singen des Wassers 177.
 Sinnestäuschungen, optische 144.
 Sirene 114.
 Sixsches Maximum- und Minimum-Thermometer 170.
 Skalen-Aräometer 79.
 Snelliussches Brechungsgesetz 131.
 Solenoid 253.
 Spaltbarkeit 15. 24.
 Spaltungsfläche 24.
 Spannkraft 199; der Gase 86.
 Spannung, elektrische 203. 226. 227. 244. 250. 271.
 Spannungsdifferenz, elektrische 226.
 Spannungskoeffizient der Gase 173.
 Spannungsreihe, für Reibungselektrizität 202; Voltasche 226.
 Spektralanalyse 153.
 Spektralapparat 154.
 Spektralfarben 147.
 Spektroskop 153. 154.
 Spektrum, des Lichtes 146; der Wärme 155; Arten der Lichtspektren 152.
 Spezifische Wärme 191.
 Spezifisches Gewicht 74; fester Körper 75; flüssiger Körper 77; luftförmiger Körper 90; sp. Gew. und Adhäsion 82; Flüssigkeiten von verschied. sp. Gew. in komm. Röhren 82.
 Sphäroidaler Zustand ein. Flüssigkeit 177.
 Spiegel, ebener oder Plan- 124; Hohl- oder Konkav- 126; Konkav- 130; parabolischer 127; sphärischer 124.
 Spiegelablesung 125.
 Spiegelgalvanometer 256.
 Spiegelsextant 125.
 Spiegelteleskop 140.
 Spiegelung 124.
 Spirale 246; Haupt-, Neben-, primäre, sekundäre 247; rechts gewundene, links gewundene 251.
 Sprachrohr 114.
 Spritzflasche 87.
 Stabil 57. 58.
 Standmesser 69. 186.
 Statik 14.
 Statisch 14.
 Statische Elektrizität 225. 227.
 Statisches Moment 53.

- Stechheber 96.
 Stereometer 100.
 Stereoskop 144.
 Stereoskopisches Sehen 144.
 Sternschaltung ein. Dynamomasch. 265.
 Steuerung (bei der Dampfmaschine) 186.
 Stopfbüchse 187.
 Stoß, centraler 107.
 Stoß, elastischer Körper 107.
 Stöße, akustische 118.
 Strahlen, Becquerel- 152. 269; elek-
 trischer Kraft 270; Kathoden- 266;
 Lenardsche 267; Licht- 119; Radium-
 269; Röntgen- oder X-Strahlen 267;
 Wärme- 155.
 Strahlenfilter für Lichtstrahlen 155. 195;
 für Wärmestrahlen 155. 195.
 Strahlenpunkt 124.
 Stroboskop 145.
 Strom, elektrischer oder galvanischer
 225; Gleichstrom 248; Wechselstrom
 248. 264.
 Stromerzeuger 263.
 Stromleiter, Anziehung und Abstoßung
 derselben 250.
 Stromphase 265.
 Stromsammler 262.
 Stromstärke 241. 242.
 Stromunterbrecher 247. 248.
 Stromverzweigung, elektrische 236.
 Stromwender 241.
 Sublimation 22. 179.
 Summationswirkung der Zeit 21.
 Suspendieren, Suspension 20.

T
 Tangentenbussole 241.
 Tangentialkraft 50.
 Tariervage 59.
 Taster, Morse- 255. 272.
 Tauchbatterie 228.
 Taucher, Cartesianischer 74.
 Taucherglocke 87.
 Taupunkt 184.
 Teilbarkeit 8.
 Telegraphie 254; ohne Draht 272; über-
 seeische 256.
 Telephon 258.
 Teleskop 140.
 Temperatur 167; absolute 175; kritische
 181.
 Tension der Gase 86.
 Teslas Licht 271.
 Tesserales System 26.
 Testobjekt 140.
 Tetraeder 27.
 Tetragonales System 28.
 Teufelchen, Cartesianisches 74.
 Thaumotrop 145.
 Theodolit 140.

 Thermobatterie 265.
 Thermoelektrische Säule 265.
 Thermoelektrizität 265.
 Thermoelement 265.
 Thermometer 168; Fieber- 171; Maxi-
 mum- und Minimum- 170; Metall- 171.
 Thermometrograph 170.
 Thermomultiplikator 265.
 Tinkturenpresse 49.
 Toilettenspiegel 130.
 Ton 114.
 Tonhöhe 114. 116.
 Tonleiter 116.
 Tonsender (beim Telephon) 258.
 Tonstärke 117.
 Tonzelle 229.
 Torricellische Leere (Vakuum) 91.
 Torsionsschwingungen 112.
 Tote Punkte 188. 190.
 Trägheit 2.
 Trägheitsgesetz 2.
 Transformator 247. 250. 264.
 Transmission 7.
 Transmitter 258.
 Transversalschwingungen 112. 119. 158.
 Treibriemen 7.
 Treibschnur 7.
 Treppenlinse 138.
 Triklines System 29.
 Trockenelement (galvanisches) 229.
 Trommelanker 263.
 Turbine 71.
 Turmalinzange 161.
 Typentelegraph 256.

Ü
 Übereinanderlagerung kleiner Bewe-
 gungen 111.
 Übergangsfarbe 165.
 Überhitzte Flüssigkeit 177.
 Übersichtigkeit 143. 144.
 Uhr 66; elektrische 257.
 Umkristallisieren 31.
 Undulationstheorie des Lichtes 119.
 Undurchdringlichkeit 1.
 Undurchsichtige Körper 122. 123.
 Untersinken 73.

V
 Vakuum, Torricellisches 91.
 Ventil 98.
 Ventiluftpumpe 101.
 Verdampfung 176.
 Verdampfungswärme 179; des Wassers
 179.
 Verdichtung 176.
 Verdunstung 176.
 Verdunstungskälte 180.
 Verflüssigung der Gase 176. 181; der
 atmosph. Luft 181.
 Verstärkungsflasche 215.

- Verteilung, elektrische 207.
 Vertikal 32.
 Verwittern 23.
 Verzögerung 3.
 Vibrationstheorie des Lichtes 119.
 Vierwegehahn 102.
 Virtuelles Bild 124.
 Vollflächner 26. 30.
 Vollpipette 97.
 Volt (Maßeinheit) 244.
 Voltasche Säule 228.
 Voltasche Spannungsreihe 226.
 Voltascher Fundamentalversuch 225.
 Volum 8.
 Volum-Aräometer 79.
 Volumeter, Volumenometer 77. 100.
 Volumgewicht 74.
- Wage** 59; hydrostatische 72; Mohrsche 77; Westphalsche 78.
Wagerecht 33.
- Wärme** 166; -Äquivalent, mechanisches 197; Ausdehnung durch dieselbe 167; -Einheit 179; Erzeugung durch Kompression 174; freiwerdende 180; gebundene 179; -Grad 167. 169; -Kapazität 192; latente 179; -Leitung 194; Natur derselben 166; Quellen derselben 196; spezifische 191; -Spektrum 155; -Strahlen 155; Brechbarkeit derselben 195; Reflexion derselben 195; -Strahlung 195; -Strahlungsvermögen 196; Theorie, mechanische 198; Verbreitung der Wärme 194; Verbreitung derselben durch Strömungen 195; -Zustand 167.
- Wasserluftpumpe 104.
 Wasserräder 71.
 Wasserstandsanzeiger, Wasserstandsrohr 69. 186.
 Wasserwage 67. 69.
 Wasserzersetzungsgesetz, Hofmannscher 231.
 Watt (Maßeinheit) 48. 245.
 Wattisches Parallelogramm 187.
 Wechselströme 248. 264.
 Weitsichtigkeit 144.
 Wellen, elektrische 266; fortschreitende 108; kombinierte 110; Licht- 119; Schall- 113; stehende 111.
 Wellenberg 107.
- Wellenbewegung 107; des Lichtes 119.
 Wellenform 111.
 Wellenkopf 108.
 Wellenkurve 111.
 Wellenlänge 109; des Lichtes 147. 152.
 Wellental 107.
 Wellrad 7. 55.
 Weltäther 119.
 Westphalsche Wage 78.
 Wetterprognose, Wettervorhersage 95.
 Widerstand, elektrischer Leitungs- 242; innerer, eines elektr. Elements (oder Batterie) 242.
 Wiederhall 113.
 Windbüchse 86.
 Winde 55.
 Windkessel 99.
 Winkelgeschwindigkeit 51.
 Winkelhebel 53.
 Winkelspiegel 125.
 Woodsches Metall 175.
 Wurf, senkrechter 39; wagerechter 40. -Bahnen 44.
 Würfel 27.
 Wurzelschneidemaschine 54.
- X-Strahlen** 267.
- Zahnrad** 55.
 Zahnsirene 114.
 Zahnstange 55.
 Zauberlaterne 137.
 Zeit 3. 11; Summationswirkung derselben 21.
 Zentralbewegung 50.
 Zentrifugal-Kraft 50; -Regulator 51. 188; -Trockenmaschine 51.
 Zentrifuge 51.
 Zentripetalkraft 50.
 Zerstäuber 97.
 Zerstreuung des Lichtes 145.
 Zerstreuungslinse 133.
 Zerstreuungspunkt einer Konkavlinse 137.
 Zone, Kristall- 25.
 Zonenachse 25.
 Zootrop 145.
 Zustandsgleichung der Gase 173. 175.
 Zwischenvolum der Gase 89. 174. 182. 183.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Hagers Handbuch der pharmazeutischen Praxis.

für Apotheker, Ärzte, Drogisten und Medizinalbeamte.

Unter Mitwirkung von

Max Arnold-Chemnitz, G. Christ-Berlin, K. Dieterich-Helfenberg,
Ed. Gildemeister-Leipzig, P. Janzen-Blankenburg, C. Scriba-Darmstadt

vollständig neu bearbeitet und herausgegeben von

B. Fischer und C. Hartwich.

Mit zahlreichen in den Text gedruckten Holzschnitten.

Zwei Bände.

Preis je M. 20,—; in Halbleder gebunden je M. 22,50.

Neues pharmazeutisches Manual.

Herausgegeben von

Eugen Dieterich.

Neunte, vermehrte und verbesserte Auflage.

Mit in den Text gedruckten Holzschnitten.

In Moleskin gebunden Preis M. 16,—; mit Schreibpapier durchschossen und in Moleskin
gebunden M. 18,—.

Auch in 14 Lieferungen zum Preise von je M. 1,— zu beziehen.

Handbuch der Drogisten-Praxis.

Ein Lehr- und Nachschlagebuch für Drogisten, Farbwarenhändler etc.

Im Entwurf vom Drogisten-Verband preisgekrönte Arbeit.

Von **G. A. Buchheister.**

Mit einem Abriss der allgemeinen Chemie von Dr. Robert Bahrman.

Siebente Auflage.

Mit 234 in den Text gedruckten Abbildungen. — Preis M. 10,—; in Leinwand geb. M. 11,20.

Vorschriftenbuch für Drogisten.

Die Herstellung der gebräuchlichsten Handverkaufsartikel.
(Handbuch der Drogistenpraxis II. Teil.)

Von **G. A. Buchheister.**

Vierte, sehr vermehrte Auflage.

Preis M. 8,—; in Leinwand gebunden M. 9,20.

Kommentar zum Arzneibuch für das Deutsche Reich.

Vierte Ausgabe.

(Pharmacopoea Germanica, editio IV.)

Ergänzungsband zum Kommentar für die III. Ausgabe des Arzneibuchs,
enthaltend

Nachträge und Veränderungen der IV. Ausgabe des Arzneibuchs,

herausgegeben von

B. Fischer, Breslau und **C. Hartwich, Zürich.**

360 Seiten Lex. 8°. — In Leinwand gebunden Preis M. 7,—.

Die medizinischen Verbandmaterialien

mit besonderer Berücksichtigung ihrer Gewinnung, Fabrikation, Untersuchung
und Wertbestimmung sowie ihrer Aufbewahrung und Verpackung.

Von **P. Zelis,**

Apotheker und Verbandstoff-Fabrikant.

Mit in den Text gedruckten Figuren. — Preis M. 6,—; in Leinwand gebunden M. 7,—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Die chemischen Prozesse
und stöchiometrischen Berechnungen
bei den
Prüfungen und Wertbestimmungen der im Arzneibuche für das Deutsche Reich
(IV. Ausgabe) aufgenommenen Arzneimittel.

Gleichzeitig
Theoretischer Teil der „Anleitung“ desselben Verfassers.

Von **Dr. Max Biechele.**

In Leinwand gebunden Preis M. 4,—.

Anleitung zur Erkennung und Prüfung
aller im
Arzneibuche für das Deutsche Reich
(vierte Ausgabe)
aufgenommenen Arzneimittel.

Zugleich ein Leitfaden bei Apotheken-Visitationen für Apotheker und Ärzte.

Von **Dr. Max Biechele.**

Elfte, vielfach vermehrte und verbesserte Auflage.

In Leinwand gebunden Preis M. 5,—.

Pharmazeutische Übungspräparate.

Anleitung zur Darstellung, Erkennung, Prüfung und stöchiometrischen Berechnung von officinellen chemisch-pharmazeutischen Präparaten.

Von **Dr. Max Biechele.**

Zweite, verbesserte Auflage.

In Leinwand gebunden Preis M. 6,—.

Bakteriologie und Sterilisation im Apothekenbetrieb.

Unter Mitwirkung von **Dr. med. H. Vörner**
herausgegeben von

Dr. C. Stich,

Oberspötheker am Städt. Krankenhaus in Leipzig.

Mit 29 Textfiguren und 2 lithogr. Tafeln.

In Leinwand gebunden Preis M. 4,—.

Mikroskopische Untersuchungen

vorgeschrieben vom

Deutschen Arzneibuche.

Leitfaden für das mikroskopisch-pharmakognostische Praktikum an Hochschulen
und für den Selbstunterricht.

Von **Dr. Carl Mez,**

Professor der Botanik an der Universität Halle.

Mit 113 vom Verfasser gezeichneten, in den Text gedruckten Figuren.

Preis M. 5,—; in Leinwand gebunden M. 6,—.

Das Mikroskop und seine Anwendung.

Handbuch der praktischen Mikroskopie und Anleitung zu mikroskopischen
Untersuchungen

von

Dr. Hermann Hager.

Nach dessen Tode vollständig umgearbeitet und in Gemeinschaft mit

Dr. O. Appel,

Regierungsrat und Mitglied der
biolog. Abteilung am Kaiserlichen
Gesundheitsamt zu Berlin,

Dr. G. Brandes,

Privatdozent der Zoologie an der
Universität und Direktor des zoolog.
Gartens zu Halle,

Dr. P. Stolper,

Professor der gerichtlichen Medicin
an der Universität und Kreisarzt
zu Göttingen

neu herausgegeben von

Dr. Carl Mez,

Professor der Botanik an der Universität Halle.

Neunte, stark vermehrte Auflage.

Mit 401 in den Text gedruckten Figuren.

In Leinwand geb. Preis M. 8,—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Französische Apotheken-Praxis.

Anleitung zur Erlernung der französischen Pharmazie
mit besonderer Berücksichtigung der Apothekenbetriebe in der französischen Schweiz.

Von **Dr. A. Brunstein**, Apotheker.

Preis M. 3,—; in Leinwand gebunden M. 4,—.

Englische Apotheken-Praxis.

Eine Anleitung für Rezeptur, Handverkauf und Umgangssprache
in den englischen Apotheken.

Von **Franz Capelle**, Apotheker.

Preis M. 2,40; in Leinwand gebunden M. 3,20.

Die kaufmännische Buchführung in der Apotheke,

nach bequemer und praktischer Methode
an der Hand eines Beispiels in instruktiver Weise dargestellt

von **Dr. W. Mayer**, Apotheker.

Dritte, vermehrte Auflage.

Kartonierte Preis M. 1,40.

Konversations-Bücher für Pharmazeuten.

Französisch
von **Felix Kamm**.

Italienisch
von **J. Durst**.

Englisch
von **Dr. Th. D. Barry**.

Dritte Auflage,
bearbeitet von Dr. A. Brunstein.

Dritte Auflage,
bearbeitet von F. Capelle.

Preis jedes Bandes kartoniert M. 1,—.

Kleiner Ratgeber für den Apothekenverkauf.

Von **Dr. E. Mylius**,

Besitzer der Engelpotheke in Leipzig.

Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage.

Preis M. 1,40.

Der Apotheker als Geschäftsmann.

Von **Dr. E. Mylius**,

Besitzer der Engelpotheke in Leipzig.

Preis M. 2,40.

Volkstümliche Arzneimittelnamen.

Eine Sammlung der im Volksmunde gebräuchlichen Benennungen der Apothekerwaren.

Von **Dr. J. Holfert**.

Dritte, verbesserte und vermehrte Auflage,

bearbeitet von **G. Arends**.

Preis M. 3,—; in Leinwand gebunden M. 4,—.

Neue Arzneimittel und Pharmazeutische Spezialitäten

einschließlich der

neuen Drogen, Organ- und Serumpräparate.

Von

G. Arends, Apotheker,

Redakteur an der Pharmazeutischen Zeitung.

In Leinwand gebunden Preis M. 6,—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Geschichte der Pharmazie.

Von

Hermann Schelenz.

Preis M. 20,—, in Halbleder geb. M. 22,50.

**Arbeiten aus dem Pharmazeutischen Institut
der Universität Berlin.**

Herausgegeben von **Dr. H. Thoms,**

Professor und Leiter des Pharmazeutischen Instituts der Universität Berlin.

Erster Band, umfassend die Arbeiten des Jahres 1903. Preis M. 4,—.

Die reichsgesetzlichen Bestimmungen

über den

Verkehr mit Arzneimitteln außerhalb der Apotheken

(Kais. Verordn. vom 22. Oktober 1901.) Nebst einem Anhang, enthaltend die Vorschriften über den Handel mit Giften und über die Abgabe starkwirkender Arzneimittel in den Apotheken.

Unter Benutzung der Entscheidungen der deutschen Gerichtshöfe

erläutert von **Dr. H. Böttger.**

Vierte, vermehrte Auflage.

Kart. Preis M. 3,60.

Giftverkauf-Buch für Apotheker und Drogisten.

Enthaltend die vom Bundesrat erlassenen Vorschriften über den Handel mit Giften und die seitens der Einzelstaaten herausgegebenen Einführungsverordnungen nebst dem vorschriftsmäßigen Formular zum Eintragen der verkauften Gifte.

Zusammengestellt und mit kurzen Erläuterungen versehen von

Dr. H. Böttger.

Zweite Auflage

Zweiter, die bis Mitte 1898 erlassenen Vorschriften berücksichtigender Abdruck.

In Halbmoleskin gebunden Preis M. 3,—.

Der Gift- und Farbwaren-Handel.

Gesetz- und Warenkunde für den Gebrauch in Drogen- und Materialwarenhandlungen sowie in Versandgeschäften und chemischen Fabriken

bearbeitet von

Arnold Baumann.

Kart. Preis M. 2,—.

**Die gesetzlichen Bestimmungen über die Anündigung von
Geheimmitteln, Arzneimitteln und Heilmethoden**

im Deutschen Reiche

einschließlich der Vorschriften über den

Verkehr mit Geheimmitteln.

Zum Gebrauche für Behörden, Apotheker, Fabrikanten und die Presse

bearbeitet von

E. Urban,

Redakteur an der Pharmazeutischen Zeitung.

Kart. Preis M. 2,60

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

