

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

A. Stein

Die Lehre
von der Energie

Zweite Auflage



Verlag von B. G. Teubner in Leipzig

Die Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“

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

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

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

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

Di
in

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296094

Jedes Bändchen

nden M. 1.25

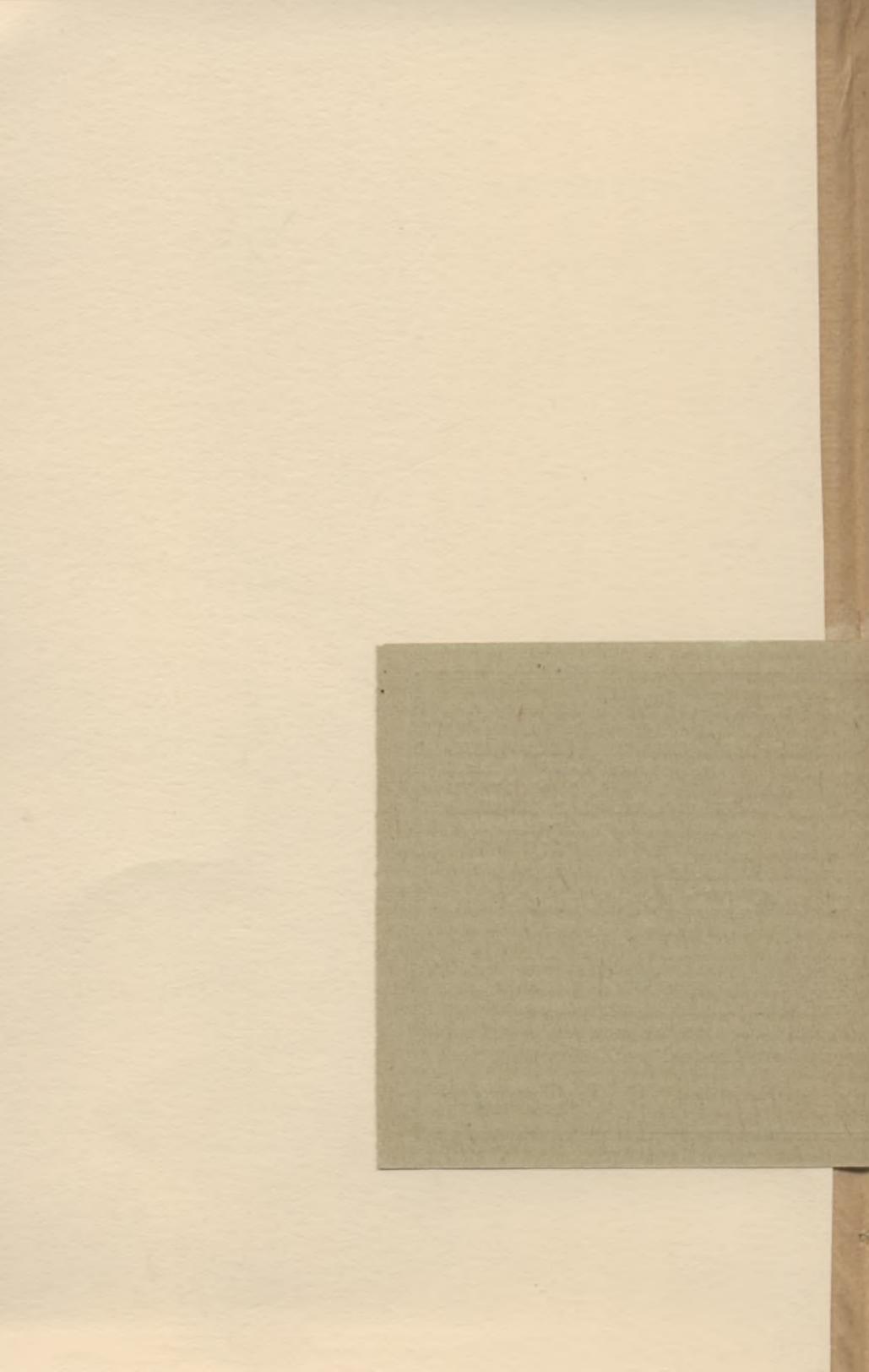
Leipzig

Teubner

Nachdem sich die Herstellungspreise seit Gründung der Sammlung für Satz und Druck um 45%, Einband um 100%, Papier um 160% gesteigert haben, sehe ich mich genötigt, den Verkaufspreis der Bändchen von M. 1.- geh., M. 1.25 geb., ab 1. Okt. 1916 auf M. 1.20 geh., M. 1.50 geb. zu erhöhen.

Nur ungern habe ich mich entschlossen, diese Preiserhöhung vorzunehmen, die ich bisher immer noch zu vermeiden gesucht. Ich mußte mich nunmehr dem Vorgehen der Verleger fast sämtlicher ähnlicher Sammlungen anschließen, um die Möglichkeit für einen weiteren dem bisher mit der Sammlung Geleisteten würdigen Ausbau zu schaffen.

Leipzig und Berlin B. G. Teubner



Jedes Bändchen geheftet M. 1.—, in Leinw. gebunden M. 1.25

Physik und Meteorologie. Chemie.

- Einleitung in die Experimentalphysik. Von Prof. Dr. R. Börnstein. Mit 90 Abb. (Bd. 371.)
- Werdegang der modernen Physik. Von Dr. H. Keller. (Bd. 343.)
- Die großen Physiker und ihre Leistungen. Von Prof. Dr. S. A. Schulze. Mit 7 Abb. (Bd. 324.)
- Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Von Prof. Dr. S. Auerbach. 3. Aufl. Mit 79 Fig. (Bd. 40.)
- Die graphische Darstellung. Von Prof. Dr. S. Auerbach. (Bd. 437.)
- Mechanik. Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. v. Jhering. 3 Bde. (Bd. 303, 304, 305, auch in 1 Bd. geb.)
- Bd. I: Die Mechanik der festen Körper. Mit 61 Abb. (Bd. 303.)
- Bd. II: Die Mechanik der flüssigen Körper. Mit 34 Abb. (Bd. 304.)
- Bd. III: Die Mechanik der gasförmigen Körper. [In Vorbereitung.] (Bd. 305.)
- Die Lehre von der Energie. Von Dr. A. Stein. Mit 13 Fig. (Bd. 257.)
- Moleküle — Atome — Weltäther. Von Prof. Dr. G. Mie. 3. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 58.)
- Radium und Radioaktivität. Von Dr. M. Centnerszwer. (Bd. 405.)
- Das Licht und die Farben. Von Prof. Dr. L. Graetz. 3. Aufl. Mit 117 Abb. (Bd. 17.)
- Sichtbare und unsichtbare Strahlen. Von Prof. Dr. R. Börnstein und Prof. Dr. W. Marschwald. 2. Aufl. Mit 85 Abb. (Bd. 64.)
- Die optischen Instrumente. Von Dr. M. v. Rohr. 2. Aufl. Mit 84 Abb. (Bd. 88.)
- Spektroskopie. Von Dr. L. Grebe. Mit 62 Abb. (Bd. 284.)
- Das Stereoskop und seine Anwendungen. Von Prof. Th. Hartwig. Mit 40 Abb. und 19 Tafeln. (Bd. 135.)
- Das Auge und die Brille. Von Dr. M. v. Rohr. Mit 84 Abb. und 1 Lichtdrucktafel. (Bd. 372.)
- Das Mikroskop, seine Optik, Geschichte und Anwendung. Von Dr. W. Scheffer. Mit 66 Abb. (Bd. 35.)

Jedes Bändchen geheftet M. 1.—, in Leinw. gebunden M. 1.25

Die Lehre von der Wärme. Von Prof. Dr. R. Börnstein.
Mit 33 Abb. (Bd. 172.)

Die Kälte, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung. Von
Dr. H. Alt. Mit 45 Abb. (Bd. 311.)

Das Wasser. Von Privatdozent Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abb.
(Bd. 291.)

Wind und Wetter. Von Prof. Dr. L. Weber. 2. Aufl. Mit
28 Figuren und 3 Tafeln. (Bd. 55.)

Gut und schlecht Wetter. Von Dr. R. Hennig. (Bd. 349.)

Einführung in die chemische Wissenschaft. Von Prof. Dr. W. Löb.
Mit 16 Figuren. (Bd. 264.)

Bilder aus der chemischen Technik. Von Dr. A. Müller. Mit
24 Abb. (Bd. 191.)

Luft, Wasser, Licht und Wärme. Neun Vorträge aus dem Ge-
biete der Experimentalchemie. Von Prof. Dr. R. Blochmann.
3. Aufl. Mit 115 Abb. (Bd. 5.)

Der Luftstickstoff und seine Verwertung. Von Prof. Dr. K. Kaiser.
Mit 13 Abb. (Bd. 313.)

Agrikulturchemie. Von Dr. P. Krische. Mit 21 Abb. (Bd. 314.)

Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe. Von Dr.
B. Bavink. Mit 7 Fig. (Bd. 187.)

Elektrochemie. Von Prof. Dr. K. Arndt. Mit 38 Abb. (Bd. 234.)

Photochemie. Von Prof. Dr. G. Kummell. Mit 23 Abb. (Bd. 227.)

Chemie und Technologie der Sprengstoffe. Von Prof. Dr.
R. Biedermann. Mit 15 Fig. (Bd. 286.)

Chemie in Küche und Haus. Von weil. Prof. Dr. G. Abel.
2. Aufl. von Dr. J. Klein. Mit 1 Doppeltafel. (Bd. 76.)

Aus Natur und Geisteswelt

1369

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

257. Bändchen

Die Lehre von der Energie

Von

Alfred Stein

Mit 13 Figuren im Text

Zweite Auflage



Druck und Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1914

W 25



1-391533

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

I 369

Copyright 1914
by B. G. Teubner in Leipzig.

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

Akc. Nr.

~~211~~ 50
BPK-B-98/2017

Vorwort zur ersten Auflage.

Die folgenden Ausführungen wollen in elementarer Weise eine Vorstellung von der Einheit vermitteln, welche durch die Aufstellung des Energiebegriffs und des Energiegesetzes in unsere Naturauffassung gekommen ist. Obwohl in der energetischen Betrachtung der Naturvorgänge die Möglichkeit zu einer völlig hypothesenfreien Naturwissenschaft liegt, ist die mechanische Auffassung und mit ihr die Atomtheorie beibehalten worden, scheint es doch, als ob die mechanischen Hilfsvorstellungen unserem Erkenntnisvermögen derart entsprächen, daß wir ihrer nicht mehr entraten können. Auf das Willkürliche und Bedingte, das in ihrer Anwendung liegt, ist nachdrücklich aufmerksam gemacht worden. Innerhalb der bescheidenen Grenzen, in denen sich die Abhandlung bewegt, konnte der philosophische Versuch, die Energetik zu einer auch die geistigen Erscheinungen umspannenden Weltanschauung zu erheben, nur andeutungsweise gewürdigt werden.

Grimma, im Dezember 1908.

A. Stein.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Das Gesetz von der Erhaltung der Energie hat sich auch in der neuesten Entwicklung der Naturwissenschaften, die so viele bisher als völlig gesichert geltende Anschauungen erschütterte, in ganzem Umfange behauptet. Dazu ist noch der Nachweis der Realität der Atome gekommen, die heute für uns fast denselben Wirklichkeitsgrad besitzen wie die Dinge, die wir unmittelbar sinnlich wahrnehmen, so daß durchgreifende Veränderungen der kleinen Arbeit nicht geboten erschienen. Den dankenswerten Vorschlägen zu kleineren Verbesserungen sowie dem Wunsche nach einigen Kürzungen bin ich gern nachgekommen.

Grimma, im Januar 1914.

A. Stein.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Erstes Kapitel: Der Energiebegriff	2
Zweites Kapitel: Energieformen	5
1. Mechanische Energie	5
2. Wärmeenergie	18
3. Chemische Energie	38
4. Elektrische und magnetische Energie	56
Drittes Kapitel: Die Sonne als Energiezentrum	75
Viertes Kapitel: Das Perpetuum mobile	93
Fünftes Kapitel: Die Bewegung der Energie	106
Schlußbetrachtung	126

Einleitung.

Die Eindrücke, die durch unsere Sinne in das Bewußtsein drängen, sind von ungeheurer Mannigfaltigkeit. Tausend und abertausend lebende und tote Individuen stehen vor unserem Auge, machen sich Ohr und Tastsinn bemerkbar. Jeder einzelne Gegenstand bietet im Laufe der Zeit verschiedene Eindrücke, und die Zahl der Wechselwirkungen, in die die einzelnen Dinge zueinander treten, wächst in das Unendliche. Der Mensch, der Herr der Erde sein will, muß Herr der Vorstellungen werden, die in unendlicher Zahl in seinem Bewußtsein entstehen. Er müßte an dieser Aufgabe verzweifeln, wenn ihm nicht die Fähigkeit und der sich überall durchsetzende Trieb verliehen wären, zu ordnen, zu verbinden, zu vereinheitlichen. Manche Zusammenhänge ergeben sich unmittelbar. So lernen schon die Naturvölker die Veränderungen innerhalb der Jahreszeiten auf die Sonne zurückzuführen. Die Sonne wird die alles beherrschende und ordnende Vorstellung. Die Anfänge philosophischen Denkens schon beschäftigen sich mit der Frage nach einem einheitlichen Gesichtspunkte, von dem aus man die Welt betrachten und die Vorgänge in ihr ordnen kann. Einem ist die herrschende Vorstellung das Wasser, einem zweiten das Feuer, einem dritten Liebe und Haß der Elemente. Immer wurden alte Versuche einheitlicher Erklärungen des Weltgeschehens aufgehoben durch neue Erkenntnisse. Je mehr sich die einzelnen Wissensgebiete erweiterten, in um so größere Ferne rückte das Ideal einer einheitlichen Zusammenfassung aller Erscheinungen. Niemals aber ist das Streben nach Einheit im Menschengenosse erloschen. Es fand seine Stätte in der Philosophie und Religion. Suchte die erstere die Einheit in Begriffen wie Substanz und Wille, so ist die Krönung des Einheitsbestrebens in der letzteren der Gottesbegriff. Gott ist die letzte Ursache aller Dinge. Leider divergierten Wissenschaft, Philosophie und Religion von der ursprünglichen schönen naiven Einheit an immer mehr und mehr. Die Einzelwissenschaften begnügten sich, die Vorstellungen ihres Gebietes zu ordnen und in ursächlichen Zusammenhang zu setzen. Dabei bleibt als Endziel aber immer

bestehen, eine einzige, das ganze Gebiet umfassende Vorstellung zu finden.

Ein Wissensgebiet nun besitzt einen solchen alles beherrschenden zentralen Begriff. In der Physik hat das Streben nach einheitlicher Auffassung einen gewissen Abschluß gefunden durch die Aufstellung des Energiebegriffs. Dieser beherrscht nicht nur die in der Physik behandelten Zustände und Vorgänge, sondern ist über den Rahmen einer einzelnen Wissenschaft hinausgewachsen und umspannt die Geschehnisse der Körperwelt überhaupt. Es gibt in der Natur keinen Vorgang, der sich nicht energetisch, d. h. unter dem Gesichtspunkt der Energie darstellen ließe. Man hat sogar den kühnen Versuch gemacht, von hier aus die verloren gegangene einheitliche Weltanschauung zurückzuerobern und ein vollständiges energetisches Weltbild zu schaffen, indem man auch die psychischen Vorgänge mit Hilfe des Energiebegriffs zu erfassen suchte. Diese einzigartige Bedeutung der Lehre von der Energie mag es der Mühe wert erscheinen lassen, sich durch die Gedankengänge hindurchzuarbeiten, die zu ihrem Verständnis notwendig sind.

Erstes Kapitel.

Der Energiebegriff.

Ehe der Energiebegriff eingeführt werden kann, sind einige Begriffe zu entwickeln, die seine Grundlage bilden. Die Physik hat zum Gegenstand ihrer Beschreibung und verstandesmäßigen Durchdringung Körper, Vorgänge oder Zustände. Bei den Vorgängen und Zuständen sind verschiedene Arten zu unterscheiden. Es gibt mechanische Vorgänge. Die Fallbewegung gehört hierher. Die Entladung einer Leydener Flasche ist ein elektrischer, das Sieden des Wassers ein thermischer Vorgang. So gibt es auch verschiedene Zustände. Gewitterwolken sind elektrisch geladen; der Dampfkessel, der magnetisierte Stahl befinden sich in besonderen Zuständen. Es ist aber offenbar ein gewaltiger Unterschied zwischen der Entladung einer Leydener Flasche durch den elektrischen Funken und der Entladung einer Gewitterwolke durch den Blitz, obwohl die Vorgänge und auch die diesen vorausgehenden Zustände in beiden Fällen gleichartig sind.

Zu der Art der Vorgänge und Zustände kommt der wichtige

Begriff der Größe. Zur Bestimmung derselben dient das Messen. Die Bestimmung einer unbekanntes Größe erfordert eine bekannte, das Maß. Dieses muß eine Größe von derselben Art sein wie die zu untersuchende unbekanntes. Man kann den elektrischen Strom nicht mit dem Metermaß messen, sondern zu seiner Bestimmung kann nur eine gleichartige Größe dienen, der elektrische Strom, der in der Zeiteinheit eine bestimmte Wirkung ausübt. Die Größe des Maßes ist willkürlich; aber eine Bedingung muß es erfüllen, es muß unveränderlich sein.

Von überragender Bedeutung sind das Längenmaß, das Gewicht und das Zeitmaß, und zwar aus folgendem Grunde. Es ist leicht einzusehen, daß für elektrische und magnetische Größen eine Aufbewahrung von Grundmaßen, wie das beim Meter und Kilogramm leicht geschehen kann, unmöglich ist. Darum führte man diese Größen auf Länge, Gewicht und Zeit zurück. Alle Maße der Physik sind auf die drei Grundmaße zurückgeführt, so daß keine einzige physikalische Messung existiert, die nicht in ihnen ausgedrückt werden könnte. Schon daraus ist ersichtlich, bis zu welchem Grade einheitlicher Betrachtung die physikalische Forschung vorwärts geschritten ist. Bei wissenschaftlichen Messungen dienen als Einheiten gewöhnlich das Zentimeter und das Gramm, während praktische Messungen vorzugsweise das Kilogramm und das Meter benutzen. Es gibt übrigens zwei Maßsysteme, das absolute und das technische. Ihr Unterschied besteht darin, daß ersteres die Masse (ein noch zu erläuternder Begriff), letzteres das Gewicht als Grundmaß einführt. Als Zeiteinheit gilt in der Physik die Sekunde.

Die physikalischen Vorgänge sind Bewegungen oder werden wenigstens als Bewegungen aufgefaßt. Einen Körper können wir bewegen durch die Anstrengung oder die Kraft unserer Muskeln. Wenn wir nun bemerken, daß ein Körper ohne unser Zutun in Bewegung gerät, so erblicken wir umgekehrt die Ursache dieses Vorganges in einer Kraft. Wir schließen also von den Bewegungen, die wir mit Hilfe unserer Körperkraft verursachen können, auf alle Bewegungen, indem wir ihnen als Ursachen Kräfte zuschreiben. Dies ist auch berechtigt, da unsere Muskelkraft und andere Ursachen der Bewegung gleichartig sind. Das zeigt sich darin, daß wir mit ihrer Hilfe die Wirkung anderer Bewegungsursachen, z. B. die der Schwerkraft aufheben oder verstärken können.

Die Kraft kann wirken als Druck oder als Zug. Ihr Maß ist in beiden Fällen das Gewicht. Eine Kraft ist gleich einem bestimmten Gewicht, wenn ihre Wirkung durch dieses aufgehoben wird. Wenn das geschehen soll, so muß die Richtung der zu messenden Kraft der Richtung, in welcher das Gewicht wirkt, genau entgegengesetzt sein. Nun wirkt aber das Gewicht immer lotrecht, während Kräfte beliebige Richtungen haben können. Es kann aber die Richtung jeder Kraft leicht in die lotrechte verwandelt werden, wenn man sie an einem Faden wirken läßt, den man über eine Rolle legt.

Wenn eine Kraft einen Körper fortbewegt, so sagt man, sie arbeite. Das Resultat ihrer Wirkung nennt man Arbeit. Wenn man 1 kg 1 m hoch vom Boden hebt, so wird eine Arbeit von ganz bestimmter Größe geleistet. Diese Arbeit wird offenbar verdoppelt, wenn man 2 kg 1 m oder auch 1 kg 2 m hoch hebt. Hebt man 3 kg 2 m hoch, so verrichtet man offensichtlich eine 6 mal so große Arbeit. Die Größe der Arbeit ist gleich dem Produkt aus der Kraft und dem in der Richtung der Kraft zurückgelegten Wege. Nach den eingeführten Maßeinheiten ist das Maß für die Arbeit das Meterkilogramm (mkg), das ist die Arbeit, die verrichtet wird, wenn eine Last von 1 kg 1 m hoch gehoben, überhaupt ein Widerstand von 1 kg auf einem Wege von 1 m überwunden wird.

Es ist zu beachten, daß in dem physikalisch festgelegten Begriffe der Arbeit die Zeit nicht enthalten ist. Ob ein Gewicht in der Zeiteinheit oder einem Vielfachen derselben auf eine bestimmte Höhe gehoben wird, verändert die Größe der Arbeit nicht. Durch Einführung der Zeit entsteht ein neuer Begriff, der Effekt. Darunter versteht man die in der Zeiteinheit geleistete Arbeit. Dieser Begriff ist bei Verwendung von Kräften von Wichtigkeit; denn es kommt nicht nur darauf an, daß eine Arbeit überhaupt getan werde, sondern auch, daß dies in einer bestimmten Frist geschehe. Im praktischen Maschinenbetriebe dient als Einheit gewöhnlich die Pferdekraft oder Pferdestärke (PS), nämlich die Arbeit von 75 mkg in 1 Sekunde. Die Arbeit eines Mannes wird auf $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{7}$ Pferdestärke geschätzt.

Diese Vorbereitungen genügen zur Einführung des Energiebegriffs. Er ist mit dem Arbeitsbegriff innig verbunden. Unter Energie versteht man das Vermögen eines Körpers oder Systems,

Arbeit zu leisten. Daraus ist ersichtlich, daß die Energie gemessen werden kann. Die Größe der Energie, die ein Körper oder ein System besitzt, wird ausgedrückt durch die Arbeit, die verrichtet werden kann. Das Maß der Energie ist also dasselbe wie das der Arbeit, nämlich das Meterkilogramm. Ein Körper besitzt die Energie von a mkg heißt also, er kann eine Arbeit von a mkg verrichten, wo a irgendeine Zahl bedeutet.

Es ist mehr als ein bloßer Zufall, daß der Begriff, der unsere gesamte Naturauffassung beherrscht, zugleich das Zeichen unseres rastlos ringenden und schaffenden Zeitalters ist: die Arbeit. Die gegenwärtige ethische Bewertung der Arbeit ist wohl zweifellos ein nicht zu unterschätzender Faktor gewesen, dem, wenn er vielleicht auch nicht in das Bewußtsein trat, die Lehre von der Energie ihre verhältnismäßig rasche und allseitige Anerkennung mit verdankt. Es mußte einer Zeit, die Menschenwürde und Arbeit so innig verbindet, überaus sympathisch erscheinen, wenn der Arbeitsbegriff nicht nur zu einem wirtschaftlichen und ethischen Fundament, sondern auch zur Basis wissenschaftlicher Betrachtungsweise gemacht werden sollte.

Zweites Kapitel.

Energieformen.

1. Die mechanische Energie.

Die Zustände, in denen Körper Arbeitsmöglichkeit, Energie besitzen, können verschiedener Art sein. Infolgedessen unterscheidet man auch verschiedene Formen der Energie. Wir betrachten zunächst die mechanische Energie.

Hebt man einen Körper vom Gewicht G (G bedeutet irgendeine Anzahl kg) auf die Höhe H (H bedeutet irgendeine Anzahl m), so kann dies nur geschehen durch eine Arbeit. Diese ist das Produkt aus Kraft und Weg, in diesem Falle also GH mkg. Befestigt man den Körper in der neuen Lage an einer Schnur, die über eine Rolle gelegt ist, so kann er, wenn er aus der Höhe H in seine frühere Lage zurückfällt, auf der andern Seite der Rolle einen andern Körper auf seine eigene Höhe heben. Der Körper besitzt also in der Höhe H Arbeitsmöglichkeit oder Energie. Man nennt diese Form ruhende Energie oder Energie der Lage. Die Arbeit ist in dem Körper ge-

wissermaßen aufgespeichert worden, sie kann von ihm in jedem Augenblick wieder zurückgegeben werden, sie ist zur Arbeitsmöglichkeit, zur potentiellen Energie geworden.

Sie ist von großer Bedeutung bei gehobenem Wasser. Dieses vermag Arbeit zu leisten, wenn es von einem höheren auf ein tieferes Niveau fällt, eine schon längst bekannte, aber bei weitem noch nicht genügend ausgenützte Tatsache. 1 Kubikmeter Wasser (1000 kg), das 3 m hoch herabfallen kann, besitzt eine Energie der Lage von 3000 mkg. Denken wir uns einen Wasserfall, der in der Sekunde 1 Kubikmeter Wasser 3 m hoch herabstürzen läßt. Dieser verrichtet in der Sekunde eine Arbeit von 3000 mkg. Das ist ein Effekt von 40 Pferdestärken. Daraus ist ersichtlich, welche große Arbeitsfähigkeit in den Wasserfällen steckt. Möglichst vollkommene Ausnützung derselben gehört zu den hervorragendsten Aufgaben der modernen Technik. Nicht nur Mühlen zehren von dem Arbeitsvorrat oder der Energie gehobenen Wassers, sondern Werke verschiedenster Art, Beleuchtungsanlagen und Kraftstationen für Bahnen, Aluminiumwerke und Salpetersäurefabriken haben sich an den großen Wasserfällen angesiedelt. Das gehobene Wasser stellt einen Energievorrat dar ähnlich wie die Kohlenlager, nur mit dem Unterschied, daß die Energie gehobenen Wassers nie aufgebraucht werden kann wie die Kohle, da es sich in einem unaufhörlichen Kreislauf befindet.

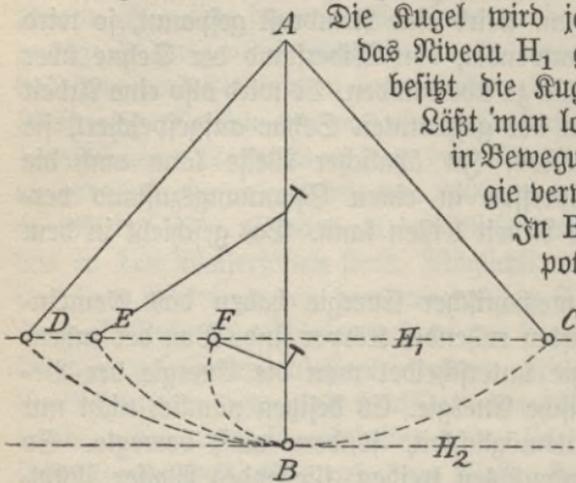
Es gibt noch eine andere Form der potentiellen Energie. Ein Uhrwerk, das durch Gewichte getrieben wird, wird dadurch aufgezo- gen, daß man diese in die Höhe hebt, also eine Arbeit verrichtet. Das Gewicht besitzt dann in seiner Höhenlage Energie. Es kann Arbeit verrichten, die darin besteht, daß es während seines Falles das Räderwerk treibt. Uhren können aber auch durch Federn getrieben werden. Das Aufziehen geschieht dann dadurch, daß man die Feder spannt. Auch hierbei wird eine Arbeit geleistet. Es wird eine Umdrehung ausgeführt, also ein Weg zurückgelegt. Dabei wird durch die Muskelkraft ein Widerstand überwunden, nämlich der Widerstand der zu spannenden Feder. Die Größe der aufgewandten Arbeit ist wiederum Kraft mal Weg. Diese Arbeit wird aufgespeichert in der gespannten Feder. Der Unterschied zwischen diesem und dem vorhergehenden Falle liegt darin, daß die Arbeitsmöglichkeit hier nicht in einer Höhenlage, sondern in einer Spannung begründet ist. Man nennt diese Form potentieller

Energie Spannungsenergie oder auch kurz Spannung, ein Begriff, der wie so viele andere aus der Mechanik auf andere Zustände übertragen worden ist. Man spricht von Dampfspannungen und von der Spannung elektrischer Ladungen.

Auch für die Spannungsenergie findet man leicht Beispiele aus dem täglichen Leben. Wird eine Armbrust gespannt, so wird die Muskelkraft dazu verwendet, den Widerstand der Sehne über einen bestimmten Weg hin zu überwinden. Es wird also eine Arbeit geleistet. Diese wird in der gespannten Sehne aufgespeichert, sie wird zur Arbeitsmöglichkeit. In ähnlicher Weise kann auch die Luft durch Zusammenpressen in einen Spannungszustand versetzt werden, so daß sie Arbeit leisten kann. Das geschieht in dem bekannten Luftgewehr.

Alle diese Formen mechanischer Energie haben das Gemeinsame, daß sie Eigenschaften ruhender Körper sind. Von der ruhenden potentiellen Energie unterscheidet man die Energie der Bewegung oder die kinetische Energie. Es besitzen nämlich nicht nur ruhende Körper Arbeitsmöglichkeit, sondern auch bewegte. So kann bewegte Luft Windmühlen treiben, fließendes Wasser Mühlräder und Turbinen in Bewegung setzen. Es ist leicht ersichtlich, daß zwischen beiden Formen der mechanischen Energie ein inniger Zusammenhang besteht. Die ruhende Energie muß sich nämlich in Bewegungsenergie umwandeln, wenn sie Arbeit verrichten soll. Die gespannte Sehne der Armbrust muß sich wirklich in Bewegung setzen, um den Bolzen fortzuschleudern. Das emporgehobene Wasser muß von seiner Höhe herabfallen, wenn es Arbeit leisten soll. Hier verwandelt sich potentielle in kinetische Energie. Auch das Umgekehrte kann der Fall sein. Werfen wir einen Stein in die Höhe, so erteilen wir ihm eine bestimmte Anfangsgeschwindigkeit und damit kinetische Energie. Beim Steigen nun nimmt seine Geschwindigkeit mehr und mehr ab, bis sie schließlich gleich Null wird. In diesem Augenblicke der Ruhe ist natürlich keine kinetische Energie mehr vorhanden. Dafür besitzt jetzt der Stein Energie der Lage. Erstere hat sich in letztere umgewandelt. Es fragt sich nun, ob irgendein gesetzmäßiger Zusammenhang die Umwandlung der beiden Energieformen ineinander beherrscht. Das Gesetz müßte studiert werden an einem Apparate, der beide Umwandlungen der Energieformen zeigt.

Tatsächlich existiert eine solche Vorrichtung einfachster Art. Es ist das jedermann bekannte Pendel, eine an einem dünnen Faden hängende Metallkugel. Ist das Pendel in Ruhe, so befindet sich die Kugel in B senkrecht unter dem Aufhängepunkt A. Bringt man die Kugel aus der Ruhelage nach C, so leistet man eine Arbeit.



Die Kugel wird ja vom Niveau H_2 auf das Niveau H_1 gehoben. Im Punkte C besitzt die Kugel potentielle Energie.

Läßt man los, so setzt sich die Kugel in Bewegung, die potentielle Energie verwandelt sich in kinetische.

In B besitzt die Kugel keine potentielle Energie mehr;

denn sie ist ja wieder bis zum Niveau H_2 gefallen. Es hat sich demnach alle potentielle

Energie in kinetische umgewandelt. Von B

aus steigt die Kugel, d. h. die kinetische Energie verwandelt sich in potentielle. Die Kugel erreicht im Punkte D genau wieder das Niveau H_1 . Diese Tatsache wird auch nicht geändert, wenn man den steigenden Körper nötigt, einen andern Weg einzuschlagen. Man kann dies leicht erreichen, wenn man unter dem Aufhängepunkte einen Nagel anbringt, so daß nur ein Teil des Fadens nach links schwingen kann. Dadurch kann der Weg der aufsteigenden Kugel beliebig verändert werden. Es ist nun ganz gleichgültig, ob die Kugel auf dem Wege BD, BE oder BF steigt; immer erreicht sie das ursprüngliche Niveau H_1 .

Was bedeutet diese Tatsache? Die kinetische Energie, die ihren größten Wert in B erreicht hatte, hat sich wieder in potentielle Energie umgewandelt. Die Kugel ist von dem Niveau H_2 wieder auf H_1 gehoben worden. Das heißt aber, sie besitzt in den Punkten D, E und F dieselbe potentielle Energie wie in Punkt C; denn diese besteht ja in der Höhenlage, und die ist in allen Punkten des Niveaus H_1 gleich. Die potentielle Energie hat sich also in einen gewissen Betrag von kinetischer Energie verwandelt. Aus diesem Betrag ist die ursprüngliche potentielle Energie wieder gewonnen

worden, kein Deut mehr, kein Deut weniger. Die Größe der Energie, die durch mkg ausgedrückt werden kann, hat sich also bei der Umwandlung von potentieller in kinetische und umgekehrt erhalten.

Wir begegnen hier zum ersten Male dem allgemeinsten und obersten Naturgesetz, dem Erhaltungsgesetz der Energie oder, wie man es gewöhnlich nennt, dem Prinzip von der Erhaltung der Energie.

Die Energie der Lage und die Energie der Bewegung sind verschiedenartige Größen. Das zeigt sich darin, daß man letztere nicht ohne weiteres mit dem Maß der potentiellen Energie, dem Meterkilogramm bestimmen kann. Kenne ich von einem gehobenen Körper Gewicht (G) und Höhe (H), so kann ich ohne weiteres die potentielle Energie $G \cdot H$ mkg angeben. Soll dagegen die Energie eines bewegten Körpers, etwa die eines Geschosses bestimmt werden, so läßt sich mit dem Meterkilogramm zunächst nichts anfangen. Nur das Gewicht, der eine Faktor zur Bestimmung der potentiellen Energie, ist auch beim bewegten Körper bestimmbar. Offenbar hängt seine Energie ab von der Geschwindigkeit. Ein Geschöß besitzt im Ruhezustand keine Arbeitsmöglichkeit, in Bewegung aber vermag es gewaltige Wirkungen hervorzurufen. Unter Geschwindigkeit eines Körpers versteht man den Weg, den er in der Zeiteinheit zurücklegt. Je nachdem die Geschwindigkeit gleich bleibt, zu- oder abnimmt, unterscheidet man gleichförmige, beschleunigte und verzögerte Bewegungen.

Da oben die kinetische Energie zur potentiellen in Beziehung gesetzt wurde, so liegt es nahe, die Bewegung zu untersuchen, die aus der Energie der Lage entsteht. Am einfachsten gestalten sich die Verhältnisse beim freien Fall. Denken wir uns einen Körper auf der Höhe H . Er besitzt potentielle Energie, die sich in kinetische verwandelt, wenn er von der Höhe herabfällt. Die Ursache der Fallbewegung nennen wir Schwerkraft. Die Geschwindigkeit wächst während des Falles. Es ist leicht einzusehen, daß die schließlich erreichte Geschwindigkeit mit der Fallzeit in Zusammenhang stehen muß. Am Ende der ersten Sekunde beträgt sie, wie durch Versuche festgestellt werden kann, 10 m (genau 9,81 m), am Ende der zweiten 20, am Ende der dritten 30 m usw. Die Fallbewegung ist also eine beschleunigte Bewegung. Wenn man sagt, die Geschwindigkeit am Ende der ersten Sekunde betrage 10 m, so meint

man, der Körper würde, wenn er sich von diesem Augenblicke an mit der erlangten Geschwindigkeit gleichförmig fortbewegte, in der nächsten Sekunde einen Weg von 10 m zurücklegen. Die Geschwindigkeitszunahme in der Sekunde nennt man die Beschleunigung. Sie beträgt beim freien Falle demnach ungefähr 10 m. Für diese Größe setzt man häufig den Buchstaben g (gravitas). Man kann leicht die Endgeschwindigkeit eines fallenden Körpers nach einer bestimmten Zeit ausrechnen. Sie beträgt z. B. nach 5 Sekunden $5 \cdot g = 50$ m. Nach t Sekunden wird die Geschwindigkeit $g \cdot t$ erreicht. Die Endgeschwindigkeit bezeichnet man gewöhnlich mit dem Buchstaben c , so daß also $c = g \cdot t$. Wir haben damit aber noch keine Beziehung zwischen Endgeschwindigkeit und Höhe, aus welcher der Körper fällt, hergestellt. Das ist aber nötig, wenn wir die kinetische aus der potentiellen Energie ableiten wollen. Man kann nun durch Versuche zeigen, daß ein Körper in 1 Sekunde 5, in 2 Sekunden 20, in 3 Sekunden 45, in 4 Sekunden 80 m fällt. Der Fallraum in 1 Sekunde beträgt also 5 m. Der Körper würde dieselbe Strecke zurücklegen, wenn er sich mit der Geschwindigkeit von 5 m gleichförmig fortbewegte. Nun beträgt die Geschwindigkeit am Anfang der ersten Sekunde 0 m, am Ende 10 m. 5 m ist das arithmetische Mittel aus Anfangs- und Endgeschwindigkeit. Man kann sich demnach die Fallbewegung ersetzt denken durch eine gleichförmige Bewegung mit der mittleren Geschwindigkeit aus Anfangs- und Endgeschwindigkeit. Nach 2 Sekunden beträgt die Endgeschwindigkeit 20 m, die mittlere Geschwindigkeit demnach 10 m. Der Körper durchfällt also in 2 Sekunden dieselbe Höhe, als ob er sich mit der mittleren Geschwindigkeit von 10 m gleichförmig fortbewegte. Wir erhalten als Fallhöhe 20 m. Denken wir uns nun einen Körper von der Höhe H herabfallen. Er falle t Sekunden und erlangt die Geschwindigkeit $c = g \cdot t$. Dann ist die mittlere Geschwindigkeit $\frac{c}{2}$ oder $\frac{g \cdot t}{2}$. Der Körper fällt t Sekunden lang, legt also einen Weg von $\frac{g \cdot t^2}{2}$ zurück. Der zurückgelegte Weg ist aber identisch mit der Höhe, also $H = \frac{g \cdot t^2}{2}$. Um endlich die Geschwindigkeit einzuführen, erweitern wir den Bruch mit g , ergibt $\frac{(gt)^2}{2g} = \frac{c^2}{2g}$, da $c = g \cdot t$.

Damit ist die Beziehung der Fallhöhe zur Geschwindigkeit ge-

funden. $H = \frac{c^2}{2g}$. Die potentielle Energie verwandelt sich während des Falles in kinetische. Wir sahen beim Pendel, daß letztere sich wieder in potentielle umsetzen kann. Der Körper, der durch den Fall aus der Höhe H die Geschwindigkeit c erlangt hat, wird, wenn er mit der Geschwindigkeit c aufsteigt, dieselbe Höhe H erreichen. Wir können jetzt in dem Ausdruck $G \cdot H$, der die Energie der Lage darstellt, H durch $\frac{c^2}{2g}$ ersetzen. Wir erhalten $\frac{G \cdot c^2}{2g}$. Was bedeutet dieser Ausdruck? Er stellt nach wie vor die Größe der Energie dar. Nur ist an Stelle der Höhe H die Geschwindigkeit getreten. $\frac{G \cdot c^2}{2g}$ stellt die Größe der Energie eines bewegten Körpers dar.

Wir können jetzt das Meterkilogramm auch als Maß für die kinetische Energie verwenden. Einige Beispiele mögen dies erläutern. Ein Geschöß von 20 g erreiche mit einer Geschwindigkeit von 500 m das Ziel. Nach der gefundenen Formel beträgt die Energie $\frac{0,02 \cdot 500^2}{2 \cdot 10} = 250$ mkg. Das Geschöß kann eine Arbeit von 250 mkg verrichten. Es kann einen Druck von 250 kg auf einer Strecke von 1 m oder einen Druck von 25 000 kg auf einer Strecke von 1 cm überwinden.

Ein 10 kg schwerer Stein liege 45 m hoch. Seine potentielle Energie beträgt dann $10 \cdot 45 = 450$ mkg. Er falle nun 1 Sekunde lang. Er durchmißt dabei eine Strecke von 5 m. Seine potentielle Energie beträgt jetzt noch $10 \cdot 40 = 400$ mkg. Er hat aber am Ende der 1. Sekunde eine Geschwindigkeit von 10 m erlangt. Infolgedessen besitzt er eine kinetische Energie von $\frac{10 \cdot 10^2}{2 \cdot 10} = 50$ mkg.

Die Gesamtenergie ist wiederum $400 + 50 = 450$ mkg. Der Körper falle jetzt aus seiner ursprünglichen Lage 2 Sekunden lang, wobei er einen Fallraum von 20 m durchmißt. Die potentielle Energie beträgt noch $10 \cdot 25 = 250$ mkg. Er hat am Ende der 2. Sekunde eine Geschwindigkeit von 20 m erreicht. Das gibt eine kinetische Energie von $\frac{10 \cdot 20^2}{2 \cdot 10} = 200$ mkg. Die Gesamtenergie beträgt $250 + 200 = 450$ mkg. Fällt der Körper 3 Sekunden lang, so hat er die ganze Höhe durchgemessen. Er besitzt dann keine potentielle Energie mehr. Dafür hat er jetzt eine Geschwindigkeit

von 30 m erlangt. Das gibt eine kinetische Energie von $\frac{10 \cdot 30^2}{2 \cdot 10} = 450$ mkg. Wir sehen hieraus, daß der Körper soviel an kinetischer Energie gewinnt, als er an potentieller verliert, daß in jedem Punkte seiner Bahn die Gesamtenergie dieselbe ist. Die Abnahme der potentiellen Energie ist gleich der Zunahme an kinetischer Energie, wenn der Körper fällt und umgekehrt, wenn er steigt.

Die Umwandlung von kinetischer in potentielle Energie kann man benützen, um erstere zu messen. Potentielle Energie ist der Messung viel leichter zugänglich als kinetische. Das liegt daran, daß die potentielle Energie Zustände ruhender Körper darstellt. Man kann eine Höhe leichter messen als eine Geschwindigkeit. Diese nun läßt sich bestimmen, wenn man den bewegten Körper aufsteigen läßt. Die Geschwindigkeit steht dann zu der erreichten Höhe in der gefundenen Beziehung $H = \frac{c^2}{2g}$. Aus der Bestimmung der Steighöhe folgt demnach die Anfangsgeschwindigkeit. Nun ist aber bei großen Geschwindigkeiten, wie bei Geschossen, die Steighöhe so groß, daß sie der Beobachtung unzugänglich wird. Man hilft sich dann dadurch, daß man die kinetische Energie des Geschosses auf eine große Masse überträgt. Man läßt das Geschöß gegen ein sogenanntes ballistisches Pendel schlagen. Dabei geht die Bewegungsenergie des Geschosses auf die größere Masse des Pendels über. Dieses verwandelt sie in die potentielle Form, welche durch Messung des Gewichts und der Steighöhe des Pendels leicht bestimmt werden kann. Daraus vermag man dann die Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses zu berechnen.

Da die Kräfte, wie wir an der Schwerkraft erkannten, den Körpern Beschleunigungen verleihen, wenn sie kontinuierlich wirken, so kann man mit Hilfe der Beschleunigungen die verursachenden Kräfte messen. Die Beschleunigungen sind den Kräften proportional, das heißt, einer doppelt so großen Kraft entspricht eine doppelt so große Beschleunigung. Die Beschleunigung aber, die eine Kraft verursacht, ist nicht allein abhängig von der Größe der Kraft, sondern auch von dem Körper, auf den diese einwirkt. Ein Körper setzt nämlich der Beschleunigung einen Widerstand entgegen. Diesen Widerstand nennt man die Masse des Körpers. Man stelle sich eine Kugel auf einer horizontalen Ebene vor. Wenn man ihr mit der Hand

eine Beschleunigung erteilt, so fühlt man deutlich einen Widerstand. Dieser ist nicht etwa identisch mit dem Gewicht; denn dieses wirkt ja lotrecht nach unten. Es ist vielmehr die Masse des Körpers, die hier dem Tastsinn bemerkbar wird. Allerdings stehen die Massen zu den Gewichten in einem bestimmten Verhältnis. Will ich einer doppelt so schweren Kugel dieselbe Beschleunigung erteilen, so muß ich die doppelte Kraft aufwenden. Dem doppelten Gewicht entspricht also ein doppelter Widerstand oder nach der Definition eine doppelte Masse. Die Massen verhalten sich demnach wie die Gewichte. Die Größe einer Kraft kann also gemessen werden durch die Größe der Beschleunigung und durch die Größe der Masse, welche beschleunigt wird. Man kann das kurz ausdrücken, indem man sagt: Die Kraft ist gleich dem Produkt aus Masse und Beschleunigung. Beim freien Fall nun ist die wirkende Kraft die Schwerkraft, die durch das Gewicht ausgedrückt wird. Demnach ist $G = mg$, oder $m = \frac{G}{g}$. Die Masse ist also der Quotient aus Gewicht und Beschleunigung. Die Einführung des Massenbegriffs neben dem Gewicht ist notwendig, da letzteres gar keine Eigenschaft ist, die einem Körper an sich zukommt. Das Gewicht eines Körpers kommt nämlich zustande durch eine wechselseitige Anziehung zwischen demselben und der Erde, ist abhängig von der Größe derselben und verändert sich mit der Entfernung vom Erdmittelpunkte. Da die Erde keine vollkommene Kugel ist, ist tatsächlich das Gewicht ein und desselben Körpers bereits auf verschiedenen Stellen der Erdoberfläche etwas verschieden. Nun verändert sich aber in derselben Weise wie das Gewicht auch die Beschleunigung, so daß der Quotient aus beiden, eben die Masse, eine völlig konstante Größe ist, die eine Eigenschaft des Körpers an sich darstellt. Führt man an Stelle von $\frac{G}{g}$ die Bezeichnung der Masse m ein, so gewinnt der Ausdruck $\frac{G \cdot c^2}{2g}$ die einfache Form $\frac{m c^2}{2}$. Die Energie eines bewegten Körpers ist demnach gleich dem halben Produkt aus der Masse und dem Quadrat der Geschwindigkeit. Man nennt diesen Ausdruck die Wucht oder auch nach Leibniz die „lebendige Kraft“ des Körpers. Die letztere Bezeichnung bietet leicht zu einem Irrtum Veranlassung. Wir haben im vorhergehenden die Kräfte als die Ursachen der

Bewegung bezeichnet. Hier, wo das Wort die Energie eines bewegten Körpers bedeutet, hat es einen völlig anderen Sinn. Die beiden Bedeutungen des Wortes „Kraft“ sind so völlig voneinander verschieden, wie etwa die beiden Bedeutungen des Wortes „Bauer“, das sowohl einen Landmann als auch einen Vogelfäsig bedeuten kann.

Das großartigste Beispiel der Umwandlung von potentieller in kinetische Energie und umgekehrt zeigt die Planetenbewegung. Die Planeten bewegen sich, wie Kepler entdeckte, in Ellipsen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht. Die Punkte der Ellipse sind verschieden weit von dem Brennpunkte entfernt. Am 1. Juli befindet sich die Erde in der größten Entfernung von der Sonne. Sie bewegt sich nach der Sonne hin und erreicht die größte Sonnennähe am 1. Januar. Sie befindet sich am 1. Juli in einer gewissen Höhe über der Sonne. Diese verringert sich bis zum 1. Januar auf ein Minimum. Das heißt aber, die Erde führt vom 1. Juli bis zum 1. Januar eine Fallbewegung aus. Auch das besondere Charakteristikum der Fallbewegung, die Beschleunigung, ist vorhanden. Die Geschwindigkeit der Revolution wächst vom Juli bis zum Januar. Die potentielle Energie, die in der Entfernung der Erde von der Sonne begründet ist, wandelt sich um in kinetische Energie. Vom Januar bis zum Juli befindet sich die Erde im Zustande des Steigens. Sie entfernt sich von der Sonne, ähnlich wie ein emporgeworfener Stein sich von der Erde entfernt. Die Geschwindigkeit verringert sich. Kinetische Energie wandelt sich um in potentielle. Am 1. Juli erreicht die kinetische Energie ihr Minimum, die potentielle ihr Maximum. Die ursprüngliche Energie der Lage ist restlos wieder aus der Energie der Bewegung entstanden. Die Summe der beiden Energieformen bleibt unveränderlich wie die Gesamtenergie des betrachteten fallenden Steines. Das Spiel der Umwandlungen der beiden Energien beginnt am 1. Juli von neuem. Es ist ein periodischer Prozeß, der nach menschlichem Ermessen von unendlicher Dauer ist. Die Tatsache, daß die Erde nicht in die Sonne stürzt, kann man sich klar machen durch folgende Überlegung. Wir erteilen über der Erdoberfläche einem Körper eine horizontale Geschwindigkeit. Der Körper fällt in einem Bogen zur Erde. Denken wir uns den Luftwiderstand fort und nehmen wir an, uns stünden Mittel zur Verfügung, die Anfangsgeschwindigkeit beliebig steigern zu können. Der Bogen, den der

Körper beschreibt, würde immer gestreckter werden. Der Körper würde immer weiter entfernt von dem Orte aufschlagen, von dem er ausgeschickt wurde. Bei genügender Steigerung der Geschwindigkeit müßte schließlich ein Punkt erreicht werden, wo der Körper eine Kreislinie um die Erde beschreibt. Dabei würde eine Umwandlung von Energieformen nicht stattfinden, da der Körper seine Entfernung vom Erdmittelpunkte nicht ändert. Würde man aber die Geschwindigkeit noch weiter steigern, so würde der Körper eine Ellipse beschreiben, deren näher liegender Brennpunkt der Erdmittelpunkt ist. Der Körper würde sich dann zunächst von der Erde entfernen, eine gewisse größte Entfernung erreichen und sich dann der Erde wieder nähern, ohne jedoch mit ihr zusammenzutreffen. Wir hätten eine Analogie zur Bewegung der Erde um die Sonne und daselbe Spiel der Umwandlung der Energieformen der Lage und der Bewegung. Natürlich repräsentieren auch die Sonne und die anderen Planeten gewisse Energiesummen. Auch in der Entfernung der Planeten voneinander ist Energie begründet. Die gesamte im Sonnensystem vorhandene potentielle Energie würde man erhalten, wenn man Sonne und Planeten paarweise betrachtete, in jedem einzelnen Falle die Energie bestimmte und die Summe bildete. Die Körper des Sonnensystems besitzen aber auch kinetische Energie, die sich nach Masse und Geschwindigkeit richtet. Auch von dieser könnte man die Summe bilden. Während der Bewegung der Gestirne vollziehen sich dauernd Umwandlungen der beiden Energieformen ineinander. Wie dies aber auch geschehen mag, immer bleibt die Gesamtsumme aus potentieller und kinetischer Energie konstant.

Einen der Pendelbewegung ähnlichen Vorgang erhält man, wenn man eine Kugel auf einer schiefen Ebene herabrollen und auf einer andern steigen läßt. Sie erlangt durch den Fall eine solche Geschwindigkeit, daß sie auf der andern Ebene bis zur ursprünglichen Höhe aufsteigt. Dabei finden wieder Umwandlungen der beiden Energieformen statt. Während des Falles führt die Kugel eine beschleunigte, während des Steigens eine verzögerte Bewegung aus. Wenn der Körper weder steigt noch fällt, so kann offenbar weder eine Verzögerung noch eine Beschleunigung der Bewegung stattfinden. Das tritt dann ein, wenn die Kugel nach dem Falle nicht aufsteigt, sondern sich auf der Horizontalen fort-

bewegt. Sie wird dann mit der erlangten Geschwindigkeit gleichförmig und geradlinig fortzuschreiten. So kann man das sogenannte Beharrungsgesetz ableiten, welches aus sagt, daß jeder Körper in seinem Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung in geradliniger Bahn verharrt, solange er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.

Ähnliche Bewegungen wie die auf schiefen Ebenen fallende und steigende Kugel vermag auch der Vogel im Fluge auszuführen. Läßt er sich von einer bestimmten Höhe herabfallen, so erlangt er eine bestimmte Geschwindigkeit. Diese befähigt ihn, wieder aufzusteigen, ohne Arbeit zu leisten. Infolge seiner Geschwindigkeit und Körperbeschaffenheit gleitet er auf der Luft wie auf einer festen Ebene, deren Richtung er durch Einstellung der Flügel und des Schwanzes willkürlich bestimmen kann.

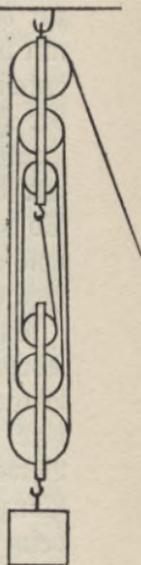
Ein Beispiel für die Umwandlung von Energie der Spannung im engeren Sinne in kinetische Energie und umgekehrt bietet die schwingende Saite. Zieht man sie zur Seite, so wächst die Spannung. Läßt man los, so verwandelt sich die durch Muskelkraft vergrößerte Spannung in Bewegungsenergie. Die Saite schwingt in ihre ursprüngliche Lage zurück. Sie beharrt aber nicht in dieser, sondern schwingt nach der anderen Seite darüber hinaus. Kinetische Energie verwandelt sich in Spannungsenergie. Ähnliche Schwingungen erhält man auch bei Belastung von Federwagen. Die Schwingung überhaupt, die eine so hervorragende Rolle bei der Erklärung von physikalischen Vorgängen spielt, besteht in einer periodischen Umwandlung von Energieformen.

Es existiert eine Anzahl bekannter Einrichtungen, die sämtlich den Zweck haben, große Widerstände mit kleinen Kräften zu überwinden. Das sind die sogenannten einfachen Maschinen, die sich sämtlich zurückführen lassen auf den Hebel und seine verschiedenen Formen in Rolle und Wellrad und auf die schiefe Ebene und ihre Anwendungen in Schraube und Keil. Kann durch diese einfachen Maschinen Arbeit oder Energie gewonnen werden? Betrachten wir den Flaschenzug, der es ermöglicht, mit kleinen Kräften große Lasten zu heben. Er besitze 6 Rollen. Dann hängt die Last an 6 Seilen, auf die sich ihr Zug gleichmäßig verteilt. Die Kraft wirkt nur an einem Seile dem Zuge der Last entgegen. Folglich braucht sie, um dieser das Gleichgewicht zu halten, nur den 6. Teil zu be-

tragen. Übersteigt sie diesen Betrag etwas, so erfolgt eine Bewegung in ihrem Sinne, die Last wird gehoben. Wird nun das Seil am freien Ende um eine bestimmte Strecke herabgezogen, so verteilt sich die Verkürzung auf sämtliche 6 Seile. Die Last legt also nur den 6. Teil des von der Kraft durchmessenen Weges zurück. Wird eine Last von 120 kg 1 m hoch gehoben, so wird eine Arbeit von 120 mkg verrichtet. Die Kraft beträgt dann am Flaschenzuge 20 kg. Sie muß aber einen Weg von 6 m zurücklegen, also auch eine Arbeit von 120 mkg leisten. Daraus folgt, daß bei einer einfachen Maschine, abgesehen von den Verlusten, die besonders durch Reibung entstehen, die aufgewendete Arbeit gleich der geleisteten ist. Arbeit wird nicht gespart, sie wird nur in bezug auf ihre beiden Faktoren Kraft und Weg in anderer Weise verteilt. Dies ist die sogenannte goldene Regel der Mechanik, die sich leicht an allen einfachen Maschinen zeigen läßt.

Betrachten wir jetzt die einfache Maschine und als ihren Vertreter den Flaschenzug unter dem besonderen Gesichtspunkte der Energie. Der Flaschenzug befinde sich im Gleichgewicht. Dann repräsentiert das Ganze eine bestimmte Summe von potentieller Energie. Diese besteht aus der Energie der Last und der Kraft. Wird nun die Last um eine bestimmte Strecke gehoben, so wächst ihre potentielle Energie. Gleichzeitig aber sinkt das Gewicht, das die Kraft darstellt, und es geht Energie verloren. Diese aber ist nach dem Vorausgehenden gleich der gewonnenen. Der Gewinn auf der einen Seite ist gleich dem Verlust auf der anderen, so daß also das Gesetz von der Erhaltung der Energie auch für die einfache Maschine gilt.

Man kann das bisher Entwickelte etwa folgendermaßen zusammenfassen. Denken wir uns irgendein in sich abgeschlossenes System. Die Größe ist gleichgültig. Es kann ein ganzes Sonnensystem oder auch nur ein einfaches Pendel sein. Nur darf von dem System keine Energie aufgenommen oder abgegeben werden. Dann bleibt in ihm die Energiesumme konstant, wie sich auch die Verwandlungen der potentiellen und kinetischen Energieformen in einander vollziehen mögen.



2. Die Wärmeenergie.

In der ausgesprochenen strengen Form scheint das Erhaltungsgesetz der Energie in den meisten Fällen unzutreffend zu sein. Das schwingende Pendel und die schwingende Saite kommen allmählich zur Ruhe. Die Energie scheint sich zu verlieren. Überdies wird sich nur in seltenen Fällen die kinetische Energie, die sich aus potentieller entwickelte, wieder in diese zurückverwandeln. Der Stein, der von der Höhe herabstürzt, schlägt auf, steigt nicht wieder zu seiner ursprünglichen Lage auf, sondern bleibt ruhig liegen. Damit ist nicht nur die potentielle, sondern auch die kinetische Energie vernichtet. So verhält es sich auch mit dem Wasser, das in einem Wasserfalle von einem höheren auf ein tieferes Niveau stürzt. Demnach scheint hier ein Erhaltungsgesetz der Energie nicht zu bestehen.

Nun ist es aber eine bekannte Tatsache, daß, wenn ein bewegter Körper auf einen ruhenden aufschlägt und so seine Energie verliert, Wärme entsteht. So kann Eisen durch Hämmern bis zur Glühhitze erwärmt werden. Dabei verschwindet die Energie, die in der Bewegung des Hammers besteht. Ein Kollgeschloß, das auf eine Panzerplatte auftrifft, erwärmt sich bis zur Rotglut. Ebenso wird beim Bremsen Wärme entwickelt. Naturvölker erzeugen Feuer durch Reibung, und auch wir stellen die Entzündungstemperatur der Zündmasse unserer Streichhölzer durch Reibung her. Die Entstehung von Wärme beim Verschwinden kinetischer Energie ist häufig unerwünscht. Bei Maschinen sucht man sie durch Verwendung von Schmiermitteln auf ein Minimum zu bringen.

Es liegt nun nahe, die Wärme ebenfalls als eine Energieform aufzufassen, sich zu denken, kinetische Energie könne sich sowohl in potentielle Energie als auch in Wärme umwandeln. Ein bestimmter Betrag von mechanischer Energie müßte sich in eine bestimmte Wärmemenge verwandeln. Diese Auffassung kann natürlich nur dann durchgeführt werden, wenn es gelingt, Wärme in Arbeit zu verwandeln. Daß eine solche Verwandlung wirklich möglich ist, ist allbekannt. Die Dampfmaschine in ihrer vielseitigen Gestalt löst das Problem, Wärme in mechanische Energie zu verwandeln. Sie hebt das Wasser aus den Bergwerken, schleppt Lasten durch Länder und Ozeane, dreht die Generatoren der Elektrizitätszentralen und findet in Fabrikbetrieben tausendfache Verwendung zur Erzeugung von mechanischer Arbeit aus Wärme.

Die Frage ist nun: Entsteht aus einer bestimmten Menge mechanischer Energie eine bestimmte Wärmemenge und kann aus dieser der ursprüngliche Betrag mechanischer Energie wieder gewonnen werden? Es gilt also, eine zahlenmäßige Beziehung zwischen Wärme und mechanischer Energie zu finden.

Dazu ist die Kenntnis der Wärmemessung erforderlich. Unter Wärmeerscheinungen verstehen wir Einwirkungen der Außenwelt, die sich gewissen Nerven unserer Haut bemerkbar machen, und die wir in der Hauptsache als warm und kalt unterscheiden. Diese allgemeine Bestimmung ist aber außerordentlich ungenau. Geringere Temperaturunterschiede können wir mit dem Gefühl kaum wahrnehmen. Außerdem ist die Grenze zwischen warm und kalt selbst schwankend. Taucht man die Hand zuerst in kaltes und dann in laues Wasser, so erscheint dieses warm. Bringt man die Hand dagegen zuerst in warmes und dann in dasselbe laue Wasser, so bewirkt dies eine Kälteempfindung. Offenbar sind die Gefühlsnerven zu einer genauen Messung gänzlich ungeeignet.

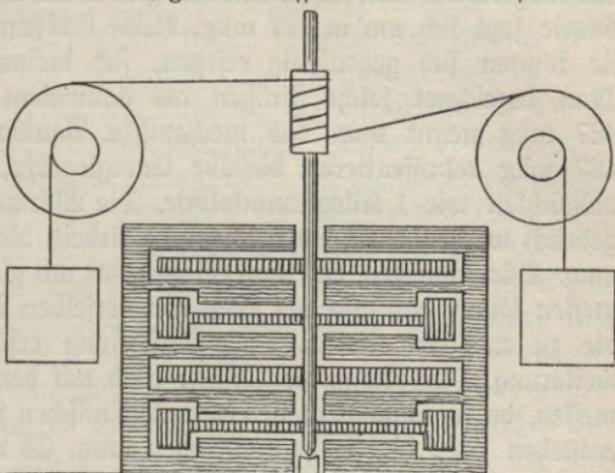
Ein genaues Urtheil über den Wärmeszustand oder die Temperatur eines Körpers wird durch eine besondere Wärmewirkung ermöglicht. Wird ein Körper erwärmt, so dehnt er sich aus. Von dem Grade der Ausdehnung kann man auf seine Temperatur schließen. So benutzen wir im Thermometer zur Temperaturbestimmung die Ausdehnung des Quecksilbers. Die Methode, nach der wir hier verfahren, ist bezeichnend für die Art, wie wir überhaupt die Natur betrachten. Von allen möglichen Wärmewirkungen, Einwirkung auf das Gefühl, Veränderung der Farbe, Schmelzen, Sieden, chemischen Vorgängen, greifen wir eine heraus, die Ausdehnung, weil sie sich unserm vollkommensten Sinnesorgan, dem Auge, deutlich darbietet und auf bequeme Art mit dem Längenmaß bestimmen läßt. So bevorzugen wir auf allen Gebieten die mechanischen Wirkungen, weil sie uns nach der Beschaffenheit unserer Sinnesorgane und der davon abhängigen Art unseres Vorstellungslebens am deutlichsten und klarsten erscheinen. Wir glauben überhaupt einen Zustand oder Vorgang erst dann vollkommen verstanden zu haben, wenn uns seine mechanische Deutung gelungen ist. Es wird sich noch öfter zeigen, von welcher Tragweite für unsere gesamte Naturauffassung dies ist. Durch die Einführung des Thermometers, das eine Wärmemessung durch eine Längenmessung er-

möglichst, verschwindet der Gegensatz von Wärme und Kälte, also gerade das Ursprünglichste an den Wärmeerscheinungen, aus der Physik. Man spricht nur noch von hohen und niedrigen Temperaturen. Und doch ist die Bildung des Gegensatzes von Wärme und Kälte vollkommen begründet. Sie sind völlig verschiedene Empfindungen. Dies wird ganz besonders dadurch dokumentiert, daß sie von verschiedenen Nervenenden vermittelt werden. Daraus erhellt, daß die mechanische Betrachtung der Natur etwas Einseitiges und Gewalttätiges an sich hat. Immer heben wir das Mechanische als das Klar Bestimmte und Meßbare hervor, ohne zunächst eine Garantie zu besitzen, damit das Wesentliche der Naturerscheinung getroffen zu haben.

Die Bestimmung des Temperaturgrades genügt noch nicht zur Wärmemessung, ebensowenig wie zur Bestimmung der potentiellen Energie die Höhenmessung allein zureichend ist. 1 kg Wasser von 100° C und 10 kg derselben Temperatur besitzen offenbar verschiedene Wärmemengen, und zwar hat letzteres die zehnfache Wärmemenge des ersteren. Man sieht, daß bei Festlegung des Wärmemaßes außer der Temperatur noch eine bestimmte Menge eines bestimmten Stoffes gegeben sein muß. Als Wärmeinheit gilt diejenige Wärmemenge, die nötig ist, die Temperatur von 1 kg Wasser um 1° C (genauer von 15 auf 16° C) zu erhöhen. Man nennt diese Einheit die Kilogrammkalorie. Außerdem unterscheidet man noch die Grammkalorie, die Wärmemenge, die 1 g Wasser um 1° C erwärmt. 1 Kilogrammkalorie entspricht demnach 1000 Grammkalorien.

Besteht nun zwischen der Wärme und der mechanischen Energie eine zahlenmäßige Beziehung? Die Frage wird sich jetzt zuspitzen in die andere: Besteht zwischen dem Meterkilogramm als der Einheit der mechanischen Energie und der Kilogrammkalorie als der Einheit der Wärmeenergie ein zahlenmäßiger, also meßbarer Zusammenhang? Die Stellung und Beantwortung der Frage bildete den Angelpunkt in der geschichtlichen Entwicklung des Energiebegriffs. Zum ersten Male gestellt und gelöst wurde das Problem von Robert Mayer im Jahre 1842. Der erste genaue Wert wurde experimentell von Joule gefunden, der unabhängig von Robert Mayer auf eine Beziehung zwischen Wärme und Arbeit aufmerksam wurde. Er löste die Aufgabe durch folgenden Versuch. An einer Achse befindet sich ein Schaufelrad, das sich in einem kupfernen Kessel drehen

kann. Zwischen den Schaufeln des Rades befinden sich die Wände des Kessels. Wird das Rad in Bewegung gesetzt und der Kessel mit Wasser gefüllt, so wird dieses intensiv durcheinandergerührt und durch die entstehende Reibung erwärmt. Die entstehende Wärmemenge kann aus der Menge des Wassers und der Temperaturerhöhung bestimmt werden. Natürlich sind auch die Erwärmung des Kessels und des Rades sowie die Wärmeverluste durch Wärmeabgabe an die Umgebung zu berücksichtigen. Befinden sich im Kessel a kg Wasser, die um t° erwärmt wer-



den, so wird dem Wasser eine Wärmemenge von $a \cdot t$ Kilogrammkalorien zugeführt. Die mechanische Arbeit, durch die das Rad gedreht und die Wärme erzeugt wird, kann sehr leicht gefunden werden, wenn man sie von fallenden Gewichten verrichten läßt. Die geleistete mechanische Arbeit ist nach dem bekannten Maße der potentiellen Energie gleich dem Produkt aus Gewicht und Höhe. Die Gewichte drehen das Rad, ähnlich wie die Uhrgewichte die Uhräder. Es ist aber darauf zu achten, daß die Bewegung eine langsame ist. Bei schnellem Fallen würde ja ein in Frage kommender Teil der potentiellen Energie sich in kinetische Energie und nicht in Reibung umwandeln und dadurch das Resultat verändern. Der Versuch kann natürlich nach der Menge des Wassers und nach der Größe der treibenden Gewichte verändert werden. Auch können verschiedene Stoffe benutzt werden. So führte Joule Versuche mit Quecksilber und Öl an Stelle des Wassers aus.

Besonders aus den großartig angelegten Versuchsreihen Joules ergab sich: 427 Meterkilogramm verwandeln sich in 1 Kilogrammkalorie. Das Umgekehrte, die Verwandlung von Wärme in mechanische Arbeit wurde an Dampfmaschinen besonders durch Hirn unter-

sucht. Es wurde gefunden, daß bei einer Arbeitsleistung von 427 mkg 1 Kalorie verschwindet.

Auf Grund dieser Versuche ist die energetische Betrachtung der Wärme möglich. Man kann sie auffassen als eine Form der Energie. 427 mkg verwandeln sich in eine Kilogrammkalorie, eine Kilogrammkalorie setzt sich um in 427 mkg. Beide Größen sind gleichwertig; sie können sich gegenseitig ersetzen, sich ineinander umwandeln. Man bezeichnet solche Größen als äquivalent. Die Größe von 427 mkg nennt man das mechanische Äquivalent der Wärme. 427 mkg repräsentieren dieselbe Energiegröße, dieselbe Arbeitsmöglichkeit wie 1 Kilogrammkalorie. Die Wärmeenergie kann ausgedrückt werden durch die mechanische Arbeit, die sie zu leisten vermag. Wir erkannten, daß man Größen nur mit gleichartigen Größen messen könne, daß also das Maß von derselben Art sein müsse wie die zu messende Größe. Diese Auffassung erfährt jetzt eine Erweiterung. Man kann die Wärme auch mit dem Meterkilogramm messen, da sie äquivalent ist einer mechanischen Arbeit, aus der sie entstehen oder die sie hervorbringen kann. Es wird schon jetzt ersichtlich, wie es möglich ist, das sogenannte Zentimeter-Gramm-Sekunden-Maßsystem in Gebiete einzuführen, die ihm zunächst völlig verschlossen zu sein scheinen. Es ist übrigens auffallend, daß einer kleinen Wärmemenge eine große mechanische Arbeit entspricht. Die Wärme stellt Energie in konzentrierter Form dar. Daraus erklärt sich auch die große Arbeitsfähigkeit der Wärmemaschinen.

Die Tatsache, daß Bewegung sich in Wärme und umgekehrt Wärme in Bewegung verwandeln kann, hat zu einer vollkommen mechanischen Deutung der Wärmeerscheinungen geführt. Zu ihrem Verstehen ist die Kenntnis einer Hypothese notwendig, die für unsere gesamte Naturauffassung von grundlegender Bedeutung ist. Das ist die sogenannte Atomtheorie. Ihre Aufstellung erfolgte schon im Altertum als eine philosophische Forderung. Ihr Hauptvertreter war Demokrit aus Abdera. Die Erneuerung der Theorie erfolgte von den Naturwissenschaften aus. Sie wurde aufgestellt, um die Grundgesetze der Chemie erklärlich zu machen, die durch die Arbeiten eines Lavoisier, Dalton und Berzelius entdeckt wurden. Tatsächlich ist bis jetzt keine andere Hypothese gefunden worden, die eine befriedigende Erklärung der chemischen Gesetze gewährte. Von Dalton 1808 aufgestellt, beherrscht diese Theorie nicht nur die Chemie,

sondern auch die Physik. Da diese beiden Wissensgebiete grundlegend für alle Naturwissenschaften sind, so ist unsere gesamte Naturauffassung eine atomistische.

Lavoisiers Untersuchungen bezogen sich besonders auf die Verbrennungsercheinungen, welche ihre Erklärung natürlich erst nach der Entdeckung des Sauerstoffs finden konnten. Das geschah 1773 durch Scheele, der den Sauerstoff aus Braunstein darstellte, und unabhängig davon 1774 durch Priestley, der ihn aus rotem Quecksilberoxyd entwickelte. Lavoisier untersuchte, nachdem er den Sauerstoff auch in der Atmosphäre erkannt hatte, die Verbrennungsercheinungen, die sich in dieser vollziehen. Er benutzte das Quecksilber, erstens um den Sauerstoff der Luft zu binden und um zweitens dann aus der Verbindung den Sauerstoff und zwar in reinem Zustande wieder zu gewinnen. Erhält man Quecksilber längere Zeit auf einer Temperatur, die nur wenig unter seinem Siedepunkte liegt, so oxydiert es allmählich, d. h. es verbindet sich mit dem Sauerstoff der Luft zu rotem Quecksilberoxyd, und zwar entstehen aus 200 g Quecksilber 216 g Quecksilberoxyd. Erhitzt man nun das Oxyd, so gibt dies den Sauerstoff, den man leicht über Wasser auffangen kann, wieder ab, und zwar entstehen aus 216 g Quecksilberoxyd 200 g Quecksilber und 16 g Sauerstoff.

Aus allen derartigen Versuchen folgt, daß das Gewicht durch die chemischen Vorgänge nicht verändert wird. Aus 200 g Quecksilber und 16 g Sauerstoff entstehen 216 g Quecksilberoxyd und aus diesem umgekehrt 200 g Quecksilber und 16 g Sauerstoff. Daraus folgt der Inhalt des ersten chemischen Grundgesetzes: Das Gesamtgewicht aller bei einem chemischen Vorgange beteiligten Stoffe bleibt unverändert. Denken wir uns ein System aus beliebig viel Stoffen bestehend, von dem Stoff weder aufgenommen noch abgegeben werden kann. Dann können sich in ihm beliebige chemische Vorgänge vollziehen, das Gesamtgewicht bleibt erhalten. Wir haben hier ein Erhaltungsgesetz vor uns ähnlich dem Prinzip von der Erhaltung der Energie. Man bezeichnet es gewöhnlich als Erhaltungsgesetz des Gewichts. Da sich die Gewichte verhalten wie die Massen, so nennt man es auch das Erhaltungsgesetz der Masse.

Aus dem angeführten Versuche ergibt sich noch eine Folgerung. 200 g Quecksilber verbinden sich mit 16 g Sauerstoff, nicht mit mehr, auch nicht mit weniger. Sind bei dem Vorgang der Ver-

bindung 17 g Sauerstoff vorhanden, so bleibt 1 g davon übrig, ebenso Quecksilber, wenn es im Ueberschuß beteiligt ist. Im Quecksilberoxyd verhält sich die Menge des gebundenen Quecksilbers zur Menge des gebundenen Sauerstoffes immer wie 200 : 16 oder wie 25 : 2. Daraus und aus anderen ähnlichen Versuchen folgt das zweite Gesetz: Die Stoffe verbinden sich miteinander nach bestimmten unveränderlichen Gewichtsverhältnissen.

Dieses Gesetz erleidet in einigen Fällen eine bestimmte Ausnahme. So existieren z. B. vom Stickstoff fünf Sauerstoffverbindungen. 28 Gewichtsteile Stickstoff können sich verbinden mit 16, 32, 48, 64, 80 Gewichtsteilen Sauerstoff. Die Gesetzmäßigkeit ist augenfällig. Verbindet sich ein Stoff in mehr als einem Gewichtsverhältnis mit einem anderen, so sind die verschiedenen Gewichtsmengen des einen Stoffes ganze Vielfache von der kleinsten Gewichtsmenge, welche in die Verbindung eingehen kann. 32, 48, 64, 80 sind die ganzen Vielfachen von 16. Das ist das dritte chemische Grundgesetz, das sogenannte Gesetz der multiplen Proportion.

Um für diese Gesetze eine befriedigende Erklärung zu finden, wandte Dalton 1808 die Atomtheorie auf sie an. Man denkt sich die Elemente, das sind die Grundstoffe, die man nicht weiter zerlegen kann, aus kleinsten nicht mehr teilbaren unveränderlichen Teilchen bestehend, die man Atome nennt. Der Name bezeichnet die Unteilbarkeit. Die Atome ein und desselben Elementes sind einander gleich, insbesondere besitzen sie gleiche Masse und gleiches Gewicht. Die Feststellung des absoluten Betrags desselben schien natürlich zunächst unmöglich zu sein. Wenn man gleichwohl die sogenannten Atomgewichte eingeführt hat, so ist festzuhalten, daß dies nur Verhältniszahlen sind. Man setzt das Atomgewicht eines Stoffes willkürlich fest. So hatte man ursprünglich dem Wasserstoff das Atomgewicht 1 gegeben. Dann fand man für den Sauerstoff das Atomgewicht 16, d. h. ein Sauerstoffatom ist 16 mal so schwer als ein Wasserstoffatom. Demnach sind die Atomgewichte Verhältniszahlen. Man könnte an ihrer Stelle auch andere Zahlen wählen, die das Verhältnis 1 : 16 ausdrücken. Später stellte sich das angegebene Verhältnis zwischen dem Atomgewicht des Wasserstoffs und Sauerstoffes als ungenau heraus. Man hatte nun die Wahl, das Atomgewicht des Wasserstoffes oder das des Sauerstoffes zu ändern. Man entschied sich für ersteres, weil die meisten Atom-

gewichte aus den Sauerstoffverbindungen bestimmt wurden und jede Veränderung des Atomgewichts des Sauerstoffs eine Änderung aller Atomgewichte nötig macht, die man aus Sauerstoffverbindungen erhalten hat. So ist das Atomgewicht des Quecksilbers 200, eben weil 200 Gewichtsteile sich mit 16 Gewichtsteilen Sauerstoff verbinden. Man stellt sich nun den chemischen Vorgang der Oxydation so vor, daß immer ein Atom Quecksilber mit einem Atom Sauerstoff zu einem neuen Stoffe zusammentritt. Die kleinsten Teile des Quecksilberoxyds sind demnach keine Atome, sondern Atompaare. Man nennt eine solche Vereinigung von Atomen ein Molekül. Denken wir uns eine bestimmte Menge Quecksilberoxyd. Dieses kann man mechanisch teilen. Die Teilbarkeit findet eine Grenze in der Unvollkommenheit unserer Sinnesorgane und Instrumente. Denken wir uns aber diese einmal von unendlich großer Schärfe. Dann würde trotzdem eine Grenze der mechanischen Teilbarkeit bestehen. Ist nämlich die Teilung bis zu den Molekülen vorgeschritten, so hört die Möglichkeit einer weiteren mechanischen Teilung auf. Wird nämlich das Molekül in die Atome zerlegt, so ist dies keine einfache mechanische Teilung mehr, vielmehr ist damit eine Stoffveränderung, also ein chemischer Vorgang verbunden, nämlich die Zerlegung des Quecksilberoxydes in Quecksilber und Sauerstoff.

Es ist nun leicht einzusehen, daß durch diese Annahme die chemischen Grundgesetze eine Erklärung finden. Wenn ein Quecksilberatom vom Gewicht 200 sich mit einem Sauerstoffatom vom Gewicht 16 verbindet, so besitzt das Molekül, da die Atome unveränderlich sind, ein Gewicht von 216. Man nennt dieses Gewicht das Molekulargewicht des Quecksilberoxydes. Das Molekulargewicht ist also gleich der Summe der Atomgewichte. Das ist aber die Erklärung für die Erhaltung des Gewichts. Mag der entstandene Stoff aus beliebig viel Molekülen bestehen, da das Gewicht eines jeden gleich der Summe der Atomgewichte ist, so ist auch das Gewicht der neuen Verbindung gleich der Summe der Gewichte jener Stoffe, welche die Verbindung eingingen. Weiter folgt daraus auch die Erklärung von der Konstanz der Gewichtsverhältnisse. Wenn im Molekül des Quecksilberoxydes das Verhältnis der Atomgewichte $200 : 16$ ist, dann besteht das Verhältnis in jeder Menge der Verbindung; denn die Anzahl der Moleküle hat offenbar keinen

Einfluß auf die Größe des Verhältnisses. Die Atomtheorie ist von wunderbarer Anschaulichkeit. Wir denken uns chemische Vorgänge als Bereinerung oder Trennung von Atomen, also als Bewegungen. Es wird demnach durch die Atomtheorie die Chemie der uns geläufigen mechanischen Betrachtungsweise zugänglich gemacht. Sehr anschaulich wird das Gesetz von den vielfachen Verbindungsgewichten durch die Atomtheorie erklärt. Man braucht nur anzunehmen, daß sich mit zwei Atomen Stickstoff, die ein Verbindungsgewicht von 28 haben, ein, zwei, drei, vier oder fünf Atome Sauerstoff verbinden können, und man hat ohne weiteres die Gewichtsverhältnisse der fünf Stickstoffoxyde.

Von der Kleinheit der Moleküle und Atome gibt die Teilbarkeit der Stoffe eine gewisse Vorstellung. Der dreimillionste Teil eines Milligramms Natrium genügt, um die Bunsenflamme noch deutlich gelb zu färben. Das Gold läßt sich in Blättchen von 0,0001 mm Dicke hämmern, und die Dicke der Dünnschichten auf Wasser geht herab bis zu einer Größenordnung von zehnmilliontel Millimetern. Derartige Ergebnisse und auch theoretische Folgerungen ergeben, daß die Durchmesser von Molekülen die Größe eines milliontel Millimeters nicht erreichen. Jedenfalls sind die Moleküle je nach der Anzahl der Atome, aus denen sie sich zusammensetzen, von verschiedener Größe. Trotz der Kleinheit ist die Unteilbarkeit der Moleküle und Atome nicht etwa so zu verstehen, als ob sie sich in mathematischem Sinne nicht weiter teilen ließen. Jede endliche Größe läßt sich natürlich teilen. Die Atome und Moleküle sind nur die kleinsten Teile, die als selbständige Ganze in Aktion treten. Wie man bei Zergliederung eines Organismus schließlich auf kleinste Teile, die Zellen, stößt, die man natürlich mathematisch noch weiter zerlegen kann, die aber bei den Funktionen des Organismus als relativ selbständige, ungeteilte Ganze wirken, so gelangt man bei Zerlegung der Stoffe schließlich zu den Atomen, zwischen denen sich als ungeteilten „Stoffindividuen“ die chemischen Vorgänge vollziehen.

Man nimmt nun an, daß die Moleküle eines Körpers nicht ein lückenloses kontinuierliches Ganzes bilden, sondern daß sie durch Zwischenräume voneinander getrennt werden. Dann muß, da die meisten Körper Zusammenhangskraft zeigen, eine Anziehungskraft zwischen den Molekülen bestehen. Man nennt sie Kohäsion. So macht man es sich erklärlich, daß sich beispielsweise in der Atmo-

sphäre Gase ausbreiten können wie im leeren Raume. Die Gas-moleküle dringen in die molekularen Zwischenräume der Luft. Auch die Löslichkeit von festen Stoffen in Flüssigkeiten wird dadurch begreiflich. Nicht nur feste Stoffe, sondern auch Gase können in die molekularen Zwischenräume von Flüssigkeiten eindringen. So vermag das Wasser Kohlen säure, Chlor, Sauerstoff u. a. in größerer Menge aufzunehmen.

Zu der Voraussetzung, daß alle Körper aus mechanisch nicht weiter teilbaren kleinsten Teilchen, den Molekülen, bestehen, die sich in bestimmten Abständen voneinander befinden, kommt nun noch eine Annahme, auf die es bei unserer Betrachtung besonders ankommt. Die Moleküle eines Körpers befinden sich darnach nicht in Ruhe, sondern in schnellerer oder langsamerer Bewegung. Man stellt sich diese molekulare Bewegung vor als ein Schwingen um eine Gleichgewichtslage. Man denke an das Pendel. Dieses ist in Ruhe, wenn die Kugel lotrecht unter dem Aufhängepunkte sich befindet. Um diese Ruhe oder Gleichgewichtslage vermag nun das Pendel je nach der Größe der einwirkenden Kraft größere oder kleinere Schwingungen auszuführen. Ganz ähnlich denkt man sich die Schwingungen eines Moleküls. Da sie also in Hin- und Herbewegungen bestehen, so ist klar, daß sich der Körper, der sich aus einer Unzahl von Molekülen zusammensetzt, dabei nicht fortbewegt. Auch muß man annehmen, daß die Moleküle eines Körpers nicht etwa in derselben Richtung schwingen, sondern daß vielmehr die Schwingungsrichtungen außerordentlich verschieden sind. Kommt nun ein Körper mit den Nerven unserer Haut in Berührung, so empfinden wir die Schwingung der Moleküle als Wärme.

Wenn wir einem Körper eine bestimmte Wärmemenge zuführen, so ist die Folge aber nicht nur eine Temperaturerhöhung, sondern auch eine Raumvergrößerung. Die Körper dehnen sich beim Erwärmen aus. Das kann man sich so erklären, daß die Moleküle infolge ihrer lebhaften Schwingung sich auseinander drängen, zu ihren Schwingungen einen größeren Spielraum erfordern. Nun besteht aber zwischen den Molekülen, wenigstens der festen und flüssigen Körper, eine Anziehungskraft, die Kohäsion. Wird beim Erwärmen der Zwischenraum der Moleküle vergrößert, so wird die Kohäsion über eine bestimmte Strecke hin überwunden. Das ist aber nach den festgelegten Begriffen eine Arbeit. Die Mole-

küle besitzen demnach infolge ihrer Lage zueinander auch potentielle Energie, so ähnlich wie auch das Sonnensystem sowohl infolge der Bewegung der Himmelskörper kinetische als auch infolge der Lage derselben zueinander potentielle Energie enthält.

Wird ein fester Körper immer weiter erwärmt, so wird eine immer größere Arbeit dazu verwendet, die Kohäsion, die Zusammenhangskraft der Moleküle zu überwinden. Schließlich wird eine Grenze erreicht, wo die einzelnen Moleküle in Beziehung zueinander keinen bestimmten Ort mehr einnehmen, sondern aneinander vorübergleiten, wo ein Molekül nicht nur immer mit denselben benachbarten Molekülen in Beziehung tritt, sondern seine Lage ständig verändert. Das ist der Übergang aus dem festen in den flüssigen Zustand. Die drei Zustände, in denen sich ein Körper befinden kann, nämlich der feste, flüssige und gasförmige, heißen die Aggregatzustände. Die Veränderung derselben wird ebenfalls auf Bewegungsur Ursachen zurückgeführt.

Wenn man Eis, das eine Temperatur von unter 0° besitzt, erwärmt, so steigt seine Temperatur allmählich bis auf 0° . Nun beginnt das Eis zu schmelzen. Jetzt aber steigt die Temperatur nicht mehr, obwohl noch immer Wärme zugeführt wird. Alle zugeführte Wärme wird vom Beginn des Schmelzens an zur Verminderung der Kohäsion, zur Herstellung des flüssigen Zustandes verbraucht. Die Schmelzwärme, dies ist die Wärmemenge, die zum Schmelzen von 1 kg eines Stoffes nötig ist, kann man bestimmen. Diese Möglichkeit ist aus folgendem ersichtlich. Man stellt unter 1 kg Eis von 0° und unter 1 kg Wasser von 0° gleiche Wärmequellen. Während nun beim Eis die Wärme zum Schmelzen verwendet wird, wird unterdessen die Temperatur des Wassers steigen. Aus der Temperaturerhöhung des Wassers kann man dann, wenn das Schmelzen des Eises beendet ist, also aus dem Eis von 0° Wasser von 0° entstanden ist, die dazu nötige Anzahl der Kalorien ersehen. Durch Versuche, die allerdings nach einer andern Methode angestellt werden, wurde die Schmelzwärme des Eises zu 80 Kilogrammkalorien bestimmt, d. h. es ist eine Wärmemenge von 80 Kalorien nötig, um 1 kg Eis von 0° in 1 kg Wasser von 0° zu verwandeln. Ein Kilogramm Eis besitzt infolge der Bewegung und der Entfernung seiner Moleküle eine gewisse Summe von potentieller und kinetischer Energie, ebenso auch ein Kilogramm Wasser von der gleichen Temperatur.

Letzteres besitzt aber ein Plus an Energie, das 80 Kilogrammkalorien beträgt; denn soviel Wärme mußte zugeführt werden, um den festen in den flüssigen Aggregatzustand zu verwandeln.

Muß bei Verwandlung des Eises in Wasser Wärme zugeführt werden, so liegt der Schluß nahe, daß bei der umgekehrten Verwandlung Wärme frei wird. Das kann durch folgenden interessanten Versuch gezeigt werden. Wenn man Natriumthiosulfat, ein in der Photographie zum Fixieren benütztes Salz, erwärmt, so steigt seine Temperatur allmählich bis auf 48° . Hier beginnt es zu schmelzen, während die Temperatur konstant bleibt, weil alle Wärme zur Herstellung des flüssigen Zustandes dient. Dieses Salz hat nun die merkwürdige Eigenschaft, daß man es, wenn es völlig flüssig geworden ist, bis weit unter seinen Schmelzpunkt abkühlen kann, ohne daß es erstarrt. Kühlt man auf Zimmertemperatur ab, so ist in der Flüssigkeit die Schmelzwärme natürlich noch vorhanden. Nun kann man aber das Erstarren sofort bewirken, wenn man einen Kristall des Salzes in die Flüssigkeit wirft. Die Temperatur steigt infolgedessen wieder auf 48° , worauf sie während des Erstarrens beharrt. Darüber kann sie natürlich nicht steigen, da sonst das Salz wieder schmelzen würde. Die Schmelzwärme wird allmählich an die Umgebung abgegeben, und dann sinkt die Temperatur des erstarrten Salzes wieder auf die Zimmertemperatur.

So wird auch beim Erstarren des Wassers zu Eis die Schmelzwärme von 80 Kalorien abgegeben. Wenn Wasser in einen Raum, der weit unter 0° abgekühlt ist, gebracht wird, so sinkt seine Temperatur zunächst auf 0° . Nun beginnt die Eisbildung. Die Temperatur bleibt während derselben auf 0° bestehen, was eben durch die frei werdende Wärme ermöglicht wird. Es wird demnach auch bei Beginn des Winters durch die Eisbildung eine große Wärmemenge frei. Dadurch wird ein plötzlicher Temperaturfall vermieden und ein allmählicher Übergang vermittelt, der für die Pflanzen- und Tierwelt von Wichtigkeit ist.

Fester und flüssiger Aggregatzustand stellen Erscheinungen ein und desselben Stoffes dar, die durch Energiegehalt verschieden sind. Der Energieunterschied zwischen 1 kg Eis von 0° und 1 kg Wasser von 0° beträgt 80 Kalorien. Wir kennen aber nur den Unterschied der beiden Energien, nicht ihre absoluten Beträge, die aus der Summe der potentiellen und kinetischen Energie der Moleküle be-

stehen. In einigen Fällen, die sich unserer Beobachtung darbieten, offenbaren diese molekularen Energien gewaltige Größen. Das Schmelzen und Erstarren der Körper ist mit Volumenveränderungen verbunden. Beim Erstarren des Wassers tritt eine Volumenvergrößerung ein, so daß also ein Kilogramm Eis einen größeren Raum einnimmt als ein Kilogramm Wasser. Diese Ausdehnung vollzieht sich mit derartiger Kraft, daß dadurch eiserne Bomben zersprengt werden. Ebenso werden Felsen, in deren Poren Wasser eindringt, durch das Gefrieren desselben allmählich zertrümmert. Diese gewaltige Wirkung ist nicht etwa auf abgegebene Wärme zurückzuführen, sondern auf ein sich änderndes Verhältnis zwischen potentieller und kinetischer Energie der Moleküle. Man hat sogar den Versuch gemacht, die gewaltigsten mechanischen Wirkungen auf unserem Planeten, den Vulkanismus, auf ähnliche molekulare Kräfte zurückzuführen, wie sie beim Gefrieren des Wassers zur Geltung kommen. Danach stellt man sich vor, daß das Magma, das ist das glutflüssige Erdinnere, von dem man einzelne Herde innerhalb der festen Erdrinde annimmt, sich bei der weiter und weiter fortschreitenden Abkühlung der Erde mit solcher Kraft ausdehne, daß dadurch die Erscheinungen hervorgerufen werden, die wir Vulkanismus nennen. Die großartigen Arbeitsleistungen würden dann dadurch hervorgerufen werden, daß sich kinetische Energie der Moleküle in potentielle verwandelt.

Wie der flüssige vom festen, so unterscheidet sich auch der gasförmige vom flüssigen Aggregatzustande durch den Energiegehalt. Bei der Herbeiführung des flüssigen aus dem festen Zustande wird die Kohäsion verringert, so daß die Moleküle in Flüssigkeiten keine bestimmte Lage mehr haben, sondern kreuz und quer durcheinanderschießen. Fahren nun Moleküle infolge der ihnen innewohnenden kinetischen Energie über die Oberfläche der Flüssigkeit hinaus, so geraten sie in ein Gebiet, das frei oder ziemlich frei von Molekülen der Flüssigkeit ist. Sie werden also, vorausgesetzt, daß die Geschwindigkeit groß genug war, sie aus dem Kohäsionsbereich der Oberfläche zu bringen, der Einwirkung der Kohäsion überhaupt entzogen sein. Das ist die Erklärung für den Verdunstungsprozeß, nach dem Moleküle einer Flüssigkeit bei jeder Temperatur in die Poren der Luft eindringen. Da natürlich gerade die Teilchen dem Bereich der Flüssigkeit entfliehen werden, die die größte Ge-

geschwindigkeit besitzen, so wird eine gewisse Abnahme an kinetischer Energie in der Flüssigkeit zu konstatieren sein. Da wir aber mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit der Moleküle die höhere oder tiefere Temperatur erklären, so wird sich die zurückbleibende Flüssigkeit beim Vorgange der Verdunstung abkühlen, eine Tatsache, die unter der Bezeichnung der Verdunstungskälte bekannt ist.

Eine allgemeine Verwandlung der Flüssigkeit in Dampf, also das Sieden, kann erst dann stattfinden, wenn die Energie der Moleküle so groß geworden ist, daß sie nicht nur die Kohäsion, sondern auch den Druck überwinden kann, der infolge der Schwere von der überlagernden Flüssigkeit und der auf dieser lastenden Luftsäule ausgeübt wird. Da der Luftdruck eine bestimmte Größe besitzt, so wird das Sieden einer Flüssigkeit demnach bei einer bestimmten Temperatur stattfinden. Diese bezeichnet man als Siedepunkt. Wenn dieser erreicht ist, bleibt die Temperatur so lange konstant, bis alles verdampft ist. Man kann auch die Wärmemenge messen, die nötig ist, um z. B. 1 kg Wasser von 100° C in Wasserdampf von 100° zu verwandeln. Sie erreicht die beträchtliche Größe von 539 Kilogrammkalorien oder in mechanischer Energie ausgedrückt 539 . 427 mkg. Der Unterschied zwischen 1 kg Wasser und 1 kg Dampf von 100° besteht also in einem Energiegehalte von 539 Kalorien.

Diese Wärmemenge muß nach unseren Anschauungen wieder abgegeben werden, wenn man Dampf kondensiert, d. h. in Wasser verwandelt. Daß dies wirklich der Fall ist, läßt sich leicht experimentell nachweisen, wenn man eine bestimmte Dampfmenge in eine bestimmte Wassermenge leitet. Dadurch wird die Temperatur des Wassers erhöht, und aus dieser Erhöhung kann leicht die Anzahl der abgegebenen Kalorien berechnet werden. Da der Dampf bei seinem Übergange in den flüssigen Zustand eine so große Wärmemenge abgibt, so eignet er sich vorzüglich als Transporteur der Wärme. Das wird in der Dampfheizung benutzt. Hier wird in der Feuerung die Wärme zunächst dazu verwendet, Wasser in Dampf zu verwandeln. Dieser wird dann in die Rohre der Leitung entlassen, wo er sich zu Wasser verdichtet und die Wärme wieder abgibt.

Der Energietransport durch Wasserdampf, wie er in der Dampfheizung geschieht, vollzieht sich in gewaltigem Maßstabe in der Natur. In heißen Gegenden, besonders auf Meeren, verdunsten ungeheure Wassermengen, welche große Mengen von Sonnen-

wärme binden. Diese Sonnenenergie wird mit dem Wasserdampf durch Luftströmungen in kältere Gebiete transportiert. Hier kondensiert der Wasserdampf zu Wolken und Niederschlägen. Dabei gibt jedes Kilogramm Wasser 539 Kalorien ab. Es erfolgt demnach durch den Wasserdampf ein fortgesetzter Transport von Sonnenenergie aus warmen Gegenden in kalte und damit ein Ausgleich klimatischer Gegensätze.

Man erkennt schon im voraus, daß es möglich sein wird, auch die Eigenschaften der Gase mit Hilfe des Energiebegriffs rein mechanisch zu erfassen. Man denkt sich die Moleküle eines Gases in sehr rascher geradliniger Bewegung. Natürlich werden sie dabei häufig zusammenstoßen und dann Zickzacklinien beschreiben. Beim Stoß auf die Wand werden sie zurückgeschleudert. Diese Tatsache macht sich als Druck geltend, den Gase auf die einschließenden Wände ausüben. Da die Richtung eine völlig verschiedene und beim einzelnen Molekül auch wechselnd ist, so wird bei der ungeheuren Anzahl der Moleküle jedes gleichgroße Stück der Wand denselben Druck erleiden. Der Druck eines eingeschlossenen Gases nimmt zu mit der Temperatur. Das ist nach unseren Anschauungen sehr natürlich; denn mit der Temperatur wird die lebendige Kraft der Moleküle erhöht, sie werden mit größerer Wucht auf die Wände treffen und infolgedessen auch einen gesteigerten Druck bewirken. Auch die Tatsache, daß der Druck einer Gasmenge abhängig ist vom Volumen, das es einnimmt, wird ohne weiteres erklärlich. Wenn man das Volumen auf die Hälfte verringert, so wächst der Druck — gleiche Temperatur vorausgesetzt — auf das Doppelte. Das geschieht, weil die bestimmte Anzahl der Moleküle auf den halben Raum zusammengedrängt wird und infolgedessen auf eine bestimmte Fläche der Wand in der Zeiteinheit doppelt so viel stoßen als vorher. Tatsächlich können auf diese anschauliche Weise mit Hilfe des Energiebegriffs die Gasgesetze in einfacher Weise erklärt werden.

So werden auch die Methoden verständlich, nach denen man die Gase verflüssigt. Abkühlung und Druck sind die beiden Mittel, bei deren geeigneter Anwendung jedes Gas zur Flüssigkeit wird. Die Abkühlung verringert die Geschwindigkeit der Moleküle, durch die sich ja nach unserer Auffassung der gasförmige vom flüssigen Zustande unterscheidet. Der Unterschied besteht aber nicht nur in der kinetischen, sondern auch in der potentiellen Energie der

Moleküle, die in der Entfernung derselben voneinander begründet ist. Durch den Druck nun werden die Moleküle derartig genähert, daß die Kohäsion, die beim Sieden durch die Vergrößerung der Zwischenräume verloren ging, wieder in Kraft treten kann. Also werden durch Abkühlung und Druck die beiden Bedingungen des flüssigen Zustandes hergestellt.

Wenn man ein Gas von 0° an erwärmt und seinen Rauminhalt unverändert läßt, so wächst sein Druck bei der Temperaturerhöhung von 1° C um $\frac{1}{273}$. Ebenso sinkt der Druck infolge der Abkühlung bei jedem Grade um $\frac{1}{273}$ des ursprünglichen Betrages. Angenommen, die Abkühlung würde weiter und weiter fortgesetzt, so würde bei einer Temperatur von -273° der Druck gleich Null geworden sein. Das würde nach unseren Anschauungen nur dann möglich sein, wenn sich die Moleküle nicht mehr bewegen. Mit der Stärke der Bewegung hängt nun auch die Entfernung, also die potentielle Energie der Moleküle zusammen. Sie ist im allgemeinen um so größer, je größer die Geschwindigkeit der Moleküle ist. Mit der kinetischen Energie der Moleküle wird demnach auch die potentielle verschwinden. Das Gas würde demnach bei dieser Temperatur überhaupt keine Energie mehr besitzen. Man nennt diese Temperatur von -273° C den absoluten Nullpunkt. Von hier aus rechnet man die sogenannte absolute Temperatur. Sie beträgt demnach bei 0° C bereits 273° . Man hat zur Anzahl der Grade nach Celsius immer 273 zu addieren, um die absolute Temperatur zu erhalten. Ihre Einführung hat den Vorteil, daß man in ihr ein Maß für die Energie besitzt, die einem Gase überhaupt innewohnt. Diese setzt sich zusammen aus der kinetischen und potentiellen Energie der Moleküle und ist proportional der absoluten Temperatur, d. h. die Energie eines Gases ist bei 200° , 300° , 400° usw. 2, 3, 4 usw. mal so groß als bei 100° absoluter Temperatur.

Diese Überlegungen beziehen sich auf ein ideales Gas, d. h. auf ein solches, das bei allen Temperaturen und Drucken die Gasgesetze befolgt. In Wirklichkeit kann man bei vielen Gasen weitgehende Abkühlungen nicht vornehmen, da sie sich verflüssigen. In der Nähe des Kondensationspunktes aber zeigen die Gase Abweichungen von den Gasgesetzen.

Wenn 1 kg Luft um 1° C erwärmt werden soll, so ist eine ganz

bestimmte Wärmemenge nötig. Die Wärmemenge, die der Masseneinheit des Stoffes zugeführt werden muß, damit eine Temperaturerhöhung von 1° C eintritt, heißt die spezifische Wärme des Stoffes. Bei den Gasen ist eine zweifache spezifische Wärme zu unterscheiden. Denken wir uns 1 kg Luft in einem Zylinder, der durch einen beweglichen Kolben verschlossen ist. Die Temperatur der Luft kann um 1° erhöht werden, während der Kolben festgehalten wird. Dadurch wird eine Veränderung des Volumens verhindert. Durch die Temperaturerhöhung aber wird der Druck gesteigert. Die spezifische Wärme der Luft beträgt in diesem Falle 0,1690 Kilogrammkalorien. Das ist die spezifische Wärme der Luft bei konstantem Volumen. Nun kann man aber auch bei der Erwärmung den Kolben sich bewegen lassen, weil durch die Temperaturerhöhung ein Überdruck der eingeschlossenen Luft eintritt. Jetzt wird nicht nur die Temperatur erhöht, d. h. die kinetische Energie der Moleküle vergrößert, sondern es wird auch eine Arbeit geleistet, die darin besteht, daß der Kolben gehoben und gegen den Atmosphärendruck verschoben wird. Durch die Ausdehnung der Luft bleibt der Druck unverändert. Jetzt ist offenbar eine größere Wärmemenge nötig. Ein Teil derselben wird wie im ersten Falle zur Temperaturerhöhung gebraucht, während ein anderer Teil sich in Arbeit verwandelt. Die spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck beträgt 0,2375 Kilogrammkalorien. Die in Arbeit verwandelte Wärme ist offenbar das Plus der spezifischen Wärme bei konstantem Druck gegenüber der spezifischen Wärme bei konstantem Volumen, also 0,0685 Kalorien.

Es zeigt sich hier ein Weg, das mechanische Wärmeäquivalent zu berechnen. Das ist geschehen durch Robert Mayer, der hier zuerst die Beziehung zwischen Wärme und Arbeit aufdeckte und die allgemeine Bedeutung des Energieprinzips darlegte. Denken wir uns 1 kg Luft bei 0° und Atmosphärendruck in einem Zylinder mit einem Querschnitt von 1 qm. Das Kilogramm Luft nimmt dann (1 cbm Luft wiegt 1,293 kg) 0,773 cbm ein. Wenn der Querschnitt des Zylinders 1 qm beträgt, so befindet sich der Kolben 0,773 m über dem Boden des Zylinders. Wir erwärmen nun die Luft um 1° C bei konstantem Volumen. Dazu sind 0,1690 Kalorien nötig. Nun denken wir uns die Luft wieder in dem früheren Zustande und erwärmen um 1° C bei konstantem Druck. Es sind 0,2375 Kalorien erforderlich. Während im ersten Versuche das Vo-

lumen unverändert bleibt und der Druck sich um $\frac{1}{273}$ steigert, bleibt im zweiten Versuche der Druck unverändert, während das Volumen sich um $\frac{1}{273}$ vergrößert. Von der Differenz der in beiden Fällen nötigen Wärme, nämlich von 0,0685 Kalorien, wird die Arbeit geleistet, die in der Bewegung des Kolbens besteht. Diese kann leicht gefunden werden. Der Kolben wird gegen den Atmosphärendruck bewegt. Dieser beträgt 1,033 kg auf das qm. Der Kolben mit dem Querschnitt von 1 qm (10 000 qcm) hat demnach einen Druck von 10 330 kg zu überwinden. Das ist die in Frage kommende Kraft. Die Luft dehnt sich um $\frac{1}{273}$ aus. Da sich der Kolben 0,773 m über dem Boden befindet, ergibt dies eine Ausdehnung von $\frac{0,773}{273}$ m. Jetzt haben wir die beiden Faktoren der geleisteten Arbeit, Kraft und Weg. Die Arbeit selbst beträgt $\frac{10\,330 \cdot 0,773}{273}$ mkg. Diese Arbeit wird von 0,0685 Kalorien geleistet. Auf 1 Kalorie kommt dann ein Energiewert von $\frac{10\,330 \cdot 0,773}{273 \cdot 0,0685} = 427$ mkg. Mayer wählte diesen Weg zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents, weil er dadurch — er war Arzt — der Aufgabe überhoben wurde, selbst Versuche anstellen zu müssen. Die von ihm benutzten Daten der spezifischen Wärmen waren schon vorher bestimmt worden. Er hat nur den Zusammenhang zwischen Wärme und Arbeit gezeigt. Im übrigen waren die von ihm benutzten Zahlen und damit auch das von ihm gewonnene Resultat ungenau. Im vorhergehenden sind die genauen Werte eingesetzt worden.

Es schließen sich hier leicht einige andere interessante energetische Betrachtungen von Gasen an. Wir denken uns ein Gas von bestimmtem Volumen und bestimmter Temperatur. Es besitze einen Überdruck gegenüber seiner Umgebung. Dann wird es sich, wenn es nicht durch feste Wände eingeschlossen ist, ausdehnen. Diese Ausdehnung aber bedeutet eine Arbeit. Das Gas überwindet ja über eine bestimmte Strecke hin eine Kraft, nämlich den Druck der Umgebung. Es entsteht die Frage: Wodurch wird diese Arbeit geleistet? Das Gas besitzt selbst infolge seiner Temperatur eine molekulare Energie. Wenn ihm während der Ausdehnung keine Energie, etwa in Gestalt von Wärme, zugeführt wird, so ist nichts anderes denk-

bar, als daß die mechanische Arbeit des Gases auf Kosten der ihm innewohnenden molekularen Energie verrichtet wird. Diese muß demnach abnehmen, d. h. die Temperatur des Gases muß sinken. Das ist tatsächlich der Fall. Jedes Gas, das sich ausdehnt, und dem dabei keine Wärme zugeführt wird, kühlt sich ab. Das kann man leicht zeigen an Luft, die durch die Luftpumpe verdünnt wird. Ein darin befindliches empfindliches Thermometer zeigt eine Abkühlung an. Umgekehrt wird Luft, die schnell zusammengepreßt wird, so daß sie sich während des Vorganges nicht abkühlen kann, erwärmt. Die Erwärmung kann in dem sogenannten pneumatischen Feuerzeuge so gesteigert werden, daß sich darin befindlicher Zunder entzündet.

Beide Vorgänge, die Abkühlung bei Ausdehnung und die Erwärmung beim Zusammenpressen, sind von großer Bedeutung. So kühlt sich der Dampf, der sich im Zylinder der Dampfmaschine ausdehnt, ab. Ein Teil der Bewegungsenergie der Moleküle wird verwandelt in die Bewegungsenergie des Kolbens. Während nun die Moleküle des Dampfes regellos durcheinanderschießen, besitzt der Kolben eine bestimmte Richtung und kann daher eine Arbeit leisten. So besteht das Problem, das die Dampfmaschine löst, im letzten Grunde darin, den regellosen Bewegungsenergien der Moleküle eine bestimmte gemeinsame Richtung zu geben und dadurch erst eine mechanische Arbeitsleistung des Dampfes zu ermöglichen.

Die Bewegung der Dampfmaschine erzeugt durch Reibung wieder Wärme, durch die sie erst entstanden ist. So verwandelt sich beim Bremsen die gesamte Bewegungsenergie eines Eisenbahnzuges in Reibungswärme. Robert Mayer hat für dieses Verhalten der Dampfmaschine einen treffenden Vergleich aufgestellt. „Die Lokomotive mit ihrem Konvoi ist einem Destillierapparate zu vergleichen, die unter dem Kessel angebrachte Wärme geht in Bewegung über, und diese setzt sich wieder an den Achsen der Räder als Wärme in Menge ab.“

Wird die Luft erwärmt, so dehnt sie sich aus. Dadurch wird ihr spezifisches Gewicht, d. h. das Gewicht der Volumeneinheit, verringert. Geschieht diese Erwärmung an der Erdoberfläche, so steigt die erwärmte Luft in der Atmosphäre in die Höhe. Nun nimmt der Luftdruck nach oben hin ab. Kommt die erwärmte Luft in Gebiete niederen Druckes, so dehnt sie sich aus. Diese Ausdehnung

ist aber mit einer Arbeitsleistung verbunden, die auf Kosten der der Luft eigenen Temperatur geschieht. Die Luft kühlt sich ab. Die Folge davon ist die Kondensation des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes. Darum bilden sich bei Windstille über feuchten Gegenden Haufenwolken. Die Haufenwolke, der Kumulus, ist „das Kapital einer unsichtbaren Dampfsäule“.

Das Umgekehrte, nämlich das Fallen von Luft in niedere Gebiete, findet statt beim Zustandekommen des Föhn, eines bekannten warmen trockenen Windes, der nördlich der Alpen austritt. Herrscht hier ein niedriger Luftdruck, so strömen Südwinde über den Stamm der Alpen nach Norden. Dabei kühlen sie sich ab und stürzen dann in die nördlichen Alpentäler hinab. Damit gelangen sie rasch in Gebiete bedeutend höheren Luftdrucks, wo sie zusammengepreßt und stark erwärmt werden. Natürlich wird dieser Wind sehr trocken sein. Erstens hat er seine Feuchtigkeit zum größten Teile schon an die Alpen abgegeben und zweitens wird er in den Tälern auch noch erwärmt, während nur eine noch weitere Abkühlung eine Kondensation von Wasserdampf bewirken könnte.

Wir haben bisher erkannt, daß die Energie in drei Formen auftreten kann, als Energie der Lage, als Energie der Bewegung und als Wärme. Diese Formen können sich ineinander verwandeln. Alle können mit demselben Maße, dem Meterkilogramm, gemessen werden. In einem nach außen abgeschlossenen System, in dem die drei Energieformen enthalten sind, können beliebige Umwandlungen eintreten, immer wird die Energiesumme, die in Meterkilogramm ausdrückbar ist, konstant bleiben. Ist das System dagegen nicht abgeschlossen, so kann seine Energie zu- oder abnehmen. Eine Abnahme wird dann stattfinden, wenn von dem System Wärme an die Umgebung abgegeben oder an einem Körper der Umgebung eine Arbeit geleistet wird. Eine Energiezunahme tritt dann ein, wenn an einem Körper des Systems eine Arbeit verrichtet, z. B. ein Gewicht höher gehoben wird, oder auch wenn man dem System Wärme zuführt.

Es ist im vorhergehenden betont worden, daß die mechanische Auffassung der Wärme durch die Atomtheorie zunächst eine hypothetische sei, nur einen Versuch bedeute, Naturvorgänge begreiflich zu machen. Die atomistische Naturauffassung hat nun in neuester Zeit eine glänzende Bestätigung erfahren. Auf verschiedenen voneinan-

der unabhängigen Wegen ist man zur Bestimmung der Zahl und Größe von Atomen gekommen, und die Ergebnisse stimmen in wunderbarer Weise überein. In einem Falle ist es gelungen, die Atome direkt zu zählen. Eine Art von Strahlen, wie sie von radioaktiven Körpern ausgesandt werden, besteht aus Helium, und wenn sie auf einem besonders präparierten Schirme aufgefangen wird, gewahrt man unter der Lupe plötzlich aufleuchtende und wieder verschwindende Lichtpunkte. Man vermutete in ihnen die Aufschlagsstellen von Heliumatomen, zählte sie aus und fand in der Tat die bereits auf ganz anderem Wege berechnete Zahl. Endlich ist es gelungen, die Existenz von Zinkblendemolekülen durch die Röntgenstrahlen photographisch nachzuweisen, so daß nach dem gegenwärtigen Stand der Naturerkenntnis an der atomistischen Struktur der Stoffe nicht mehr zu zweifeln ist. Deswegen erscheint es zweckmäßig, die Energielehre mit der Atomistik zu verbinden. An und für sich ist dies jedoch keineswegs notwendig. Man kann beispielsweise die Aggregatzustände rein energetisch beschreiben. Da die festen Körper im Gegensatz zu den flüssigen und gasförmigen eine bestimmte Gestalt besitzen, deren Änderung Arbeit erfordert, so kann man ihnen eine besondere Formenenergie zuschreiben, deren Größe mit Hilfe jener Arbeit bestimmbar ist. Die Flüssigkeiten unterscheiden sich dann von den Gasen durch die Art und Größe ihrer Volumenenergie, d. h. durch die Arbeit, die zu einer Änderung des Volumens notwendig ist.

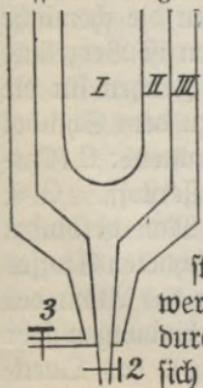
3. Die chemische Energie.

Die Tatsache, daß man die Wärme als eine Form der Energie auffassen kann, macht es möglich, alle Naturvorgänge, die mit Wärmeerscheinungen verbunden sind, unter dem Gesichtspunkte der Energie zu betrachten. Das ist von besonderem Interesse, weil dadurch auch die chemischen Vorgänge energetischer Betrachtung zugänglich werden. Alle chemischen Prozesse sind mit Wärmeerscheinungen verbunden. Diese sind zweifacher Art. Entweder wird bei einem chemischen Vorgange Wärme entwickelt oder verbraucht. In ersterem Falle wird die entstehende Wärme an die Umgebung abgegeben. Es tritt Temperaturerhöhung ein. So kann bei der Vereinigung von Wasserstoff mit Sauerstoff im Anlagasgebläse eine Temperatur von etwa 3000° C erreicht werden. Wird dagegen Wärme verbraucht, so wird diese der Umgebung ent-

zogen, und die Folge ist eine Temperaturerniedrigung. Sie tritt ein bei Lösung mancher Salze, z. B. des Salmiak, in Wasser. Diese Lösungswärme ist ähnlich der Schmelzwärme, die auch dazu dient, einen festen Stoff in den flüssigen Zustand überzuführen. Es wird demnach bei chemischen Prozessen Energie in Gestalt von Wärme abgegeben oder aufgenommen. Die Veränderung des Energiegehaltes nennt man Wärmetönung und bezeichnet diese, je nachdem eine Zunahme oder Abnahme erfolgt, als positiv oder negativ.

Das Prinzip, nach dem die energetische Betrachtung erfolgen kann, ist leicht einzusehen. Man läßt den chemischen Prozeß sich in einem Gefäße, dem sogenannten Kalorimeter, vollziehen, das sich in einer bestimmten Menge Wasser von bestimmter Temperatur befindet. Wird Wärme entwickelt — das geschieht bei den meisten Prozessen —, so wird das Gefäß erwärmt. Dann wird die Wärme an das Wasser abgegeben. Aus der Temperaturerhöhung und der Wassermenge kann man die Anzahl der abgegebenen Kalorien bestimmen. Voraussetzung ist allerdings, daß sich die chemischen Prozesse rasch vollziehen, da natürlich erwärmtes Wasser die Wärme an die weitere Umgebung abgibt.

Das erste für wissenschaftliche Zwecke geeignete Kalorimeter, das natürlich für Energiemessungen von hoher Bedeutung ist, konstruierte Lavoisier in Verbindung mit Laplace. Er nannte es Eiskalorimeter, da die Menge des geschmolzenen Eises das Maß für die abgegebene Wärme bildete. Es setzt sich zusammen aus drei ineinander liegenden Gefäßen (I, II, III). Das innere Gefäß I besteht aus einem Drahtgeflecht. Hier läßt man den Vorgang, dessen Energieabgabe man bestimmen will, sich vollziehen. In den beiden Hohlräumen II und III befindet sich Eis. Gegen Wärmeeinfluß von oben ist der Apparat durch einen zweckmäßig konstruierten Deckel geschützt. Der Eismantel in Gefäß III hat den Zweck, die Einwirkung der äußeren Wärme auf das in Gefäß II befindliche Eis aufzuhalten. Durch die äußere Wärme wird im Gefäß III Eis schmelzen. Das entstehende Wasser kann durch den Hahn 3 abgelassen werden. Das in Gefäß II befindliche Eis wird demnach durch die Außentemperatur nicht beeinflusst. Vollzieht sich nun im Gefäß I ein chemischer Vorgang, der Wärme



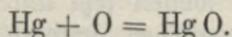
entwickelt, so wird durch diese eine bestimmte Menge Eis im Raume II schmelzen. Das entstehende Wasser kann durch den Hahn 2 abgelassen und gewogen werden. Seine Menge bildet ein genaues Maß für die bei dem Vorgange frei gewordene Wärme. Auf diese Weise bestimmte Lavoisier die spezifischen Wärmen und die Verbrennungswärmen vieler Stoffe mit verhältnismäßig großer Genauigkeit. Das Kalorimeter ist seit jener Zeit in großartiger Weise vervollkommenet worden, gibt es doch gegenwärtig Apparate, in denen die Energieabgabe des menschlichen Körpers durch tagelange Experimente auf das genaueste bestimmt werden kann.

Die frei werdenden Wärmemengen sind häufig sehr groß. Die künstlichen Wärmequellen, die wir besitzen, sind fast ausschließlich chemischer Art. Die Wärmemengen unserer Dampfmaschinen entstehen vorwiegend aus der Verbrennung des Kohlenstoffs. Die Verbrennung ist eine Oxydation, d. h. der verbrennende Stoff verbindet sich mit dem Sauerstoff (Oxygenium) der Luft. Es ist natürlich von hoher Wichtigkeit zu wissen, wieviel Wärme bei der Verbrennung einer bestimmten Menge Kohlenstoff entsteht. Man hat nach der angedeuteten Methode gefunden, daß bei der Verbrennung von 1 g annähernd 8000 Grammkalorien frei werden. Wir werden später erkennen, daß von dieser Verbrennungswärme durch die Dampfmaschine nur ein Bruchteil in Arbeit umgewandelt werden kann. Viele Brennstoffe besitzen eine noch höhere Verbrennungswärme als reiner Kohlenstoff. Bei Verbrennung von 1 g Petroleum werden 11 000, bei Verbrennung von 1 g Wasserstoff sogar 34 000 Grammkalorien frei.

Um Stoffe und Prozesse in ihrer chemischen Bedeutung möglichst kurz und erschöpfend bezeichnen zu können, hat man die chemische Zeichensprache eingeführt. Der Begründer derselben ist Berzelius, der die sogenannten Symbole einführte. Das sind Zeichen für die unzerlegbaren Stoffe, die Elemente. Man wählte zu dem Symbol eines Elementes ein oder zwei Buchstaben seines Namens: C (Carbonium) = Kohlenstoff, H (Hydrogenium) = Wasserstoff, O = Sauerstoff, Hg (Hydrargyrum) = Quecksilber usw. Man verbindet aber mit dem Symbol nicht nur den Begriff des bezeichneten Stoffes überhaupt, sondern versteht darunter im besonderen das Atom des Stoffes. Dadurch wird es möglich, chemische Verbindungen sehr kurz und treffend zu kennzeichnen. So bedeutet Hg O das Queck-

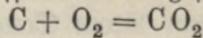
silberoxyd. Die Formel deutet an, daß dies aus Quecksilber und Sauerstoff besteht. Sie bezeichnet aber nicht nur den Stoff überhaupt, sondern im besonderen ein Molekül desselben, das aus einem Atom Quecksilber und einem Atom Sauerstoff besteht. Da nun jedem Element ein bestimmtes Atomgewicht zukommt, so verbindet man die Vorstellung desselben auch noch mit dem Symbol. Da das Atomgewicht des Quecksilbers 200, das des Sauerstoffs 16 beträgt, so besagt die Formel HgO nicht nur, daß das Molekül aus einem Atom Quecksilber und einem Atom Sauerstoff besteht, sondern auch, daß in der Verbindung auf 200 Gewichtsteile Quecksilber 16 Gewichtsteile Sauerstoff entfallen. Wenn mehrere Atome ein und desselben Elementes in einer Verbindung vorkommen, so drückt man das dadurch aus, daß man die Atomzahl dem Symbol unten rechts beifügt. So besagt z. B. die Formel für das Wasser H_2O , daß ein Wassermolekül aus 2 Atomen Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff besteht. Da das Atomgewicht des Wasserstoffs ungefähr 1 beträgt, so ist aus der Formel auch ersichtlich, daß das Wasser 2 Gewichtsteile Wasserstoff und 16 Gewichtsteile Sauerstoff enthält. Aus der Formel für die Kohensäure CO_2 kann man ohne weiteres ersehen, daß das Molekül derselben aus 1 Atom Kohlenstoff und 2 Atomen Sauerstoff besteht, und daß das Gewichtsverhältnis der beiden Stoffe in der Verbindung 12 : 32 ist.

Man benutzt die chemische Zeichensprache nicht nur, um Elemente und Verbindungen zu bezeichnen, sondern auch um chemische Vorgänge auszudrücken. Das geschieht durch die chemischen Gleichungen.



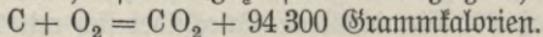
Diese Gleichung bezeichnet den Vorgang der Oxydation des Quecksilbers zu Quecksilberoxyd. Sie bezieht sich auf die Atomzahl, 2 Atome links entsprechen 2 Atomen rechts. Da mit den Symbolen aber auch die Atomgewichte zu verbinden sind, so drückt die Gleichung auch aus, daß 200 Gewichtsteile Quecksilber sich mit 16 Gewichtsteilen Sauerstoff zu 216 Gewichtsteilen Quecksilberoxyd verbinden. Als bequemsten Gewichtsteil benutzt man das Gramm. Dann bedeutet die Gleichung, daß 200 g Quecksilber sich mit 16 g Sauerstoff zu 216 g Quecksilberoxyd verbinden. Man nennt das Gewicht von 200 g Quecksilber, weil es das Atomgewicht in Gramm darstellt, Grammatom. Ein Grammatom Sauerstoff beträgt dann

natürlich 16 g. Die entstehenden 216 g Quecksilberoxyd bezeichnet man entsprechend als ein Grammolekül. Der Vorgang der Verbrennung des Kohlenstoffs wird dargestellt durch die Gleichung:



Ein Grammatom Kohlenstoff (12 g) verbindet sich mit einem Grammolekül Sauerstoff (32 g) zu einem Grammolekül Kohlenäure (44 g). Man erkennt, daß die Aufstellung dieser chemischen Gleichungen auf dem Gesetz von der Erhaltung des Gewichts oder der Masse, auf dem Gesetz von der Konstanz der Gewichtsverhältnisse und auf der diese Gesetze erklärenden Atomtheorie beruht. Man bezeichnet diese Art chemischer Gleichungen als stöchiometrische Gleichungen.

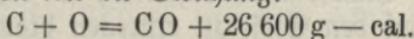
Man kann nun chemische Gleichungen auch benutzen, um Energieverhältnisse darzustellen, die in stöchiometrischen Gleichungen nicht zum Ausdruck gelangen. Die angeführte Gleichung für die Verbrennung des Kohlenstoffs besitzt den großen Mangel, daß sie nichts aussagt über die Wärmeentwicklung, die gerade der Zweck der Verbrennung zu sein pflegt. Wenn man ein Grammatom reinen Kohlenstoff mit einem Grammolekül Sauerstoff verbrennt, so erhält man ein Grammolekül Kohlenäure. Dabei werden 94 300 Grammkalorien entwickelt. Kohlenstoff und Sauerstoff getrennt besitzen eine gewisse Energiesumme. Jedem der beiden Stoffe wohnt infolge seiner atomistischen oder molekularen Eigenschaften Energie inne. Diese beiden Energiegrößen sind uns unbekannt. Bei der chemischen Verbindung aber wird von der gemeinsamen Energiesumme die meßbare Energiegröße von 94 300 Grammkalorien abgegeben. Wir wollen jetzt unter dem Symbol C nicht mehr 12 g Kohlenstoff verstehen, sondern die dieser Kohlenstoffmenge innewohnende Energie, ausgedrückt durch Grammkalorien. Dann bedeutet O_2 die ebenfalls in Grammkalorien gemessene Energie eines Grammoleküls Sauerstoff, CO_2 die Energie eines Grammoleküls Kohlenäure. Jetzt ist eine Energiegleichung möglich:



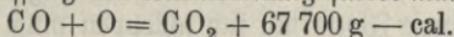
Beruhete die stöchiometrische Gleichung vorwiegend auf dem Erhaltungsgesetz von der Quantität der Masse, so gründet sich diese Gleichung zwischen den Energiemengen auf das Erhaltungsgesetz der Energie. Die Energiemengen auf beiden Seiten sind gleich, d. h. die Gesamtenergie erfährt bei dem chemischen Vorgange keine Änderung. Allerdings verwandelt sich ein Teil der Energie dabei in Wärme, die

abgegeben wird, so daß die Kohlen säure weniger Energie enthält, als die Stoffe, aus denen sie sich zusammensetzt, getrennt repräsentieren.

Man braucht den Kohlenstoff nicht direkt zu verbrennen, sondern kann bei der Drydation eine Zwischenstufe einschalten. Ein Atom Kohlenstoff verbindet sich nämlich nicht nur mit einem Molekül, sondern auch mit einem Atom Sauerstoff. Das würde stöchiometrisch ausgedrückt werden durch die Gleichung: $C + O = CO$. Die entstehende Verbindung ist das bekannte Kohlenoxyd. Es entsteht bei spärlicher Sauerstoffzufuhr und bewirkt die Kohlen gas vergiftung. Bei seiner Entstehung werden 26 600 Gramm kalorien entwickelt. Verstehen wir unter den Symbolen wieder Energiegrößen, so erhalten wir die Gleichung:



Das Kohlenoxyd kann dann noch weiter zu Kohlen säure verbrannt werden. Bei Messung der Wärmetönung findet man die Gleichung:



Daraus ergibt sich eine wichtige Folgerung. Die Summe der in beiden Prozessen entwickelten Wärme ist gleich der Wärme, die bei der direkten Verbrennung entsteht, nämlich 94 300 Gramm kalorien. In beiden Fällen sind Anfangs- und Endzustand gleich. Den Ausgangspunkt bildeten beide Male 1 Grammatom Kohlenstoff und 2 Grammatome Sauerstoff; das Endprodukt war in beiden Fällen ein Grammolekül Kohlen säure. Wenn in irgendeinem System von Stoffen chemische Vorgänge sich vollziehen, bei denen Energie in Gestalt von Wärme frei wird, so ist die gesamte Wärmeabgabe nur abhängig von der Beschaffenheit des Anfangs- und des Endzustandes. Die Zwischenvorgänge können auf die verschiedenste Art verlaufen, die Summen der abgegebenen Wärmemengen sind gleich. Das ist ein Satz von allgemeiner Bedeutung und großer Wichtigkeit. Durch ihn wird es möglich, Vorgänge energetisch zu betrachten, deren Verlauf wir im einzelnen nicht kennen. Wenn nur Anfangs- und Endzustand einer genaueren Bestimmung zugänglich sind, so kann auch die Energieaufnahme oder Energieabgabe während des Prozesses festgestellt werden.

Aus dem vorliegenden Falle ist ersichtlich, daß bei der stufenweisen Drydation des Kohlenstoffs die größere Wärmemenge erst bei der Verbrennung des Kohlenoxydes frei wird. Daher bedeutet es einen großen Energieverlust, wenn bei Verbrennungsprozessen

viel Kohlenoxyd entweicht. Das geschieht beispielsweise beim Hochofenprozeß. Die Verluste werden dadurch vermieden, daß man die entweichenden Gase zum Betriebe von Gasmotoren oder zum Vorwärmen der in den Ofen zu führenden Luft verwendet.

Aus der hohen Verbrennungswärme des Kohlenstoffs erhellt, welche ungeheuren Energievorräte wir in den Kohlenlagern besitzen. Der Kohlenstoff ist ein Riese, den sich die Menschheit dienstbar gemacht hat zur Verrichtung der gewaltigsten mechanischen Arbeitsleistungen. Die Verwendung von Brennstoffen zur Erzeugung von Arbeit bietet noch einen besonderen Vorteil. Der eine Faktor der Verbrennung, der Sauerstoff, ist überall auf der Erdoberfläche in der Atmosphäre vorhanden, so daß ein Transport sich immer nur auf den Stoff zu erstrecken braucht, der sich mit dem Sauerstoff verbindet. Von welcher Bedeutung das ist, erkennt man, wenn man bedenkt, welche Kohlenmengen ein Dampfer oder gar eine ganze Flotte mit sich schleppen muß. Und doch stellt das Gewicht der Kohle nur 12 Gewichtsteile dar, während die Atmosphäre bei der Verbrennung zu Kohlenäure 32 Gewichtsteile liefert. Für Automobilbetrieb und Motorluftschiffahrt ist Brennmaterial, das Energie in konzentrierter Form enthält, Existenzbedingung. Die gewaltigen Verbrennungswärmen von Kohlenstoff und Wasserstoff zeigen, daß wir vorzügliche Brennstoffe in den Kohlenwasserstoffen besitzen. Darunter versteht man eine ganze Anzahl chemischer Verbindungen, die sich nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammensetzen. Die bekanntesten Kohlenwasserstoffgemische sind Petroleum und Benzin.

Die Energie, die bei der Verbrennung als Wärme abgegeben wird, treibt aber nicht nur unsere Dampfmaschinen, macht nicht nur unsere Speisen durch das Kochen genießbar, wärmt nicht nur im Winter unsere Zimmer, sondern steht zum Menschen in einem noch weit innigeren Verhältnis. Wir können mechanische Arbeit auch mit Hilfe unserer Muskelkraft verrichten. Wie kommt die Energie in unseren Körper? Der menschliche Körper muß, um leben und arbeiten zu können, Nahrung aufnehmen. Unsere Nahrungsmittel sind mit wenig Ausnahmen pflanzlichen oder tierischen Ursprungs. Es sind fast ausschließlich organische Verbindungen. Diese sind dadurch gekennzeichnet, daß sie Kohlenstoff enthalten. Sie gelangen durch den Magen in den Darm. Von hier aus gehen die Speisefäfte durch die Darmwand in das Blut, von dem sie allen

Teilen des Körpers zugeführt werden. Während so vom Darm aus eine ununterbrochene Zufuhr von Kohlenstoffverbindungen stattfindet, strömt von einer andern Seite her unaufhörlich Sauerstoff in das Blut. Das Eingangstor desselben ist die Lunge. In ihr dringt der Sauerstoff der Luft durch die feinen Membranen der Lungenbläschen in das Blut. Hier begegnen sich Kohlenstoffverbindungen und Sauerstoff. Die Folge ist eine Verbrennung, die Ursache unserer Körperwärme. Sie beträgt beim gesunden Menschen $37,2^{\circ}$ C und ist von Klima und Alter ziemlich unabhängig. Da die Temperatur der Außenwelt gewöhnlich niedriger ist, so wird fortwährend Wärme vom Körper an diese abgegeben. Der Verlust muß wieder ersetzt werden, was eben durch Verbrennung der Speisefäste durch den unaufhörlich eingeatmeten Sauerstoff geschieht. Da die Wärme, die abgegeben wird, um so größer ist, je niedriger die Temperatur der Umgebung ist, so gibt der Körper im Winter mehr Wärme ab als im Sommer. Es ist daher im Winter eine reichlichere Nahrungsaufnahme nötig als im Sommer. Eine allzu große Wärmeabgabe an die Umgebung müssen wir durch die Kleidung verhüten. Wenn in unserem Körper Kohlenstoffverbindungen oxydieren, so muß auch das Endprodukt dieser Prozesse, die Kohlenensäure, nachweisbar sein. Das bequemste Mittel zum Nachweis derselben ist das Kalkwasser, eine Lösung von gelöstem Kalk in Wasser. Wird durch dieses Kohlenensäure geleitet, so entsteht ein grauer Niederschlag von kohlensaurem Kalk. Dieser bildet sich tatsächlich, wenn man ausgeatmete Luft durch Kalkwasser bläst, ein Beweis, daß Kohlenensäure als Endprodukt der in unserem Körper stattfindenden Oxydationsprozesse entsteht. Durch die Verbrennungsprodukte wird die Färbung des Blutes dunkler, so daß Blut, welches aus dem Körper durch das Herz nach der Lunge fließt, dunkelrot gefärbt ist, während Blut, das den umgekehrten Weg einschlägt, hellrote Färbung besitzt. Da nun in kälteren Gegenden der Erde die Wärmeabgabe des menschlichen Körpers größer ist als in den Tropen, wo die Außentemperatur wenig von der Bluttemperatur verschieden ist, so wird auch die Verbrennung in jenen stärker sein müssen als in diesen. Das wird auch einen Unterschied der Blutfärbung zur Folge haben. In kalten Gegenden wird das venöse Blut, das die Verbrennungsprodukte mit sich führt, dunkler aussehen als in den Tropen.

Diese Tatsache ist insofern von besonderem Interesse, als sie den Ausgangspunkt der Gedankengänge Robert Mayers bildete. Dieser war Marinearzt in holländischen Diensten. Auf Java beobachtete er bei den damals üblichen Aderlässen eine auffällige hellrote Färbung des venösen Blutes gegenüber dem in höheren Breiten. Er erkannte den Grund bald in der geringeren Wärmeabgabe infolge geringeren Wärmeverlustes an die Umgebung. Von hier aus spann er seine Gedanken weiter. Wärme entsteht im Körper besonders bei körperlichen Anstrengungen. Beim Bergsteigen fühlen wir das sehr deutlich. Dies bedeutet aber Arbeit. Der Körper wird ja gehoben. Sollte nun nicht zwischen der im Körper entstehenden Wärme und der körperlichen Arbeit ein Zusammenhang bestehen? Das war aber das Problem der Erhaltung der Energie. Mayer fand, wie bereits ausgeführt, den Zusammenhang in schon angestellten Versuchen über die Erwärmung von Gasen bei unverändertem Druck und unverändertem Volumen.

Jeder Arbeitsleistung unseres Körpers entspricht eine äquivalente Wärmemenge, aus der sie entsteht. Jede Arbeit von 427 mkg läßt in unserem Körper eine Kilogrammkalorie verschwinden, die durch gesteigerte Verbrennung ersetzt werden muß. Wenn man die ausgeatmete Kohlensäure auffängt, so kann man daraus auch die Menge des verbrannten Kohlenstoffs und einen Zusammenhang zwischen Brennmaterial und mechanischer Arbeit feststellen wie bei der Dampfmaschine. Dem Körper strömt fortwährend Energie in Gestalt von Nahrung und Sauerstoff zu, aus denen er einen Teil der Energie durch Verbrennungswärme gewinnt, die er in Arbeitsleistung umsetzt. So steht also auch unser Körper und mit ihm die belebte Welt der Organismen unter dem Energiegesetz.

Der exakte experimentelle Nachweis dieser Tatsache wurde erst in neuester Zeit erbracht. Ein Umschwung in der Auffassung des Lebensprozesses trat ein mit der Erklärung der Verbrennung durch Lavoisier. Er erkannte in dem Lebensprozeß einen durch Atmung unterhaltenen Verbrennungsprozeß. Daß eine Oxydation im tierischen Körper stattfindet, mußte bald zweifellos erscheinen, da man den aufgenommenen Sauerstoff und das Verbrennungsprodukt, die abgegebene Kohlensäure, leicht bestimmen konnte. Lavoisier sagt: „Das Atmen ist also ein zwar sehr langsames aber übrigens dem der Kohle vollkommen ähnliches Verbrennen; es geschieht

inwendig in der Lunge, ohne merklich Licht zu entbinden, weil das frei gewordene Feuerwesen alsobald von der Flüssigkeit dieser Werkzeuge angezogen wird.“ Die naheliegende Annahme, daß die tierische Wärme allein aus diesem Verbrennungsprozeß stamme, konnte lange experimentell nicht erhärtet werden, obwohl schon Lavoisier in Verbindung mit Laplace dahingehende Versuche anstellte.

Nach der Anerkennung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie war man überzeugt, daß die tierische Wärme ihr vollkommenes Äquivalent in der Oxidation der Nahrungsmittel haben mußte; aber erst in neuester Zeit hat man nach großen Fortschritten der Lehre vom tierischen Stoffwechsel die Experimente mit dem gewünschten Erfolg ausführen können. Rubner hat Versuche mit Tieren im Ruhezustande angestellt, während Atwater das Experiment mit vollem Erfolg auf den ruhenden und arbeitenden Menschen ausdehnte. Bei solchen Versuchen müssen Nahrung, Urin, Exkremente und gasartige Absonderungen nach Menge und chemischer Zusammensetzung bestimmt werden. Sodann muß der Energieunterschied zwischen Einnahme und Ausgabe des Körpers festgestellt werden. Dann ist die von dem Körper abgegebene Wärme und die von ihm verrichtete Arbeit zu messen. Außerdem ist zu berücksichtigen, ob der Körper während der Versuche zu- oder abgenommen hat. Es mögen einige Ergebnisse dieser überaus sorgfältigen und mühevollen Versuche folgen.

Übersicht des Gesamtergebnisses. (Rubner.)¹⁾

Zufuhr	Zahl der Tage	Summe der berechneten Wärme	Summe der direkt bestimmten Wärme	Prozentdifferenz	Prozentdifferenz im Mittel
Hunger	5	1296,3	1305,2	+ 0,69	} - 1,42
	2	1091,2	1056,2	- 3,15	
Fett	5	1510,1	1495,3	- 0,97	- 0,97
Fleisch und Fett	8	2492,2	2488,0	- 0,17	} - 0,42
	12	3985,4	3958,4	- 0,68	
Fleisch	6	2249,8	2276,9	+ 1,20	} + 0,43
	7	4780,8	4769,3	- 0,24	

1) Zeitschrift für Biologie, Bd. 30.

Die Energiegrößen sind in Kalorien ausgedrückt. Aus der Nahrungsaufnahme und den Abscheidungen des Körpers kann die Energiegröße berechnet werden, welche der Körper den Nahrungsmitteln entzieht, während die Wärmeabgabe des Körpers im Kalorimeter direkt bestimmt wird.

Rubner sagt über seine Ergebnisse: „Im Gesamtdurchschnitt aller Versuche von 45 Tagen sind nach der kalorimetrischen Methode nur 0,47 % weniger an Wärme gefunden als nach der Berechnung der Verbrennungswärme der zersetzten Körper- und Nahrungstoffe.“

Wo immer wir in den vorhergehenden Versuchen den Stoffverbrauch und die aus ihm berechnete Wärmeproduktion mit der kalorimetrischen Messung verglichen haben, hat sich die unumstößliche Tatsache ergeben, daß beide Größen in den Einzelversuchen sich bis auf wenige Kalorien decken.

Wie ich schon früher darauf aufmerksam zu machen in der Lage war, daß die Stoffzerlegung keineswegs etwas so Willkürliches ist, als viele, welche die Versuchsbedingungen nicht genügend beherrschen, meinen, so haben diese Untersuchungen aufs neue gezeigt, daß die kalorimetrische Messung der tierischen Wärmeproduktion nicht neue Gesetze liefert, vielmehr die alten, allerdings mit gehörigem Nachdruck, bestätigt.

Nicht ein einziges einzelnes aus allen Versuchsergebnissen beliebig herausgegriffenes Resultat kann uns darüber im Zweifel lassen, daß die einzige ausschließliche Wärmequelle des Warmblüters in der Auslösung der Kräfte aus dem Energievorrat der Nahrungstoffe zu suchen ist.

Was der Nahrungstoff an Energievorrat zur Zerlegung in den Körper hineinbringt, das scheidet der Körper in genau gemessenen Quantitäten nach außen; es gibt in diesem Haushalt kein Manko und keinen Überschuß.

Einfach und glatt verläuft die Rechnung, und doch liegt in dem Wechsel der aus den Nahrungstoffen austretenden Energie zu jener Energieform, die wir als Wärme messen, das, was man Leben nennt. Jede Wärmeeinheit, die wir in unseren Apparaten finden, hat ihren Dienst im Lebensprozesse getan. Doch ist Leben ja nicht Wärme; der Wärme kommt nur insofern noch Bedeutung zu, als sie, die Temperaturerhöhung der Zellen bedingend, besonders bei dem Warmblüter ein wichtiger Faktor der Lebensintensität

werden kann, ohne dieser selbst ein zur Erhaltung derselben angemessenes Äquivalent zu sein.

Das tierische Leben ist also ein Verbrennungsprozeß, und die Lehre von der Erhaltung der Kraft, welche Mayer und von Helmholtz begründet haben, kann auch den in meinen Versuchen erbrachten Beweis des Durchgangs der Energievorräte durch den Tierkörper in unveränderter Quantität den vielen anderen Beobachtungen auf rein physikalischem Gebiete anreihen.

Die Lehre von der Erhaltung der Kraft bedarf zwar dieses Beweises ihrer Geltung auch auf biologischem Gebiete nicht. Das Mißlingen würde uns nur zu dem Ausspruch des Bedauerns, daß die tierischen Vorgänge noch immer nicht genau genug sich beherrschen lassen, um exakte Resultate zu gewinnen, Veranlassung gegeben haben.“

Durch diese Versuche ist also erwiesen, daß das Erhaltungsgesetz der Energie nicht nur Geltung besitzt für das Reich des Anorganischen, sondern auch für die komplizierten Vorgänge in der organischen Welt. „Wenn das Tier oder der Mensch keine äußere Arbeit leisten, so erscheint die gesamte in ihren Lebensvorgängen umgesetzte Energie wieder in der von ihnen abgegebenen Wärme. Die Bewegung des Blutes in den Gefäßen erwärmt deren Wände, die Bewegungen der Glieder erwärmen die Gelenkflächen und die angrenzenden Luftschichten; der Stoffwechsel, die Muskelkontraktionen, die Erregungsexplosionen in den Nerven, alles hat seine Beziehungen zu der von dem Organismus produzierten Wärme, deren Überschuß über die Umgebung dauernd nach außen strahlt. Die Quelle dieses Energiestromes liegt in den zugeführten Nahrungsmitteln: ihr Verbrennungswert, vermindert um den der Ausscheidungen, ist es, der in dem Spiel der Lebensprozesse in den verschiedensten Weisen umgesetzt wird und schließlich in der einen Form der Wärme wieder in die Außenwelt übergeht.“

Die Meinung, daß die Versuche Rubners, die an Hunden vorgenommen wurden, keine Geltung zu haben brauchten für den Menschen, der so hoch über allen anderen Geschöpfen steht, hat Atwater entkräftet. Er hat Versuche mit fünf Personen angestellt, und zwar unter mannigfacher Veränderung der Versuchsbedingungen. Seine Versuche erstrecken sich auf Energiebestimmungen

bei verschiedener Ernährung, bei Ruhe, geistiger und körperlicher Arbeit. Einige seiner Resultate mögen die glänzende Übereinstimmung mit dem Energiegesetz illustrieren.

**Vergleich zwischen der Einnahme und Ausgabe
der Energie in 45 Stoffwechselversuchen,
143 Experimentiertage umfassend.¹⁾**

Tages-Durchschnittsmengen.

Name, Art des Experiments	Anzahl der Experi- mentier- tage	Netto- Einnahme	Netto- Ausgabe	Unterschied (in Aus- drücken der Netto- Einnahme)	
		(potentielle Energie des im Körper oxybierten Stoffes)	(kinetische Energie, vom Körper abgegeben)	Kal.	%
Gewöhnliche Kost. Ruheexperimente.		Kalorien	Kalorien	Kal.	%
7 Exper. mit E. O. . .	25	2268	2259	- 9	- 0,4
1 " " A. W. S.	3	2304	2279	- 25	- 1,1
3 " " J. F. S.	9	2118	2136	+ 18	+ 0,8
1 " " J. C. W.	4	2357	2397	+ 40	+ 1,7
Durchschnitt:					
12 Experimente . . .	41	2246	2246	0	0
Gewöhnliche Kost. Arbeitsexperimente.					
2 Exper. mit E. O. . .	8	3865	3829	- 36	- 0,9
4 " " J. F. S.	12	3539	3540	+ 1	0
14 " " J. C. W.	46	5120	5120	0	0
Durchschnitt:					
20 Experimente . . .	66	4682	4676	- 6	- 0,1
Durchschnitt aller Ruhe- und Arbeitsexper. mit gewöhnl. Kost	107	3748	3745	- 3	- 0,1
Besondere Kost. Ruheexperimente.					
6 Exper. mit E. O. . .	17	2313	2319	+ 6	+ 0,3
3 " " A. W. S.	6	2308	2356	+ 48	+ 2,1
1 " " J. F. S.	3	2124	2123	- 1	0
Durchschnitt:					
10 Experimente . . .	26	2290	2305	+ 15	+ 0,7

1) Ergebnisse der Physiologie, Bd. III.

Name, Art des Experiments	Anzahl der Experi- mentier- tage	Netto- Einnahme (potentielle Energie des im Körper oxydierten Stoffes)	Netto- Ausgabe (kinetische Energie, vom Körper abgegeben)	Unterschied (in Aus- drücken der Netto- Einnahme)	
				Kalorien	Kalorien
Besondere Kost. Arbeitsexperimente.					
1 Exper. mit E. O . . .	4	3922	3928	+ 6	+ 0,2
2 " " J. S. F.	6	3583	3552	- 31	- 0,9
Durchschnitt: 3 Experimente . . .	10	3719	3702	- 17	- 0,5
Durchschnitt aller Ruhe- und Arbeitsexper. mit besonderer Kost	36	2687	2695	+ 8	+ 0,3
Durchschnitt aller Ruhe- und Arbeitsexp. mit jeder Art von Kost	143	3481	3481	0	0

Unter Energie der Nettoeinnahmen versteht Atwater die Differenz zwischen der Energie der Nährstoffe der Kost und der Energie der stofflichen Ausscheidungsprodukte des Körpers. Gewinnt während des Experiments der Körper an Stoff, so ist die Energie desselben in Abzug zu bringen, verliert er Stoff, so ist die Energie desselben dazuzuschlagen. Unter Nettoausgabe hat man die Summe der äußeren Muskelarbeit und der abgegebenen Wärme zu verstehen. Atwater bezeichnet die den Stoffen innewohnende chemische Energie als potentiell, die abgegebene Energie als kinetisch. Das beruht darauf, daß man sämtliche Energieformen mit Hilfe der beiden mechanischen Formen auffassen kann. Dann ist die chemische Energie als Energie der Lage, die der Wärme als Energie der Bewegung zu bezeichnen. Die Übereinstimmung zwischen Soll und Haben im menschlichen Organismus ist durch diese Versuche wohl auf das überzeugendste nachgewiesen worden. Die Differenz erreicht bei Durchschnittswerten ein Maximum von 0,7%, während sie beim Gesamtdurchschnitt überhaupt völlig verschwindet.

Von besonderem Interesse ist es, daß Atwater auch Versuche mit arbeitenden Menschen anstellte. Dadurch wird es möglich, das Verhältnis zwischen der geleisteten Arbeit und dem Energieaufwand des Körpers zu gewinnen.

Verhältnis der äußeren Muskelarbeit zur Menge der umgesetzten Energie.

Tages-Quantitäten.

Name, Art des Experiments	Zahl der Exp.	Dauer	Umgesetzte Energie		Wärme-Äquivalent der äußeren Muskelarbeit	Nutzungswert
			Summe	Plus im Arbeitsexp. gegen Ruheexp.		
E. O.		Tage	Kalorien	Kalorien	Kalorien	%
Ruheexper. . . .	13	42	2279	—	—	—
Arbeitsexper. . .	3	12	3892	1613	214	13,3
J. F. S.						
Ruheexper. . . .	4	12	2119	—	—	—
Arbeitsexper. . .	6	18	3559	1440	233	16,2
J. C. W.						
Ruheexper. . . .	1	4	2357	—	—	—
Minimumarbeit .	4	16	5056	2699	529	19,6
Maximumarbeit .	2	8	5332	2975	601	20,2
Durchschnitt . . .	14	46	5143	2786	546	19,6

Aus der Tabelle ist zunächst ersichtlich, daß bei körperlicher Arbeit eine bedeutende Steigerung des Energieumsatzes im menschlichen Körper erfolgt. Die umgesetzte Energie kann bei körperlicher Arbeit dem Ruhezustande gegenüber mehr als das Doppelte betragen. Nun wird aber keineswegs der ganze Mehraufwand in äußere Muskelarbeit umgesetzt. Diese beträgt im günstigsten Falle 20,2 % des Energiemehraufwandes. Die Nutzungswerte des menschlichen Körpers entsprechen damit ungefähr den Nutzeffekten der Dampfmaschinen, in denen auch nur etwa 16 % von der Energie des Brennstoffes in mechanische Arbeit umgesetzt werden.

Ein merkwürdiges Resultat brachte ein Experiment bei angestrengter geistiger Arbeit. Bei einer Versuchsperson wurde zunächst der Energieumsatz bei möglicher Ruhe, hierauf bei intensiver geistiger Arbeit bestimmt. Dabei wurde ein merklicher Unterschied im Energieumsatz nicht festgestellt. Es ist demnach bisher nicht erwiesen, daß geistige Tätigkeit und die mit ihr verbundenen Vorgänge in den Nervenzentren und Nervenbahnen einen Ein-

fluß auf den Energieumsatz besitzen. Das berechtigt aber keineswegs zu dem Schluß, daß geistige Tätigkeit überhaupt kein Äquivalent im körperlichen Energieumsatz habe. Es ist nämlich zu beachten, daß geistige Tätigkeit auch im Ruhezustande, ja selbst im Schlafe vorhanden ist. Ununterbrochen währt das Spiel der Vorstellungen und Gefühle. Es ist sehr wohl möglich, daß ein Teil des Energieumsatzes auf geistige Tätigkeit kommt. Auch ist denkbar, daß die Änderungen im Energieumsatz, die durch verschiedene Nervenanstrengung bewirkt werden, so gering sind, daß sie in die Fehlergrenze des Experimentes fallen. Nach den angeführten Versuchen ist so viel außer Zweifel gestellt, daß die schließliche Energieabgabe des Körpers in Gestalt von Wärme und äußerer Muskelarbeit völlig der chemischen Energie gleich ist, die den Nahrungsmitteln bei ihrem Gange durch den Körper entzogen wird.

Es ist ein Nachteil der chemischen Energie, daß sie, wenn sie von der Technik zur Arbeitsleistung benutzt wird, erst in Wärme umgewandelt werden muß. Der Nachteil besteht darin, daß die Wärmemaschinen mit großen Verlusten arbeiten. Es wäre ein Problem, den Umweg über die Wärme zu vermeiden. Es gibt chemische Vorgänge, die Energie auch auf eine andere Art als die der Wärmeentwicklung abgeben. Wenn bei einem chemischen Vorgange das Volumen der entstehenden Stoffe größer ist als das der ursprünglich vorhandenen, so findet während des Prozesses eine Ausdehnung statt. Diese aber ist eine Arbeit, schon wenn sie sich in der Atmosphäre vollzieht, wird doch durch sie der Luftdruck über eine bestimmte Strecke hin überwunden. Die Arbeitsmöglichkeit, die in der Volumenvergrößerung besteht, ist besonders groß bei den chemischen Prozessen, in denen aus festen oder flüssigen Körpern Gase entstehen. Diese nehmen einen viel größeren Raum ein als die Körper in anderen Aggregatzuständen. Wenn sie in einem geschlossenen Raume entstehen, vermögen sie oft ungeheure Drücke auszuüben. Dazu kommt, daß bei den Prozessen auch noch Wärme entsteht, die den Druck der Gase steigert. Darauf beruht die Energie der Sprengstoffe. Betrachten wir beispielsweise das gewöhnliche Schwarzpulver. Es besteht aus Kohle, Schwefel und Salpeter. Seine Energie liegt zunächst in der Verbrennungswärme des Kohlenstoffs und Schwefels, die sich mit dem Sauerstoff des Salpeters verbinden. Die Wirkung beruht aber auch darauf, daß

aus den festen Bestandteilen sich durch die Verbrennung Gase bilden, die bei gewöhnlichem Druck einen viel größeren Raum einnehmen als die festen Körper, aus denen sie entstanden. Wird ihnen dieser Raum nicht dargeboten, so üben sie auf die einschließenden Wände einen entsprechenden Druck aus, der einem Geschoss seine Anfangsgeschwindigkeit verleihen kann. Die chemische Energie des Sprengstoffes wird demnach hier unmittelbar umgesetzt in die kinetische Energie des Geschosses.

Die Explosionen der Sprengstoffe sind auch Oxydationen. Es besteht aber ein Unterschied gegenüber der gewöhnlichen Verbrennung. Bei dieser vollzieht sich die Verbindung in der Atmosphäre, in der überall Sauerstoff vorhanden ist. Da die Explosionen aber in geschlossenen Räumen vor sich gehen, so muß für besondere Sauerstoffquellen gesorgt werden. Der Sauerstoff wird bei fast allen Sprengstoffen durch die sauerstoffreiche Salpetersäure geliefert, deren Sauerstoffgehalt 75 % übersteigt. Alle bekannten Sprengstoffe, Dynamit, Sprenggelatine, Pikrinsäure u. a., sind Verbindungen der Salpetersäure. Da die Sprengstoffe den zur Verbrennung nötigen Sauerstoff in sich selbst enthalten müssen, ist ihr Energieinhalt viel geringer als der gewöhnlicher Brennstoffe, bei deren Oxydation der Sauerstoff aus der Luft hinzutritt. So liefert 1 kg Petroleum etwa 11000, 1 kg Dynamit nur 1300 Kalorien. Der Wert der Sprengstoffe liegt nicht in der Größe, sondern in der Geschwindigkeit der Abgabe des Energiegehaltes.

An den Sprengstoffen treten die Vorzüge der chemischen Energie besonders deutlich hervor. Sie läßt sich außerordentlich stark konzentrieren, so daß kleine Massen- und Raumgrößen gewaltige Energiemengen abzugeben imstande sind. Außerdem läßt sie sich verhältnismäßig leicht transportieren. Nicht zuletzt aber ist es ein anderer Vorzug, der sie vor anderen Energieformen auszeichnet. Das ist die Leichtigkeit, mit der sie sich aufbewahren läßt. Diese Eigenschaft ist darin begründet, daß zu einem chemischen Vorgange immer mehrere Stoffe nötig sind. Man braucht diese nur getrennt zu halten, um den Vorgang zu verhindern und eine unerwünschte Energieabgabe zu verhüten. Diese Vorzüge besitzen andere Energieformen nicht. Die Energie der Lage läßt sich allerdings aufbewahren. Gehobenes Wasser kann unter Umständen beliebig lange auf seiner Höhe erhalten werden. Bequem aber ist

das Verfahren nicht, da Wasser einen großen Raum erfordert. Auch die Energie der Spannung im engeren Sinne eignet sich nicht zur Aufbewahrung. Die elastischen Körper verlieren nämlich durch Deformation an Elastizität, wenn sie auf längere Zeit in starke Spannungszustände versetzt werden. So ist bekannt, daß ein Bogen, der lange Zeit gespannt blieb, beim Losschnellen der Sehne seine alte Form nicht wieder annimmt, weil er seine Elastizität zu einem Teile verloren hat. Ohne weiteres ist ersichtlich, daß kinetische Energie sich nicht festhalten läßt, eben weil sie auf Bewegung der Körper beruht. Energie in Gestalt von Wärme längere Zeit aufzubewahren, ist gleichfalls unmöglich, da ein warmer Körper seine Wärme allmählich an die Umgebung abgibt. Ebenso behält auch ein elektrisch geladener Körper seine Ladung nicht dauernd, sondern verliert sie an die Umgebung. Die Energie des elektrischen Stromes kann als solche ebensowenig festgehalten werden wie die Energie eines bewegten Körpers. Zur Aufbewahrung eignet sich allein die Energie in chemischer Form. Der Kohlenstoff verliert durch die Länge der Zeit nichts von seiner Energie. So liegen als unveränderliche Energievorräte die gewaltigen Kohlenlager in unserem Planeten, gleichsam ein Vermächtnis vergangener Jahrtausende an unsere Zeit.

Das Festhalten und Aufbewahren der Energie läuft immer auf eine Umwandlung in die chemische Form hinaus. Dieses Problem ist bisher nur unvollkommen gelöst worden. Die mechanische Energie eines Wasserfalles wird in chemische umgewandelt, wenn durch sie Aluminium aus seinen Verbindungen befreit wird. Dieses entwickelt, wenn es in Pulverform mit Sauerstoff verbrannt wird, eine so bedeutende Wärmemenge, daß Eisen weißglühend gemacht und geschweißt werden kann. Darauf beruht ein modernes Verfahren der Eisenbearbeitung im Freien. Die Energie, die nötig war, Aluminium aus Ton zu gewinnen, wird dabei als Wärme wieder abgegeben. In chemische Energie wird die Arbeit eines Wasserfalles auch verwandelt, wenn durch sie eine Verbindung von Stickstoff und Sauerstoff der Luft bewirkt wird. Läßt man ähnlich wie im Bogenlicht starke Ströme von hoher Spannung, die man an Wasserfällen leicht gewinnen kann, zwischen gegenüberliegenden Spitzen übergehen, so wird durch sie bei einer bestimmten Stärke und Spannung der Stickstoff der Luft entzündet,

der unter blauer Lichterscheinung mit dem Sauerstoff verbrennt. Es entsteht ein Oxyd des Stickstoffs, aus dem leicht Salpetersäure gewonnen werden kann. Diese stellt, wie wir an den Sprengstoffen sahen, Energie in sehr konzentrierter Form dar. Die Energie des Wasserfalles kann so chemisch aufgespeichert werden.

Von besonderem Interesse ist das Festhalten der Energie des elektrischen Stromes durch Verwandlung in die chemische Form. Mit der zunehmenden Verwendung des elektrischen Stromes ergab sich von selbst das Problem, die Energie desselben zu fixieren. Es ist gelöst worden durch die Erfindung des Akkumulators. Wird der Strom durch eine Akkumulatorenbatterie geleitet, so verursacht er eine chemische Wirkung. Diese läßt sich wieder zurückverwandeln in elektrischen Strom, der der Batterie beliebig entnommen werden kann. Das ist von großer Bedeutung für die Verwendbarkeit der elektrischen Energie überhaupt geworden. Wird ein elektrischer Strom durch eine Dynamomaschine erzeugt, so währt er nur so lange, als sich diese in Betrieb befindet. In vielen Betrieben ist aber dauernder elektrischer Strom erforderlich, während die Dynamomaschine nicht ununterbrochen in Gang erhalten werden kann. Dann wird während der Arbeit der Maschine Energie in der Akkumulatorenbatterie gesammelt. Die chemische Energie vermag sich in elektrischen Strom zurückzuverwandeln, während die Maschine ruht.

4. Die elektrische und magnetische Energie.

Wir sind im vorhergehenden bereits zu einer andern Form der Energie gekommen, die in der Technik der Gegenwart eine überragende Bedeutung besitzt, zur Elektrizität. Die Lehre von den elektrischen Erscheinungen hat sich von allen Wissensgebieten der Physik zuletzt entwickelt. Das hat seinen Grund in der Abhängigkeit unseres Wissens von unseren Sinnen. Nichts zeigt die Bedeutung derselben für unser Vorstellungsleben deutlicher als die Einteilung der Physik. Sie ist auf die Sinne gegründet. Die Optik behandelt Erscheinungen, die sich an unser Auge wenden, die Akustik Erscheinungen, die wir mit dem Ohr wahrnehmen, die Wärmelehre Erscheinungen, die durch den Temperatursinn in unser Bewußtsein dringen. Mechanische Vorgänge, d. h. Ortsveränderungen sind auf das innigste mit der Raumvorstellung verbunden, die wir mit Hilfe

des Auges und des Tastsinnes erwerben. Für Elektrizität besitzen wir keinen besonderen Sinn. Wir können sie nicht so unmittelbar wahrnehmen wie Wärme, Licht und Schall. Man kann die Frage nach dem Grunde dieser Erscheinung aufwerfen. Wir nehmen an, daß die Sinnesorgane im Laufe der Entwicklung der Organismen durch Einwirkung der Außenwelt entstanden sind. Sie haben sich als zweckmäßige Reaktionen gegenüber dauernden und starken äußeren Einflüssen herausgebildet. Dann ist denkbar, daß ein Organ für Elektrizität nicht entstanden ist, weil diese nicht in der Stärke und Dauer auf unseren Körper einwirkt wie Wärme, Licht und Schall.

Wir können die Elektrizität immer nur wahrnehmen an Wirkungen, die sich an unsere Sinne richten. Die erste beobachtete Wirkung der Elektrizität war mechanischer Art. Es war die Anziehung leichter Körper durch geriebenen Bernstein. Gegenwärtig noch erkennen wir den elektrischen Strom an der Ablenkung der Magnetnadel, also an einer Bewegungswirkung. Auch durch chemische Wirkungen, z. B. die Zersetzung des Wassers, läßt sich der elektrische Strom nachweisen. Immer erkennen wir Elektrizität an Wirkungen, nehmen sie nicht in der unmittelbaren Weise wahr, wie z. B. das Licht. Die Natur hat für unser Wissen, das auf Sinnlichkeit gegründet ist, gewissermaßen Kulissen aufgestellt. Wir nehmen nur wahr, was sich vor denselben vollzieht, und können auf dahinter wirkende Kräfte nur Schlüsse ziehen. Die Wirkungen der Elektrizität vollziehen sich zum Teil vor den Kulissen, d. h. im Bereich unserer Sinnlichkeit, während sie selbst dieser verborgen bleibt. Allerdings kann der elektrische Strom unter besonderen Bedingungen den Nerven wahrnehmbar gemacht werden, was jedermann von der Elektrifiziermaschine her bekannt ist. Diese unmittelbare Einwirkung ist aber völlig unzureichend zu einer genügenden Kenntnis und Beherrschung elektrischer Erscheinungen.

Es entsteht zunächst die Frage: Ist es überhaupt berechtigt, die Elektrizität als Energieform aufzufassen? Diese Frage ist zu bejahen, wenn wir Elektrizität aus einer behandelten Energieform erzeugen und wieder in sie zurückverwandeln können. Die Antwort ergibt sich leicht aus dem Wesen der Dynamomaschine und des elektrischen Motors. In der ersteren wird durch die Kraft des Dampfes oder des fallenden Wassers der Anker gedreht, also eine mechanische Arbeit verrichtet. Aus dieser entsteht der elektrische

Strom. Dieser wird in den Motor geleitet, wo er umgekehrt den Anker in Bewegung setzt und dadurch eine mechanische Arbeit zu leisten vermag. Elektrizität kann demnach als eine Form der Energie aufgefaßt werden.

Daraus ergibt sich die Frage: Besteht zwischen Elektrizität und mechanischer Arbeit ein ähnlicher Zusammenhang wie zwischen Wärme und mechanischer Arbeit, so daß auch hier eine zahlenmäßige Beziehung besteht? Es müßte dann analog dem mechanischen Äquivalent der Wärme ein mechanisches Äquivalent der Elektrizität geben.

Um diese Frage beantworten zu können, müssen wir die Auffassung der elektrischen Erscheinungen verstehen lernen, uns besonders mit den elektrischen Maßen bekannt machen. Wir begegnen dabei wieder der schon oft erwähnten charakteristischen Art der Naturauffassung, die sich bereits in der Wärmelehre geltend machte. Wenn man schon die Wärmeercheinungen, für die wir doch besondere Nerven besitzen, rein mechanisch deutet, um sie begreiflich zu machen, dann wird es nicht wundernehmen, wenn man die Elektrizität, die sich überhaupt an keinen Sinn wendet, auch von den mechanischen Wirkungen her zu verstehen und vor allem zu messen sucht. In der Tat ist die Auffassung der elektrischen Erscheinungen rein mechanisch. Das erkennt man schon aus den Begriffen, mit denen die Elektrizitätslehre arbeitet. Der Begriff der Spannung ist aus der Mechanik von den elastischen Körpern her eingeführt worden. Er entspricht, wie wir erkennen werden, der potentiellen Energie. Der elektrische Strom aber ist ein Begriff, in dem das Bild des fließenden Wassers steckt. Man sucht eben einem Vorgange, der unserer Sinnlichkeit entzogen ist, so gut oder so schlecht es geht, mit Hilfe unserer mechanischen Vorstellungen beizukommen. In dem Begriff „Strom“ ist der Begriff der kinetischen Energie enthalten. Wenn nun aber die gesamte Elektrizitätslehre eingeteilt wird in die Lehre von der ruhenden und in die Lehre von der strömenden Elektrizität, so bedeutet dies nichts Geringeres, als daß wir sämtliche elektrische Erscheinungen mit Hilfe der Mechanik auffassen. Wir deuten die elektrischen Zustände als Energie der Lage und die elektrischen Vorgänge als Energie der Bewegung.

Man kann verschiedene Körper, z. B. Glas und Schellack, durch Reibung elektrisch machen. Die Elektrizität zeigt sich darin, daß

Papierschnitzel und Wolleteilchen angezogen werden. Hängt man einen elektrischen Glasstab an einem Faden auf, so daß er sich leicht drehen kann, und nähert ihm einen anderen ebenfalls elektrischen Glasstab, so ist eine Abstoßung zu bemerken, während bei Annäherung von elektrischem Schellack (Harz) Anziehung eintritt. Zwei elektrische Schellackstangen zeigen wie zwei elektrische Glasstäbe Abstoßung. Aus diesem Grunde unterscheidet man zwei Arten Elektrizität, die Glas- und die Harzelektrizität oder, wie man sie gewöhnlich nennt, die positive und die negative Elektrizität. Gleichnamige Elektrizitäten stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.

Berührt man mit einer elektrischen Metallkugel eine andere unelektrische, so wird auch diese elektrisch, nur sind dann die Wirkungen der beiden Kugeln einzeln genommen schwächer als die ursprüngliche Wirkung der ersteren. Infolge dieser Teilbarkeit spricht man von elektrischen Mengen oder elektrischen Ladungen. Es handelt sich nun darum, ein Maß für die elektrische Ladung zu finden. Das Problem ist von Coulomb gelöst worden, der die sogenannte elektrische Drehwaage konstruierte. An einem dünnen Silber-, Glas- oder Quarzfaden hängt horizontal eine Glas- oder Schellackstange, die an ihren Enden Metallkugeln trägt. Dieser Stab kann aus seiner Gleichgewichtslage gedreht werden, wird aber, wenn die Kraft aufhört zu wirken, infolge der Elastizität des Fadens wieder in die alte Lage zurückkehren. Die Größe der einwirkenden Kraft wird sich in der Größe des Drehungswinkels zeigen. Man kann die Kraft mit dem Gewicht messen. Ein Gewicht, das man mittels eines über eine Rolle gelegten Fadens auf die Drehwaage einwirken läßt, wird auch eine bestimmte Drehung verursachen. Nun kann man die Ablenkung aber auch durch elektrische Ladungen bewirken. Man macht eine andere gleichgroße Metallkugel elektrisch und bringt sie zunächst mit einer Kugel an der Drehwaage in Berührung. Dann verteilen sich die Ladungen — völlige Gleichheit der Kugeln vorausgesetzt — zu gleichen Teilen auf die sich berührenden Kugeln. Es wird jetzt eine Abstoßung stattfinden. Die Größe derselben kann, wenn die zweite Kugel festgehalten wird, aus der Größe der Drehung bestimmt werden. Wir erkennen, worauf die Methode hinausläuft. Es wird durch sie möglich, die Kraft der Abstoßung mit dem Gewicht zu messen.

Man kann die Einheit der elektrischen Ladung auf die Gewichtseinheit zurückführen. Die abstoßende Kraft der Elektrizität leistet bei dem Vorgange eine Arbeit, weil der Faden gedreht, also ein bestimmter Widerstand über einen bestimmten Weg hin überwunden wird. Es ist demnach möglich, mit Hilfe des Gewichts und des Längenmaßes eine Einheit der elektrischen Menge einzuführen. Man kann beispielsweise als Einheit die elektrische Menge wählen, die auf eine gleichgroße Menge in der Entfernung von 1 cm die Kraft von 1 g ausübt.

Die Festlegung der elektrischen Mengeneinheit ist demnach bedeutend umständlicher als die des Gewichts. Als Gramm bezeichnet man einfach das Gewicht von einem Kubikzentimeter Wasser von 4° C. Im Grunde aber sind beide Festsetzungen gleichartig. Auch das Gewicht kommt nur durch Wechselwirkung zweier Körper zustande. Da der eine aber immer derselbe, nämlich die Erde ist, braucht man ihn nicht besonders zu erwähnen. Auch von der Benutzung des Längenmaßes kann abgesehen werden, da die Entfernungen der zu wägenden Körper vom Erdmittelpunkte nicht so verschieden sind, daß dadurch eine merkliche Veränderung des Gewichts einträte. In Wirklichkeit ist aber das Gewicht eines Körpers auch abhängig von seiner Entfernung vom Mittelpunkte der Erde. Wenn aber keine bestimmte elektrische Menge existiert, die Anziehung und Abstoßung bei einer anderen verursacht, und wenn sich die anziehende und abstoßende Kraft mit der Entfernung merklich ändert, so müssen natürlich beide Faktoren bei Festlegung eines Maßes besonders berücksichtigt werden.

Wir wollen uns jetzt dem Begriff der elektrischen Spannung zuwenden. Man denke sich eine positiv geladene Kugel. Diese wird auf elektrische Körper ihrer Umgebung eine Wirkung ausüben. Diese Wirkung nimmt ab mit zunehmender Entfernung, wie auch die Beleuchtungsstärke von der Entfernung der Lichtquelle, die Schallstärke von der Entfernung der Schallquelle abhängig ist. In einer bestimmten Entfernung wird eine Wirkung der Kugel auf elektrisch geladene Körper nicht mehr nachweisbar sein. Den ganzen Raum, in dem eine Einwirkung bemerkbar ist, nennt man das elektrische Feld der Kugel. Nun denken wir uns an der Grenze des Feldes ein Teilchen, das mit der Einheit der Elektrizitätsmenge positiv geladen ist. Sobald ich dieses in das Feld bringe, erfährt

es eine Abstoßung. Wenn ich diese überwinde und das Teilchen an irgendeinen Punkt des Feldes bringe, so leiste ich eine Arbeit, die gleich ist dem Produkt aus Abstoßung und Weg. Diese Arbeit aber nennt man die elektrische Spannung oder das elektrische Potential in diesem Punkte. Die elektrische Spannung, die ein elektrisch geladener Körper in einem Punkte seiner Umgebung bewirkt, ist demnach die Arbeit, die notwendig ist, die gleichartige Einheit der Elektrizitätsmenge von der Grenze des Feldes bis zu diesem Punkte zu bringen. Damit ist aber in die Elektrizitätslehre der rein mechanische Arbeitsbegriff eingeführt worden. Wir denken uns jetzt zwei Kugeln mit gleichartigen Elektrizitätsmengen aber verschiedenem Potential. Von zwei gleichgroßen Kugeln hat die das größere Potential, die die größere Ladung besitzt. Verbindet man die beiden Kugeln durch einen Draht, so gleicht sich die Potentialdifferenz durch diesen hindurch aus. Nach der Verbindung besitzen beide Kugeln dasselbe Potential und gleiche elektrische Ladungen. Man stellt sich diesen Ausgleich unter dem Bild des Stromes vor. Man sagt, Elektrizität ströme durch den Draht. Die Ursache des elektrischen Stromes liegt offenbar in der Potentialdifferenz. Elektrizität strömt von der Kugel höheren Potentials zu der Kugel niederen Potentials. Besäßen die Kugeln gleiches Potential, so würde ein Strom durch die Verbindung nicht eintreten. Die Analogie mit fallendem Wasser liegt auf der Hand. Wie Wasser von einem höheren auf ein tieferes Niveau fällt, so fallen auch Elektrizitätsmengen von einem höheren auf ein tieferes Potential. Die Analogie geht noch weiter. Man spricht bei fallendem Wasser von einem Gefälle und versteht darunter das Verhältnis des Höhenunterschiedes zum Wege. Beträgt das Gefälle $\frac{1}{40}$, so bedeutet dies, daß das Wasser auf einem Wege von 40 m 1 m fällt. So gibt es auch ein Potentialgefälle. Das Potential nimmt mit zunehmender Entfernung von dem geladenen Körper ab. Das Verhältnis nun des Potentialunterschiedes zur Strecke, auf welcher dieser stattfindet, ist das Potentialgefälle.

Stürzt eine Menge Wasser auf ein tieferes Niveau, so ist dies, wenn oben kein neues Wasser zufließt, ein momentaner Vorgang. So ist auch der Vorgang des elektrischen Ausgleichs zwischen beiden Kugeln momentan, wenn auf der Kugel mit dem höheren Poten-

tial nicht neue Elektrizitätsmengen erzeugt werden. Daraus erhellt auch schon das Prinzip zur Erzeugung eines dauernden, eines konstanten elektrischen Stromes. Ein dauernder Wasserfall entsteht, wenn auf dem oberen Niveau ununterbrochen Wasser zufließt. Es muß aber noch eine andere Bedingung erfüllt sein. Das gefallene Wasser muß dauernd abfließen, da es sich sonst aufstauen und die Niveaudifferenz aufheben würde. So muß die Kugel mit dem höheren Potential mit einer Elektrizitätsquelle, z. B. einer dauernd tätigen Elektrifiziermaschine, verbunden werden. Die entstehenden elektrischen Mengen dürfen nicht wie vorher nach einer isolierten Kugel geleitet werden, da sie sich auf dieser anhäufen und die zum Zustandekommen des elektrischen Stromes nötige Potentialdifferenz vernichten würden. Man braucht, um dies zu verhindern, die Kugel nur mit der Erde zu verbinden, deren Spannung infolge ihrer Größe nicht wächst, auch wenn ihr große elektrische Mengen zugeführt werden. Man hat nun gefunden, daß bei gewissen chemischen Vorgängen Potentialdifferenzen entstehen, die so lange dauern wie die chemischen Prozesse selbst. Diese können dann als elektrische Stromquellen benutzt werden. Das geschieht in den sogenannten galvanischen Elementen. Stellt man Kupfer und Zink in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß, so löst sich das Zink allmählich auf. Dadurch entsteht eine dauernde Potentialdifferenz zwischen Kupfer und Zink. Verbindet man beide durch einen Draht, so fließt, solange der Prozeß währt, ein Strom positiver Elektrizität vom Kupfer zum Zink. Diesen fassen wir, da er unseren Sinnen entzogen ist, auf mit Hilfe der Analogie des Wasserfalles. Bei diesem fällt eine bestimmte Menge Wasser aus einer bestimmten Höhe herab, beim elektrischen Strom fällt eine bestimmte elektrische Menge von einem höheren auf ein tieferes Potential.

Ein Wasserfall kann mechanische Arbeit verrichten. Die Größe derselben hängt ab von der Höhe und der Menge des fallenden Wassers. Sie ist gleich dem Produkt aus der Fallhöhe und der Anzahl der herabfallenden Kilogramm. Die Arbeit, die der elektrische Strom verrichtet, wird abhängig sein von der elektrischen Menge, die dem Gewicht entspricht, und von der Potentialdifferenz. Nähere ich eine positive elektrische Menge einer positiv geladenen Kugel, so verrichte ich eine Arbeit, indem ich die Abstößung überwinde. Bei der An-

näherung komme ich zu Punkten höheren Potentials. Die aufzuwendende Arbeit wächst mit der Annäherung. Es wird hier eine Arbeit geleistet analog jener, die nötig ist, ein Gewicht zu heben. Wie nun dieses umgekehrt eine Arbeit verrichten kann, wenn es aus der Höhe herabfällt, so kann auch eine elektrische Menge arbeiten, wenn sie von einem höheren auf ein tieferes Potential fällt. Ist die mechanische Arbeit eines Wasserfalles gleich dem Produkt aus Gewicht und Höhe, so ist die Arbeit des elektrischen Stromes gleich dem Produkt aus Potentialdifferenz und elektrischer Menge. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da wir diese Begriffe erst mit Hilfe der analogen mechanischen Vorstellungen gebildet haben.

Bei dem Effekt eines Wasserfalles, d. h. der Arbeit in der Zeiteinheit, kommt es darauf an, welche Wassermenge in der Sekunde herabfällt. Wir finden sie, wenn wir die Menge bestimmen, die in der Sekunde durch den Querschnitt des Stromes geht. Man nennt diese Menge die Stromstärke. Der Effekt eines Wasserfalles ist demnach gleich dem Produkt aus Stromstärke und Fallhöhe. Analog hat man auch eine elektrische Stromstärke eingeführt. Die Stromstärke Eins besitzt demnach ein elektrischer Strom, der durch den Querschnitt eines Drahtes in einer Sekunde die elektrische Mengeneinheit sendet. Man hat die Stromstärkeeinheit Ampere genannt. Es gibt verschiedene Methoden, die Stärke eines elektrischen Stromes zu messen. Zu den genauesten gehört die Bestimmung der chemischen Wirkung. Man benutzt die Zersetzung des Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff. Beide Gase können über Wasser aufgefangen und nach Volumen, Temperatur und Druck bestimmt werden. Fängt man beide Gase gemeinsam auf, so entsteht das explosive Knallgas. Die Stromstärke von einem Ampere besitzt der Strom, der in der Minute 10,43 cem Knallgas von 0° und Atmosphärendruck entwickelt. Wir müssen nun noch die Einheit der Spannung kennen, um die Arbeit oder die Energie eines elektrischen Stromes ausdrücken zu können. Unter Einheit der Spannung versteht man diejenige Spannung, die ein galvanisches Element besitzen muß, wenn es durch einen Quecksilberfaden von 1,063 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0° einen Strom von 1 Ampere entsendet. Diese Spannungseinheit heißt Volt. Man wird sich über diese Festsetzungen verwundern. Die Wahl eines Maßes ist ja zunächst willkürlich. Warum wählte man dann so

merkwürdige Zahlen wie 10,43 und 1,063 und nicht bequeme Zahlen wie bei Einführung des Metermaßes und des Gewichts? Der Grund für die Wahl der Einheiten liegt darin, daß die elektrischen Maße eigentlich mechanische Größen sind. Sobald aber die mechanischen Maße festgesetzt sind, sind die elektrischen Maße, die sich auf jene gründen, nicht mehr willkürlich. Die Einheit des Effekts hat offenbar der elektrische Strom, bei dem in einer Sekunde die elektrische Mengeneinheit um die Potentialeinheit fällt, mit anderen Worten der Strom von 1 Volt Spannung und 1 Ampere Stromstärke. Ein Strom von 1 Volt Spannung und 2 Ampere Stromstärke hat dann den doppelten, ein Strom von 2 Volt und 2 Ampere den vierfachen Effekt usw. Den Effekt eines Stromes finde ich demnach, indem ich das Produkt aus Volt und Ampere bilde. Dieses Produkt ist analog dem Meterkilogramm in einer Sekunde.

Der Effekt fallenden Wassers ist gleich Stromstärke (kg in 1 Sekunde) mal Fallhöhe (m). Der Effekt des elektrischen Stromes ist gleich Stromstärke (Ampere = elektrische Menge in 1 Sekunde) mal Spannung (Volt). Die Einheit des Effekts heißt Watt. Das Watt entspricht demnach einer mechanischen Leistung, einer bestimmten Anzahl von Meterkilogrammen in 1 Sekunde, und zwar ist $1 \text{ Watt} = \frac{1}{g} \text{ mkg pro Sekunde}$. g bedeutet, wie früher ausgeführt wurde, die Beschleunigung, die die Schwerkraft fallenden Körpern in 1 Sekunde erteilt. Sie ist ungefähr 10 m, genau 9,81 m, so daß 1 Watt ungefähr $\frac{1}{10} \text{ mkg pro Sekunde}$ entspricht. 1 Kilowatt (1000 Watt) ist ungefähr gleich $1\frac{1}{3}$ Pferdestärke.

Damit ist die Beziehung zwischen elektrischer und mechanischer Energie gefunden. Sie liegt, wie nochmals hervorgehoben werden möge, in dem Umstande, daß wir von der Mechanik her in das Gebiet der Elektrizität eingedrungen sind und die mechanischen Maße hier eingeführt haben. Wir bestimmen die elektrischen Größen nach ihren mechanischen Wirkungen. Dann ist ein Zusammenhang zwischen elektrischer und mechanischer Energie eigentlich selbstverständlich. Es läßt sich nun auch mit Leichtigkeit der Zusammenhang zwischen elektrischer Energie und Wärme herstellen: $1 \text{ mkg} = \frac{1}{427} \text{ kg-cal}$, $1 \text{ Watt} \left(\frac{1}{9,81} \text{ mkg} \right) = \frac{1}{427 \cdot 9,81} = 0,000239 \text{ kg-cal} = 0,239 \text{ g-cal}$.

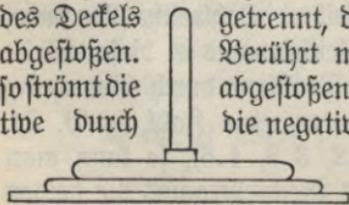
Bei gewöhnlichen elektrischen Glühlampen wird häufig eine Spannung von 110 Volt und eine Stromstärke von 0,45 Ampere benutzt. Das gibt einen Effekt von rund 50 Watt. Da 1 Pferdestärke gleich 736 Watt, so kann sie ungefähr 15 Glühlampen speisen. Besitzt eine Bogenlampe 50 Volt Spannung und 15 Ampere Stromstärke, so beträgt der Effekt 750 Watt. Zu ihrem Betriebe wäre demnach etwa 1 PS erforderlich.

Daß sich die Energie des elektrischen Stromes darstellt als Produkt aus Stromstärke und Spannung, ist von hoher Bedeutung für elektrische Energieübertragung. Die Leitung in Drähten ist mit Verlusten verbunden, weil in den Strombahnen Stromwärme entsteht. Um den Betrag derselben vermindert sich die elektrische Energie. Die Menge der entstehenden Wärme ist natürlich abhängig von der Beschaffenheit der Strombahn. Mit der Länge derselben wächst die Stromwärme, mit zunehmendem Querschnitt vermindert sie sich. Bei Übertragung auf große Strecken müßte der Querschnitt bedeutende Dimensionen annehmen, damit allzu große Verluste vermieden würden. Dadurch aber würde die Leitungsanlage so kostspielig werden, daß sich das Verfahren nicht rationell gestalten würde. Nun ist aber die Entstehung von Stromwärme nicht allein abhängig von der Strombahn, sondern auch von der Stärke des elektrischen Stromes. Mit ihr wachsen die Verluste durch Stromwärmeentwicklung. Daraus folgt, daß Übertragung von Starkstrom auf große Strecken unpraktisch ist. Da aber die Stromstärke nur der eine Faktor der elektrischen Energie ist, so ergibt sich als Problem elektrischer Energieübertragung möglichste Verminderung der Stromstärke bei entsprechender Steigerung der Spannung. Wenn beispielsweise die Stromstärke auf $\frac{1}{100}$ reduziert, die Spannung dagegen auf das 100fache gebracht wird, so werden die Verluste in den Strombahnen außerordentlich verringert, während die elektrische Energie selbst als Produkt aus Stromstärke und Spannung dieselbe bleibt. Zahlreiche Versuche, die beiden Faktoren des gewöhnlichen Gleichstromes in dieser Weise zu ändern, mißlingen, bis endlich das Problem durch Benutzung des Wechselstroms gelöst wurde. Wie man eine Zahl, z. B. 24, beliebig in Faktoren zerlegen kann (2.12, 3.8, 4.6), so kann man bei der elektrischen Energie in Gestalt des Wechselstromes die beiden

Faktoren Stromstärke und Spannung beliebig ändern. Das geschieht ohne nennenswerte Verluste in den sogenannten Transformatoren. Je größer die zu überwindende Entfernung ist, desto mehr steigert man die Spannung, desto mehr erniedrigt man die Stromstärke. Am fernen Ende der Leitung läßt man den Transformator in umgekehrtem Sinne wirken. Die hochgespannten schwachen Ströme verwandelt man in starke von geringer Spannung, ganz wie es ihre Verwendung erfordert.

Die Bedeutung elektrischer Kraftübertragung liegt auf der Hand. Durch sie wird es möglich, die Arbeitsfähigkeit großer Energiequellen, wie der Wasserfälle, die sich meist in unwirtlichen, der Entfaltung der Kultur ungünstigen Gegenden befinden, in die Kulturzentren zu übertragen. Die erste Übertragung dieser Art ist eine Tat deutscher Technik. Auf der Ausstellung zu Frankfurt im Jahre 1891 benutzte man als Energiequelle die Wasserfälle des Neckar bei Laufen. 175 km weit leitete man in Gestalt des elektrischen Stromes eine 300 pferdige Energie. Diese erste Energieübertragung großen Stils erschien wie eine Huldigung an Robert Mayer, der in Heilbronn am Neckar den Ideen lebte, die in der Technik ihre großartige Anwendung fanden.

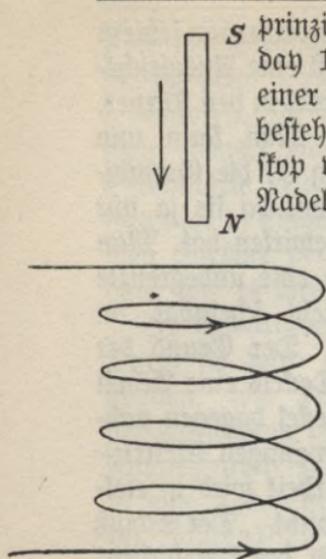
Auf dem Gebiete der Elektrizität hat die Lehre von der Erhaltung der Energie mannigfache und weitgehende Anwendungen erfahren. Schon bei Robert Mayer findet sich die Erklärung des Elektrophors, eines einfachen Apparates zur Erzeugung größerer Elektrizitätsmengen. Der Elektrophor besteht aus drei Teilen, einer Scheibe aus Hartgummi oder Harz, dem sogenannten Harzfuchsen. Dieser liegt auf einem Metallteller. Auf der Scheibe liegt ein mit einer isolierten Handhabe versehener Deckel aus Metall. Soll der Elektrophor in Wirksamkeit treten, so wird die Gummischeibe kräftig mit einem Fuchsschwanz geschlagen. Dadurch wird sie negativ elektrisch. Dann setzt man den Deckel auf. Durch die negative Elektrizität der Gummischeibe werden die Elektrizitäten des Deckels abgestoßen. Berührt man dann den Deckel mit dem Finger, abgestoßene negative Elektrizität ab, während die positive durch die negative Unterlage festgehalten wird. Hebt man jetzt den Deckel ab, so wird die in ihm befindliche positive Elektrizität frei.



Man kann aus ihm einen kräftigen Funken ziehen, wenn man seinem Rande einen Fingerknöchel nähert. Der Funke ist eine Ausgleicherscheinung. Positive Elektrizität geht aus dem Deckel in den Körper, negative aus dem Körper in den Deckel über. Man kann nun den Versuch wiederholen, ohne daß es notwendig ist, die Gummischeibe durch Reibung wieder elektrisch zu machen, da sie ja nur eine Trennung der Elektrizitäten im Deckel zu bewirken hat. Man kann so mit einer bestimmten Elektrizitätsmenge eine unbegrenzte Zahl elektrischer Effekte hervorbringen. Das steht scheinbar im Widerspruch zum Erhaltungsgesetz der Energie. Der Grund der Erscheinung liegt darin, daß beim Abheben des Deckels eine Arbeit zu verrichten ist. Da die Scheibe negativ, der Deckel dagegen positiv elektrisch ist, so ist die Anziehung der ungleichnamigen Elektrizitätsmengen zu überwinden. Diese mechanische Arbeit wird in elektrische Energie umgesetzt. Das hat schon Mayer erkannt. „Der Schluß ist einfach. Aus nichts wird nichts. Die Elektrizität des Harzfuchens kann, da sie sich unvermindert erhalten hat, die fortlaufende Summe elektrischer Effekte nicht hervorgebracht haben; der bei jedem Turnus verschwundene mechanische Effekt kann nicht zu Null geworden sein. Was bleibt übrig, wenn man sich nicht in einem doppelten Paradoxon gefällt? Nichts als auszusprechen: Der mechanische Effekt ist in Elektrizität verwandelt worden. Die elektrische Unterscheibe, wie der Hebel, die Retorte ist nichts weiter als ein Instrument, dessen sich der Experimentator bedient, eine Metamorphose zu bewerkstelligen.“ Diese Worte zeugen von der Klarheit der Vorstellungen, die Mayer von der Umwandlung der Energieformen ineinander besaß.

Überall, wo eine Energieumwandlung auftritt, kann das Energieprinzip angewendet werden. Man kann aus der vorhandenen Energiegröße den äquivalenten Wert der neu entstehenden Form bestimmen. Bei der Verwandlungsfähigkeit der elektrischen Energie ist daher das Gebiet der Elektrizität ein besonders fruchtbares Feld für energetische Betrachtungen geworden, besonders auch deswegen, weil es bei Aufstellung des Energiegesetzes erst in den Anfängen erforscht war, während z. B. das Gebiet der Mechanik schon ausgebaut vorlag, so daß hier nur bereits bekannte Tatsachen unter dem neuen Gesichtspunkte zu betrachten waren.

Zahlreiche für die Technik wichtige Anwendungen des Energie-



S prinzipts ergeben sich bei der Behandlung der von Faraday 1831 entdeckten Induktionsströme. Nähert man einer aus vielen Windungen dünnen isolierten Drahtes bestehenden Spule, deren Enden mit einem Galvanoskop verbunden sind, einem Magneten, so schlägt die Nadel des Galvanoskops aus, um jedoch wieder in die alte Lage zurückzukehren. Entfernt man den Magneten, so erfolgt der Ausschlag nach der anderen Seite. Demnach gehen in den Momenten der Annäherung und der Entfernung des Magneten Ströme von entgegengesetzter Richtung durch die Spule. Nach dem Energieprinzip müssen diese Ströme, die als Induktionsströme bezeichnet werden, eine äquivalente Ursache besitzen. Diese kann nur in der Bewegung des Magneten liegen. Es muß bei dieser Bewegung eine Arbeit geleistet werden, die sich in elektrische Energie verwandelt. Eine solche Arbeit kann durch die Bewegung des Magneten nur entstehen, wenn dabei ein Widerstand überwunden wird. Tatsächlich ist ein solcher vorhanden. Die in der Spule entstehenden Ströme üben nämlich eine die Bewegung des Magneten hemmende Wirkung aus. Die Spule selbst wirkt wie ein Magnet. Bei der Annäherung des erregenden Magneten kehrt sie diesem den gleichnamigen Pol zu, so daß eine Abstoßung eintritt, deren Überwindung eben die mechanische Arbeit darstellt, aus der die Induktionsströme entstehen. Bei der Entfernung muß die Spule dem Magneten den ungleichnamigen Pol zukehren, um die Bewegung zu hemmen. Daher besitzt jetzt der Induktionsstrom, wie auch das Galvanoskop zeigt, entgegengesetzte Richtung. Der induzierte Strom übt stets eine solche Wirkung aus, daß dadurch die induzierende Bewegung gehemmt wird. Diese Regel, die von Lenz 1834 gefunden wurde, ergibt sich demnach als eine Forderung des Energieprinzips.

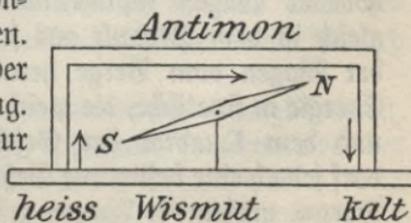
Offenbar entstehen Induktionsströme auch, wenn der Magnet festgehalten und ein geschlossener Stromkreis in seinem Felde bewegt wird. Darauf beruht das Wesen der Dynamomaschine. Der Anker derselben, der mit Drahtwindungen übersponnen ist, rotiert in einem magnetischen Felde, das durch starke Elektromagnete hervorgerufen wird. Dadurch werden in den Spulen Induktions-

ströme erzeugt, die dem Anker entnommen werden können. Sie hemmen dessen Drehung, so daß zu derselben Arbeit notwendig ist, die durch die Dynamomaschine eben in elektrische Energie umgesetzt wird.

Die Umwandlung von mechanischer Energie in elektrische wird besonders sinnenfällig bei dem von Waltenhofen konstruierten Pendel. Ein Pendel, das aus einer dicken kupfernen Scheibe besteht, schwingt in einer vertikalen Ebene zwischen den Polen eines starken Elektromagneten hindurch. Bei Erregung desselben wird das Pendel zwischen den Polen festgehalten. Es entstehen nämlich in dem Kupfer Induktionsströme, welche die Bewegung hemmen. Bewegt man das Pendel zwischen den Polen, so hat man deutlich die Empfindung dieser Hemmung und damit der bei der Induktion erforderlichen mechanischen Arbeit.

Ist die Entstehung elektrischer Energie aus mechanischer Arbeit und chemischer Energie von hoher Bedeutung für die Technik, so ist die Erzeugung von elektrischen Strömen aus Wärmeenergie mehr von theoretischem Interesse geblieben. Während man die Entstehung von Wärme aus elektrischen Strömen schon längst kannte, wurde die umgekehrte Energieumwandlung erst 1821 von Seebeck entdeckt. Der Versuch gestaltete sich sehr einfach mit einem aus Wismut und Antimon zusammengelöteten Rahmen, in dem sich eine Magnetnadel um eine vertikale Achse drehen kann. Wird der Rahmen in die Richtung der Magnetnadel eingestellt und eine Lötstelle erwärmt, so entsteht ein dauernder Ausschlag der Nadel, ein Zeichen, daß ein elektrischer Strom durch den Rahmen fließt. Dieser geht an der erwärmten Stelle vom Wismut zum Antimon. Durch Zusammenfügen mehrerer Streifen der beiden Metalle entsteht die sogenannte Thermosäule. Die geringste Temperaturveränderung verursacht in dieser elektrische Ströme, deren Wirkungen in einem empfindlichen Galvanoskop sichtbar gemacht werden können. So kann die Umwandlung von Wärme in elektrische Energie benutzt werden, um minimale Temperaturschwankungen, besonders bei strahlender Wärme, nachzuweisen.

Die elektrische Energie besitzt in der Gegenwart eine überragende Bedeutung. Die elektrischen Maschinen dienen teils zur Erzeugung elektrischer Energie, teils zur Umsetzung derselben in mechanische



Arbeit. Darnach unterscheidet man Dynamomaschinen oder Generatoren und Motoren. Da im Generator der Strom immer erst durch mechanische Arbeit entsteht, so dient die so häufige Verbindung von Generator und Motor lediglich dem Transport und der Verteilung der Energie. Zu diesem Zwecke ist die Elektrizität infolge ihrer außerordentlichen Beweglichkeit und Verteilbarkeit ein geradezu ideales Mittel. So werden in den Kraftstationen der elektrischen Bahnen durch riesige Dampfmaschinen die Anker der Generatoren gedreht. Dadurch entstehen Ströme, die durch Drähte beliebig in die Motore der elektrischen Wagen geleitet werden können. Hier setzt sich die elektrische Energie wieder um in mechanische, die in der Fortbewegung des Wagens besteht. Der Vorteil vor der direkten Benutzung der Dampfkraft liegt auf der Hand. Da man die Energie des Dampfes nicht fortleiten kann, müßte die Dampfmaschine selbst mit fortbewegt werden, was aber eine nutzlose große mechanische Arbeit bedeutet. Auch kann man die Dampfkraft nicht auf einzelne Wagen verteilen. Kleine Dampfmaschinen für einzelne Wagen zu konstruieren, ist unzweckmäßig, da die Energieverluste mit abnehmender Größe wachsen. Daher werden auch auf der Eisenbahn durch die Energie des Dampfes ganze Züge, nicht einzelne Wagen befördert. Das ist nicht nur unbequemer als der elektrische Betrieb, da sich nur in größeren Zwischenräumen Fahrgelegenheit bietet, sondern auch gefährlicher, weil die kinetische Energie, die sich bei Entgleisungen oder Zusammenstößen in zerstörende Wirkungen umsetzt, bei ganzen Zügen selbstverständlich viel größer ist als bei einzelnen Wagen. Dazu kommt noch, daß die elektrischen Maschinen mit den kleinsten Verlusten arbeiten, die bei der Umwandlung der Energieformen 5 % nicht übersteigen.

Interessante Energieumwandlungen finden statt bei elektrisch betriebenen Bergbahnen und Hebezeugen. Hier wird die elektrische Energie umgesetzt in Energie der Lage. Ein auf einen Berg gehobener Wagen repräsentiert eine ansehnliche Energiegröße, die gleich ist dem Produkt aus seinem Gewicht und der Höhe. Rollt der Wagen vom Berge herab, so verwandelt sich die potentielle Energie in kinetische, die gleich ist dem halben Produkt aus der Masse und dem Quadrat der Geschwindigkeit. Aus Sicherheitsgründen darf jedoch eine bestimmte Geschwindigkeit nicht überschritten werden. Darum müßte der Wagen gebremst werden. Dann würde sich die

potentielle Energie in Reibungswärme umsetzen, die im Bremszeug entwickelt und wirkungslos an die Umgebung abgegeben würde. Diese bedeutenden Energieverluste können dadurch beseitigt werden, daß man die Energie nicht abbremst, sondern auf den Motor des Wagens wirken läßt. Dann wird dieser durch das Herabfallen des Wagens angetrieben und vermag nun elektrischen Strom zu erzeugen. Während er vorher als Motor lief, d. h. elektrische Energie in mechanische verwandelte, läuft er jetzt als Generator, d. h. er verwandelt die mechanische Energie, die in der Höhenlage des Wagens besteht, in elektrischen Strom zurück, der wiederum zum Heben benutzt werden kann.

Die modernen Verkehrsmittel Telephon und Telegraph benutzen neben der Verwandlungsfähigkeit besonders die Geschwindigkeit der Elektrizität. Das Telephon dient zur Übertragung der Schallenergie. Auch der Schall ist eine Form der Energie. Er besteht in einer Erschütterung, also einer Bewegung der Luft. Die arbeitende Kraft ist hierbei die Muskelkraft unserer Sprachorgane. Die Schallenergie, die in der kinetischen Energie schwingender Luftteilchen besteht, wird im Telephon in elektrische Stromschwankungen verwandelt, die sich mit ungeheurer Geschwindigkeit in den Leitern fortpflanzen. Auf der Empfangsstation wandeln sich die Stromschwankungen um in mechanische Wirkungen, die wiederum Luftwellen und damit Schallerscheinungen hervorrufen. Bei der Telegraphie mit Draht schickt man Ströme vom Sender nach dem Empfänger, wo sie im Relais kleine mechanische Arbeiten verrichten. Diese bestehen darin, einen Kontakt herzustellen. Dadurch wird ein Strom geschlossen, der den Morseapparat in Bewegung setzt. Die drahtlose Telegraphie verwandelt zunächst mechanische oder chemische Energie in hochgespannte Ströme, die an einer Unterbrechung des Stromkreises Funken erzeugen. Dadurch entstehen elektrische Wellen, die sich ähnlich wie Lichtstrahlen ausbreiten und auf der Empfangsstation ähnlich wie die Ströme eines gewöhnlichen Telegraphen einen Stromkreis schließen und dadurch Zeichen geben können.

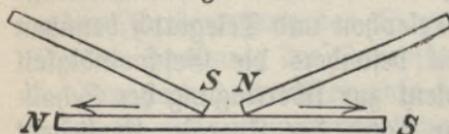
Die Elektrizität ist der wahre Proteus unter den Energieformen. Umfließt ein elektrischer Strom einen Eisenstab, so verwandelt er sich in Magnetismus; in der Bogen- und Glühlampe wird er zu Licht; geht er durch Salze, Basen oder Säuren, so verwandelt er

sich in chemische Energie; im elektrischen Ofen erzeugt er Wärme. Dabei genügen zur Leitung und Verteilung elektrischer Energie einfache Kupferdrähte, ja durch Anwendung elektrischer Wellen gelingt es, sie ohne jeden Leiter durch den Raum zu senden. Diese einzigartigen Vorzüge der elektrischen Energie haben ihr in der modernen Technik eine herrschende Stellung gesichert und werden ihr immer neue Gebiete der Anwendung erschließen.

Besonders eng verschwistert ist die Elektrizität mit dem Magnetismus. Das geht schon daraus hervor, daß man in der Physik die Wechselbeziehungen zwischen beiden in besonderen Kapiteln, denen des Elektromagnetismus und der Magnetinduktion, behandelt.

Daß es berechtigt ist, von einer magnetischen Energie zu sprechen, ist leicht einzusehen, wenn man bedenkt, daß ein Magnet Eisen anzieht, also eine mechanische Arbeit zu verrichten imstande ist. Aber auch die Umwandlung von mechanischer Arbeit in Magnetismus ist eine ganz bekannte Erscheinung. Man kann einen Stahlstab magnetisieren, indem man ihn mit einem Magnetpole in der durch die Zeichnung angegebenen Weise streicht. Man könnte vielleicht einwenden, daß es dem Erhaltungsgesetz der Energie widerspreche, wenn es möglich ist, mit einem Magneten eine unbegrenzte Anzahl von Magneten herzustellen. Die Erklärung ist ganz ähnlich der Erklärung des Elektrophors durch Mayer. Infolge der Anziehung ist bei der Herstellung der Magneten in der angeführten Weise eine Arbeit zu leisten. Diese verwandelt sich in Magnetismus, wird in dem Stahle gewissermaßen aufgespeichert als potentielle Energie. Die zu leistende mechanische Arbeit ist die Quelle der entstehenden mechanischen Energie, nicht etwa der Magnetismus des Magneten. Dieser ist ein Werkzeug, dessen man sich bei der Verrichtung der Arbeit bedient, etwa wie man beim Heben von Lasten Hebel, Winden oder Flaschenzüge anwendet.

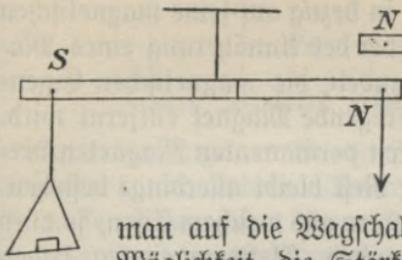
Die magnetische Energie kann man ganz ähnlich wie die elektrische durch die Maße der Mechanik bestimmen. Man denke sich einen Magneten, der an einem Ende eine leichte Wagschale trägt, in einem Punkte so unterstützt, daß er sich in horizontaler Lage im Gleichgewicht befindet. Befestigt man nun über ihm in der angegebenen Weise einen anderen Magneten, so wird der Nordpol des beweglichen



Daß es berechtigt ist, von einer magnetischen Energie zu sprechen, ist leicht einzusehen, wenn man bedenkt, daß ein Magnet Eisen an-

zieht, also eine mechanische Arbeit zu verrichten imstande ist. Aber auch die Umwandlung von mechanischer Arbeit in Magnetismus ist eine ganz bekannte Erscheinung. Man kann einen Stahlstab magnetisieren, indem man ihn mit einem Magnetpole in der durch die Zeichnung angegebenen Weise streicht. Man könnte vielleicht einwenden, daß es dem Erhaltungsgesetz der Energie widerspreche, wenn es möglich ist, mit einem Magneten eine unbegrenzte Anzahl von Magneten herzustellen. Die Erklärung ist ganz ähnlich der Erklärung des Elektrophors durch Mayer. Infolge der Anziehung ist bei der Herstellung der Magneten in der angeführten Weise eine Arbeit zu leisten. Diese verwandelt sich in Magnetismus, wird in dem Stahle gewissermaßen aufgespeichert als potentielle Energie. Die zu leistende mechanische Arbeit ist die Quelle der entstehenden mechanischen Energie, nicht etwa der Magnetismus des Magneten. Dieser ist ein Werkzeug, dessen man sich bei der Verrichtung der Arbeit bedient, etwa wie man beim Heben von Lasten Hebel, Winden oder Flaschenzüge anwendet.

Die magnetische Energie kann man ganz ähnlich wie die elektrische durch die Maße der Mechanik bestimmen. Man denke sich einen Magneten, der an einem Ende eine leichte Wagschale trägt, in einem Punkte so unterstützt, daß er sich in horizontaler Lage im Gleichgewicht befindet. Befestigt man nun über ihm in der angegebenen Weise einen anderen Magneten, so wird der Nordpol des beweglichen

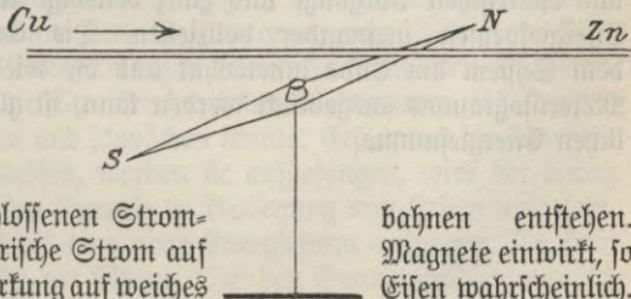


Magneten abgestoßen. Die Waagschale wird also steigen. Man kann nun offenbar den Magneten wieder in die horizontale Lage zurückbringen, wenn

man auf die Waagschale Gewichte legt. Daraus folgt die Möglichkeit, die Stärke magnetischer Anziehung und Abstoßung in ähnlicher Weise mit Gewichten zu messen wie die anziehende oder abstoßende Wirkung elektrischer Mengen.

Viele Analogien zwischen Magnetismus und Elektrizität machten es von vornherein wahrscheinlich, daß zwischen ihnen innige Beziehungen bestehen, nach denen man früh eifrig geforscht hat. Das Ergebnis war zunächst ein negatives. Man fand, daß ruhende Elektrizität keinerlei Einfluß auf ruhenden Magnetismus besaß und umgekehrt. Erfolge wurden erst erzielt, als man Versuche mit bewegter Elektrizität, also mit dem elektrischen Strome, anstellte. Die erste fundamentale Beziehung zwischen Elektrizität und Magnetismus fand Ørsted in seinem berühmten Versuche von 1820. Er leitete den Strom einer aus 20 Elementen bestehenden Batterie über eine von Süden nach Norden zeigende Magnetnadel. Dadurch wurde diese so abgelenkt, daß der Nordpol nach Westen, der Südpol nach Osten abwich. Die Abweichung war die entgegengesetzte, wenn der Strom in derselben Richtung unter der Nadel hinweggeleitet wurde.

Hier wirkt bewegte Elektrizität auf ruhenden Magnetismus so ein, daß der Träger desselben, nämlich die Magnetnadel, bewegt wird. Es liegt nahe, zu vermuten, daß auch bewegter Magnetismus auf ruhende Elektrizität einwirke. Daß dies wirklich der Fall ist, wurde schon bei den Induktionsströmen erwähnt, welche bei Annäherung oder Entfernung von Magneten



in ruhenden geschlossenen Strombahnen entstehen. Wenn der elektrische Strom auf ist auch eine Einwirkung auf weiches

Eisen wahrscheinlich.

Dieses unterscheidet sich von Stahl in bezug auf seine magnetischen Eigenschaften dadurch, daß es sich bei der Annäherung eines Magneten selbst in einen solchen verwandelt, die magnetischen Eigenschaften aber verliert, sobald der erregende Magnet entfernt wird. Es läßt sich nicht in einen sogenannten permanenten Magneten verwandeln. Ein geringer magnetischer Rest bleibt allerdings bestehen. Umfließt der elektrische Strom einen Kern aus weichem Eisen, so wird dieser magnetisch. Die so entstehenden Elektromagneten haben eine überaus wichtige Bedeutung für die Herstellung von starken magnetischen Feldern bei dynamoelektrischen Maschinen gewonnen. In dem magnetischen Felde bewegt sich der mit Drahtspulen versehene Anker, wodurch die Induktionsströme entstehen. Der Kern des Ankers besteht selbst aus weichem Eisen, das im magnetischen Felde zum Magneten wird. Durch die Rotation zwischen ungleichnamigen Polen wird der eiserne Ankerkern fortwährend ummagnetisiert. Nun verliert aber das weiche Eisen den Magnetismus nicht vollständig, auch wenn die erregende Kraft zu wirken aufhört. Daher erfordert die Ummagnetisierung eine Arbeit, die sich im Ankerkörper in Wärme umsetzt. Dadurch tritt ein Energieverlust ein.

Wir haben bisher erkannt, daß man sämtliche mechanischen, thermischen, chemischen, elektrischen und magnetischen Zustände und Vorgänge unter dem Gesichtspunkte der Energie auffassen kann. Sämtliche Energieformen können sich ineinander verwandeln, alle können gemessen werden im Zentimeter-Gramm-Sekunden-System, für alle gibt es ein unveränderliches mechanisches Äquivalent. Stellen wir uns wiederum ein beliebiges, völlig abgeschlossenes System vor. Die diesem innewohnende Energie kann mit dem Meterkilogramm gemessen werden. Es mögen sich nun in ihm die verschiedensten mechanischen, thermischen, chemischen und elektrischen Vorgänge und ganz beliebige Umwandlungen der Energieformen ineinander vollziehen. Die Energiesumme, die dem System am Ende innewohnt und die wieder mit Hilfe des Meterkilogramms ausgedrückt werden kann, ist gleich der ursprünglichen Energiesumme.

Drittes Kapitel.

Die Sonne als Energiezentrum.

Wenn die einzelnen Energieformen auseinander entstehen, sich ineinander umwandeln können, so liegt ein Gedanke von hohem Interesse nahe. Man kann nämlich die vorhandenen Energien in ihrer Entstehung rückwärts verfolgen mit der Vermutung, vielleicht eine gemeinsame Quelle zu finden. Es wäre ein das menschliche Einheitsbedürfnis in hohem Maße befriedigendes Resultat, wenn es gelänge, alle oben erwähnten Zustände und Vorgänge auf ein Zentrum, auf eine gemeinsame Wurzel zurückzuführen. In der Tat ist dieses Problem gelöst worden. Alle bisher erwähnten Energieformen haben ihren letzten Ursprung in der Sonne, in der Sonnenenergie. Die Sonne ist die Ursache aller Veränderungen, sowohl in der organischen als auch in der anorganischen Welt. Diese Tatsache hat die Menschheit frühzeitig ahnend und gefühlsmäßig erfaßt. Der Sonnenkult der alten Kulturvölker, der Ägypter, der Phönizier, der Babylonier und Assyrer hat hierin seine Wurzel. Prometheus raubte den kulturbringenden Feuerfunken aus dem Himmel der olympischen Götter. In dieser Sage liegt das Bewußtsein von der ungeheuren Bedeutung des Feuers für die Menschheitsentwicklung und die Ahnung, daß auch das irdische Feuer dem Glutball der Sonne entstammt. Die Germanen feierten die Wintersonnentwende als das Ende des winterlichen Todes, als Rückkehr des Lebens und die Sommersonnentwende als den Höhepunkt desselben. Was früher gefühlbetonte religiöse Ahnung war, das ist gegenwärtig klare Erkenntnis geworden.

Die Erde erhält alle Energie in Gestalt von Sonnenstrahlen, die Licht und Wärme spenden. Täglich sendet das Muttergestirn durch den Weltraum aus Entfernungen von Millionen Kilometern ungeheure Energiemengen seinen Kindern, den Planeten. Ungehindert gehen die Strahlen durch den Weltraum. Es ist nichts da, was sie aufhalten und schwächen könnte. Erst wenn die Strahlen auf die Planeten treffen, werden sie aufgefangen, wird der Schatz der in ihnen ruhenden Energie in Bewegung und Leben umgesetzt. Das Licht tritt uns als eine neue Energieform entgegen. Es steht in inniger Beziehung zur Wärme. In den Sonnenstrahlen nämlich

sind Licht und Wärme so innig verbunden, daß sie durch kein Mittel voneinander getrennt werden können.

Läßt man in ein dunkles Zimmer durch einen engen Spalt Sonnenlicht fallen, das man durch ein Glasprisma bricht, so entsteht das bekannte Sonnenspektrum, ein Band, das die sogenannten Regenbogenfarben zeigt vom Rot bis zum Violett. Mit einem empfindlichen Thermometer kann man zeigen, daß sämtliche farbigen Strahlen, die das weiße Licht zusammensetzen, mit Wärme verbunden sind. Merkwürdig ist aber, daß die Wärmewirkung weit über das sichtbare Spektrum hinausreicht. Weit jenseits des Rot noch ist ein bedeutendes Steigen des Thermometers zu konstatieren. Das ist nur so zu erklären, daß im Sonnenlicht auch Strahlen enthalten sind, die durch das Prisma anders gebrochen wurden wie die farbigen Strahlen, daß wir jenseit des Rot Wärmestrahlen vor uns haben, die nicht mit Lichtwirkungen verbunden sind. Auch jenseit des Violett gibt es noch Strahlen, deren Vorhandensein man mittels der photographischen Platte nachweisen kann. Das zwingt uns zu der Annahme, daß Wärme- und Lichtstrahlen nicht wesentlich voneinander verschieden sind. Der Unterschied beruht nicht in den Strahlen an sich, sondern in der Beschaffenheit unseres Auges, das nur Strahlen bestimmter Brechbarkeit wahrzunehmen vermag. Die Strahlen jenseit des Rot empfinden wir nur noch als Wärme, nicht mehr als Licht. Diese Auffassung wird klar durch eine Analogie. Wir denken uns eine schwingende Saite. Die Zahl der Schwingungen, der Ton wird höher mit steigender Spannung. Es gibt nun eine bestimmte Grenze der Spannung, eine bestimmte Grenze der Schwingungszahl nach unten, wo wir das Schwingen der Saite nicht mehr mit dem Ohr wahrzunehmen vermögen. Wohl aber können wir die Schwingungen noch mit dem Tastsinn empfinden. Wenn wir den Finger an eine schwingende Saite halten, so haben wir eine ganz bestimmte Tastempfindung. Oberhalb der Grenze haben wir Gehör- und Tastempfindung, unterhalb nur Tastempfindung. So ist es auch bei dem durch das Prisma zerlegten Sonnenlicht. Einen Teil der Strahlen empfinden wir als Licht und Wärme, einen Teil nur als Wärme. Die Lichtstrahlen sind identisch mit Wärmestrahlen, nur können wir sie zugleich mit dem Auge wahrnehmen.

Da wir die Wärme als Energieform betrachten, ist leicht ein-

zusehen, wie man die Energie der Sonnenstrahlen messen kann. Man braucht sie nur durch einen Körper vollständig aufzufangen und die Erwärmung desselben in Kalorien auszudrücken, um die Größe der Sonnenenergie zu bestimmen. Vollständig verschluckt, absorbiert, werden Sonnenstrahlen von Körpern, die kein Licht zurückwerfen, die uns also lichtlos d. h. schwarz erscheinen. Man benutzt zur Messung das Pyrheliometer, ein Wasser enthaltendes Gefäß aus dünnem Silberblech. Dieses wird an einer Fläche mit Ruß geschwärzt, so daß nahezu alle Sonnenstrahlen absorbiert werden. Diese Fläche stellt man senkrecht gegen die Sonnenstrahlen, die eine Erwärmung des Wassers bewirken werden. Wenn die Menge desselben und die Temperaturerhöhung bekannt ist, kann leicht die abgegebene Wärmemenge in Kalorien bestimmt werden. Denken wir uns den Apparat an der Grenze der Atmosphäre aufgestellt. Durch das Quadratcentimeter der dem Licht senkrecht zugewandten berußten Fläche erhält er in einer Minute eine bestimmte Wärmemenge, die man die Solarkonstante nennt. Sie beträgt 3 Grammkalorien. Die Energie, die auf diese Weise der Erde bei ihrer gewaltigen Oberfläche zugeführt wird, ist von ungeheurer Größe. Betrachten wir die Energie, die 1 qm (10 000 qcm) erhält. Sie beträgt 30 000 g — cal in der Minute oder 500 g — cal in der Sekunde, gleich $\frac{1}{2}$ kg — cal. Diese entspricht 213,5 mkg pro Sekunde. Das ist ein Effekt von beinahe 3 Pferdestärken.

Es ist allerdings zu beachten, daß nicht jede Flächeneinheit der Erde diese Energiemenge in der Sekunde erhält. Es wird ja immer nur die Hälfte der Erdoberfläche beleuchtet. Außerdem fallen die Sonnenstrahlen nur in der Gegend des Äquators senkrecht auf. Es läßt sich aber leicht der Durchschnittswert der Energie für die Flächeneinheit der Erde berechnen, wenn man bedenkt, daß die Lichtmenge, die von einer Kugel aufgefangen wird, gleich ist der Lichtmenge, die senkrecht auf die Fläche des größten Kugelkreises fällt. Man sieht dies leicht ein, wenn man sich das Licht, das auf die Kugel fällt, durch eine Kreisfläche, die senkrecht von den Sonnenstrahlen getroffen wird, abgefangen denkt. Diese Kreisfläche muß gleich der Fläche des größten Kugelkreises sein. Diese nun beträgt den vierten Teil der Kugeloberfläche. Die Sonnenenergie, die durchschnittlich auf die Flächeneinheit der Erde kommt, beträgt demnach den vierten Teil von dem Werte der Solarkonstanten.

Außerdem ist zu berücksichtigen, daß nicht alle Sonnenenergie durch die Atmosphäre hindurch auf die Erdoberfläche gelangt. Die Strahlung wird beim Durchgang durch die Lufthülle geschwächt. Das beruht auf einer besonderen Eigenschaft der Sonnenstrahlen. Geht Licht von einem Mittel in ein anderes, z. B. aus Luft in Wasser, so wird die Richtung der Fortpflanzung geändert, der Lichtstrahl wird gebrochen. Außerdem aber wird ein Teil der Strahlen an der Grenzfläche zurückgeworfen, reflektiert. Die Atmosphäre nun ist kein in allen Punkten völlig gleichartiges Mittel. Zunächst ist in ihr immer Staub in feinsten Verteilung enthalten. Außerdem besteht sie selbst ja aus Molekülen, die durch Zwischenräume getrennt sind. An den Staubteilchen und an den Luftmolekülen wird demnach eine Reflexion der Lichtstrahlen stattfinden. Da diese offenbar nach den verschiedensten Richtungen hin erfolgt, so wird eine Zerstreuung des Lichtes eintreten. Es werden aber nicht alle Strahlen des Sonnenlichtes gleich stark reflektiert. Das liegt daran, daß die reflektierenden Teilchen außerordentlich klein sind. Denken wir uns Wasserwellen von verschiedener Größe. Hindernisse werden auf sie nicht die gleiche Wirkung haben. Während eine kleine Welle von einem Hindernis völlig aufgehalten und zurückgeworfen werden kann, kann eine große Welle das Hindernis überschreiten. So werden auch die kleineren Lichtwellen viel stärker reflektiert als die größeren. Es sind demnach die blauen Strahlen, als die Strahlen kleinster Wellenlänge, auf die sich die Reflexion und damit die Zerstreuung besonders erstreckt. Wohin wir in der Atmosphäre den Blick auch wenden mögen, von allen ihren Punkten gelangen reflektierte blaue Strahlen in unser Auge. Das ist die Erklärung für die Blaufärbung des Himmels. Auch die verschiedene Färbung der Sonne wird dadurch begreiflich. Am Horizont erscheint sie auffällig rot. Die Zerstreuung des blauen Lichtes ist offenbar um so größer, je größer der Weg ist, den die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurücklegen. Den längsten Weg in der Lufthülle durchmessen nun die Strahlen der Sonne bei ihrem Auf- und Niedergang. Demnach wird hier der größte Teil des blauen Lichtes zerstreut, und es überwiegen die Strahlen vom andern Ende des Spektrums, also die roten.

Wenn die Atmosphäre in dieser Weise auch etwa ein Drittel der Sonnenenergie zerstreut, so ist doch die zur Erdoberfläche ge-

langende Menge noch groß genug. Sie würde imstande sein, eine die Erde umgebende Eisschicht von über 30 m Dicke im Laufe eines Jahres zu schmelzen. Übrigens ist die Rolle, die die Atmosphäre im Wärmehaushalt spielt, nicht etwa für das Leben der Erde nachteilig, sondern im höchsten Grade zweckmäßig. Das Sonnenlicht wird zum größten Teile hindurchgelassen. Es erreicht die Erdoberfläche und erwärmt hier den Erdboden, der es absorbiert. Wärme kann nun auch durch Strahlung abgegeben werden. Wir sahen, daß Licht- und Wärmestrahlen überhaupt identisch sind. Infolge der Absorption aber existieren keine Lichtstrahlen mehr, sondern nur noch dunkle Wärmestrahlen. Für diese aber ist die Atmosphäre viel undurchlässiger als für jene. So absorbiert die Lufthülle 78 % der Strahlung der Erde und verhindert die Wärmeabgabe derselben an den Welt- raum. Sie wirkt ähnlich wie die Glasfenster der Warmhäuser, die auch die leuchtende Strahlung der Sonne leicht einlassen, das Zurückstrahlen aber verhindern, wenn die Sonnenstrahlen in dunkle Wärmestrahlen verwandelt worden sind. Ohne die Atmosphäre würden außerordentlich große und scharfe Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht bestehen. Man kann dies am Mond, der keine Lufthülle besitzt, beobachten. Bei Mondfinsternissen können zwischen beleuchteten und verdunkelten Flächen unmittelbar nebeneinander die größten Temperaturextreme nachgewiesen werden. Die von der Sonne zugeführte Energie wird bei Verdunkelung fast augenblicklich abgegeben.

Die Sonnenenergie ist die Quelle aller Bewegung und alles Lebens auf der Erde. Denken wir uns irgendeinen bewegten Körper und seine Wirkungen, z. B. die Luftströmung. Als leiser Hauch bläht sie die Segel der Schiffe, bestäubt sie windblütige Pflanzen. Sie heult als Orkan durch Länder und Meere, Bäume entwurzelt und Schiffe versenkend. Sie besitzt Energie der Bewegung, die sich der Mensch nutzbar gemacht hat. Sie muß in Windmühlen Getreide mahlen, auf Segelschiffen Lasten durch die Ozeane schleppen. Wie entsteht die Luftströmung? Luft strömt immer von Stellen höheren Druckes nach Stellen niederen Druckes. Diese Bewegung der Luft ist analog dem Fallen des Wassers von einem höheren auf ein tieferes Niveau, dem Strömen der Elektrizität vom höheren zum niederen Potential. Wie aber entstehen Druckdifferenzen in der Atmosphäre? Das geschieht durch die ungleichmäßige Erwärmung der-

selben durch die Sonne. Die Strahlen derselben werden vom Boden absorbiert, dadurch erwärmt sich dieser und mit ihm auch die Luft, die über ihm liegt. Durch die Erwärmung aber dehnt sich diese aus. Sie wird spezifisch leichter und steigt empor. Benachbarte kalte Luft strömt nach. So vollzieht sich eine fortwährende Auflockerung der Luft am Äquator. Infolgedessen strömt nach ihm hin ununterbrochen Luft aus Norden und Süden. So entstehen die regelmäßig wehenden Passate. Im Indischen Ozean entstehen die Monsune. Im Sommer erwärmt sich über dem riesigen asiatischen Kontinent die Luft stärker als über dem Ozean. Die Monsune strömen vom Meere zum Lande. Im Winter kühlt sich der Kontinent mehr ab als das Meer. Die Monsune strömen von Asien nach dem Indischen Ozean. So läßt sich jede Luftströmung auf Sonnenenergie zurückführen. Diese erst schafft die Druckdifferenzen und damit die Bewegungsmöglichkeit der Luft.

Wir erkannten, welcher gewaltige Energievorrat in gehobenem Wasser steckt. Wodurch aber wird dieses gehoben? Die Sonnenwärme ist es, die das Wasser auf Land und Meer verdunsten läßt und zur Wolkenhöhe hebt. Hier besitzt es Energie der Lage, die sich in kinetische Energie und damit in mechanische Arbeit umwandeln kann. Die Sonne ist es, die wie eine ungeheure Pumpe das Wasser vom Meer auf die Gebirge hebt und wieder herabfallen läßt in einem ewigen lebenspendenden Kreislauf. „Vom Himmel kommt es, zum Himmel steigt es, und wieder nieder zur Erde muß es, ewig wechselnd.“ Von der Größe der Arbeit, die dabei von der Sonne verrichtet wird, kann man sich durch folgende Überlegung eine Vorstellung machen. Die durchschnittliche Regenhöhe einer Gegend betrage 60 cm. Auf das Quadratmeter fällt demnach im Laufe eines Jahres eine Wassermenge von 0,6 cbm. Sie besitzt ein Gewicht von 600 kg. Machen wir die allerdings willkürliche Annahme, daß das Wasser von der Sonne durchschnittlich 300 m hoch gehoben werde, so ergibt sich für das Quadratmeter im Laufe eines Jahres eine Arbeit von $300 \cdot 600 = 180\,000$ mkg. Es ergibt sich weiter durch einfache Rechnung, daß der Effekt, also die Arbeit in der Sekunde, für das Quadratmeter über 70 Pferdestärken beträgt. Ein Teil dieser Arbeit kann wieder gewonnen werden, wenn das Wasser zum alten Niveau fällt. Überall, wo fallendes Wasser zur Arbeitsleistung verwendet wird, ist die Sonne die Quelle

derselben. Sonnenenergie ist es, die Fluszmühlen in Bewegung setzt, die an Wasserfällen die gewaltigen elektrischen Ströme erzeugt, die zu mechanischer Arbeit, chemischen Prozessen, Beleuchtungszwecken usw. so ausgezeichnete Verwendbarkeit besitzen.

Die größte Energiequelle, die der Mensch gegenwärtig zur Arbeitsleistung benutzt, sind die Kohlenlager. Die gewaltige Wärmemenge, die bei der Verbrennung des Kohlenstoffs frei wird, wird in der Dampfmaschine in Arbeit umgesetzt. Steht vielleicht auch diese zur Sonne in Beziehung? Die Kohlen sind die Reste untergegangener Pflanzen. Die Pflanzenstruktur ist häufig noch deutlich zu erkennen. Aber nicht aus allen gestorbenen Pflanzen entsteht Kohle. Bleibt die tote Pflanze an der Luft liegen, so verfault sie. Der Sauerstoff der Luft verbindet sich mit den Elementen, die sie aufbauen. Es sind hauptsächlich Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff. Die Stoffe, die durch die Verbindung dieser Elemente mit Sauerstoff entstehen, sind Kohlensäure, Wasser und Ammoniak, Stoffe, die ohne weiteres in die Atmosphäre übergehen. Nur ein kleiner Teil Asche bleibt zurück, die aus Verbindungen der Metalle besteht, die in geringer Menge in der Pflanze enthalten sind. Da die Pflanzenasche zum großen Teil im Wasser löslich ist, ist bald die letzte Spur einer gestorbenen Pflanze verschwunden. Wenn der Kohlenstoff zurückbleiben soll, so muß die abgestorbene Pflanze gegen den Sauerstoff der Luft geschützt werden. Das geschieht jetzt noch bei der Torfbildung in den Mooren, wo der Abschluß von der Luft durch Wasser bewirkt wird. Dann beginnt langsam die Kohlebildung, die an der Braun- und Schwarzfärbung erkenntlich ist. Was sich hier in Jahren und Jahrhunderten vollzieht, kann man durch Temperaturerhöhung in wenig Augenblicken bewirken. Erhitzt man Holz in einem Reagenzglas, so entweichen Gase, die man entzünden kann, und zurück bleibt Kohlenstoff.

Die riesigen Mengen Kohlenstoff, die in den Kohlenlagern enthalten sind, sind demnach durch Pflanzen angesammelt worden. Wie aber kommt der Kohlenstoff in die Pflanzen? Die Pflanze besteht zum größten Teile, etwa zu neun Zehntel, aus Wasser. Dieses wird durch die Wurzeln aufgesaugt. In ihm sind Stoffe enthalten, welche die Pflanze zu ihrer Ernährung braucht, so z. B. Verbindungen der Metalle Kalium und Kalzium. Kohlenstoff aber gelangt auf anderem Wege in die Pflanze. Beim Verbrennungs-

prozeß, der sich im Blut des tierischen Organismus vollzieht, entsteht Kohlenäure. Diese entweicht in die Atmosphäre. Es müßte nun bei dem Umfang und der Dauer dieser Verbrennung trotz der gewaltigen Größe der Atmosphäre allmählich eine Anhäufung an Kohlenäure und Abnahme an Sauerstoff eintreten. Das geschieht nicht, da die Lebensprozesse der Pflanzen und Tiere in sich gegenseitig ergänzender Wechselbeziehung stehen. Die Pflanze nimmt nämlich den Kohlenstoff, den sie zum Aufbau ihres Organismus braucht, aus der Kohlenäure der Luft. Sie zerlegt die Kohlenäure, die eine Verbindung aus Sauerstoff und Kohlenstoff darstellt, wieder in ihre Bestandteile, von denen sie den Kohlenstoff zurückbehält, während sie Sauerstoff abgibt. Die Zerlegung der Kohlenäure geschieht in den Blättern, den Lungen der Pflanzen. Während also das Tier Sauerstoff ein- und Kohlenäure ausatmet, nimmt die Pflanze Kohlenäure auf und scheidet Sauerstoff ab. Man bezeichnet diesen Vorgang als Assimilation. Durch diese wird demnach die Luft reicher an Sauerstoff. Die Zunahme läßt sich in der Luft aber schwer nachweisen und messen. Sehr einfach und bequem kann man dagegen die Sauerstoffabscheidung bei Wasserpflanzen beobachten, welche die im Wasser enthaltene Kohlenäure zerlegen, so daß Sauerstoff frei wird. Man kann das durch folgenden Versuch zeigen. In ein mit Wasser gefülltes Glas bringe man Brunnenkresse oder Wasserpest. Darauf setze man einen Trichter, so daß das Trichterrohr nach oben zeigt und sich sein Ende unter Wasser befindet. Dann fülle man ein Reagenzglas mit Wasser und stülpe es mit der Öffnung nach unten über das Trichterrohr. Wenn bei der Pflanzenatmung Sauerstoff frei wird, so kann er nicht entweichen, sondern wird durch den Trichter gesammelt werden und durch das Rohr in das Reagenzglas steigen, wo er das Wasser verdrängen und sich ansammeln wird. Diese Erscheinung tritt tatsächlich ein, aber nicht im Dunkeln, sondern nur, wenn die Blätter von der Sonne beschienen werden. Dann steigen ziemlich rasch Blasen auf, die sich in das Reagenzglas drängen und sich hier ansammeln. Man kann das entstandene Gas leicht durch einen glimmenden Holzspan bestimmen, der im Sauerstoff hell aufleuchtet und sich entzündet.

Welche Rolle spielt bei diesem Prozeß das Sonnenlicht? Wenn man grüne Pflanzenblätter mit rotem Licht beleuchtet, so erscheinen

sie schwarz, was man sehr schön beim Abbrennen des Rotfeuers beobachten kann. Schwarze Körper aber strahlen kein Licht aus. Eine berußte Fläche erscheint auch im Tageslicht schwarz, eben weil sie alle Strahlen des weißen Lichts absorbiert. Wenn also die grünen Blätter bei roter Beleuchtung schwarz erscheinen, so muß das rote Licht von ihnen absorbiert werden. Daher kommt es überhaupt, daß uns die Pflanzen grün erscheinen. Sie werfen alle Strahlen mit Ausnahme der roten zurück. Blendet man aber im Sonnenspektrum die roten Strahlen ab und sammelt die anderen durch eine Sammellinse, so entsteht grünes Licht. So ergeben auch die von den Pflanzen mit Ausnahme des Rot zurückgeworfenen Strahlen die Farbenempfindung des Grün. Was aber wird aus den verschwindenden roten Strahlen, was wird aus der Energie, die sie repräsentieren? Betrachtet man den Schnitt eines grünen Blattes unter dem Mikroskop, so bemerkt man in ihm grüne Körnchen, das sogenannte Blattgrün oder Chlorophyll. Man kann dies mit starkem Alkohol, in dem es sich auflöst, ausziehen. Die Chlorophyllkörnchen sind es, die den schnellen Sonnenstrahl bannen und zur Arbeitsleistung zwingen. Hier vollzieht sich die merkwürdige chemische Verwandlung der Kohlenensäure. Es wird natürlich nicht reiner Kohlenstoff abgeschieden, sonst würden uns die Pflanzen ja schwarz erscheinen. Was im Chlorophyll durch Umwandlung der Energie der Strahlen geringerer Brechbarkeit gebildet wird, ist eine Kohlenstoffverbindung, die ärmer an Sauerstoff ist als die Kohlenensäure. Daher wird bei diesem chemischen Prozeß Sauerstoff frei, der vom Blatt in die Luft zurückgegeben wird. Die zunächst im Blatt entstehende Kohlenstoffverbindung ist nicht bekannt. Es entsteht aber aus ihr die Stärke. In belichteten Blättern können immer Stärkekörner nachgewiesen werden. Die Stärke verwandelt sich leicht in lösliche, zuckerähnliche Verbindungen, die dann durch den Pflanzenkörper transportiert werden, Plasma und Zellwand aufbauen, mit Stickstoff, Schwefel und Phosphor, die hauptsächlich von den Wurzeln her in die Pflanzen dringen, die so wichtigen Eiweißstoffe bilden. Es ist Energie nötig, um Kohlenstoff und Sauerstoff zu trennen. Das nimmt uns nicht wunder, wenn wir bedenken, welche große Energiemenge bei der Verbindung derselben frei wird. Dieselbe Energiemenge muß aufgeboden werden, um die Stoffe wieder zu trennen, und diese Leistung vollbringen bei ihrem Verschwinden

die roten Sonnenstrahlen. Die Energie des roten Lichts verwandelt sich demnach in chemische Energie. Kohlenstoff und Sauerstoff fallen bei ihrer chemischen Vereinigung gewissermaßen auf ein tieferes Niveau, wo sie keine Arbeit mehr leisten können, ähnlich wie das Wasser beim Fallen Energie abgibt. Wie dieses in ewigem Kreislaufe von der Sonne wieder zur früheren Höhe gehoben wird, so trennt Sonnenkraft die beiden Stoffe und verleiht ihnen wiederum die alte Energie. Kohlenstoff und Sauerstoff sind wie das Wasser Träger der Sonnenenergie.

Es entstehen täglich Unmengen von Kohlenäure. Ein erwachsener Mensch allein atmet täglich ungefähr 900 g aus. Gewaltige Kohlenäurequellen sind besonders die Feuerherde der Dampfmaschinen und Öfen. In den Kruppschen Werken in Essen verbrennen täglich ungefähr $2\frac{1}{2}$ Millionen Kilogramm Kohlenstoff. In den Pflanzen zerlegt die Sonne die Stoffe wieder. Der Sauerstoff wird der Luft zurückgegeben; der Kohlenstoff aber gelangt in Gestalt der Pflanzennahrung in den tierischen Körper. Hier entsteht wieder Kohlenäure. Dabei wird die Sonnenenergie, die zur Trennung nötig war, frei zur Arbeitsleistung. Jede Bewegung unseres Körpers ist eine Arbeitsleistung, die aus Sonnenenergie entstanden ist. Die Sonne ist es, die das Herz in Bewegung setzt und das Blut durch die Adern treibt, sie ist es, die uns Hand und Kopf regen läßt. Wir sind alle Sonnenkinder vom ersten Menschen bis zum letzten Wurm. Die mechanischen Arbeitsleistungen des tierischen Organismus bestehen hauptsächlich in der Ortsveränderung des Körpers. Das Tier vermag sich willkürlich fortzubewegen. Das geschieht durch Arbeitsleistung. Der Adler, der sich Tausende von Metern hoch in die Luft erhebt, der Wanderer, der einen Berg besteigt, sie leisten bedeutende mechanische Arbeiten. Der menschliche Körper verrichtet übrigens bereits beim Gehen auf der Horizontalen eine Arbeit. Das liegt daran, daß der Schwerpunkt desselben sich beim Gehen ein wenig auf und ab bewegt und so eine flache Wellenlinie beschreibt. Bei jedem Schritt ist eine kleine mechanische Arbeit zu verrichten, die bei einer langen Wanderung aber zu einer beträchtlichen Größe anwachsen kann. Beim Radfahren wird das Sichsenken und -heben des Körpers vermieden und so dem Gehen gegenüber Arbeit gespart.

Im Gegensatz zum Tier ist die Mehrzahl der Pflanzen zeit ihres

Lebens an ein und denselben Ort gefesselt. Die Arbeitsleistungen, die in Ortsveränderungen bestehen, fallen demnach bei ihnen weg. Wir erkennen, in welchem innigen Zusammenhang mit dem Stoffwechsel dies steht. Wenn die Pflanzen befähigt sein sollen, die durch die Arbeitsleistung der Tiere entstehende Kohlensäure zu zerlegen, so dürfen sie nicht Arbeiten in der Größe wie diese verrichten. Sonst wäre ja auch in ihrem Körper Kohlenstoffverbrennung und Kohlensäurebildung notwendig. So ermöglicht das Schicksal der Pflanzen, das Anortengebundenheit, die willkürliche Bewegung im Tierreich. Die Bewegung des Tieres erfordert den Verzicht auf Bewegung bei der Pflanze. Nun ist tatsächlich die Pflanze nicht ohne jede Bewegung. Das Wachstum, jede Zellenneubildung ist ja Bewegung. Die Wachstumsvorgänge sind zweifellos mechanische Arbeitsleistungen, und diese finden wie im Tierkörper ihr Äquivalent in einer Oxydation von Kohlenstoffverbindungen, also in Bildung von Kohlensäure. So ist auch im Pflanzenreiche die spezifisch tierische Atmung, nämlich das Einatmen von Sauerstoff und das Ausatmen von Kohlensäure, vorhanden. Nur ist sie viel schwächer, da sie nur Wachstumsvorgänge, nicht aber willkürliche Bewegungen wie im Tierreiche zu bewirken hat. So ist es möglich, daß die Pflanzen mehr Kohlensäure zerlegen als bilden und so die Kohlensäurebildung im tierischen Organismus rückgängig machen.

Wenn in den Blättern der Pflanzen die Kohlensäure in ihre Bestandteile zerlegt wird, so wird die Energie der Sonnenstrahlen in Gestalt von chemischer Energie festgehalten, die sich am besten zur Aufbewahrung eignet. In den Kohlenstoffverbindungen der Pflanzen wird der flüchtige Sonnenstrahl gefesselt. So stellen die Kohlenlager Reservoire von Sonnenenergie dar. In dem Kohlenstoff steckt Arbeitsmöglichkeit wie in gehobenem Wasser, wie in der gespannten Sehne. Nur können auf kleinem Raum viel größere Energiemengen aufgestapelt werden, deren Wert durch Jahrtausende hindurch unverändert bleibt. Die Kohlenlager enthalten in konzentrierter Form die Sonnenenergie vergangener Zeiten. Bei Verbrennung der Kohle wird dieselbe Energiemenge frei, die seinerzeit notwendig war, die Kohlensäure zu zerlegen. Wenn wir im Winter unsere Zimmer mit Kohle heizen, so erwärmt uns der Sonnenschein vergangener Jahrtausende. Wenn wir in Hochöfen mit Hilfe der Kohle das Eisen aus seinen Erzen gewinnen, so geschieht dies durch

Sonnenenergie. Die Sonne ist es, die der Menschheit Kohle und Eisen, diese gewaltigen Kulturfaktoren, schenkt. Mit Hilfe des Sonnenstrahls durchheilt der Mensch auf schnellen Dampfern, Blitzen und Kraftfahrzeugen die Welt, mit Hilfe konzentrierter Sonnenenergie erobert er auch das Luftmeer. So läßt sich jede Bewegung, jede Arbeitsleistung auf unserem Planeten auf die lebenspendende Sonne zurückführen. Wenn wir irgendeine Energieform in ihrer Entstehung rückwärts verfolgen, so kommen wir immer zur Sonne als dem Zentrum alles Lebens, als der Quelle aller Energie.

Daraus ergibt sich für die Menschheit ein großes noch ungelöstes Problem, nämlich die Aufgabe, Sonnenstrahlen willkürlich festzuhalten und dann zur Arbeitsleistung zu benutzen. Die rationelle Ausnutzung der Wasserfälle und die willkürliche Auffpeicherung gehobenen Wassers durch Talsperren sind Anfänge zur Lösung der Aufgabe. Die vorteilhafteste Fixierung des Sonnenstrahls, nämlich die in chemischer Form, ist aber noch nicht gelungen. Immer muß, wenn die Kohle benutzt wird, der Umweg über die Pflanze gemacht werden. Die Kohlenlager aber werden sich endlich einmal erschöpfen, und die Menschheit hat nicht Zeit, auf Kohlenneubildung zu warten. Nun läßt sich allerdings der Umweg über die Pflanze zeitlich bedeutend abkürzen. Es ist möglich, die in den Pflanzen im Laufe eines Jahres chemisch fixierte Sonnenenergie auszunutzen. So läßt sich aus Pflanzen Spiritus gewinnen. Dieser ist eine Kohlenstoffverbindung, die mit dem Sauerstoff der Luft verbrennen und dabei die Sonnenwärme, die von der Pflanze im Laufe eines Jahres aufgenommen wurde, wieder abgeben kann. Man sieht hier einen Weg, die Kohle zu ersetzen. Allerdings ist die Methode umständlich genug. Sie erfordert den Anbau und die Pflege von Pflanzen, die die Sonnenstrahlen auffangen und in chemische Energie umwandeln müssen, erfordert Prozesse, in denen aus den pflanzlichen Produkten der Spiritus gewonnen wird. Es ergibt sich von selbst die Frage: Sollte es der Chemie nicht gelingen, Stoffe zu finden, die ähnlich wie Chlorophyll die Sonnenenergie fesseln und ähnlich wie Kohlenstoff beliebig abgeben können? Tatsächlich kennt die Chemie chemische Wirkungen des Sonnenlichtes seit langer Zeit. Die Sonne bräunt unsere Haut, bleicht unsere Wäsche. Die chemische Wirkung des Lichts wird besonders in der Photographie verwendet. Diese

beruht auf einer Einwirkung des Sonnenlichts auf Silbersalze, besonders auf der Lichtempfindlichkeit des Bromsilbers, der chemischen Verbindung des Silbers mit dem Brom. Durch das Sonnenlicht wird die Verbindung in ihre Bestandteile zerlegt. Das Silber wird in feinverteiltem Zustande als schwarzes Pulver abgetrennt. Daher schwärzen sich bei Belichtung die photographischen Platten. Der Vorgang ist ein ganz ähnlicher wie bei Zerlegung der Kohlensäure. Während die Verbrennung eine Verbindung, eine Oxidation darstellt, verursacht das Sonnenlicht eine Trennung, die Reduktion des Kohlenstoffs. So wird auf der photographischen Platte das Silber reduziert. Das geschieht ähnlich wie in den Pflanzenblättern durch Absorption von Sonnenstrahlen. Während aber von den Pflanzen die roten Strahlen absorbiert werden, verschlucken die lichtempfindlichen Silbersalze die Strahlen vom andern Ende des Spektrums, nämlich die violetten und ultravioletten. Es gibt demnach Stoffe, welche Sonnenstrahlen fixieren. Damit ist aber die Aufgabe noch nicht gelöst. Die neuentstandenen Stoffe müssen auch geeignet sein, die Sonnenenergie wieder abzugeben wie der Kohlenstoff bei der Verbrennung. Solche Stoffe aber, welche die Sonnenenergie aufnehmen und sich dadurch in Stoffe verwandeln, die die in ihnen ruhende Energie leicht wieder abgeben, kennt man nicht.

Noch ungelöste Probleme liegen auch in der Aufgabe, Sonnenlicht durch künstliche Beleuchtung zu ersetzen. Zweifellos hat die Beleuchtungstechnik im vergangenen Jahrhundert außerordentliche Erfolge errungen. Es sei erinnert an die Einführung des Gaslichts und der elektrischen Beleuchtung in den verschiedenen Formen der Bogenlampe, des Glühlichts, der Kernstromlampe, der Osmium- und Tantallampe. Ein Mangel von fundamentaler Bedeutung, der den Beleuchtungsmethoden anhaftet, ist der geringe Nutzeffekt. Es wird nur ein kleiner Teil der aufgewendeten Energie wirklich in die strahlende Energie des Lichtes umgesetzt. In der Gasflamme, die allerdings zur Beleuchtung kaum noch benutzt wird, wird nur der winzige Bruchteil von $\frac{1}{3}$ % der bei der Verbrennung des Leuchtgases frei werdenden Energie in Licht umgesetzt. Der ungeheure Rest von $99\frac{2}{3}$ % geht in Form von dunkler Wärme dem Zwecke der Beleuchtung verloren. Das elektrische Glühlicht besitzt einen Nutzeffekt von 5, das Bogenlicht einen solchen von 10 %. Man hat gefunden, daß mit steigender Temperatur der Teil der Energie,

der in Licht verwandelt wird, wächst. Daher sucht die Beleuchtungstechnik hauptsächlich die Temperatur der Lichtquelle zu steigern. Die Lichtträger sind immer glühende feste Körper. In der gewöhnlichen Gas- und Kerzenflamme ist dies der Kohlenstoff. Ehe er von dem Sauerstoff der Luft zu Kohlenäure oxydiert wird, gerät er ins Glühen und verursacht so die Lichtwirkung. Daß tatsächlich freier Kohlenstoff in diesen Flammen enthalten ist, läßt sich sehr einfach dadurch zeigen, daß man einen kalten Gegenstand in sie hält. Sofort setzt sich freier Kohlenstoff in der Form von Ruß ab. Die Verbesserung, welche die Gasbeleuchtung durch die Einführung des Glühstrumpfes erfahren hat, beruht darauf, daß der Strumpf, eine Mischung von Thor- und Zeroryd, bei höherer Temperatur glüht als der Kohlenstoff. Dadurch wird ein größerer Teil der bei Verbrennung des Gases abgegebenen Energie in Lichtstrahlen verwandelt, d. h. der Nutzeffekt der Beleuchtung steigt. Auch in der Kernlampe ist der Lichtträger ein Metalloxyd, nämlich ein Stab aus Magnesia. Während aber beim Strumpflicht die nötige Temperaturerhöhung durch die Verbrennungswärme des Leuchtgases bewirkt wird, geschieht die Erhitzung des Leuchtkörpers in der Kernlampe durch die elektrische Stromwärme. Der ideale Fall ist natürlich die Umwandlung der gesamten aufgewendeten Energie in Lichtstrahlen. Dieses Problem läßt sich jedenfalls durch die jetzt üblichen Methoden, Licht zu erzeugen, nicht lösen. Die Lichtstrahlen unterscheiden sich von den dunklen Wärmestrahlen wie höhere von tieferen Tönen durch geringere Wellenlänge und größere Schwingungszahl. „Heute gleichen wir nur einem Organisten, der die ganze brausende Gewalt seiner tiefsten Register mit erklingen lassen muß, um wenige hohe Töne hervorzulocken.“ Daß die Lösung des Problems, Licht ohne dunkle Wärme zu gewinnen, nicht wie die Konstruktion eines Perpetuum mobile zu den Unmöglichkeiten gehört, zeigt die Natur, welche die Aufgabe in dem Körper des winzigen Johanniskäfers gelöst hat. In ihm entstehen Lichtstrahlen ohne nennenswerte Erwärmung. Ähnliche Erscheinungen kennt die Physik bei elektrischen Entladungen unter außerordentlich hohen Spannungen und beim Gange elektrischer Ströme durch verdünnte Gase in den bekannten Geißlerschen Röhren. Tatsächlich scheint sich hieraus eine neue Methode der Beleuchtung zu entwickeln. Die Quecksilberlampe und das Moore-

licht, welche die Lichterscheinungen bei elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen benutzen, finden bereits praktische Verwendung.

Wir sind zu einem gewissen Abschluß gelangt. Wir übersehen die Bedeutung des Energiebegriffs für die Naturauffassung. Er ermöglicht eine einheitliche Auffassung aller Naturerscheinungen. Alle die verschiedenen mechanischen, thermischen, chemischen, akustischen, elektrischen, magnetischen, optischen Zustände und Vorgänge, die auf die mannigfachste Art sich uns bemerkbar machen, so daß sie häufig gar nicht vergleichbar erscheinen, sie alle werden in unserem Bewußtsein durch den Begriff „Energie“ zur Einheit zusammengefaßt. Es wird sogar möglich, Vorgänge im ganzen energetisch exakt zu erfassen, die im einzelnen noch nicht völlig erschlossen sind, wie die Ernährungsvorgänge in Pflanze und Tier. Das ist von hoher Bedeutung, da man bei Benutzung des Energieprinzips die elementaren Einzelvorgänge, deren Erklärung meist wieder die Aufstellung von besonderen Hypothesen nötig macht, umgehen kann. Für die energetische Betrachtung genügt die genaue Kenntnis des Anfangs- und Endzustandes. Wir fassen die verschiedenen Zustände und Vorgänge, die sich unserer Sinnenwelt bieten, auf als verschiedene Formen ein und desselben Etwas, nämlich der Energie. Was in der einen Form verschwindet, kommt in der anderen zum Vorschein und zwar nach unveränderlichen Äquivalenten.

Die Verfassung unserer Sinnlichkeit und die daraus resultierende Beschaffenheit unseres Verstandes sind der Grund, daß wir die mechanische Form bevorzugen. Wir betrachten alle Naturvorgänge mit Hilfe mechanischer Vorstellungen und führen alle Messungen auf die mechanischen Maße zurück. Wir können alle Energiegrößen ausdrücken durch das Meterkilogramm. Die mechanische Betrachtungsweise bringt es mit sich, daß alle Energie überhaupt als mechanische Energie aufgefaßt wird. Dadurch tritt eine wesentliche Vereinfachung ein. Die Anzahl der Energieformen, die sich nach unsern Sinnen richtet, wird dadurch auf zwei Formen reduziert, auf die kinetische und die potentielle. Wir fassen sowohl die Wärme als auch die Elektrizität auf als Energie der Lage und Energie der Bewegung. An und für sich ist eine solche mechanische Deutung nicht notwendig. Das Prinzip von der Erhaltung der Energie bezieht sich nur auf die Umformungen der einzelnen Energie-

arten, hat mit der mechanischen Deutung der Naturvorgänge zunächst nichts zu tun. Robert Mayer selbst war kein Anhänger der mechanischen Naturauffassung.

Er sagt in der Abhandlung von 1842: „So wenig indessen aus dem zwischen Fallkraft und Bewegung bestehenden Zusammenhange geschlossen werden kann: das Wesen der Fallkraft sei Bewegung, so wenig gilt dieser Schluß für die Wärme. Wir möchten vielmehr das Gegenteil folgern, daß, um Wärme werden zu können die Bewegung — sei sie die einfache oder eine vibrierende, wie das Licht, die strahlende Wärme usw. — aufhören müsse, Bewegung zu sein.“ Mayer hat demnach keineswegs eine mechanische Deutung der Wärmeerscheinungen vertreten; noch viel weniger ist ihm in den Sinn gekommen, Wärme und Bewegung für identisch zu erklären.

Die mechanische Form herrscht aus Gründen der Anschaulichkeit. Wenn eine andere Energieform für uns anschaulicher wäre, würden wir uns alle Energie in dieser Form vorstellen.

In einem abgeschlossenen System, daß weder Energie aufnimmt noch abgibt, können die verschiedensten Vorgänge stattfinden, die Energiesumme, die wir immer mit Hilfe des Meterkilogramms ausdrücken können, bleibt unverändert. Da die Größe des Systems gleichgültig ist, können wir das Gesetz auf das Universum ausdehnen: Die Summe der Energien des Weltalls bleibt konstant, vorausgesetzt, daß dieses als endlich betrachtet wird. Das ist die allgemeinste Fassung des Prinzips von der Erhaltung der Energie, wie sie aus den Arbeiten von Robert Mayer und Helmholtz entstanden ist. Auch die Entdeckung der höchst merkwürdigen Wirkungen radioaktiver Stoffe hat das Erhaltungsgesetz der Energie nicht erschüttert. Es hat sich gezeigt, daß die Energieabgabe der radioaktiven Elemente ihr Äquivalent findet in einem Atomzerfall derselben, mit dessen Beendigung auch die Energiequelle erschöpft ist, so daß für jedes radioaktive Element eine ihm eigentümliche Ablaufszeit des Strahlungsprozesses besteht.

Man wird vielleicht die Frage aufwerfen: Was ist nun eigentlich Energie, einmal ist sie Licht, einmal Wärme, einmal elektrischer Strom, einmal Schall? Als Antwort kann man ein Paradoxon geben: Sie ist alles, und sie ist keins von allem. Sie ist alles, wenn wir unter Energie alle Zustände und Vorgänge verstehen, die sich in mechanische Arbeit umwandeln lassen.

Daß die Energie in diesem Sinne etwas höchst Reales ist, erhellt daraus, daß sie wie der Stoff einen wirtschaftlichen Wert darstellt. Nicht nur Stoffe, wie beispielsweise die Metalle sind Gegenstände des Handels, für die ein bestimmter Preis zu entrichten ist, sondern auch Arbeitsgrößen. Die elektrische Energie, die nach Wattstunden (Kilo- und Hektowattstunden) berechnet wird, kann man beziehen wie eine Ware. Der wirtschaftliche Wert der Stoffe selbst richtet sich häufig nach der Energie, die aus ihnen gewonnen werden kann, wie bei Sprengstoffen, Kohle, Nahrungsmitteln.

Es läßt sich aber nicht leugnen, daß der Begriff der Energie über diese rein physikalische Definition hinausgewachsen ist und eine philosophische Bedeutung angenommen hat. Dann versteht man unter Energie ein unbestimmtes Etwas, das hinter den Erscheinungen steht, ein Etwas, das immer dasselbe bleibt, sich aber einmal an unser Auge als Licht, einmal an unser Gefühl als Wärme, einmal an unser Ohr als Schall wendet, ein Etwas, das wir niemals zu erkennen vermögen, weil es uns unmöglich ist, hinter die Kulissen zu schauen, weil wir immer nur die Wirkungen desselben wahrnehmen, die sich an die Sinne richten. Die Energie weicht hinter die Erscheinungen zurück als etwas Beharrendes. Sie wird zu etwas Übersinnlichem, zu einem beharrenden Subjekt, dem wir die Energieformen als Eigenschaften zuschreiben. Dann ist die Energie das, was die Philosophie Substanz nennt.

Eine gewisse substantielle Auffassung der Energie ist nicht erst Ergebnis, sondern der Ausgangspunkt der Energielehre. Der Energiebegriff wurde dadurch gebildet, daß man Erscheinungen, die man bis dahin für völlig unvergleichbar gehalten hatte, unter einem Oberbegriff zusammenfaßte. Die Erscheinungsformen der Energie gehören der Sinnenwelt an; sie selbst aber steht dahinter, oder — wenn man will — darüber. Der Begriff der Energie konnte seine umfassende Bedeutung erst gewinnen, als man ihn von den Erscheinungen als etwas Selbständiges und Unveränderliches löste, ihm einen gewissen substantiellen Charakter verlieh.

Wenn man die Energie als Substanz bezeichnet, so ist zu bedenken, daß man in dieser nur einen Begriff vor sich hat. Ein Begriff umspannt verschiedene Erscheinungen und wird von diesen dadurch abgeleitet, daß man das Verschiedenartige wegläßt und das Übereinstimmende zusammenfaßt. So ist im Artbegriff das

Gemeinsame aller zugehörigen Individuen festgehalten, während von dem Unterschiedlichen abgesehen wird. Jeder Begriff besitzt einen gewissen substantiellen Charakter, insofern er eben das im bunten Wechsel der Erscheinungen Bleibende, Beharrende heraushebt und fixiert. Eine ganz andere Frage ist es, ob den Begriffen Realitäten, d. h. wirkliche Dinge außerhalb unseres Bewußtseins entsprechen. Die Beantwortung dieser Frage entzieht sich unserer Erfahrung, weil alles, was wir durch die Sinne erfahren, Erscheinungen sind und die Begriffe erst durch den Denkprozeß gebildet werden. Es kann daher auch nicht behauptet werden, daß dem energetischen Substanzbegriffe außerhalb unseres Bewußtseins Existenz zukomme. Wenn man also die Energie als etwas bezeichnet, das hinter den Erscheinungen steht, so ist dies nur eine begriffliche Fiktion.

Eine besondere Beleuchtung erfährt durch das Erhaltungsgesetz der Grundsatz von Ursache und Wirkung. Dieser Grundsatz ist Voraussetzung unseres ganzen Naturerkenntnis. Jeder Wirkung entspricht eine bestimmte Ursache und umgekehrt. Jede Ursache läßt sich schließlich wiederum als Wirkung einer anderen Ursache betrachten, so daß ganze Reihen entstehen, deren Glieder in kausalem Zusammenhange, d. h. im Verhältnis von Ursache und Wirkung stehen. Die energetische Erklärung ist einfach. Die Vorgänge sind Umwandlungen von Energieformen. Was wir als Ursache und Wirkung bezeichnen, sind nur verschiedene Erscheinungsformen ein und desselben Objekts. Darnach ist es selbstverständlich, daß die Wirkung der Ursache entspricht, ihr äquivalent ist. *Causa aequat effectum*. So erklärt sich auch die vollstümlich gewordene Wahrheit, daß aus nichts nichts wird. *Ex nihilo nil fit, nil fit ad nihilum*. Es ist in der Wirkung eben nichts enthalten, was nicht schon in der Ursache, wenn auch in anderer Form, vorhanden war.

Das Wort „Energie“ ist von englischen Forschern in die Physik eingeführt worden. R. Mayer und Helmholtz benutzten zur Bezeichnung des Begriffs das Wort „Kraft“ in dem erwähnten Leibnizschen Sinne. Mayer schrieb 1842: „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“, Helmholtz 1847: „Über die Erhaltung der Kraft“. Die Kennzeichnung der Sache durch ein neues Wort war eine notwendige und glückliche Tat, da das Wort „Kraft“ infolge seiner verschiedenen Bedeutungen durchaus ungeeignet war, Klarheit zu schaffen.

Viertes Kapitel.

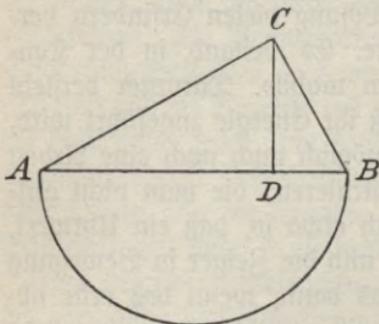
Das Perpetuum mobile.

Das Gesetz von der Erhaltung der Energie steht mit einem Problem in innigster Beziehung, dessen Lösung vielen Erfindern vergangener Zeiten als Ziel vorschwebte. Es bestand in der Konstruktion des sogenannten Perpetuum mobile. Darunter versteht man eine Maschine, die sich, ohne daß ihr Energie zugeführt wird, selbst in Gang erhält, und dabei womöglich auch noch eine Arbeit leistet. So suchte man Uhren zu konstruieren, die man nicht aufziehen bräuchte. Man dachte es sich etwa so, daß ein Uhrwerk, während es ablaufend das Räderwerk und die Zeiger in Bewegung setzte, zugleich ein anderes aufzog, das dann, wenn das erste abgelaufen war, in Aktion treten sollte. Ein Mühlrad z. B. würde ein Perpetuum mobile sein, wenn es nicht nur die Mühle drehen, sondern auch das Wasser wieder zum ursprünglichen Niveau emporheben würde, so daß man also mit einer bestimmten Menge gehobenen Wassers unbegrenzte Energiemengen erzeugen könnte. Das ist nach dem Erhaltungsgesetz der Energie ein Unding. Man kann eine bestimmte Energiegröße immer nur in eine bestimmte ihr äquivalente Energiegröße einer anderen Form verwandeln. Diese kann man allerdings in die ursprüngliche Form zurückverwandeln, wird aber im günstigsten Falle nur den anfänglichen Betrag erhalten. Keinesfalls aber kann bei einer solchen Umwandlung noch eine besondere Arbeit gewonnen werden; denn das hieße ja, die gegebene Energiesumme vergrößern, ohne Energie zuzuführen, was dem Gesetz von der Erhaltung der Energie widerspricht. Dieses kennt nur die Umwandlungen bereits vorhandener Energiemengen in äquivalente Werte anderer Formen, schließt aber eine willkürliche Vermehrung völlig aus.

So plausibel nun auch die Ableitung der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile aus dem Erhaltungsgesetz erscheinen mag, sie ist nicht einwandfrei. In der obigen Ausführung erscheint die Unmöglichkeit des Perpetuum mobile als Folgerung aus dem Gesetz von der Erhaltung der Energie. In Wirklichkeit ist es aber umgekehrt. Das Energiegesetz ist nämlich — wenigstens zum Teil — eine Folgerung aus der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile. Wir wollen

auf die interessante Beziehung der beiden Sätze, des Energiegesetzes und des Satzes vom ausgeschlossenen Perpetuum mobile, etwas näher eingehen.

Die Ansicht, daß das Perpetuum mobile unmöglich sei, ist viel älter als die Lehre von der Energie. Sie ergab sich schon mit Notwendigkeit aus den ersten mathematisch formulierten physikalischen Gesetzen, nämlich aus den von Archimedes gefundenen Gesetzen der Hebel. Aus ihnen schon folgt die goldene Regel der Mechanik. An dem Beispiel des Flaschenzuges erkannten wir, daß es unmöglich ist, mit Hilfe der einfachen Maschinen Arbeit zu gewinnen. Was durch



sie erreicht wird, ist nur eine Veränderung der beiden Faktoren, welche die Arbeit ausmachen, nämlich der Kraft und des Weges. Der Wert des Produktes aus beiden bleibt unverändert. Das bedeutet nichts Geringeres, als daß auf dem Gebiete der Mechanik das Perpetuum mobile, mit dem ja die Arbeit gewonnen werden soll, unmöglich ist. Das ist von allen bedeutenden Physikern eingesehen worden, und die Idee eines Perpetuum mobile blieb das Eigentum unklarer Köpfe.

Die Unmöglichkeit des Perpetuum mobile spielt eine bedeutende Rolle in physikalischen Ableitungen und Beweisführungen. So deduziert beispielsweise Stevin (1548—1620) die Gleichgewichtsbedingungen auf der schiefen Ebene ungefähr folgendermaßen. Man denke sich ein dreiseitiges Prisma. Um dieses sei eine Schnur gelegt, die aus kleinen gleichen Kugeln zusammengesetzt ist, welche sich völlig ohne Reibung bewegen können. Die Anzahl der Kugeln und damit die Schwere eines beliebigen Teiles der Schnur entspricht dann völlig seiner Länge. Die um das Prisma gelegte Schnur zeigt drei Teile: AC, BC und den herabhängenden Teil AB. Letzterer übt links und rechts in A und B gleichen Zug aus. Er kann demnach weder eine Links- noch eine Rechtsdrehung der Schnur bewirken. Man kann sich diesen unteren Teil hinwegdenken, ohne daß dadurch die Gleichgewichtsverhältnisse geändert werden. Daraus folgt, daß der Teil BC dem Teil AC das Gleichgewicht hält.

Würde nämlich AC einen größeren Zug ausüben als BC, so würde die Schnur eine Drehung im entgegengesetzten Sinne des Uhrzeigers ausführen, und da die Verhältnisse immer dieselben bleiben, würde die Schnur das Prisma dauernd umkreisen. Die Vorrichtung wäre also ein Perpetuum mobile. Dieses aber ist nach Stevin unmöglich. Um zu dem bekannten Gesetz der schiefen Ebene zu kommen, braucht man nur einen Teil des Prismas (CD) vertikal anzunehmen. Dann hält das ganze Gewicht des Schnurenteiles CD als Kraft dem Schnurenteil AC als Last das Gleichgewicht. Gleichgewicht ist also vorhanden, wenn sich die Kraft zur Last verhält wie die Höhe zur Länge der schiefen Ebene. Stevin benutzt also bei dieser Ableitung die Unmöglichkeit des Perpetuum mobile als Voraussetzung.

Dieselbe Stellung zur Unmöglichkeit des Perpetuum mobile findet sich auch in den Ausführungen von Galilei (1564—1642), Toricelli (1608—1647) und Huygens (1629—1695). Letzterer begründet das ausgeschlossene Perpetuum mobile mit der Tatsache, daß schwere Körper nicht von selbst aufwärts steigen: „Wenn beliebige schwere Körper durch ihr Gewicht in Bewegung geraten, kann der gemeinsame Schwerpunkt derselben nicht höher steigen, als er zu Anfang sich befand. Wir werden zeigen, daß diese Voraussetzung, obgleich sie bedenklich scheinen könnte, nichts besagt als das, daß schwere Körper nicht von selbst aufwärts sich bewegen, und wenn dies die Erfinder neuer Konstruktionen zu benutzen verständen, die irrtümlicherweise ein Perpetuum mobile herzustellen versuchen, würden sie leicht ihren Fehler erkennen und einsehen, daß diese Sache auf mechanischem Wege nicht möglich sei.“ Es ist bezeichnend, daß Huygens das Perpetuum mobile nur auf mechanischem Gebiete ausschließt.

Bei der mechanischen Auffassung der physikalischen Erscheinungen aber konnte es nicht ausbleiben, daß man den Satz vom ausgeschlossenen Perpetuum mobile auch auf andere Gebiete übertrug. Zum ersten Male tat dies Sadi Carnot in einer Abhandlung über das Feuer und die Dampfmaschine 1824. Er führt darin den Satz ein in das Gebiet der Wärmelehre und begründet dies folgendermaßen: „Man wird vielleicht einwenden, daß das Perpetuum mobile, welches nur für mechanische Vorgänge als unmöglich erwiesen ist, bei Anwendung von Wärme oder Elektrizität

vielleicht möglich ist; aber kann man denn die Erscheinungen der Wärme und der Elektrizität als etwas anderes auffassen, denn als Bewegungen gewisser Körper und müssen sie als solche nicht den allgemeinen Gesetzen der Mechanik genügen?" Diese Begründung ist in ihrer Kürze außerordentlich klar und charakteristisch. Wir fassen alle Naturerscheinungen als Bewegung, also mechanisch auf, tragen in alle Gebiete die uns deutlichen mechanischen Vorstellungen. Die Folge davon ist, daß alle Naturerscheinungen mechanischen Gesetzen gehorchen. Diese sind gewissermaßen das Echo der ursprünglichen Auffassung. Dann ist es auch berechtigt, den Satz vom ausgeschlossenen Perpetuum mobile, der zunächst nur auf mechanischem Gebiete bewiesen werden kann, in die übrigen Gebiete der Physik einzuführen.

Es muß wundernehmen, daß aus der Verallgemeinerung des Satzes, besonders aus seiner Übertragung in die Wärmelehre, nicht ohne weiteres das Energiegesetz folgte. Wenn bei einer Umwandlung von Wärme in Bewegung, wie sie bei der Dampfmaschine stattfindet, keine Arbeit gewonnen werden kann, so liegt es doch nahe, anzunehmen, daß eine bestimmte Menge Wärme sich in eine bestimmte Menge mechanische Arbeit verwandelt, daß also Wärme und mechanische Arbeit etwas Gleichartiges sind. Der Satz vom ausgeschlossenen Perpetuum mobile auf alle Gebiete der Physik übertragen, besagt doch im Grunde, daß es sich immer nur um Umwandlungen, niemals aber um ursprüngliche Erzeugung von Arbeit handeln kann. Wenn Carnot diesen Schluß nicht zog, so ist dies eben ein Beweis dafür, daß das Erhaltungsgesetz der Energie und der Satz vom ausgeschlossenen Perpetuum mobile doch nicht identisch sind. Was ihn hinderte, den entsprechenden Schluß zu ziehen, war die seinerzeit herrschende Vorstellung von der Wärme. Er stand unter dem Banne der Wärmestofftheorie von Black. Während wir gegenwärtig die Wärme mechanisch als Bewegung auffassen, galt sie damals für einen allerdings gewichtslosen Stoff. Dieser wurde nach damaliger Auffassung den Körpern bei der Erwärmung zugeführt. In der Dampfmaschine fiel nun nach Carnots Meinung dieser Wärmestoff von einer höheren auf eine tiefere Temperatur, dabei eine Arbeit leistend, analog dem Wasser, das, von einem höheren auf ein tieferes Niveau fallend, Arbeit verrichten kann. Ein Stoff aber kann niemals verschwinden, kann sich seiner

Menge nach nicht ändern. Darum nahm Carnot an, daß aus der Dampfmaschine genau so viel Wärme herauskäme, als ihr zugeführt würde. Die Wärmemenge veränderte sich nach seiner Meinung bei dem Prozeß der Dampfmaschine ebensowenig wie die Wassermenge eines Wasserfalles. Ebensowenig wie sich Wasser in Arbeit verwandeln kann, ebensowenig konnte seiner Auffassung nach aus Wärme Arbeit entstehen. Daher lag ihm der Gedanke vollständig fern, Arbeit und Wärme als etwas Gleichartiges aufzufassen. Das war aber unbedingt notwendig zur Formulierung des Energiegesetzes. Energie ist der Oberbegriff für mechanische Arbeit und Wärme. Einen Oberbegriff aber kann man nur von gleichartigen Vorstellungen abstrahieren. Man kann nicht völlig disparate Vorstellungen, wie sie nach Carnots Ansicht Wärme und Arbeit sind, zur Einheit zusammenfassen.

Es ist bezeichnend, daß ein Nichtphysiker, der Arzt Robert Mayer, zuerst das Gleichartige sah, und in seiner gewaltigen Bedeutung klar erkannte. Er war nicht wie die Physiker vom Fach in der Wärmestofftheorie befangen, die hier offenbar einer Fortentwicklung der Wissenschaft hinderlich sein mußte. Erst als von den Vorstellungen der mechanischen Arbeit, der Wärme, des elektrischen Stromes ein gemeinsamer Oberbegriff gebildet wurde, konnte das Erhaltungsgesetz der Energie entstehen. Der Energiebegriff wurde von den einzelnen Erscheinungen losgelöst, wurde zur unfaßbaren Substanz, die in den verschiedenen Formen der mechanischen Bewegung der Wärme usw. in die Erscheinung tritt. So nahe sich also auch der Satz vom ausgeschlossenen Perpetuum mobile mit dem Erhaltungsgesetz der Energie berührt, er konnte aus ihm allein nicht entstehen, trotzdem er aus der Mechanik in andere Gebiete übertragen wurde. Es mußte noch dazu kommen eine schöpferische begriffliche Abstraktion, eine geniale vereinheitlichende Zusammenfassung von Erscheinungen, die man vorher für völlig unvergleichbar gehalten hatte. Dies zuerst mit dem vollen Bewußtsein der Bedeutung und Tragweite getan zu haben, ist das Verdienst Robert Meyers.

Das Erfassen der neuen Erkenntnis geschah bei Mayer intuitiv. Sie war nicht das Resultat mühsamer Untersuchungen, sondern zunächst ein geniales ahnendes Verstehen von Zusammenhängen, das ihm bald zu unumstößlicher Gewißheit wurde, und das bei seiner gewaltigen Bedeutung ihn mit prophetischem Geiste erfüllte.

Er selbst schildert das erste Auftreten der genialen Einsicht: „Die Theorie habe ich keineswegs am Schreibtisch ausgeheckt. Nachdem ich mich auf meiner Reise nach Ostindien eifrig und anhaltend mit der Physiologie des Blutes beschäftigt, gab mir die Beobachtung der veränderten somatischen Verhältnisse unsrer Schiffsmannschaft in den Tropen, der Akklimatisationsprozeß, wieder vielfachen Stoff zum Nachdenken; die Krankheitsformen und besonders auch die Beschaffenheit des Blutes lenkten meine Gedanken anhaltend in erster Linie auf die Erzeugung der animalischen Wärme durch den Respirationsprozeß. — Will man nun über physiologische Punkte klar werden, so ist Kenntnis physikalischer Vorgänge unerläßlich, wenn man es nicht vorzieht, von metaphysischer Seite her die Sache zu bearbeiten, was mich unendlich disgutiert, ich hielt mich also an die Physik und hing dem Gegenstande mit solcher Vorliebe nach, daß ich, worüber mich mancher auslachen mag, wenig nach dem fernen Weltteile fragte, sondern mich am liebsten an Bord aufhielt, wo ich unausgesetzt arbeiten konnte, und wo ich mich in manchen Stunden gleichsam inspiriert fühlte, wie ich mich zuvor oder später nie etwas Ähnlichem erinnern kann. Einige Gedankenblitze, die mich, es war auf der Reede von Surabaja, durchfuhren, wurden sofort emsig verfolgt und führten wieder auf neue Gegenstände. Jene Zeiten sind vorbei, aber die ruhige Prüfung dessen, was damals in mir auftauchte, hat mich gelehrt, daß es Wahrheit ist, die nicht nur subjektiv gefühlt, sondern auch objektiv bewiesen werden kann; ob dieses aber durch einen der Physik so wenig kundigen Mann geschehen könne, dies muß ich natürlich dahingestellt sein lassen. Kommen wird der Tag, das ist ganz gewiß, daß diese Wahrheiten Gemeingut der Wissenschaft werden; durch wen dies aber bewirkt wird und wann es geschieht, wer vermag das zu sagen?“

Übrigens war sich auch Mayer der Bedeutung des ausgeschlossenen Perpetuum mobile für seine Lehre bewußt. In einem Briefe von 1842 nennt er als Beweise für seine Behauptungen: „1. Die notwendige Konsequenz aus einfachen, nicht zu leugnenden Prinzipien. 2. Ein Beweis, der, für mich subjektiv, die absolute Wahrheit meiner Sätze dartut, ist ein negativer: es ist nämlich ein in der Wissenschaft allgemein angenommener Satz, daß die Konstruktion eines Mobile perpetuum eine theoretische Unmöglichkeit sei (d. h. wenn man von allen mechanischen Schwierigkeiten, wie

Reibung usw. abzieht, so bringt man es doch auch in Gedanken nicht hin), meine Behauptungen können aber alle als reine Konsequenzen aus diesem Unmöglichkeitssprinzip betrachtet werden; leugnet man mir einen Satz, so führe ich gleich ein Mobile perpetuum auf. 3. Ein dritter Beweis ist vor der Wissenschaft aus den Lehren der Experimentalphysik zu führen."

Mayer hat hier den Weg angedeutet, auf dem eine wissenschaftliche Begründung seiner Lehre möglich war, nämlich die Herleitung aus der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile und aus der Verallgemeinerung mechanischer Erfahrung. Beide Wege sind von Helmholtz beschritten worden.

Wie allgemein schon lange vor der Aufstellung des Energieprinzips die Überzeugung von der Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile war, wird besonders durch den Beschluß der französischen Akademie charakterisiert, die keine angeblichen Lösungen des Problems mehr annahm. Dadurch wurde dieses „in dieselbe Kategorie wie die Quadratur des Kreises gestellt“.

Das Energiegesetz hat den Satz vom ausgeschlossenen Perpetuum mobile zur Voraussetzung. Es ist zum Teil aus ihm erwachsen. Daher ist es auch mechanischen Ursprungs. Auf mechanischem Gebiete läßt sich an den einfachen Maschinen beweisen, daß es unmöglich ist, Arbeit aus nichts zu gewinnen oder aus begrenzten Arbeitsgrößen unbegrenzte entstehen zu lassen. Mit den mechanischen Vorstellungen wurde zugleich diese Erfahrung in andere Gebiete übertragen. Carnot nahm an, daß man auch mit Hilfe der Dampfmaschine kein Perpetuum mobile betreiben könnte. Infolge der Umwandlung verschiedener Naturerscheinungen ineinander kam es endlich zur Loslösung eines Einheitsbegriffs von den Erscheinungen und zur Formulierung des Satzes: Die Summe aller Energien bleibt konstant. Dieser alle Naturerscheinungen beherrschende Satz ruht demnach in seiner historischen Entwicklung auf mechanischer Grundlage.

Auch Helmholtz, der durch seine Arbeit von 1847 dem Energiegesetz seine zentrale Stellung in der Naturwissenschaft verschaffte, leitet es aus der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile her. „Denken wir uns ein System von Naturkörpern, welche in gewissen räumlichen Verhältnissen zueinander stehen, und unter dem Einflusse ihrer gegenseitigen Kräfte in Bewegung geraten, bis sie in be-

stimmte andere Lagen gekommen sind: so können wir ihre gewonnenen Geschwindigkeiten als eine gewisse mechanische Arbeit betrachten und in solche verwandeln. Wollen wir nun diese Kräfte zum zweitenmal wirksam werden lassen, um diese Arbeit noch einmal zu gewinnen, so müssen wir die Körper auf irgendeine Weise in die anfänglichen Bedingungen durch Anwendung anderer uns zu Gebote stehender Kräfte zurückversetzen; wir werden dazu also eine gewisse Arbeitsgröße der letzteren wieder verbrauchen. In diesem Falle fordert nun unser Prinzip, daß die Arbeitsgröße, welche gewonnen wird, wenn die Körper des Systems aus der Anfangslage in die zweite, und verloren wird, wenn sie aus der zweiten in die erste übergehen, stets dieselbe sei, welches auch die Art, der Weg oder die Geschwindigkeit dieses Überganges sein mögen. Denn wäre dieselbe auf irgendeinem Wege größer als auf dem andern, so würden wir den ersteren zur Gewinnung der Arbeit benutzen können, den zweiten zur Zurückführung, zu welcher wir einen Teil der soeben gewonnenen Arbeit verwenden könnten, und würden so ins Unbestimmte mechanische Kraft gewinnen, ein Perpetuum mobile gebaut haben, welches nicht nur sich selbst in Bewegung erhielte, sondern auch noch imstande wäre, nach außen Kraft abzugeben.“ Helmholtz hat außer der Deduktion des Energiegesetzes aus dem Prinzip des Perpetuum mobile eine davon unabhängige Herleitung der Konstanz der Energie versucht. Es ist bezeichnend, daß er dies von einer rein mechanischen Naturauffassung aus unternimmt. Während Mayer eine qualitative Verschiedenheit der einzelnen Energieformen annimmt, existieren für Helmholtz nur zwei Arten, die potentielle und die kinetische, die sich uns allerdings in verschiedener Weise bemerkbar machen können, erstere als elastische Spannung, als elektrisches Potential, als chemische Differenz, letztere als Licht, als Wärme, als elektrischer Strom, als sichtbare Bewegung. Dadurch wurde es möglich, das Erhaltungsgesetz, dessen Beweis auf mechanischem Gebiete möglich ist, auf die gesamte Physik auszudehnen.

Man kann natürlich mit Recht die Frage aufwerfen, ob es anständig ist, alle Erscheinungen als Bewegungen aufzufassen. Sicher ist es eine große Einseitigkeit der Auffassung, alle Vorgänge mechanisch zu deuten. Das kann aber der Physik nicht zum Vorwurf gemacht werden; denn es ist in der Disposition unseres Erkenntnis-

vermögens begründet. Wir können uns schlechterdings keine Naturvorgänge denken, die sich nicht im Raume vollziehen, also nicht als Bewegung und damit mechanisch gedeutet werden könnten. Die mechanischen Vorgänge sind die einzigen, die wir mit unserem Verstande in uns befriedigender Weise zu erfassen vermögen. Dies hat Huygens bereits im Jahre 1690 in seiner Abhandlung über das Licht völlig klar erkannt und ausgesprochen. In dieser berühmten Schrift, in der er Newton gegenüber das Licht für eine Wellenbewegung des Aethers erklärte, führt er aus: „Man darf nicht zweifeln, daß das Licht in der Bewegung eines gewissen Stoffes besteht. Denn betrachtet man seine Erzeugung, so findet man, daß hier auf der Erde hauptsächlich das Feuer und die Flamme dasselbe hervorruft, welche ohne Zweifel in rascher Bewegung befindliche Körper enthalten, da sie ja zahlreiche andere sehr feste Körper auflösen und schmelzen; oder betrachtet man seine Wirkungen, so sieht man, daß das etwa durch Hohlspiegel gesammelte Licht die Kraft hat, wie das Feuer zu erhitzen, d. h. die Teile der Körper zu trennen. Dies deutet sicherlich auf Bewegung hin, wenigstens in der wahren Philosophie, in welcher man die Ursachen aller natürlichen Wirkungen auf mechanische Gründe zurückführt. Dies muß man meiner Ansicht nach tun oder völlig auf jede Hoffnung verzichten, in der Physik jemals etwas zu begreifen.“

Aus dem Angeführten ist zur Genüge ersichtlich, welche außerordentliche Bedeutung die mechanische Auffassung für die Naturerkenntnis hat. Es ist nun ein häufig anzutreffender Irrtum, daß man mechanische Betrachtungsweise mit einer bestimmten Weltanschauung, nämlich dem Materialismus verwechselt. Dieser nimmt als Träger der Eigenschaften der Stoffe die Materie an, der Unvergänglichkeit zugeschrieben wird, und die allen Erscheinungen, auch den geistigen, zugrunde liegt. Der Umstand, daß der Materialismus allerdings die mechanische Betrachtungsweise benutzt, ist die Ursache, daß beide häufig für identisch angesehen werden. Das ist ein Irrtum; denn die mechanische Auffassung der Natur hat mit dem Begriff der Materie, wie er in der Weltanschauung des Materialismus auftritt, nichts zu tun. Die mechanische Betrachtungsweise existiert auch ohne Materialismus, ja sie zeigt sogar eine ihm feindliche Tendenz. Wenn aus ihr der Energiebegriff sich allmählich entwickelt hat, ja wenn aus ihr, wie Helmholtz ge-

zeigt hat, das Energiegesetz direkt hergeleitet werden kann, so hat dies mit Materialismus nichts zu tun. Der Energiebegriff, der hinter die Erscheinungen zurückweicht, und demnach sinnlich überhaupt nicht wahrgenommen werden kann, ist dem Materialismus wesensfremd. Die mechanische Betrachtungsweise ist wohl überhaupt weniger als eine Weltanschauung als vielmehr als eine Methode aufzufassen, die Naturerscheinungen verstandesmäßig zu durchdringen. Diese Stellung wird sie bei allem Wechsel der Weltanschauungen wohl immer behaupten, weil sie unserer sinnlichen und geistigen Disposition entspricht.

Man muß sich an den Gedanken gewöhnen, daß uns die Naturgesetze die Natur nicht etwa zeigen, wie sie an sich beschaffen sein mag, sondern nur wie sie uns erscheint. Sie alle kommen ja nicht allein durch Vorgänge der Außenwelt zustande, sondern durch das Zusammenwirken zweier Faktoren. Die Wechselbeziehungen zwischen Außenwelt und erkennendem Menschen ergeben die Naturgesetze. Diese richten sich ebensosehr nach dem menschlichen Erkenntnisvermögen als nach der Natur. Demnach müssen in den Naturgesetzen immer zugleich Denkgesetze enthalten sein. Die Frage, wie die Natur beschaffen sein mag unabhängig von unserem Erkennen, also die Frage nach der sogenannten absoluten Wahrheit ist, wenigstens in der Naturwissenschaft, völlig absurd; denn sie verlangt, daß wir uns die Natur vorstellen ohne unser Vorstellungsvermögen. Jedenfalls darf man annehmen, daß auch das Prinzip von der Erhaltung der Energie nicht allein in Vorgängen der Außenwelt begründet ist, sondern auch in unseren Denkmöglichkeiten, in unserer ganzen geistigen Verfassung.

Das Energiegesetz in der oben angeführten Form ist ein Erhaltungsgesetz. Es ist nicht das einzige in der Naturwissenschaft. Wir lernten außer ihm noch das Erhaltungsgesetz des Gewichts oder der Masse kennen. Außerdem gibt es noch Gesetze der Erhaltung von Bewegungsgrößen und von elektrischen Mengen. Daraus ist die umfassende Bedeutung des Erhaltungs- oder Konstanzgedankens ersichtlich. Dieser ist an und für sich nicht etwa erst ein Resultat moderner Naturwissenschaft, sondern taucht sehr früh auf als das Eigentum von Weltanschauungen, die sich mechanischer Betrachtungsweise bedienten. So ist in der Atomistik bereits der Konstanzgedanke enthalten, ja dieser ist sogar eine der Hauptwurzeln jener Weltanschauung. Im 5. Jahr-

hundert vor Christo entwickelte sich in Kleinasien die Weltanschauung der Eleaten, die sich besonders mit den Begriffen des Werdens, Seins und Vergehens beschäftigten. Sie kamen zu der Überzeugung, daß es ein Werden gar nicht geben könne, daß es ausgeschlossen sei, daß etwas entstehe, was nicht schon vorher vorhanden war. Ebenso leugneten sie, daß das Seiende vergehen könnte. Diese Ansicht suchten sie nicht etwa durch die Erfahrung zu belegen, sondern sie war ihnen Axiom, logische Forderung. Das Werden und Vergehen stellten sie als geradezu undenkbar hin. Diese philosophische Ansicht stand natürlich in striktem Gegensatz zu der Erfahrung, die uns ja auf Schritt und Tritt Werden und Vergehen zeigt. Werden, und Vergehen ist von Veränderung begleitet. Ihrer Überzeugung gemäß erklärten darum die Eleaten alle Veränderung für unwirklich, für Schein. Es ist offenbar der Erhaltungsgedanke, der sich dieser Philosophen mit elementarer Gewalt bemächtigt hatte und sie zu einem aller Erfahrung widersprechenden Resultat führte. Sie vertrauten ihrer inneren logischen Überzeugung mehr als den durch die Sinne vermittelten Wahrnehmungen. Es konnte natürlich nicht ausbleiben, daß man versuchte, unter Beibehaltung des Erhaltungsgedankens eine Weltanschauung zu konstruieren, die der Erfahrung mehr gerecht wurde. Einen solchen Versuch stellt eben die Atomistik dar. Sie sucht zu vermitteln zwischen der Unveränderlichkeit des Seins und der Erfahrung, die unaufhörlich Veränderung zeigt. Das geschieht durch die Annahme kleinster nicht weiter zerlegbarer Teilchen, der Atome. Ihnen wird die Unveränderlichkeit des Seins zugeschrieben. Die Veränderung besteht nur in der Verschiebung der Atome gegeneinander, also in der Veränderung der gegenseitigen Lage, im Wechsel der Gruppierung. So ist in der Atomistik bereits der Erhaltungsgedanke vorhanden. Die Atome und damit der Stoff, den sie bilden, ist unzerstörbar. Seine wissenschaftliche Krönung erfuhr dieser Erhaltungsgedanke durch die Versuche von Lavoisier, welcher zeigte, daß die durch das Gewicht gemessene Masse eines Systems von Stoffen durch chemische Prozesse nicht geändert wird. Wenn in der Gegenwart die Realität der Atome nachgewiesen wurde, so bedeutet dies zweifellos einen glänzenden Triumph menschlicher Spekulation. Es hat sich übrigens gezeigt, daß auch die Elektrizität atomistische Struktur besitzt. Bei verschiedenen elektrischen Vorgängen sind kleinste

untereinander gleiche Elektrizitätsmengen, die sogenannten Elektronen, festgestellt worden, die wie Atome einfach oder mehrfach vorkommen können, aber niemals stetige Übergänge zeigen. Es hat den Anschein, als ob diese Tatsachen uns nicht nur tiefere Einblicke in die Natur, sondern auch in unser eigenes Erkenntnisvermögen vermittelten.

Auch der Erhaltungsgedanke der Energie hat seine Wurzel bereits in der Atomistik. Wenn die Veränderungen, die wir mit unseren Sinnen wahrnehmen, durch Veränderungen in der Gruppierung der Atome entstehen, so müssen sich diese in Bewegung befinden. Alle Veränderungen beruhen auf Bewegungsänderungen der Atome. Eine Neuschöpfung von Bewegung ist nun ebenso undenkbar wie eine Neuschöpfung von Stoff. Demnach muß auch die Menge der Bewegung unverändert bleiben. Tatsächlich findet sich der Erhaltungsgedanke auch in seiner Anwendung auf Bewegung und Bewegungsursachen. Schon Kepler stieß bei der Erforschung der Planetenbewegung auf dieses Problem. Descartes und Leibniz hatten die Überzeugung von der Erhaltung bewegender Kräfte. Die Ursache aller Bewegung und Wirkung muß nach ihnen unverändert erhalten bleiben, muß unzerstörbar sein. Während bei Leibniz es besonders die Äquivalenz von Ursache und Wirkung ist, die ihn zu der Annahme nötigt, daß bei Ablauf des Weltprozesses eine unveränderliche Größe vorhanden sein müsse, gründet Descartes sein Erhaltungsgesetz auch auf religiöse Vorstellungen, nämlich auf die Ewigkeit und Unveränderlichkeit des Schöpfers. Während so beide die Überzeugung von einem Erhaltungsgesetz besaßen, waren sie jedoch darüber verschiedener Meinung, wie die konstant bleibende Größe zu messen sei. Descartes bestimmte als Maß das Produkt $m \cdot v$, Leibniz $m \cdot v^2$. Dieser Unterschied ist hauptsächlich auf die Verschiedenheit des Kraftbegriffs bei beiden zurückzuführen. Es entstand über das Maß der Kraft ein heftiger Streit. Kant noch schrieb 1747 eine Schrift „Gedanken über das wahre Maß der lebendigen Kräfte“. In dem Streit über das Maß der Kraft trat der Erhaltungsgedanke, der ursprünglich das Wesentliche gewesen war, vollständig zurück, so daß das moderne Energiegesetz sich nicht direkt aus den Anschauungen der beiden Philosophen entwickelt hat. Daß dies gleichwohl möglich gewesen wäre, zeigte Helmholtz, als er in seiner Begründung des Energiegesetzes dieses, vollständig auf mechanischer

Anschauung fußend, als eine Verallgemeinerung des Satzes von der Erhaltung der Leibnizschen „lebendigen Kraft“ auffaßte. Diese Betrachtungen zeigen, daß die Wurzeln des Energiegesetzes, das jetzt wissenschaftlich geklärt vor uns steht, zeitlich weit zurückreichen und tief in verschiedene Wertgebiete des menschlichen Geistes schlagen.

Gegenwärtig erscheint das Erhaltungsgesetz der Energie leicht als etwas Selbstverständliches, ähnlich wie auch das Erhaltungsgesetz der Masse. Das liegt natürlich daran, daß wir in den Anschauungen der beiden Gesetze aufwachsen, daß der naturwissenschaftliche Unterricht auf sie zugeschnitten ist. Das hat leider häufig im Gefolge, daß die großen Zusammenhänge der Naturvorgänge, die durch den Energiebegriff zur Einheit zusammengefaßt werden, nicht die Beachtung und Bewunderung hervorrufen, die großen Wahrheiten gebührt und die gerade die Beschäftigung mit den Naturwissenschaften so anziehend gestalten. Die Größe und Ursprünglichkeit solcher Auffassungen, welche solchen uns allmählich in Fleisch und Blut übergegangenen Gesetzen zugrunde liegen, kann Epigonen nicht besser zum Bewußtsein gebracht werden, als durch historische Betrachtung. So wird uns der Umschwung und die Förderung, welche die Naturwissenschaft durch das Energiegesetz erfahren hat, wohl am besten klar, wenn wir erfahren, daß es anfangs so neu und fremdartig erschien, daß es von der Naturwissenschaft zunächst abgelehnt wurde. Robert Mayers Arbeit fand keine Aufnahme in Pogendorffs Annalen. Sie erschien in den von Liebig herausgegebenen Annalen der Chemie und Pharmazie. Auch Helmholtz mußte ähnliche Erfahrungen machen. Er sagt 1881 in einem Zusatz zu seiner Arbeit von 1847: „Ich war nachher einigermaßen erstaunt über den Widerstand, dem ich in den Kreisen der Sachverständigen begegnete; die Aufnahme meiner Arbeit in Pogendorffs Annalen wurde mir verweigert, und unter den Mitgliedern der Berliner Akademie war es nur C. G. J. Jacobi, der Mathematiker, der sich meiner annahm. Ruhm und äußere Förderung war in jenen Zeiten mit der neuen Überzeugung noch nicht zu gewinnen; eher das Gegenteil.“ Alle neuen Auffassungen von Erscheinungen, deren Erklärung man bereits gefunden zu haben glaubt, müssen zunächst auf Widerstand stoßen. Dieser wird um so größer sein, je eigenartiger und umfassender der neue Gesichtspunkt ist, je mehr Anforderungen er an das Umdenken geläufig

gewordener Vorstellungsverbindungen richtet, je mehr alte vertraute Theorien er umwirft. Eins der großartigsten Beispiele hierfür ist wohl das kopernikanische Weltssystem. Heute hält es fast jedes Kind für selbstverständlich, daß sich die Erde um die Sonne dreht. Die Großartigkeit und Kühnheit der ursprünglichen Auffassung wird uns erst klar, wenn wir den gewaltigen Kampf betrachten, den die neue Lehre hervorrief, wenn wir erfahren, daß selbst ein Tycho Brahe sich nicht von ihrer Richtigkeit überzeugen konnte.

Fünftes Kapitel.

Die Bewegung der Energie.

Das Prinzip von der Erhaltung der Energie ist das allgemeinste der Erhaltungsgesetze. Es gibt keinen Vorgang, auf den es nicht anwendbar wäre. Auf einen besonderen Vorzug bei seiner Anwendung wurde schon aufmerksam gemacht. Es kann die Einzelvorgänge, aus denen man sich einen Prozeß zusammengesetzt denkt, umgehen, braucht nur Anfangs- und Endzustand zu berücksichtigen. Dieser Vorteil ist aber auch zugleich mit einem Nachteil verbunden, den das Erhaltungsgesetz der Energie mit allen Erhaltungsgesetzen gemein hat. Es gibt nämlich überhaupt keinen Aufschluß über die Vorgänge selbst. Ob in einem gegebenen System überhaupt ein Vorgang stattfinden wird, können wir aus ihm nicht ersehen. Eben-
sowenig gibt es natürlich eine Antwort auf die Frage, welcher Art die eintretenden Vorgänge sein werden, in welcher Richtung sich ihr Ablauf vollziehen wird. Mit dem Erhaltungsgesetz der Masse verhält es sich ganz ähnlich. Es sagt nur aus, daß in einem geschlossenen System eine Änderung des Gewichts und damit der Masse nicht eintritt, wenn sich chemische Prozesse vollziehen würden. Ob solche überhaupt stattfinden werden, darüber erfahren wir von ihm nichts. Noch viel weniger natürlich können wir aus ihm in irgendeiner Weise auf die Art der Prozesse Schlüsse ziehen. Die Erhaltungsgesetze geben für Prozesse nur bestimmte Rahmen, in denen sie sich vollziehen müssen. Das Ob und das Wie lassen sie vollständig unerledigt. Das ist aber ein Mangel von fundamentaler Bedeutung. Das Energiegesetz in der bisher entwickelten Form läßt zwar eine einheitliche Auffassung der Naturvorgänge zu, gibt uns aber kein Mittel in die Hand, sie auszunutzen oder gar zu beherrschen.

Von einer Herrschaft des Menschen über die Natur kann nur dann die Rede sein, wenn er weiß, welche Vorgänge unter bestimmten Bedingungen eintreten werden, und wenn er diese, wenigstens teilweise, willkürlich herbeizuführen vermag. Dieser große Mangel der Erhaltungsgesetze, ihre Inhaltslosigkeit in dem eben angeführten Sinne, wird allerdings bei der Anwendung des Energiegesetzes häufig nicht empfunden. Das rührt daher, daß wir in der Mechanik über die Bedingungen und Richtungen eintretender Bewegungen von vornherein orientiert zu sein pflegen. Wir wissen z. B., unter welchen Bedingungen ein Körper fällt, wissen, welche Richtung er beim freien Fall oder beim Fall auf der schiefen Ebene einschlagen muß. Es ist aber zu bedenken, daß dieses Wissen mit dem Energiegesetz nichts zu tun hat, sondern ganz anderen Quellen entstammt. Außerhalb der Mechanik tritt der Mangel des Energiegesetzes als eines Erhaltungsgesetzes ebenfalls deutlich zutage. Jedenfalls ist ersichtlich, daß ein bloßes Erhaltungsgesetz uns keine fruchtbare Naturauffassung, geschweige denn eine Weltanschauung vermitteln kann. Das Erhaltungsgesetz der Energie erfordert demnach notwendigerweise eine Ergänzung, ein Prinzip, das Aufschluß gibt über das Eintreten und den Verlauf von Transformationen der Energieformen. Dem Erhaltungsgesetz muß ein Entwicklungsprinzip an die Seite treten, wenn es geeignet sein soll, die Grundlage unserer Naturauffassung zu werden, ein Entwicklungsprinzip, das uns Aufschluß gibt über eine gewisse Tendenz, die bei der Umwandlung der Energieformen besteht. Wir müssen, wenn wir uns der mechanischen Auffassung im Ausdruck bedienen, im voraus wissen, ob und in welcher Richtung sich die Bewegung der Energie unter bestimmten Bedingungen vollziehen wird.

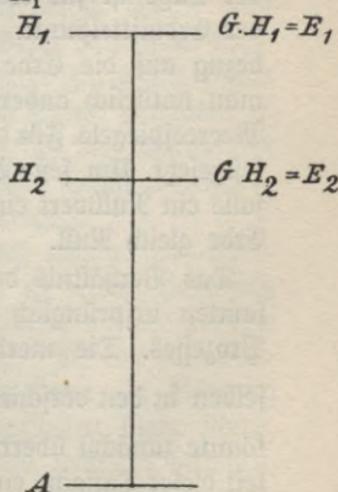
Die Erkenntnis der Mängel kann leicht zu einer Unterschätzung der Bedeutung der Erhaltungsgesetze führen. Man könnte glauben, die Erhaltungsgesetze seien nur die Zusammenfassung der auf verschiedenen Wegen gemachten Erfahrungen, jedoch keineswegs geeignet, neue Erkenntnisse zu vermitteln, neue Fingerzeige zu Entdeckungen zu geben. Es kann leicht die Ansicht entstehen, die Erhaltungsgesetze seien nur ein Abschluß, jedoch kein Mittel der Forschung. Das ist durchaus nicht der Fall. Das Erhaltungsgesetz der Masse z. B. hat der chemischen Forschung unschätzbare Dienste geleistet. Es hat die Chemie erst zur Wissenschaft gemacht.

Mit seiner Aufstellung durch Lavoisier begann die Herrschaft der Waage in der Chemie, begannen die genauen quantitativen Messungen durch Gewichtsbestimmungen. Die sogenannte quantitative Analyse, d. h. die Gewichtsbestimmungen der Bestandteile chemischer Verbindungen, gründet sich völlig auf das Erhaltungsgesetz der Masse. Die Summe der Gewichte der einzelnen Bestandteile muß gleich sein dem Gewichte der Verbindung. Die Übereinstimmung der beiden Größen bildet die Kontrolle der Analyse. In welcher Weise dieser Umstand und damit das Erhaltungsgesetz der Masse neue Entdeckungen veranlassen kann, hat sich in neuerer Zeit erst wieder gezeigt. Man hatte das Verbindungsgewicht des Stickstoffs aus verschiedenen chemischen Verbindungen desselben auf das genaueste bestimmt. Als man dann die atmosphärische Luft genauen quantitativen Analysen unterwarf, stimmte die durch das Erhaltungsgesetz gegebene Kontrolle nicht. Es zeigte sich nämlich, daß der aus der atmosphärischen Luft gewonnene Stickstoff stets schwerer war als der aus den chemischen Verbindungen dargestellte. Daraus mußte der Schluß gezogen werden, daß sich in der atmosphärischen Luft uns noch unbekannte Stoffe befinden. So führte das Erhaltungsgesetz der Masse zur Entdeckung der in der Luft enthaltenen sogenannten Edelgase Helium, Argon, Krypton, Neon und Xenon. Die Erhaltungsgesetze bilden also keineswegs nur den Abschluß, die Krönung der Forschung, sondern sind selbst unentbehrliche Mittel und Werkzeuge derselben, geeignet, Wege zu neuen Erkenntnissen zu zeigen. Ihr Mangel aber ist, daß sie uns keinen Aufschluß über das Eintreten und die Art des Geschehens geben.

Eine wichtige Bedingung für alles Geschehen ist im vorausgehenden schon häufig gestreift worden. Eine Bewegung der Energie tritt nämlich nur dann ein, wenn eine sogenannte Potentialdifferenz vorhanden ist. Bei dem fallenden Wasser besteht diese in einer Höhendifferenz. Eine Umformung von potentieller Energie gehobenen Wassers in kinetische, aus der Arbeit gewonnen werden kann, findet nur statt, wenn das Wasser von einem höheren auf ein tieferes Niveau fallen kann. Die Energie gehobenen Wassers mag an sich noch so groß sein, wenn nicht ein tieferes Niveau vorhanden ist, ist es unmöglich, kinetische Energie und damit mechanische Arbeit aus ihr zu gewinnen.

Es besteht nun offenbar ein bestimmter Zusammenhang zwischen Arbeitsmöglichkeit und Höhenunterschied. Nehmen wir an, ein Gewicht G würde von dem Niveau A auf die Höhe H_1 gehoben. Dazu ist eine Arbeit erforderlich, die gleich ist dem Produkt aus Kraft und Weg. Sie beträgt $G \cdot H_1$ (mkg). Diese Arbeit ist in der Höhe H_1 in Gestalt von potentieller Energie vorhanden. Wir führen für sie den Ausdruck E_1 ein, so daß also $E_1 = G \cdot H_1$. Das Gewicht G falle nun von der Höhe H_1 herab bis zur Höhe H_2 . In dieser Lage ist die noch vorhandene potentielle Energie geringer. Sie beträgt nur noch $G \cdot H_2$. Wir bezeichnen diese entsprechend mit E_2 , so daß also $E_2 = G \cdot H_2$. Bildet man das Verhältnis $E_1 : E_2 = G \cdot H_1 : G \cdot H_2 = H_1 : H_2$, so erkennt man, daß die Größen der potentiellen Energie in Höhe H_1 und H_2 sich verhalten wie die Höhen selbst. Die potentielle Energie, die beim Falle von H_1 nach H_2 verschwindet, verwandelt sich in kinetische Energie, und diese kann zur Arbeitsleistung benutzt werden. Die gewonnene Arbeit kann man ausdrücken durch die ursprünglich vorhandene potentielle Energie E_1 und die noch vorhandene E_2 . Sie ist offenbar gleich der Differenz $E_1 - E_2$. Es ist nun wichtig, den Ausdruck zu bilden für das Verhältnis der geleisteten Arbeit zur ursprünglich im System vorhandenen Gesamtenergie: $\frac{E_1 - E_2}{E_1}$. Setzen wir dafür die entsprechenden Produkte, so folgt: $\frac{E_1 - E_2}{E_1} = \frac{H_1 - H_2}{H_1}$. Nennen wir die Höhe H_1 die absolute Höhe, so ergibt sich: Die in Arbeit umgesetzte Energie verhält sich zu der Gesamtenergie wie die Höhendifferenz zur absoluten Höhe.

Diesem Ausdrucke kommt eine allgemeine Bedeutung zu. Er gilt nämlich in Folge der mechanischen Auffassung für alle Energieformen. Denken wir uns eine bestimmte Menge eines Gases bei bestimmter Temperatur T_1 . Ihm wohnt eine bestimmte Energie inne. Wir schreiben ja den Gasmolekülen mechanische Energie zu. Die Energie eines Gases ist gleich Null, wenn seine Moleküle weder potentielle noch kinetische Energie besitzen. Das würde,



wie wir oben sahen, im absoluten Nullpunkt der Fall sein. Er entspricht einer Temperatur von -273° C, so daß also der Nullpunkt des Thermometers 273° absoluter Temperatur bedeutet. Die folgenden Temperaturangaben beziehen sich auf den absoluten Nullpunkt. Die Gasmenge von der Temperatur T_1 besitzt Energie ähnlich wie ein gehobener Körper. Ganz analog wird sich die Größe richten nach der Menge des Gases und nach der Höhe der Temperatur. Ein Gas kann nun durch Ausdehnung eine Arbeit leisten. Dabei tritt eine Abkühlung ein. Die Temperatur sei nach der Arbeitsleistung T_2 . Das Gas fällt demnach von einer höheren auf eine tiefere Temperatur wie ein fallender Körper von einem höheren auf ein tieferes Niveau. In derselben Weise wie bei letzterem läßt sich zeigen, daß die in Arbeit verwandelte Energiemenge eines Gases sich zur gesamten in ihm enthaltenen Energie verhält wie die Temperaturdifferenz zur ursprünglichen absoluten Temperatur.

$$\frac{E_1 - E_2}{E_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

In ähnlicher Weise läßt sich auch die Formel für die Arbeit einer elektrischen Menge ableiten, die von dem Potential P_1 auf das Potential P_2 fällt. Das Verhältnis der abgegebenen Energie zur ursprünglich vorhandenen ist $\frac{P_1 - P_2}{P_1}$.

Um Energiemengen messen zu können, ist immer die Bestimmung eines tiefsten Niveaus, eines Nullwertes notwendig. Bei der Energie der Lage ist für Körper auf der Erde der eigentliche Nullpunkt der Erdmittelpunkt. Hier ist offenbar keine potentielle Energie in bezug auf die Erde vorhanden. Aus praktischen Gründen wird man natürlich andere Nullpunkte annehmen, z. B. die Höhe des Meeresspiegels. Für die Wärmeenergie ist der Nullpunkt auf -273° C festgesetzt. Um feste Werte für das Potential zu erhalten, muß ebenfalls ein Nullwert eingeführt werden. Man setzt das Potential der Erde gleich Null.

Das Verhältnis der in Arbeit umgewandelten Energie zur gesamten ursprünglich vorhandenen nennt man den Nutzeffekt des Prozesses. Die merkwürdige Übereinstimmung der Formeln derselben in den verschiedenen Gebieten $\left(\frac{H_1 - H_2}{H_1}, \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \frac{P_1 - P_2}{P_1}\right)$ könnte zunächst überraschen. Man sieht aber sofort die Notwendigkeit dieser Tatsache ein, wenn man bedenkt, daß Wärme und Poten-

tial mechanische Begriffe geworden sind. Begriffe, die erst mit Hilfe der Mechanik gebildet wurden, müssen auch mechanischen Gesetzen gehorchen.

Was besagt nun das Gefundene über die Bewegung der Energie? Alle Energieformen lassen sich als Produkt darstellen. So ist die potentielle Energie das Produkt aus Gewicht und Höhe, die elektrische Energie das Produkt aus Spannung und elektrischer Menge. Wovon ist das Eintreten eines Vorganges abhängig? Offenbar nicht von der Größe des Gewichts, nicht von der Größe der elektrischen Mengen. Wenn ich zwei elektrisch geladene Körper von gleicher Spannung leitend verbinde, so wird kein Vorgang eintreten, auch wenn die elektrischen Mengen, die Ladungen, verschieden sind. Das Eintreten eines Vorganges ist abhängig von den Größen, die wir Höhe, Spannung, Temperatur nennen. Man hat diese Werte mit dem gemeinsamen Begriffe „Intensitäten“ bezeichnet. Von ihnen ist das Geschehen abhängig, nicht von den anderen Faktoren, die man unter den Begriff der „Quantität“ gebracht hat. Wenn etwas geschehen soll, so müssen Intensitätsunterschiede vorhanden sein. Jede Energieform hat das Bestreben, von Stellen höherer Intensität zu Stellen niederer Intensität überzugehen. Wenn sie diesem Streben folgen kann, entsteht ein Vorgang. Besitzt ein Körper Energie von bestimmter Intensität, so kann ein Vorgang nur dann stattfinden, wenn noch ein Körper vorhanden ist, der Energie anderer Intensität besitzt. Dann geht Energie von der Stelle höherer zur Stelle niederer Intensität über. Das Umgekehrte, der Übergang zu Stellen höherer Intensität, findet nie von selbst statt. Die Wärmemenge, die im Ozean enthalten ist und in Kalorien auszudrücken wäre, ist sicherlich von ungeheurer Größe, und doch vermag man mit ihr kein einziges Schiff zu treiben, weil sie nicht auf die Maschinen desselben übergeht.

Die Beziehung zwischen zwei Körpern, nach welcher ein Übergang der Energie höherer Intensität möglich ist, nennt Helmholtz „Koppelung“. „Wir haben gar kein anderes Mittel, auf die Energie eines Körpers zu wirken, als durch Koppelung.“ Da wir alle Vorgänge als Bewegung auffassen, so wird also dann ein Vorgang eintreten können, wenn Bewegungsenergie entstehen kann. Ruhe, Gleichgewicht wird dann in einem System von Körpern bestehen, wenn bei keiner möglichen Änderung Bewegungsenergie gebildet wird.

Wenn alle Vorgänge Intensitätsunterschiede zur Voraussetzung haben, so können auch unsere Empfindungen und Wahrnehmungen, die durch Einwirkung der Außenwelt zustande kommen, nur dadurch entstehen, daß zwischen unserem Körper und seiner Umgebung Intensitätsunterschiede bestehen. Ein Nervenreiz, durch den eine Empfindung ausgelöst wird, kommt dadurch zustande, daß unser Körper mit einem Körper anderer Intensität gekoppelt wird, so daß eine Intensitätsänderung vor sich geht.

Der gewöhnliche Fall ist der, daß unser Körper die Stelle niederer Intensität darstellt, so daß Energie aus der Umgebung auf ihn übergeht, wie das beispielsweise bei der Lichtempfindung der Fall ist. Das Umgekehrte ist jedoch nicht unmöglich. So geht bei der Kälteempfindung Wärme von unserem Körper auf den berührten Körper niederer Temperatur über.

Der Umstand, daß bei einem Prozeß die Menge der zur Arbeitsleistung frei werdenden Energie von einem Intensitätsunterschiede abhängig ist, führt zum Nutzeffekt des Prozesses. Dieser ist bei der Dampfmaschine von besonderem Interesse. Die Arbeitsleistung derselben kommt dadurch zustande, daß der Dampf des Kessels sich im Zylinder ausdehnt und den Kolben in Bewegung setzt. Dabei kühlt er sich ab. Der abgekühlte Dampf wird dann im Kondensator verdichtet. Die Verbindung des Kessels mit dem Kondensator ist eine Koppelung. Der Dampf geht von der höheren Intensität des Kessels zur niederen des Kondensators über, wobei Energie frei wird, die zur Arbeitsleistung benutzt werden kann. Der Nutzeffekt richtet sich nach dem Temperaturunterschied zwischen Kessel und Kondensator. Bei einem Kessel von 10 Atmosphären Spannung beträgt die Temperatur 180°C , also 453° in absoluter Temperatur. Nehmen wir die Temperatur des Kondensators zu 50° an, so beträgt der Temperaturunterschied 130° . Der Nutzeffekt ist dann $\frac{130}{453} = 0,29$. Das bedeutet, daß von der gesamten Energie des Dampfes höchstens 29 % in Arbeit umgewandelt werden können. Die Energie des Dampfes stammt aus der Kohle. Von der Energie, die bei der Verbrennung derselben frei wird, können demnach in der Dampfmaschine höchstens 29 % ausgenutzt werden, vorausgesetzt, daß alle Verbrennungswärme dem Dampfe zugeführt wird. Dies ist aber nicht der Fall. Zunächst gehen in der Feuerungs-

anlage die Wärmemengen verloren, die nicht an den Kessel abgegeben werden. Dann besteht zwischen Feuerung und Kessel ein bedeutender Temperaturunterschied, da die Verbrennungswärme der Kohle höher ist als die Kesseltemperatur. Diese Intensitätsdifferenz, die an und für sich eine Arbeitsmöglichkeit darstellt, wird in der Dampfmaschine zur Arbeitsleistung überhaupt nicht benutzt. So kommt es, daß auch die besten Dampfmaschinen die Verbrennungsenergie der Kohle höchstens bis zu etwa 16 % in mechanische Arbeit zu verwandeln imstande sind.

Die Energieverluste bei der Dampfmaschine entstehen dadurch, daß der Brennstoff den Kessel von außen heizt. Es gibt Warmmaschinen, die diese Verluste vermeiden. Bei ihnen wird der Brennstoff im Zylinder verbrannt. Hierher gehört der Gasmotor. Bei ihm wird durch den sich bewegenden Kolben eine explosive Mischung von Luft und Gas in den Zylinder eingesaugt. Dann wird die Verbindung des Zylinders mit Gasometer und Luft aufgehoben und es folgt durch den elektrischen Funken die Zündung und die Explosion. Es entstehen Verbrennungsgase, die infolge ihrer Menge und ihrer Temperatur den Kolben bewegen und mechanische Arbeit verrichten. Da die Verbrennung sich im Zylinder selbst vollzieht, so geht fast keine Wärme verloren. Daher arbeiten diese Motoren mit bedeutend größerem Nutzeffekt als die Dampfmaschinen. Er nähert sich bei ihnen dem höchsten überhaupt erreichbaren Werte, der durch die Formel $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ ausgedrückt wird. Der Gasmotor besitzt noch einen anderen wichtigen Vorteil vor der Dampfmaschine, und zwar in dem Verhältnis des Effekts zum Gewicht; da bei ihm Heiz- und Kesselanlagen wegfallen, ist sein Gewicht viel geringer als das einer Dampfmaschine gleicher Leistung. Durch die Automobilindustrie wurde dieses mehr und mehr vermindert, so daß schließlich die Leistung ausreichte, die Schwere durch Propeller in der Luft zu überwinden. Damit war die Möglichkeit der Konstruktion einer Flugmaschine geschaffen, bei deren Motoren das Gewicht bis unter 1 kg pro Pferdestärke herabgedrückt worden ist.

Der Übergang der Energie von Stellen höherer zu Stellen niederer Intensität kann verschiedener Art sein. Beim Fallen des Wassers von einer größeren zu einer geringeren Höhe, beim Fallen einer Elektrizitätsmenge von einem höheren auf ein tieferes Poten-

tial sprechen wir von einem „Strömen“. Von besonderem Interesse ist der Energieübergang durch Strahlung. Diese ist nicht einer besonderen Energieform eigentümlich; denn es gibt Schallstrahlen, Lichtstrahlen, Wärmestrahlen, die moderne Technik hat sich in der drahtlosen Telegraphie auch die elektrische Strahlung dienstbar gemacht. Am leichtesten zu erfassen ist das Zustandekommen des Schalles. Er wird erregt durch einen schwingenden Körper, dessen Schwingungen man mit Auge und Tastsinn wahrnehmen kann. Seine Schwingungen übertragen sich auf den Körper, der sich zwischen ihm und unserem Ohr befindet, also gewöhnlich auf Luft. Es entstehen Schallwellen, die aus aufeinanderfolgenden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft bestehen und durch mechanische Wirkungen ebenfalls sichtbar gemacht werden können. Die Schallererschütterung wird durch Trommelfell, Gehörknöchel und Gehörwasser mechanisch auf die Nervenenden übertragen. Daß wirklich die Luft der Träger des Schalles ist, kann man durch ein einfaches Experiment zeigen. Wenn man einen tönenden Körper unter den Rezipienten der Luftpumpe bringt, so verringert sich die Schallstärke in dem Maße, wie die Luft verdünnt wird, bis schließlich die Schallerscheinung ganz verschwindet, obgleich der Körper noch in der alten Weise schwingt. Dieser Versuch zeigt nicht nur, daß die Luft es ist, durch welche der Schall sich fortpflanzt, sondern auch, daß die Luft nicht Träger der Lichtstrahlung sein kann, da Licht durch den luftleeren Rezipienten nach wie vor hindurchgeht. Die Lichtstrahlung ist demnach nicht sinnenfällig mechanisch wie die Schallstrahlung, zumal man ja auch die Schwingungen eines leuchtenden Körpers nicht wahrnehmen kann. Gleichwohl hat die Lichtstrahlung und mit ihr die Strahlung der Wärme und Elektrizität durch die Wellentheorie von Huygens eine völlig mechanische Deutung erfahren. Das Mittel, die Lichterscheinung zu begreifen, ist ihm die Schallererscheinung, die sich nach Erregung, Fortpflanzung und Einwirkung auf die Nerven vollkommen klar und anschaulich zeigt. „Die Kenntnis, welche wir von der Fortpflanzung des Schalles in der Luft besitzen, kann uns dazu führen, sie (die Eigenschaften des Lichts) zu verstehen.“ Wir haben hier wieder ein Beispiel von der Auffassung einer Naturerscheinung durch mechanische Analogie vor uns. Wie man die Erscheinung der „strömenden“ Elektrizität mit Hilfe der Vorstellung vom strömenden Wasser erfaßte,

so macht sich Huygens die Lichterscheinung mit Hilfe der mechanisch deutlichen Schallerscheinung klar. Allerdings erfordert das einige Hypothesen. Zunächst muß angenommen werden, daß die Moleküle oder Atome leuchtender Körper sich in sehr schneller Schwingung befinden, dann aber auch, daß ein Stoff vorhanden ist, der die Schwingungen fortpflanzt und der allerdings sinnlich nicht wahrgenommen werden kann. Das ist der hypothetische Äther. Wir erkennen wieder die Tendenz, eine Erscheinung mechanisch vorstellbar zu machen, um ihr eine unsern Verstand befriedigende Erklärung geben zu können. So wird die Strahlung des Lichts, der Wärme und der Elektrizität als kinetische Energie aufgefaßt. Ein schwingendes Ätherteilchen besitzt ja infolge seiner Masse und seiner Geschwindigkeit Energie der Bewegung.

Danach wird die gesamte durch Strahlung der Sonne an die Erde abgegebene Wärmeenergie geliefert durch die Bewegungsenergie der schwingenden Ätherteilchen. An den Körpersystemen der Erde wird durch die Sonnenstrahlung fortwährend Arbeit geleistet, die von neuem Intensitätsunterschiede und damit Möglichkeiten des Geschehens schafft. Man hat die Frage aufgestellt, wie es möglich ist, daß die Sonne unaufhörlich und scheinbar unerschöpflich nach irdischen Maßen so gewaltige Energiemengen ausgeben kann. Helmholtz beantwortet die Frage mit der Annahme, daß die verloren gehende Wärme durch fortdauernde Verdichtung des Sonnenkörpers wieder ersetzt werde. Nach seinen Berechnungen müßte sich in 2289 Jahren der Sonnendurchmesser um den zehntausendsten Teil seiner gegenwärtigen Größe verringern, wenn dadurch alle abgegebene Wärme ersetzt werden sollte. William Thomson sucht den Ersatz der Sonnenwärme durch kosmische Massen zu erklären, die in den Sonnenkörper stürzen und dabei Wärme entwickeln. Er hat berechnet, daß, wenn dadurch die Wärmeausgabe gedeckt würde, der Durchmesser der Sonne in 4000 Jahren um $\frac{1}{10}$ Bogensekunde zunehmen müßte. Eine neue Erklärungsmöglichkeit der Sonnenstrahlung bieten gegenwärtig die Eigenschaften des Radiums.

Das Vorhandensein von Intensitätsunterschieden ist zwar eine notwendige Bedingung für das Zustandekommen eines Vorganges, aber nicht die einzige. Von einem Vorgange kann man stets auf eine Intensitätsdifferenz schließen, aus dem Vorhandensein der

letzteren folgt aber nicht die Notwendigkeit des ersteren. Denken wir uns einen Körper in einer gewissen Höhe über der Erdoberfläche auf einer festen Unterlage. Er fällt nicht trotz des Intensitätsunterschiedes, der zwischen seiner Höhe und der Erdoberfläche besteht. Er drückt auf seine Unterlage und wird sie in gewissem Grade nach unten biegen. Dieser Durchbiegung setzt die Unterlage Widerstand entgegen, indem sie einen Druck nach oben ausübt. Es entsteht in der Unterlage ebenfalls eine Intensitätsdifferenz. Die gedrückte Stelle hat das Bestreben, aus der gegenwärtigen Lage als aus der Stelle höherer Intensität in die frühere Stelle niederer Intensität zurückzukehren. Die Richtungen der beiden Differenzen sind entgegengesetzt. Der Körper drückt seine Unterlage offenbar so weit nach unten, bis das Streben derselben, in die ursprüngliche Lage überzugehen, gleich geworden ist dem Streben des Körpers nach Übergang zu Stellen niederer Intensität. Dann tritt Gleichgewicht ein. Die Intensitätsdifferenz, die in der Höhenlage über der Erdoberfläche begründet ist, ist durch eine andere unwirksam gemacht, kompensiert worden. Solche Kompensationen sind sehr häufig. Durch sie ist es möglich, Intensitätsdifferenzen aufzubewahren, d. h. den Übergang der Energieformen von Stellen höherer zu Stellen niederer Intensität zu verhindern. In einem geöffneten Akkumulator z. B. besteht zwischen der Bleiplatte und der Schwefelsäure wie auch zwischen der Bleisuperoxydplatte und der Schwefelsäure eine Intensitätsdifferenz, nach der sich ein chemischer Vorgang vollziehen müßte. Es müßte sich nämlich Bleisulfat bilden. Das geschieht jedoch nicht, weil zwischen Platten und Säure infolge der chemischen Prozesse elektrische Intensitätsdifferenzen entstehen, die den chemischen entgegenwirken, sie kompensieren. Erst wenn der Akkumulator geschlossen wird, wodurch die elektrischen Spannungen zwischen Platten und Säure beseitigt werden, kann der chemische Prozeß ablaufen.

Außer dem Vorhandensein der Intensitätsbildung muß demnach noch eine Bedingung erfüllt sein, wenn ein Vorgang, ein Geschehen eintreten soll. Die Stelle höherer Intensität muß mit derjenigen von niederer Intensität so verbunden werden, daß ein Übergang der Energie wirklich stattfinden kann. Die Herstellung dieser Möglichkeit nennt man Auslösung. Zwischen zwei elektrisch geladenen Körpern von verschiedenem Potential kann die Auslösung durch

einen beide berührenden Draht erfolgen. Die beiden Körper sind dann im Helmholtz'schen Sinne gekoppelt. Potentielle Energie gehobenen Wassers kann ausgelöst werden durch Ziehen der Schütze. Bei chemischen Intensitätsdifferenzen kann Temperaturerhöhung auslösend wirken. So werden die chemischen Prozesse bei Sprengstoffen durch Zündung zum Ablauf gebracht. Die Auslösung ist nicht als Ursache des Vorganges zu betrachten. Sie steht in keinem Größenverhältnis zur Wirkung. Durch das Ziehen der Schütze kann ein Teich, aber auch ein See abgelassen werden. Der elektrische Funke kann die Explosion einer Patrone wie auch einer Mine bewirken. Die Auffassung, daß kleine Ursachen große Wirkungen zur Folge haben könnten, beruht auf einer Verwechslung der Begriffe Auslösung und Ursache. Zwischen der Energieform auf einer Stelle höherer Intensität und auf einer Stelle niederer Intensität besteht ein Energieunterschied. Nach diesem richtet sich die Größe der Wirkung.

Die Bewegung der Energieformen erfordert Zeit, die bei verschiedenen Vorgängen außerordentlich verschieden ist. Die Sonnenenergie pflanzt sich durch Strahlung mit der ungeheuren Geschwindigkeit von 300 000 km fort, während die Geschwindigkeit der Schallwelle nur 334 m beträgt. Die Geschwindigkeit, mit der sich chemische Vorgänge vollziehen, wird außerordentlich durch die Höhe der Temperatur beeinflusst. Während der Verkohlungsprozeß von Pflanzen bei gewöhnlicher Temperatur Jahre erfordert, vollzieht er sich in der Bunsenflamme in wenig Augenblicken. Man darf annehmen, daß sich die Geschwindigkeit eines chemischen Vorganges bei einer Temperaturzunahme von 10° verdoppelt. So gelangt man zu der Annahme, daß Prozesse, die wir nur bei hohen Temperaturen beobachten, auch bei gewöhnlicher Temperatur stattfinden, daß nur die Geschwindigkeit eine so geringe ist, daß wir in den Zeiträumen, mit denen wir rechnen müssen, meßbare Veränderungen nicht nachweisen können. Der große Einfluß der Temperatur auf die Dauer chemischer Prozesse macht es verständlich, daß Organismen, deren Funktionen unveränderlich sein sollen, konstante Temperatur besitzen müssen. So kann der menschliche Körper nur geringe Schwankungen der Temperatur des Blutes, des Trägers der Lebensprozesse, ertragen. Von Bedeutung für den Verlauf eines Prozesses wird es auch sein, ob dabei Wärme entwickelt wird. Geschieht dies, so

wird der Vorgang beschleunigt; es wird infolgedessen immer mehr Wärme frei, die wiederum beschleunigend wirkt, so daß ein Vorgang sich schließlich mit rapider Geschwindigkeit vollziehen kann. Bei den brisanten Stoffen Dynamit, Pikrinsäure u. a. ist der Vorgang der Explosion ein fast momentaner, so daß sie ungeeignet sind, in Gewehre oder Geschütze geladen zu werden.

Außer der Temperaturerhöhung gibt es für viele chemische Prozesse noch ein anderes sehr interessantes Mittel, die Geschwindigkeit der Reaktion zu erhöhen. Das ist die sogenannte Katalyse. Als Katalysatoren bezeichnet man Stoffe, die chemische Prozesse beschleunigen, ohne dabei selbst eine Stoffveränderung zu erfahren. In hohem Maße besitzt diese Eigenschaft das Platin, bei dessen Gegenwart Oxidationen rasch verlaufen, die sonst mit kaum meßbarer Geschwindigkeit sich vollziehen. Eine sehr wichtige Anwendung findet diese Tatsache in dem Kontaktverfahren bei der Schwefelsäurebereitung. Bei der Darstellung der Schwefelsäure, der wichtigsten Verbindung für die chemische Industrie, kommt es besonders darauf an, das Schwefeldioxyd, das bei Verbrennung von Schwefel entsteht, noch weiter zu Schwefeltrioxyd zu oxydieren. Dies geschah früher ausschließlich durch die Salpetersäure im Bleikammerprozeß. Nach der Entdeckung der katalytischen Eigenschaften des Platins hat man das Kontaktverfahren ausgearbeitet, in dem das Schwefeldioxyd durch die atmosphärische Luft bei Gegenwart von Platin zu Schwefeltrioxyd oxydiert wird. Man hat die Wirkungsart der Katalysatoren in treffender Weise mit der des Schmieröls verglichen, das den Gang der Maschinen begünstigt, ohne dabei chemisch verändert zu werden.

Wenn eine Bewegung einer Energieform zu einer Stelle niederer Intensität stattfindet, so vollzieht sich meist eine Umformung der Energie. Lagenenergie verwandelt sich in Bewegungsenergie. Die entstehende Energiegröße der neuen Form ist äquivalent der Größe, aus der sie entstand. Bei einer Rückverwandlung wird diese im ursprünglichen Betrage wieder erhalten. Der ganze Prozeß kann demnach rückgängig gemacht werden. Wir beobachten dies am Pendel, wo die entstehende kinetische Energie sich in die potentielle Energieform zurückverwandelt und die Kugel in ihre alte Höhenlage zurückkehrt. Rückverwandlungen finden auch statt bei der Bewegung der Planeten, wo die fortwährenden Energieumformungen einen

periodischen Prozeß bewirken, der nach menschlichem Ermessen von unendlicher Dauer ist. Einen solchen Prozeß, in dem aus einer umgeformten Energiegröße der ursprüngliche Betrag wieder erhalten werden kann, so daß es möglich ist, den ganzen Vorgang rückgängig zu machen, d. h. die alten Bedingungen herzustellen, ohne neue Energie zuführen zu müssen, nennt man einen umkehrbaren Kreisprozeß. Dieser spielt eine große Rolle in der schon erwähnten Abhandlung von Sadi Carnot über die Dampfmaschine. Hier wird die Frage entschieden, wovon der Nutzeffekt der letzteren abhängig ist. Es wäre denkbar, daß eine Abhängigkeit von den Körpern, deren Veränderungen die Arbeitsleistung bewirken, bestände. Carnot entscheidet die Frage ungefähr folgendermaßen. Nehmen wir an, es existierten zwei Prozesse A und B, in denen von derselben Dampfmaschine verschiedene Arbeitsgrößen geliefert würden. Die Arbeit im Prozeß B sei größer als die im Prozeß A. Beide Prozesse seien umkehrbare Kreisprozesse. Man könnte dann den Teil der Arbeit in B, der gleich ist der Arbeit in A, benutzen, um den Prozeß nach der Methode A rückgängig zu machen. Mit Hilfe der so wieder gewonnenen Energie könnte man den Prozeß wieder nach der Methode B ablaufen lassen. Man würde wieder einen Arbeitsüberschuß gewinnen, könnte wiederum den Vorgang nach Prozeß A rückgängig machen usw. Man würde also, ohne der Dampfmaschine neue Energie zuzuführen, fortwährend Energie gewinnen. Mit dieser könnte man ein Perpetuum mobile treiben. Nun ist aber nach Carnot dieses auch auf dem Gebiet der Wärme unmöglich. Demnach muß die Voraussetzung falsch sein. Es kann demnach der Nutzeffekt einer Dampfmaschine nicht abhängig sein von der Art, wie der Prozeß verläuft, auch nicht von den Stoffen, deren Veränderung die Arbeitsleistung hervorbringt, sondern nur von der Temperaturdifferenz zwischen Kessel und Kondensator.

Solche Kreisprozesse, wie sie Carnot bei seiner theoretischen Abhandlung zu Hilfe nahm, existieren — vielleicht abgesehen von der Planetenbewegung — in Wirklichkeit nicht. Das schwingende Pendel kommt allmählich zur Ruhe. Die Rückverwandlung kann also keine vollkommene sein. Wo liegt der Grund dieser Erscheinung? Wenn ein Körper von einer Höhe herabfällt und aufschlägt, so verwandelt sich seine potentielle Energie zunächst in kinetische, welche beim Aufschlagen in Wärmeenergie umgeformt wird. Jetzt ist es

unmöglich, den Prozeß rückgängig zu machen. Wir können mit der Wärme, die beim Aufschlagen entstanden ist, den Körper nicht auf seine ursprüngliche Höhe zurückheben, obgleich ein der Lagenenergie äquivalenter Betrag an Wärmeenergie entstanden ist. Worin hat diese Unmöglichkeit ihren Grund? Wir haben die Wärme als die Bewegungsenergie von Molekülen kennen gelernt. Wenn der bewegte Körper auf seine Unterlage stößt, teilt er seine Geschwindigkeit den Molekülen derselben mit. Die Unmöglichkeit der Rückverwandlung liegt nun darin, daß wir kein Mittel haben, in die kreuz und quer schwingenden Moleküle Ordnung zu bringen. Theoretisch bleibt allerdings die Möglichkeit der Rückverwandlung bestehen. Wenn wir uns vorstellen, daß die Moleküle der Unterlage gleichzeitig und nach einer Richtung hin auf den herabgefallenen Körper stoßen, so könnten sie diesem wiederum kinetische Energie verleihen, die sich dann in Energie der Lage zurückverwandeln könnte.

„Daß wir die Wärmebewegung der Atome nicht direkter angreifen und verwandeln können, als es der Fall ist, hängt doch nur davon ab, daß wir unsere Einwirkung nicht auf bestimmte, in bestimmter Richtung vorgehende Atome isolieren können, sondern notwendig immer alle eines bestimmten Raumbezirkes gleichmäßig treffen müssen. Es beruht nur auf der Beschränkung der uns zu Gebote stehenden Methoden und nicht im Wesen der Bewegung.“

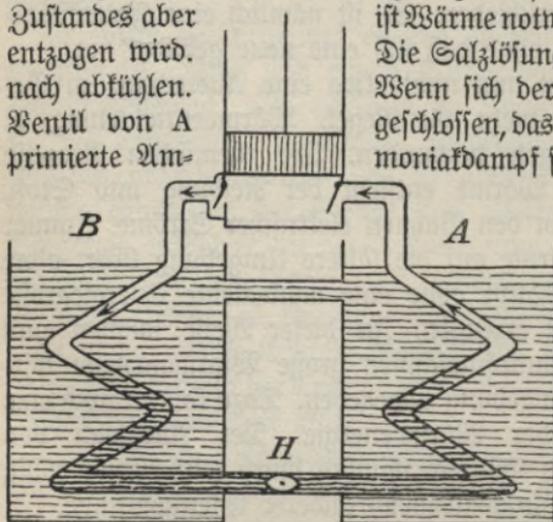
In einem Falle gelingt es uns allerdings, die molekulare Bewegung zu richten und einem Körper dadurch eine Geschwindigkeit zu verleihen. Das geschieht im Zylinder der Dampfmaschine, wo die ungerichtete molekulare Bewegung in die Bewegung des Kolbens umgesetzt wird. Das ist aber eine verschwindende Ausnahme gegenüber der Menge von Fällen, in denen molekulare Vorgänge entstehen, zu deren Umkehrung wir kein Mittel kennen. So stößt auch das schwingende Pendel unaufhörlich an Moleküle der Luft, denen es kinetische Energie verleiht, die sich natürlich nicht in potentielle Energie des Pendels zurückverwandelt. Daher ist die Umformung der Energie eine unvollkommene, und das Pendel kommt allmählich zur Ruhe.

Bei den nicht umkehrbaren Prozessen spielt die Wärme als Molekularbewegung insolge ganz besonderer Eigenschaften eine merkwürdige Rolle. Denken wir uns ein abgeschlossenes System. In

ihm sollen sich zwei Körper von verschiedener Temperatur befinden. Ihre Temperaturdifferenz stellt die Möglichkeit eines Vorganges, die Möglichkeit Arbeit zu leisten dar. Wir wissen aber, daß die Intensitätsunterschiede keinen zureichenden Grund für das Eintreten des Vorganges bilden. Es soll durch die Temperaturdifferenz keine Arbeit geleistet werden. Was geschieht? Wärme geht gleichwohl von dem wärmeren auf den kälteren Körper über, die Temperaturdifferenz gleicht sich aus. Dabei tritt jedoch keine Energieumformung ein, wie beim Ausgleich von Höhendifferenzen oder von elektrischen Spannungen, wo Bewegungsenergie oder elektrischer Strom entsteht. Es entwickelt sich keine äquivalente Menge einer anderen Energieform, welche den eingetretenen Intensitätsausgleich rückgängig machen könnte. Diese Eigenschaft, daß sich Intensitätsdifferenzen ausgleichen, ohne neue Energieformen zu erzeugen, ist von allen Energieformen allein der Wärme eigen. Sie ist offenbar von höchster Bedeutung. In dem angenommenen System befinden sich zwei verschieden warme Körper. Jeder besitzt infolge seiner Temperatur eine bestimmte Energiegröße. Wenn Wärme auf den kälteren Körper übergeht, so verringert sich die Wärmeenergie des wärmeren. Die Gesamtenergie bleibt bei diesem Vorgange ungeändert. Es gilt also auch für dieses System der Satz, daß die Summe der Energie konstant bleibt. Gleichwohl ist der Anfangszustand dieses Systems von seinem Endzustand energetisch wesentlich verschieden. Es ist nämlich eine Intensitätsdifferenz verschwunden, ohne daß sich eine neue gebildet hat.

Dieser Vorgang bildet nun nicht etwa eine Ausnahme im Geschehen, sondern ist vielmehr die Regel. Wärmeentwicklung ist mit fast allen Vorgängen verbunden. Die chemischen Prozesse zeigen Wärmetönung, Wärme entsteht bei Reibung und Stoß, Wärme entwickelt sich in den Bahnen elektrischer Ströme. Immer geht die entwickelte Wärme auf die kältere Umgebung über, ohne Arbeit zu liefern, überhaupt ohne eine äquivalente Energiegröße einer anderen Form zu erzeugen. In dieser Weise werden auch von dem Kessel der Dampfmaschinen große Wärmemengen wirkungslos direkt an die Umgebung abgegeben. Dazu kommt noch eine besondere Eigenschaft der Wärmeenergie. Der Ausgleich von Temperaturunterschieden läßt sich nämlich durch kein Mittel völlig aufheben wie der Intensitätsausgleich anderer Energieformen.

Während so ununterbrochen Wärme von wärmeren auf kältere Körper übergeht, ohne Arbeit zu leisten, geschieht das Umgekehrte niemals. Nie geht Wärme von einem kälteren auf einen wärmeren Körper über, ohne daß dies durch eine äußere Arbeit verursacht werde. Das heißt mit anderen Worten: Während sich Temperaturdifferenzen von selbst ausgleichen, entstehen sie doch niemals von selbst. Das wird besonders deutlich an der sogenannten Kältemaschine, die zur Erzeugung künstlichen Eises dient. Sie zeigt zwei Behälter A und B, die eine Salzlösung enthalten. Durch Auflösung von Salz in Wasser wird der Gefrierpunkt erniedrigt, so daß eine Abkühlung unter Null ohne eintretendes Erstarren möglich ist. Durch die beiden Gefäße geht ein Schlangenrohr, dessen beide Teile durch einen Hahn (H) verbunden und getrennt werden können. In ihm befindet sich eine bei niedriger Temperatur siedende Flüssigkeit, gewöhnlich Ammoniak. Das Schlangenrohr mündet an beiden Enden durch Ventile in einen Zylinder, in dem sich ein Kolben bewegt. Bei Kolbenhub öffnet sich das Ventil des Behälters A, während sich das andere schließt. Es entsteht im Zylinder ein luftverdünnter Raum, wodurch der Luftdruck vermindert wird. Vom Luftdruck ist aber der Siedepunkt der Flüssigkeit abhängig; je geringer der Druck, der auf der Flüssigkeit lastet, desto niedriger ihr Siedepunkt. Infolgedessen verdampft in dem in A befindlichen Teile des Schlangenrohres Ammoniak. Zur Herbeiführung des gasförmigen Zustandes aber entzogen wird. Die Salzlösung in A wird sich demnach abkühlen. Wenn sich der Kolben senkt, wird das Ventil von A geschlossen, das von B geöffnet. Der komprimierte Am-



moniakdampf strömt nach B, wo er durch Abkühlung und Druck kondensiert. Dabei gibt er die beim Verdampfen aufgenommene Wärme an die Umgebung ab. Die Folge ist also eine Abkühlung in A, eine Erwärmung

in B. Der Temperaturunterschied wird so weit gesteigert, bis in A eine Abkühlung unter Null eintritt, so daß in Gefäßen hineingebrachte Flüssigkeiten gefrieren. Durch H kann kondensiertes Ammoniak wieder nach A gebracht werden.

In der Kältemaschine wird demnach durch die Arbeit am Kolben eine Temperaturdifferenz hervorgebracht. Ohne eine äußere Einwirkung bildet sich eine solche niemals. Die Kältemaschine wird besonders dadurch interessant, daß sie das Gegenstück zur Dampfmaschine bildet. Während bei dieser eine Temperaturdifferenz benutzt wird, um mechanische Arbeit zu erzeugen, verwendet man bei jener mechanische Arbeit, um eine Temperaturdifferenz zu gewinnen.

In den Eigentümlichkeiten der Wärmeerscheinungen haben wir ein gesetzmäßiges Verhalten der Energie vor uns, das eine ebenso allgemeine Bedeutung besitzt wie das Erhaltungsgesetz. Es zeigt sich eine bestimmte Tendenz, ein bestimmtes Streben in der Bewegung der Energie. Alle möglichen Energieformen verwandeln sich in Wärme. Temperaturdifferenzen aber verschwinden, ohne daß neue Intensitätsunterschiede entstehen. Damit verschwinden aber auch die Vorbedingungen für Vorgänge. Es besteht demnach eine Tendenz zur Vermehrung der Wärmeenergie auf Kosten der anderen Energieformen und damit die Tendenz zum Ausgleich von Intensitätsunterschieden ohne Erzeugung äquivalenter Werte durch Umformung. Dieses Verhalten der Energie bei ihrer Bewegung nannte William Thomson die Zerstreung (Dissipation) oder die Herabsetzung (Degradation) der Energie. In letzterem Begriffe steckt ein Werturteil. Es tritt für uns, die wir ja aus Intensitätsunterschieden Arbeit zu gewinnen suchen, eine Entwertung der Energie ein. In dem betrachteten abgeschlossenen System geht Wärme von der Stelle höherer Intensität über zur Stelle niederer Intensität ohne äquivalente Umformung. Damit ist es überhaupt unmöglich geworden, aus der übergegangenen Energiemenge jemals Arbeit zu gewinnen. Man kann sich die Gesamtenergie eines Systems in zwei Teile zerlegt denken. Aus dem einen läßt sich mechanische Arbeit gewinnen, aus dem anderen nicht. Die Möglichkeit mechanischer Arbeitsleistung besitzt die Energiemenge, die eine höhere Intensität besitzt, aus der sie auf eine tiefere übergehen kann. Bei allen Vorgängen besteht infolge der Wärme-

bildung die Tendenz, daß Energie höherer Intensität ohne äquivalente Umformung übergeht zu Stellen niederer Intensität und so die Möglichkeit verliert, Arbeit zu leisten. In einem geschlossenen System vermehrt sich demnach durch die von selbst eintretenden Vorgänge diejenige Energiemenge, aus der Arbeit nicht mehr gewonnen werden kann. Für diese Tatsache hat Clausius den Begriff der „Entropievermehrung“ eingeführt. Man kann unter „Entropie“ eines Systems die Energiemenge verstehen, aus der sich keine mechanische Arbeit gewinnen läßt. Bei jedem Vorgange innerhalb eines Systems nimmt diese Energiemenge zu. Es findet eine Vernichtung mechanischer Energie oder solcher Energiemengen statt, aus denen mechanische Arbeit gewonnen werden kann. Die Entropie eines Systems wächst bei dem Verlauf natürlicher Prozesse. Das ist ein Gesetz von universaler Bedeutung. Es ist das allgemeine Bewegungsgesetz der Energie und tritt ergänzend zum Erhaltungsgesetz, das über die Bewegung der Energie nichts aussagt. Das Energiegesetz gliedert sich demnach in zwei Teile, die man als die beiden Hauptsätze bezeichnet. Man kann es auf jedes System, also auch auf das Weltall anwenden, wenn man dieses als abgeschlossenes System betrachtet. Es lautet dann in seiner allgemeinen Fassung:

1. Hauptsatz. Die Energiesumme des Weltalls bleibt konstant.

2. Hauptsatz. Die Entropie strebt einem Maximum zu.

Der erste Hauptsatz ist ein Erhaltungsgesetz, der zweite ein Bewegungsgesetz.

Die Bedeutung dieser beiden von Clausius formulierten Sätze darf nicht überschätzt werden. Es ist immer festzuhalten, daß sich die Energiegesetze auf abgeschlossene Systeme beziehen. Das Weltall als solches aufzufassen, ist jedenfalls willkürlich. Unser Sonnensystem als abgeschlossen zu betrachten, dürfte kaum angängig sein. Man muß nämlich bedenken, daß von der gewaltigen Energie der Sonnenstrahlung nur ein ganz verschwindender Teil von den Planeten aufgefangen wird, während der ungeheuer große Rest an das Weltall abgegeben wird. Jedenfalls kann das Energiegesetz, das sich auf Messung gründet, auf das Universum nur angewendet werden, wenn man diesem willkürlich Endlichkeit zuschreibt.

Nach dem zweiten Hauptsätze sind die natürlichen Prozesse nicht umkehrbar. Sie müssen sämtlich in bestimmter Richtung verlaufen. Nirgends finden sich völlig umkehrbare Kreisprozesse. Die Pendel-

bewegung erlischt allmählich, und auch die Planetenbewegungen sind jedenfalls keine vollkommen periodischen Dauerprozesse. Das ist charakteristisch für den gesamten Weltprozeß, für Werden und Vergehen. Die natürlichen Prozesse, auch die Lebensprozesse, laufen nach einer Richtung hin ab und können nicht rückgängig gemacht werden. Dasselbe gilt jedenfalls auch von den Stoffveränderungen radioaktiver Elemente. Unter Energieabgabe zerfallen die Atome dieser Stoffe und bilden neue Elemente. Durch diese Entdeckung erscheinen auch die Vorgänge der anorganischen Welt im Lichte einer einsinnigen Entwicklung. Diese Eigenschaft des natürlichen Geschehens hat uns eine Vorstellung vermittelt, die mit der Raumbildung unsere gesamte Anschauung beherrscht, die Vorstellung der Zeit, insbesondere die Vorstellung von der Unmöglichkeit einer Umkehrung des Zeitablaufes. Wären die natürlichen Prozesse umkehrbar, wären sie beispielsweise periodische Dauerprozesse, wie sie die Planetenbewegungen in hoher Annäherung darstellen, so könnte die gegenwärtige Zeitvorstellung, die sich auf nicht umkehrbare Veränderungen gründet, nicht bestehen.

Man hat mit Hilfe des Entropiegesetzes Schlüsse auf die Zukunft der Welt ziehen wollen. Da die Tendenz besteht, daß durch Wärmeausgleich alle Intensitätsdifferenzen verschwinden, so ist der Welt der „Wärmethod“ prophezeit worden. Man folgert aus dem Entropiegesetz das endliche Verschwinden aller Intensitätsdifferenzen. Da diese die Bedingung aller Vorgänge, alles Geschehens sind, so wäre damit der Weltprozeß abgelaufen. Der Schluß ist nicht zwingend. Er gründet sich zunächst auf die willkürliche Annahme, daß die Welt ein abgeschlossenes endliches System sei. Dann aber ist auch die Geschwindigkeit des Wärmeausgleichs abhängig von der Temperaturdifferenz. Je geringer diese ist, um so geringer wird die Abkühlungsgeschwindigkeit, so daß ein vollständiger Ausgleich unendlich lange Zeit erfordert. Es wäre aber denkbar, daß sich das Leben kleinen und kleinsten Intensitätsdifferenzen anpaßt. Auf das Ende der Welt zu schließen ist ebenso mißlich wie Schlüsse auf ihren Anfang zu ziehen. Wir können einen einzelnen Vorgang nicht unbegrenzt rückwärts verfolgen. Die Kausalkette ist unendlich, und wir gelangen nicht zum Anfangsglied. Dasselbe gilt aber auch, wenn wir die Kausaltreihe im Sinne der natürlichen Prozesse durchlaufen.

Ein Verzicht auf derartige Anwendungen nimmt dem Energiegesetz nichts von seiner gewaltigen zentralen Bedeutung für das gesamte Naturerkennen. Es befriedigt in einzigartiger Weise das menschliche Streben nach Einheit, Überblick und Herrschaft. Es vermittelt Einsicht in das Reich der bewegten und zerfallenden Atome wie in die Welt der schwingenden Himmelskörper, zeigt Beziehungen zwischen unorganisierten Stoffen und den Lebensprozessen der Organismen, nötigt zu abstrakten philosophischen Betrachtungen und ist ein unentbehrliches Hilfsmittel der technischen Praxis. Es ist gegenwärtig der vollkommenste Ausdruck der Erfahrung und das höchste Kriterium der Naturwissenschaft.

Schlußbetrachtung.

Das Energiegesetz beherrscht unsere Auffassung von der Natur. Man kann mit seiner Hilfe die Erscheinungen der Außenwelt zur Einheit zusammenfassen, ihren Zusammenhang und Verlauf verstehen. Das ist natürlich nur dadurch möglich, daß uns die äußeren Vorgänge bewußt werden, daß sich infolge der äußeren Vorgänge in uns Vorstellungen bilden, oder wie man auch sagen kann, daß das physische Geschehen ein psychisches Geschehen verursacht. Es ist betont worden, daß die Art, wie wir infolge unserer geistigen Disposition die Vorgänge der Außenwelt aufzufassen befähigt sind, einen Faktor bei dem Zustandekommen von Naturgesetzen bilden muß. Gleichwohl bleiben äußere Zustände und Vorgänge, wie sie uns infolge unserer Bewußtseinsvorgänge erscheinen, allein Gegenstand der Naturforschung. Der Gang durch das menschliche Bewußtsein wird von ihr als eine selbstverständliche Voraussetzung angesehen. Das geschieht mit vollem Recht; denn die Überlegung, wie naturwissenschaftliche Erkenntnis im menschlichen Bewußtsein zustande kommt, verändert die Naturgesetze nicht, sondern zeigt nur ihre Bedingtheit. Daraus erhellt aber, daß die Naturbetrachtung und damit das Energiegesetz als ihr oberstes Prinzip zwei große Zusammenhänge unberücksichtigt und unerklärt läßt. Das ist erstens der Zusammenhang, in dem die Bewußtseinsvorgänge miteinander stehen, und zweitens der Zusammenhang zwischen äußerem Geschehen und Bewußtseinsvorgängen.

Betrachten wir zunächst die Beziehung psychischer Gebilde zu-

einander. In unserem Bewußtsein findet fortwährend ein psychisches Geschehen statt. Psychische Gebilde, die wir im allgemeinen als Vorstellungen, Gemütsbewegungen und Willensregungen bezeichnen, treten in besonderen Reihenfolgen und besonderen Kombinationen in das Bewußtsein. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß auch das psychische Geschehen nach ganz bestimmten Gesetzen abläuft. Die psychischen Inhalte können nun in ähnlicher Weise wie die Vorgänge der Außenwelt zum Gegenstand der Forschung gemacht werden. Das geschieht in der Psychologie. Man kann nun versuchen, die Bewußtseinsvorgänge energetisch zu begreifen. Das ist möglich, wenn eine Analogie zwischen Naturgeschehen und psychischem Geschehen hergestellt werden kann. Das Hilfsmittel der Analogie ist völlig berechtigt. Wir brauchen uns nur zu erinnern, daß unsere ganze Naturauffassung auf mechanischer Analogie beruht. Die Durchführung aber wird sich außerordentlich schwierig gestalten. Das beruht auf einem wesentlichen Unterschiede zwischen Bewußtseinsvorgängen und physischen Größen. Vorstellungen, Gemütsregungen und Willensakte sind Prozesse, die in unserem Bewußtsein ablaufen. Prozesse sind die Naturvorgänge allerdings auch. Sie lassen sich jedoch leicht in feste bleibende Wirkungen umsetzen. So kann der elektrische Strom sich in bleibende chemische Energie umwandeln; kinetische Energie vermag sich in ruhende umzuformen. Aus einem Vorgange kann sich demnach ein bleibender Zustand entwickeln. Nun soll nicht etwa gesagt sein, daß die psychischen Vorgänge spurlos verschwinden. Das ist sicher nicht der Fall. Vorstellungen z. B. bleiben unser geistiges Eigentum, auch wenn sie aus dem Bewußtsein verschwinden; sie können ja in daselbe zurückkehren. Man könnte sogar meinen, die Bewußtseinsvorgänge entsprächen kinetischer Energie, während der Zustand im Unbewußten ruhender potentieller Energie zu vergleichen wäre. Der Unterschied beruht darin, daß wir von dem Zustande ruhender psychischer Inhalte nichts wissen, weil sie uns unbewußt sind. Nun sind es aber gerade die festen unveränderlichen Größen, die in der Naturbetrachtung die genauen Messungen ermöglichen, auf die sich wissenschaftliche Sicherheit gründet. Solche meßbare feste Größen fehlen der Psychologie mit ihren unräumlichen Gebilden vollständig. Daraus ist ersichtlich, wie außerordentlich schwierig sich Messungen psychischer Inhalte gestal-

ten müssen. Nur in einzelnen ausgezeichneten Fällen ist es bisher möglich gewesen, zwischen psychischen Gebilden eine Größenvergleichung anzustellen, auf der ja ein Messen beruhen müßte. Es kann auch gegenwärtig nicht von einer Umwandlung psychischer Gebilde ineinander die Rede sein wie etwa von den Umwandlungen der Energieformen ineinander. Wenn also in den einzelnen Gebieten der Psychologie noch keine Messungen existieren, die auch nur annähernd eine Genauigkeit besitzen, wie sie physikalischen Messungen eigentümlich ist, so ist natürlich gegenwärtig gar nicht abzusehen, wie jemals für Bewußtseinsvorgänge ein gemeinschaftliches Maß analog dem Meterkilogramm der Physik gefunden werden könnte. Auf der Möglichkeit genauer Messungen und auf dem gemeinsamen Maß beruht aber die Sicherheit und Gewißheit energetischer Betrachtung.

Ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen Vorgängen der Außenwelt und dem psychischen Geschehen ist ebenfalls zweifellos vorhanden. Das erhellt schon daraus, daß uns Vorgänge der Außenwelt eben durch psychische Gebilde bewußt werden. Es gilt gegenwärtig als sicher, daß kein Bewußtseinsvorgang stattfindet ohne physisches Geschehen. Keine Vorstellung, kein Affekt, keine Willensregung verläuft ohne physische Veränderungen unseres Körpers, die besonders in den Nervenbahnen, dem Rückenmark und dem Gehirn stattfinden. Diese Veränderungen aber stehen als Vorgänge der Körperwelt unter dem Energiegesetz. Hier sind tatsächlich schon manche interessante Beziehungen aufgedeckt worden. So existiert ein sogenanntes psycho-physisches Gesetz, das die Stärke des Reizes zur Stärke der Empfindung in Beziehung setzt. Die Stärke der Empfindung wächst mit dem Logarithmus der Stärke des Reizes. Der Nervenreiz aber ist ein Vorgang, der hervorgerufen wird durch Intensitätsunterschiede zwischen unserem Körper und seiner Umgebung. Hier liegt tatsächlich ein Größenverhältnis zwischen Energie und psychischen Inhalten vor. Jedenfalls sind kühne Spekulationen, die auch das geistige Geschehen unter dem Gesichtspunkt der Energie zu begreifen suchen, nicht gering zu achten, denn man muß bedenken, daß die Anschauungen, die jetzt als wissenschaftlich gesichert gelten, früher auch einmal nur Vermutungen gewesen sind.

Die Zweifelhait, der Dualismus, der durch die gesamte menschliche Erfahrung geht, ist von jeher Gegenstand des Nachdenkens

gewesen. Wir haben einmal durch die Vermittelung der Sinne Erfahrung von außer uns befindlichen Vorgängen; wir besitzen aber auch ohne jede Vermittelung von außen unmittelbare Erfahrung von uns selbst durch den Ablauf der Vorstellungen, Gefühle und Willensregungen. Diese Zwiespältigkeit der Erfahrung ist niedergelegt in den Begriffen Natur und Geist. Das menschliche Streben nach Einheit sucht auch diesen letzten Gegensatz zu überwinden, sucht zu zeigen, daß es sich nicht um Gegensätze, sondern nur um Gleichartiges in höherem Sinne handeln könne. Mannigfache Versuche sind gemacht worden, die Brücke zwischen Natur und Geisteswelt zu schlagen, beide zur Einheit zusammenzufassen. Uns interessiert hier der Versuch, die Einheit mit Hilfe des Energiebegriffs zu gewinnen, wie er von Wilhelm Ostwald unternommen worden ist. Es ist von vornherein zu beachten, daß es sich hier um eine philosophische Spekulation, um eine Denkmöglichkeit handelt, die noch nicht wie die energetischen Auffassungen der Naturvorgänge experimentelle Untersuchung und Bestätigung gefunden hat. Die Physiologie lehrt, daß geistige Tätigkeit mit dem Verbrauch von Energie besonders im Gehirn verbunden ist. Die alltägliche Beobachtung der Ermüdung nach geistiger Anstrengung bestätigt dies. Ostwald nimmt nun analog den Energieformen der Naturvorgänge eine geistige Energieform an. Man kann sich vorstellen, daß die chemische Energie, die durch die Ernährung dem Gehirn zugeführt wird, sich direkt in geistige Energie, d. h. in Bewußtseinsvorgänge umwandelt. Nun ist aber durch die erwähnten Versuche Rubners und Atwaters sicher erwiesen, daß alle Energie, welche der Körper den Nahrungsmitteln bei ihrem Durchgange entzieht, in der Form von Wärme und äußerer Muskelarbeit wiedererscheint. Die Forderung der Erhaltung der Energie wird also befriedigt, ohne daß es nötig ist, eine neue Form der Energie in der geistigen Energie einzuführen. Für diese ist scheinbar gar kein Platz vorhanden. Der Widerspruch ist aber eben nur scheinbar. Man muß nämlich bedenken, daß die Bewußtseinsvorgänge wieder verschwinden. Sind sie aber Energie, so können sie nach dem Erhaltungsgesetz nicht verschwinden, sondern sich nur verwandeln. Ostwald nimmt nun an, daß die Bewußtseinsvorgänge sich in Wärme umwandeln und als solche aus dem Körper austreten. Die geistige Energie ist nach dieser Auffassung ein Zwischenglied zwischen chemi-

scher Energie und Wärme. Diese Auffassung verträgt sich völlig mit der Tatsache, daß die chemische Energie der Nahrungsmittel schließlich vollständig als mechanische Energie und als Wärme zum Vorschein kommt. Selbstverständlich muß diese Auffassung der psychischen Vorgänge so lange als bloße Annahme, als bloße Denkmöglichkeit gelten, solange nicht eine direkte Umwandlung von chemischer Energie in geistige oder von geistiger Energie in Wärme in ähnlicher Weise demonstriert werden kann wie bei den Naturvorgängen, etwa wie bei der Verwandlung mechanischer Energie in Wärme und umgekehrt. Man müßte die geistige Energie messen lernen, müßte ein geistiges Äquivalent finden. Für derartige Untersuchungen, wenn sie überhaupt möglich sind, zeigt sich gegenwärtig kaum ein Weg.

Es ist das menschliche Streben nach Einheit, das nicht mit der Erfahrung Schritt hält, sondern ihr vorausseilt in der Auffassung der Erscheinungen. Langsam, Schritt für Schritt sich mühsam sicheren Boden erkämpfend, folgen die Erfahrungswissenschaften, die Spekulationen, denen sie reiche Anregung verdanken, bestätigend oder verwerfend. Wenn man auf Grund der gegenwärtigen Erfahrung eine einheitliche Weltanschauung gestalten will, so dürfte sich dazu allerdings kaum ein geeigneterer Begriff finden als der der Energie, der unsere Auffassung vom Naturgeschehen beherrscht.

Aus Natur und Geisteswelt

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

Werdegang der modernen Physik. Von Dr. H. Keller in Chemnitz. Mit 13 Figuren. (Bd. 343.)

Das Bändchen stellt sich die Aufgabe, das Weltbild der modernen Physik in seiner allmählichen Entwicklung allgemeinverständlich darzulegen. Es wird deshalb von allen praktischen Anwendungen der Physik abgesehen, da es sich hier lediglich um einen Überblick über die Entwicklung der verschiedenen Anschauungen und Theorien handelt. Eine eingehende Darstellung muß selbstverständlich einem größeren Werke vorbehalten bleiben. Während aber in einem solchen Werke die Anschauungen der einzelnen Forscher möglichst klar und eingehend dargelegt werden müßten, sollte hier einem größeren Kreise verständlich gemacht werden, wie allmählich die gegenwärtigen Anschauungen sich herausgebildet haben und wie sie, selbst wenn sie auf den ersten Blick absonderlich erscheinen, wissenschaftlich begründet und experimentell bestätigt worden sind.

Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Von Hofrat Professor Dr. Felix Auerbach. 3. Auflage. Mit 79 Figuren. (Bd. 40.)

Gibt eine zusammenhängende, für jeden Gebildeten verständliche Entwicklung der Begriffe, die in der modernen Naturlehre eine allgemeine und erstarrte Rolle spielen, der Begriffe von Raum und Zeit und des aus ihnen sich ableitenden Begriffes Bewegung, die in ihren Mannigfaltigkeiten untersucht wird; der Begriffe von Kraft und Masse und im Anschluß an letztere der allgemeinen Eigenschaften der Materie; sodann der Begriffe Arbeit und Energie; endlich als letzten und modernsten Begriffes der Entropie und Ekropie.

Das Perpetuum mobile. Von Dr. Frida Jach. Mit Abbild. (Bd. 462.)

Diese, kulturgeschichtlich wie physikalisch und technisch so bedeutungsvolle Idee erfährt hier zum ersten Male auf Grund genauer Quellenstudien eine systematische Darstellung. Es werden die Beziehungen des Perpetuum mobile-Gedankens zu der Geschichte der geistigen Entwicklung wie zu der des exakten Forschens aufgezeigt und der Zusammenhang dieser Frage mit den religiösen und philosophischen Anschauungen vergangener Zeiten nachgewiesen; die mannigfaltigen Versuche zur Lösung des Problems vom 13. Jahrhundert bis zur Gegenwart werden dargestellt und die Ansichten darüber vom Standpunkt der vor-energetischen und energetischen Physik aus erörtert. Zahlreiche alte Abbildungen und Textstellen aus zum Teil unbekanntem Quellenwerken tragen zur Veranschaulichung der Darstellung bei.

Moleküle — Atome — Weltäther. Von Professor Dr. Gustav Mie. 2. Auflage. Mit 27 Figuren. (Bd. 58.)

Stellt die physikalische Atomlehre der Gegenwart als die Zusammenfassung einer großen Menge physikalischer Tatsachen dar und erörtert die Vorstellungen, daß alle Materie aus den Molekülen zusammengesetzt ist, daß diese selbst aus „Atomen“ bestehen, daß endlich der Weltäther die physikalische Verbindung zwischen den räumlich getrennten Atomen ist.

Das Radium und die Radioaktivität. Von Dr. M. Centnerszwer. Mit 33 Abbildungen. (Bd. 405.)

Alle jene Erscheinungen, die heute unter dem Namen „Radioaktivität“ einen der wichtigsten Bestandteile unseres Wissens bilden, trotzdem sie uns noch vor wenig Jahren ganz unbekannt waren, werden in leicht lesbarer und fesselnder Form weitesten Kreisen zugänglich gemacht: die chemischen, optischen und Wärmewirkungen des Radiums, die Natur der Radiumstrahlen, die Ansichten über den inneren Bau der Körperatome und die Umwandlung der Elemente ineinander, die Bestimmung der Größe der Atome und der so überaus interessante Zerfall des Radiums wie auch die Bedeutung des Radiums für die Erdkunde und moderne Heilkunde.

Das Prinzip der Erhaltung der Energie. Von Dr. Max Planck, Professor der Theoretischen Physik an der Universität Berlin. Von der Philosophischen Fakultät Göttingen preisgekrönt. 3. Auflage. 1913. In Leinwand gebunden M. 6.—

Das Werk behandelt die Lehre von der Erhaltung der Energie in drei Abschnitten. Im ersten wird die historische Entwicklung des Prinzips dargelegt, von seinen Ursprüngen an, die sich in der Erkenntnis der Unmöglichkeit eines perpetuum mobile dokumentieren, bis zu der allgemeinen Durchführung, die in den Arbeiten von Mayer, Joule, Helmholtz, Clausius, Thomson usw. enthalten ist. Der zweite Abschnitt bringt die allgemeine Definition des Energiebegriffes, die Formulierung des Erhaltungsprinzips zum Zwecke seiner verschiedenen Anwendungen, und endlich eine Übersicht und Kritik der Beweise, die man im Laufe der Zeiten zu seiner Begründung beigebracht hat. Im dritten Abschnitt werden die gewonnenen Sätze benutzt, um zu zeigen, wie man durch die Anwendung des Prinzips der Erhaltung der Energie zu einer einheitlichen Übersicht über die Gesetze der gesamten Erscheinungswelt gelangen kann.

Das Wissen der Gegenwart in Mathematik und Naturwissenschaft. Von Emile Picard, Membre de l'institut. Autorisierte deutsche Ausgabe mit erläuternden Anmerkungen von F. und L. Lindemann. 1913. In Leinwand gebunden M. 6.—

„Der Verfasser ist nicht nur ein ausgezeichnete Gelehrter, nein, er zeigt sich uns hier auch als ein Meister der Darstellungskunst. Ohne auf rein philosophische Diskussionen einzutreten, gibt er in erster Linie eine übersichtliche und sehr ausführliche Darstellung der Forschungsergebnisse in der Mathematik und den exakten Naturwissenschaften, und widmet dann in einem zweiten Teil auch der Mineralogie und Geologie, der Physiologie und biologischen Chemie sowie der Botanik, der Zoologie, der Medizin und der Bakteriologie ein Kapitel. Ganz besonders willkommen werden den meisten Lesern die erläuternden Anmerkungen sein, welche die Übersetzer in einem Anhang gebracht haben. Sie enthalten teils historische Notizen, teils Literaturangaben, teils aber auch Ergänzungen theoretischer Natur.“
(Apotheker-Zeitung.)

Erkenntnistheoretische Grundzüge der Naturwissenschaften und ihre Beziehungen zum Geistesleben der Gegenwart. Allgemein wissenschaftliche Vorträge von Dr. Paul Volkmann, Professor an der Universität Königsberg. 2., vollständig umgearbeitete und erweiterte Auflage. 1910. In Leinwand gebunden M. 6.—

„Die vorliegende zweite Auflage der bekannten Vorträge Volkmanns zeigt das Werk in einer wesentlich veränderten Gestalt; aus den erkenntnistheoretischen Untersuchungen, die einzelne grundlegende Probleme behandelten, ist eine umfangreiche erkenntnistheoretische Grundlegung der naturwissenschaftlichen Forschung geworden, die auch zahlreiche Fragen aus Grenzgebieten in Betracht zieht. Insbesondere erscheint als eine glückliche Erweiterung des Buches, daß es zu dem gesamten Geistesleben der Gegenwart Stellung nimmt, soweit dazu von naturwissenschaftlichen und erkenntnistheoretischen Untersuchungen aus Gelegenheit gegeben ist.“
(Archiv für Psychologie.)

Wissenschaft und Methode. Von Henri Poincaré. Autorisierte deutsche Ausgabe mit erläuternden Anmerkungen von F. und L. Lindemann. 1914. In Leinwand gebunden M. 5.—

Eine summarische und getreue Darstellung des gegenwärtigen Zustandes der Wissenschaften, ihrer Methoden und Tendenzen, der einige historische Bemerkungen vorangehen, läßt vielleicht besser als abstrakte Abhandlungen verstehen, was die Gelehrten suchen, welche Darstellung man sich von der Wissenschaft machen soll, und was man füglich von ihr erwarten darf.

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher
Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens

Jeder Band ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich. — Werke, die mehrere Bände umfassen, sind auch in einem Band gebunden vorrätig.

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

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände innerhalb der Wissenschaften
alphabetisch geordnet.

Theologie und Philosophie, Pädagogik und Bildungswesen.

- Amerikanisches Bildungswesen siehe Techn.
Hochschulen, Universitäten, Volksschule.
Ästhetik. Von Prof. Dr. R. Samann.
(Bd. 345.)
Aufgaben und Ziele des Menschenlebens.
Von Dr. F. Unold. 3. Aufl. (Bd. 12.)
— siehe auch Ethik.
Bildungswesen, Das deutsche, in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von weil. Prof. Dr. Fr. Paulsen. 3. Aufl. Von Prof. Dr. W. Münnch. Mit Bildn. Paulsens.
(Bd. 100.)
Buddhas Leben und Lehre. Von weil. Prof. Dr. R. Fischer. 2. Aufl. von Prof. Dr. S. Lüders. Mit 1 Taf. (Bd. 109.)
Calvin, Johann. Von Pfarrer Dr. G. Soebaur. Mit Bildn. (Bd. 247.)
Christentum. Aus der Verberzeit des Chr. Studien und Charakteristiken. Von Prof. Dr. F. Geffken. 2. Aufl. (Bd. 54.)
Christentum und Weltgeschichte. Von Prof. D. Dr. R. Sell. 2. Bde. (Bd. 297, 298.)
— siehe auch Jesus, Mystik im Christentum.
Deutsches Ringen nach Kraft und Schönheit. Aus den literar. Zeugn. eines Jahrgesammelt. Von Turninspektor R. Möller. 2 Bde. Bd. II in Vorb. (Bd. 188, 189.)
Einführung in die Philosophie, Theologie siehe Philosophie, Theologie.
Entstehung der Welt und der Erde nach Sage u. Wissenschaft. Von Prof. Dr. B. Weinstein. 2. Aufl. (Bd. 223.)
Erziehung zur Arbeit. Von Prof. Dr. Ebb. Lehmann. (Bd. 459.)
Erziehung, Moderne, in Haus und Schule. Von F. Lews. 2. Aufl. (Bd. 159.)
— siehe auch Großstadtpädagogik und Schulkämpfe der Gegenwart.
Ethik. Prinzipien der E. Von E. Wentscher. (Bd. 397.)
— siehe auch Aufgaben und Ziele des Menschenlebens, sittliche Lebensanschauungen, Willensfreiheit.
Fortbildungsschulwesen, Das deutsche. Von Dir. Dr. F. Schilling. (Bd. 256.)
Freimaurerei, Die. Anschauungswelt u. Geschichte. Von Geh. Archivrat Dr. L. Keller. (Bd. 463.)
Fröbel, Friedrich. Leben und Wirken. Von A. v. Portugal. Mit 5 Taf. (Bd. 82.)
Großstadtpädagogik. Von F. Lews. (Bd. 327.)
— siehe auch Erziehung, Moderne, und Schulkämpfe der Gegenwart.
Heidentum siehe Mystik.
Herbarts Lehren und Leben. Von Pastor Dr. D. Flügel. Mit Bildn. (Bd. 164.)
Hilfsschulwesen. Von Rektor Dr. B. Maenel. (Bd. 73.)
Hochschulen siehe Techn. Hochschulen und Universitäten.
Hypnotismus und Suggestion. Von Dr. E. Trömer. 2. Aufl. (Bd. 199.)
Jesuiten, Die. Eine histor. Skizze. Von Prof. D. S. Boehmer. 3. Aufl. (Bd. 49.)
Jesus und seine Zeitgenossen. Geschichtliches und Erbauliches. Von Pastor E. Bonhoff. (Bd. 89.)
— Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu. Von Pfarrer D. Dr. B. Mehlhorn. 2. Aufl. (Bd. 137.)
— Die Gleichnisse Jesu. Zugl. Anleitung zu quellenmäßigem Verständnis der Evangelien. Von Prof. D. Dr. Weinert. 3. Aufl. (Bd. 46.)
Israelit. Religion. Die Grundzüge der israel. Religionsgeschichte. B. weil. Prof. Dr. Fr. Giesebrecht. 2. Aufl. (Bd. 52.)
Jugendfürsorge. Von Waisenhausdirektor Dr. F. Petersen. 2 Bde. (Bd. 161, 162.)
Jugendpflege. Von Fortbildungsschullehrer W. Biemann. (Bd. 434.)
Kant, Immanuel. Darstellung und Würdigung. Von Prof. Dr. D. Kälbe. 3. Aufl. Mit Bildn. (Bd. 146.)
Knabenhandarbeit, Die, in der heutigen Erziehung. Von Sem.-Dir. Dr. A. Pabst. Mit 21 Abb. u. Titelbild. (Bd. 140.)
Lehrerbildung siehe Volksschule und Lehrerbildung der Ver. Staaten.

- Euther im Lichte der neueren Forschung.** Ein krit. Bericht. Von Prof. D. S. Boehmer. 3. Aufl. Mit 2 Bildn. (Bd. 113.)
- Mädchenschule, Die höhere, in Deutschland.** Von Oberlehrerin M. Martin. (Bd. 65.)
- Mechanik des Geisteslebens.** Von Prof. Dr. M. Wernorn. 3. Aufl. Mit 18 Fig. (Bd. 200.)
— siehe auch Psychologie.
- Mission, Die evangelische.** Von Pastor E. Baudert. (Bd. 406.)
- Mittelschule** siehe Volks- u. Mittelschule.
- Mystik im Heidentum und Christentum.** Von Prof. Dr. E. v. Lehmann. (Bd. 217.)
- Mythologie, Germanische.** Von Prof. Dr. F. von Megelein. 2. Aufl. (Bd. 95.)
- Pädagogik, Allgemeine.** Von Prof. Dr. Th. Ziegler. 4. Aufl. (Bd. 33.)
- Pädagogik, Experimentelle, mit bes. Rücks. auf die Erzieh. durch die Taf.** Von Dr. W. A. Gay. 2. Aufl. Mit 2 Abb. (Bd. 224.)
— siehe auch Erziehung, Großstadtpädagogik u. Psychologie des Kindes.
- Palästina und seine Geschichte.** Von Prof. Dr. F. Frh. v. Soden. 3. Aufl. Mit 2 Karten, 1 Plan u. 6 Ansichten. (Bd. 6.)
- Palästina und seine Kultur in fünf Jahrtausenden.** Von Dr. P. Thomsen. Mit 36 Abb. (Bd. 260.)
- Paulus, Der Apostel, u. sein Werk.** Von Prof. Dr. E. Fischer. (Bd. 309.)
- Pestalozzi, Leben und Tbcen.** Von Prof. Dr. P. Natorp. 2. Aufl. Mit Bildn. u. Brieffak. (Bd. 250.)
- Philosophie, Die, Einführung in die Wissenschaft, ihr Wesen und ihre Probleme.** Von Realschuldir. G. Richter. 2. Aufl. (Bd. 186.)
— Einführung in die Philosophie. Von Prof. Dr. R. Richter. 3. Aufl. von Dr. M. Brahn. (Bd. 155.)
— Führende Denker, Geschichtl. Einleitung in die Philosophie. Von Prof. Dr. F. Cohn. 2. Aufl. Mit 6 Bildn. (Bd. 176.)
— siehe auch Weltanschauung.
- Philosophie der Gegenwart, Die, in Deutschland, Charakteristik ihrer Hauptrichtungen.** Von Prof. Dr. D. Külpe. 6. Aufl. (Bd. 41.)
- Psychologie** siehe Seele des Menschen.
— siehe auch Mechanik des Geisteslebens.
- Psychologie des Kindes.** Von Prof. Dr. R. Gauyp. 3. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 213.)
— siehe auch Pädagogik.
- Religion, Die Stellung der R. im Geistesleben.** Von Lic. Dr. P. Kalweit. (Bd. 225.)
— Die Religion der Griechen. Von Prof. Dr. E. Samter. (Bd. 457.)
- Religion, Religion und Naturwissenschaft in Kampf u. Frieden. Ein geschichtl. Rückblick.** Von Dr. A. Pfannkuche. 2. Aufl. (Bd. 141.)
— Die relig. Strömungen der Gegenwart. Von Superintendent. D. A. S. Braasch. 2. Aufl. (Bd. 66.)
- Rousseau.** Von Prof. Dr. P. Senel. 2. Aufl. Mit Bildnis. (Bd. 180.)
- Schopenhauer, Persönlichkeit, Lehre, Bedeutung.** Von Realschuldir. G. Richter. 2. Aufl. Mit Bildn. (Bd. 81.)
- Schule** siehe Fortbildungsschulwesen, Hilfsschulwesen, Hochschule, Mädchenschule, Mittelschule, Volksschule und die folgenden Bände.
- Schulhygiene.** Von Prof. Dr. E. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 33 Fig. (Bd. 96.)
- Schulkämpfe der Gegenwart.** Von F. Lews. 2. Aufl. (Bd. 111.)
— siehe auch Erziehung, Moderne, und Großstadtpädagogik.
- Schulwesen, Geschichte des deutschen Sch.** Von Oberrealschuldir. Dr. R. Knabe. (Bd. 85.)
- Seele des Menschen, Die.** Von Prof. Dr. F. Rehmke. 4. Aufl. (Bd. 36.)
— siehe auch Psychologie.
- Sittliche Lebensanschauungen der Gegenwart.** Von weil. Prof. Dr. D. Pirn. 2. Aufl. (Bd. 177.)
— siehe auch Ethik.
- Spencer, Herbert.** Von Dr. R. Schwarze. Mit Bildnis. (Bd. 245.)
- Student, Der Leipziger, von 1409 bis 1909.** Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 25 Abb. (Bd. 273.)
- Technische Hochschulen in Nordamerika.** Von Prof. S. Müller. Mit zahlr. Abb., Karte u. Lageplan. (Bd. 190.)
- Testament, Neues, Der Text des N. T. nach seiner geschichtl. Entwicklung.** Von Div.-Pfarrer A. Pott. Mit 8 Taf. — siehe auch Jesus. (Bd. 134.)
- Theologie, Einführung in die Theologie.** Von Pastor M. Cornils. (Bd. 347.)
- Aber Universitäten und Universitätsstudium.** Von Prof. Dr. Th. Ziegler. (Bd. 411.)
- Universität, Die amerikanische.** Von Ph. D. E. D. Perry. Mit 22 Abb. (Bd. 206.)
— siehe auch Student.
- Unterrichtswesen, Das deutsche, der Gegenwart.** Von Oberrealschuldir. Dr. R. Knabe. (Bd. 299.)
- Vorbildungswesen, Das moderne, Bücher- und Leshallen, Volkshochschulen und verwandte Bildungseinrichtungen in den wichtigsten Kulturländern seit der Mitte des 19. Jahrhunderts.** Von Stadtbibliothekar Dr. G. Frick. Mit 14 Abb. (Bd. 266.)

Volk- und Mittelschule, Die preussische, Entwicklung und Ziele. Von Geh. Reg.- u. Schulrat Dr. Sachse. (Bd. 432.)
Volksschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten. Von Dir. Dr. F. Kupper. Mit 48 Abb. u. Titelbild. (Bd. 150.)
Weltanschauung, Griechische. Von Privatdoz. Dr. M. Wundt. (Bd. 329.)
Weltanschauungen, Die, der großen Philosophen der Neuzeit. Von weil. Prof.

Dr. B. Busse. 5. Aufl., herausg. von Prof. Dr. R. Falkenberg. (Bd. 56.)
— siehe auch Philosophie.
Wissensfreiheit, Das Problem der. Von Prof. Dr. G. F. Lipps. (Bd. 383.)
— siehe auch Ethik.
Zeichenkunst, Der Weg zur. Von Dr. E. Weber. Mit Abb. (Bd. 430.)

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Sprachkunde, Literaturgeschichte und Kunst.

Architektur siehe Baukunst und Renaissancearchitektur.

Ästhetik. Von Prof. Dr. R. Hamann. (Bd. 345.)*

Bau und Leben der bildenden Kunst. Von Dir. Prof. Dr. Th. Volbehr. 2. Aufl. Mit 44 Abb. (Bd. 68.)*

Baukunde siehe Abtsg. Technik.

Baukunst, Deutsche V. im Mittelalter. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Matthaei Bd. 1. 3. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 8.)

— **Deutsche Baukunst seit dem Mittelalter bis z. Ausg. des 18. Jahrh.** Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Matthaei Mit 62 Abb. und 3 Tafeln. (Bd. 326.)

— **Deutsche Baukunst im 19. Jahrh.** Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Matthaei. Mit 35 Abb. (Bd. 453.)

Beethoven siehe Haydn.

Björnson siehe Ibsen.

Decorative Kunst des Altertums. Von Dr. Fr. Poulsen. Mit 112 Abb. (Bd. 454.)

Drama, Das. Von Dr. B. Busse. Mit 2 Bde.

Bd. I: Von der Antike zum französl. Klassizismus. (Bd. 287.)

Bd. II: Von Versailles bis Weimar. (Bd. 288.)

— siehe auch Shakespeare, Lessing, Schiller und Theater.

Drama, Das deutsche, des 19. Jahrh. In f. Entwickl. dargest. von Prof. Dr. G. Wikowski. 4. Aufl. Mit 1 Bildn. Heftels. (Bd. 51.)

— siehe auch Hebbel, Hauptmann.

Dürer, Albrecht. Von Dr. R. Wuttman. Mit 33 Abb. (Bd. 97.)*

Französische Roman, Der, und die Novelle. Von O. Flate. (Bd. 377.)

Frauentichtung, Geschichte der deutschen. Seit 1800. V. Dr. H. Spiero. (Bd. 300.)

Griechische Kunst, Die Blüteszeit der a. K. im Spiegel der Relieffarkopage. Eine Einführung in die griech. Plastik. Von Dr. H. Wachtler. Mit 8 Taf. u. 32 Abb. (Bd. 272.)*

— siehe auch Decorative Kunst.

Harmonium siehe Tasteninstrumente.

Hauptmann, Gerhart. Von Prof. Dr. E. Sulger-Gebing. Mit 1 Bildn. (Bd. 283.)

Haydn, Mozart, Beethoven. Von Prof. Dr. E. Krebs. 2. Aufl. Mit 4 Bildn. (Bd. 92.)

Hebbel, Friedrich. Von Prof. Dr. D. Walzel. Mit 1 Bildn. (Bd. 408.)

Ibsen, Björnson und ihre Zeitgenossen. Von weil. Prof. Dr. B. Kahle. 2. Aufl. von Dr. Morgenstern. Mit 7 Bildn. (Bd. 193.)

Impressionismus, Die Maler des J. Von Prof. Dr. B. Szász. Mit 32 Abb. u. 1 farb. Tafel. (Bd. 395.)*

Klavier siehe Tasteninstrumente.

Kunst, Deutsche, im täglichen Leben bis zum Schlusse des 18. Jahrh. Von Prof. Dr. B. Saendke. Mit 63 Abb. (Bd. 198.)

Kunst siehe auch Decorative, Griechische, Ostasiatische Kunst.

Kunstpflge in Haus und Heimat. Von Superint. R. Bürkner. 2. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 77.)

Lessing, V. Dr. G. H. Schrempf. (Bd. 403.)

Lyrik, Geschichte der deutschen L. seit Claudius. Von Dr. H. Spiero. (Bd. 254.)

— siehe auch Minnesang und Volkslied.

Maler, Die altdeutschen, in Süddeutschland. Von H. Remig. Mit 1 Bildn. Heftels. (Bd. 464.) Siehe auch Impressionismus.

Malerei, Die deutsche, im 19. Jahrh. Von Prof. Dr. R. Hamann. 2 Bände Text, 2 Bände Abbildgn., auch in 1 Halbvergangenheitsb. zu M. 6.— (Bd. 448—451.)

Malerei, Niederländische, im 17. Jahrh. Von Dr. H. Janzen. Mit zahlr. Abb. — siehe auch Rembrandt. (Bd. 373.)*

Michelangelo, Einführung in das Werkst. d. Werke. Von Prof. Dr. E. Hilbebrandt. Mit 44 Abb. (Bd. 392.)*

Minnesang. Von Dr. F. W. Bruinier. (Bd. 404.)

Mozart siehe Haydn.

Mozart siehe Haydn.

*) Auch in Halbpergamtbänden zu M. 2.— vorrätig.

- Musik.** Geschichte der Musik siehe Hahn, Mozart, Beechoven, Wagner.
— Die Grundlagen der Tonkunst. Versuch e. genet. Darstellung der allgem. Musiklehre. Von Prof. Dr. S. Rietisch. (Bd. 178.)
Musikal. Kompositionsformen. Von S. G. Fallenberg. 2 Bde.
Bd. I: Die elementaren Tonverbindungen als Grundlage der Harmonielehre. (Bd. 412.)
Bd. II: Kontrapunktik und Formenlehre. (Bd. 413.)
Musikal. Romantik. Die Blütezeit der m. N. in Deutschland. Von Dr. E. Fstel. Mit Silhouette. (Bd. 239.)
Mythologie, Germanische. Von Prof. Dr. S. v. Megelein. (Bd. 95.)
— siehe auch Volksfage, Deutsche.
Novelle siehe Roman.
Orchester. Die Instrumente des Orch. Von Prof. Dr. Fr. Volbach. Mit 60 Abb. (Bd. 384.)
— Das moderne Orchester in seiner Entwicklung. Von Prof. Dr. Fr. Volbach. Mit Partiturbeisp. u. 3 Taf. (Bd. 308.)
Orgel siehe Tasteninstrumente.
Asiatische Kunst und ihr Einfluß auf Europa. Von Dir. Prof. Dr. R. Graul. Mit 49 Abb. (Bd. 87.)
Personennamen, Die deutschen. Von Dir. A. Bähnisch. (Bd. 296.)
Plastik siehe Griechische Kunst.
Poetik. Von Dr. R. Müller-Freienfels. (Bd. 460.)
Nembrandt. Von Prof. Dr. P. Schubring. Mit 50 Abb. (Bd. 158.)*
Renaissancearchitektur in Italien I. Von Dr. P. Frankl. Mit 12 Taf. u. 27 Textabb. (Bd. 381.)*
Rhetorik. Von Dr. E. Geißler. I. Richtlinien für die Kunst des Sprechens. 2. Aufl. (Bd. 455.)
— II. Anweisungen zur Kunst der Rede. (Bd. 456.)
- Rhetorik.** Siehe auch Sprechen.
Roman. Der französische Roman und die Novelle. Von D. Flake. (Bd. 377.)
Romantik, Deutsche. Von Prof. Dr. D. Walzel. 2. Aufl. (Bd. 232.)
Romantik siehe auch Musikal. Romantik.
Schiller. Von Prof. Dr. Th. Ziegler. Mit Bildn. 2. Aufl. (Bd. 74.)
Shakespeare und seine Zeit. Von Prof. Dr. E. Sieper. Mit 3 Taf. u. 3 Textabb. 2. Aufl. (Bd. 185.)
Sprachbau. Die Haupttypen des menschlichen S. Von weil. Prof. Dr. F. N. Find. (Bd. 268.)
Sprachstämme des Erdkreises. Von weil. Prof. Dr. F. N. Find. (Bd. 267.)
Sprechen. Wie wir sprechen. Von Dr. E. Richter. (Bd. 354.)
— siehe auch Rhetorik.
Stile. Die Entwicklungsgeschichte der Stile in der bildenden Kunst. Von Dr. E. Cohn-Wiener. 2 Bde.
Bd. I: Vom Altertum bis zur Gotik. Mit 57 Abb. (Bd. 317.)*
Bd. II: Von der Renaissance b. z. Gegenwart. Mit 31 Abb. (Bd. 318.)*
Tasteninstrumente. Klavier, Orgel, Harmonium. Das Wesen der T. Von Prof. Dr. D. Bie. (Bd. 325.)
Theater, Das. Schauspielhaus und Schauspielkunst vom griech. Altert. bis zur Gegenwart. Von Dr. Chr. Gachde. 2. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 230.)
Tonkunst siehe Musik.
Volkslied, Das deutsche. Über Wesen und Werden deutschen Volksliedes. Von Dr. J. W. Bruhier. 5. Aufl. (Bd. 7.)
Volksfage, Die deutsche. Von Dr. D. Bödele. (Bd. 262.)
— siehe auch Mythologie, German.
Wagner. Das Kunstwerk Richard Wagners. Von Dr. E. Fstel. Mit Bildn. (Bd. 330.)
— siehe auch Musikal. Romantik.

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Kultur, Geschichte und Geographie, Recht und Wirtschaft.

- Alpen, Die.** Von S. Reishauer. Mit 26 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 276.)
Altertum, Das, im Leben der Gegenwart. Von Prof. Dr. W. Cauer. (Bd. 356.)
Amerika, Geschichte der Vereinigten Staaten von A. Von Prof. Dr. E. Daenell. 2. Aufl. (Bd. 147.)
— Aus dem amerikan. Wirtschaftsleben. Von Prof. F. L. Laughlin. Mit 9 graph. Darstellungen. (Bd. 127.)
— siehe ferner Lehrerbildung, Volksschule, Techn. Hochschulen, Universitäten
Amerikas in Abtlg. Bildungswesen.
Amerikaner, Die. Von N. M. Butler. Deutsch von Prof. Dr. W. Paszkowski. (Bd. 319.)
Angestellte siehe Kaufmännische A.
Anfänge Wirtschaftsgeschichte. Von Dr. D. Neurath. (Bd. 258.)
Arbeiterschulz und Arbeiterversicherung. Von Prof. D. v. Zwi edineck-Südenhorst. 2. Aufl. (Bd. 78.)
— siehe auch soziale Bewegung.
Australien und Neuseeland. Land, Leute und Wirtschaft. Von Prof. Dr. R. Schachner. (Bd. 366.)

*) Auch in Halberpapierbänden zu M. 2.— vorrätig.

- Bauernhaus, Kulturgeschichte des deutschen** V. Von Reg.-Baumeister Chr. Kand. 2. Aufl. Mit 70 Abb. (Bd. 121.)
- Bauernstand, Geschichte des deutschen** V. Von Prof. Dr. H. Gerdes. Mit 21 Abb. (Bd. 320.)
- Bevölkerungslehre.** Von Prof. Dr. M. Haushofer. (Bd. 50.)
- Buch, Wie ein Buch entsteht.** Von Prof. A. W. Unger. 3. Aufl. Mit 7 Taf. u. 26 Abb. (Bd. 175.)
- Das Buchgewerbe und die Kultur. 6 Vorträge, gehalten i. A. des Deutschen Buchgewerbevereins. Mit 1 Abb. (Bd. 182.)
- siehe auch Schrift- und Buchwesen.
- Byzantinische Charakterköpfe.** Von Privatdoz. Dr. K. Dieterich. Mit 2 Bildn. (Bd. 244.)
- Charakterbilder aus deutscher Geschichte** siehe Von Luther zu Bismarck.
- Deutsch: Deutsches Bauernhaus** f. Bauernhaus. — Deutscher Bauernstand f. Bauernstand. — Deutsches Dorf f. Dorf. — Deutsche Einheit f. Vom Bund zum Reich. — Deutsches Frauenleben f. Frauenleben. — Deutsche Geschichte f. Geschichte. — Deutscher Handel f. Handel. — Deutsches Haus f. Haus. — Deutsche Kolonien f. Kolonien. — Deutsche Landwirtschaft f. Landwirtschaft. — Deutsche Reichsversicherung f. Reichsversicherung. — Deutsche Schifffahrt f. Schifffahrt. — Deutsches Schulwesen f. Schulwesen. — Deutsche Städte f. Städte. — Deutsche Verfassung, Verfassungsrecht f. Verfassung, Verfassungsrecht. — Deutsche Volksfeste, Volkstämme, Volkstrachten f. Volksfeste usw. — Deutsches Weidwerk f. Weidwerk. — Deutsches Wirtschaftsleben f. Wirtschaftsleben. — Deutsches Zivilprozessrecht f. Zivilprozessrecht.
- Deutschtum im Ausland, Das.** Von Prof. Dr. R. Hoeniger. (Bd. 402.)
- Dorf, Das deutsche.** Von R. Mielle. 2. Aufl. Mit 51 Abb. (Bd. 192.)
- Ehe und Eherecht.** Von Prof. Dr. E. Wahrmond. (Bd. 15.)
- Eisenbahnwesen, Das.** Von Eisenbahnbau-u. Betriebsinsp. a. D. Biedermann. 2. Aufl. Mit Abbildgn. (Bd. 144.)
- siehe auch Verkehrsentwicklung in Deutschland 1800/1900.
- Englands Weltmacht in ihrer Entwicklung vom 17. Jahrhundert bis auf unsere Tage.** Von Prof. Dr. W. Langenbeck. 2. Aufl. Mit 19 Bildn. (Bd. 174.)
- Entdeckungen, Das Zeitalter der.** Von Prof. Dr. S. Günther. 3. Aufl. Mit 1 Weltkarte. (Bd. 26.)
- Erbrecht, Testamenterrichtung und E.** Von Prof. Dr. F. Leonhard. (Bd. 429.)
- Familienforschung.** Von Dr. E. Devrient. (Bd. 350.)
- Finanzwissenschaft.** Von Prof. Dr. S. P. Altman. (Bd. 306.)
- Frauenarbeit.** Ein Problem des Kapitalismus. Von Prof. Dr. R. Wilbrandt. (Bd. 106.)
- Frauenbewegung, Die moderne.** Ein geschichtlicher Überblick. Von Dr. K. Schirmacher. 2. Aufl. (Bd. 67.)
- Friedensbewegung, Die moderne.** Von A. H. Fried. (Bd. 157.)
- Friedrich der Große, Sechs Vorträge.** Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. 2. Aufl. Mit 2 Bildnissen. (Bd. 246.)
- Gartenkunst, Geschichte d. G.** Von Reg.-Baumeister Chr. Kand. Mit 41 Abb. (Bd. 274.)
- siehe auch Abt. Naturwissensch. (Blumen u. Pflanzen.)
- Gartenstadtbewegung, Die.** Von Generalsek. H. Kampfmeyer. Mit 45 Abb. 2. Aufl. (Bd. 239.)
- Geld, Das, und sein Gebrauch.** Von G. Maier. (Bd. 398.)
- siehe auch Münze.
- Germanische Kultur in der Urzeit.** Von Prof. Dr. G. Steinhausen. 2. Aufl. Mit 13 Abb. (Bd. 75.)
- Geschichte, Deutsche** siehe Von Luther zu Bismarck, Friedrich der Große, Restauration u. Revolution, Von Jena bis zum Wiener Kongreß, Revolution (1848), Reaktion u. neue Ara, Vom Bund zum Reich, Moltke.
- Gewerblicher Rechtsschutz in Deutschland.** Von Patentanw. B. Tolkstdorf. (Bd. 138.)
- Griechische Städte, Kulturbilder aus gr. St.** Von Oberlehrer Dr. E. Ziebarth. 2. Aufl. Mit 23 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 131.)
- Handel, Geschichte des Welthandels.** Von Prof. Dr. M. G. Schmidt. 2. Aufl. (Bd. 118.)
- Geschichte des deutschen Handels. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. (Bd. 237.)
- Handwerk, Das deutsche, in seiner kulturgeschichtlichen Entwicklung.** Von Dir. Dr. E. Otto. 4. Aufl. Mit 27 Abb. (Bd. 14.)
- Haus, Das deutsche, und sein Hausrat.** Von Prof. Dr. R. Meringer. Mit 106 Abb. (Bd. 116.)
- Holland** siehe Städtebilder, Historische.
- Hotellwesen.** Von B. Damm-Strienné. Mit 30 Abb. (Bd. 331.)
- Japaner, Die, in der Weltwirtschaft.** Von Prof. Dr. Rathgen. 2. Aufl. (Bd. 72.)
- Jeuiten, Die.** Eine histor. Skizze. Von Prof. Dr. H. Boehmer. 3. Aufl. (Bd. 29.)
- Internationale Leben, Das, der Gegenwart.** Von A. H. Fried. Mit 1 Tafel. (Bd. 226.)
- Island, das Land und das Volk.** Von Prof. Dr. B. Herrmann. Mit Abb. und Karten. (Bd. 461.)

- Jurisprudenz im häuslichen Leben.** Für Familie und Haushalt dargestellt. Von Rechtsanw. P. Wienengraber. 2 Bde. (Bd. 219, 220.)
- Kaufmann.** Das Recht des R. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 409.)
- Kaufmännische Angestellte.** Das Recht der I. A. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 361.)
- Kolonien, Die deutschen.** (Land und Leute.) Von Dr. A. Heilborn. 3. Aufl. Mit 26 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 98.)
- **Unsere Schutzgebiete nach ihren wirtschaftl. Verhältnissen.** Im Lichte der Erdkunde dargestellt. Von Dr. Chr. G. Barth. (Bd. 290.)
- Kolonisation, Innere.** Von A. Brenning. (Bd. 261.)
- Konsumgenossenschaft, Die.** Von Prof. Dr. F. Staudinger. (Bd. 222.)
- Krieg, Der, im Zeitalter des Verkehrs und der Technik.** Von Hauptmann A. Meyer. Mit 3 Abb. (Bd. 271.)
- **Vom Kriegswesen im 19. Jahrhundert.** Von Major D. v. Sothen. Mit 9 Übersichtskarten. (Bd. 59.)
- siehe auch Seekrieg.
- Landwirtschaft, Die deutsche.** Von Dr. W. Claassen. Mit 15 Abb. und 1 Karte. (Bd. 215.)
- Miete, Die, nach dem BGB.** Ein Handb. für Juristen, Mieter und Vermieter. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 194.)
- Mittelalterliche Kulturideale.** Von Prof. Dr. B. Fedel. 2 Bde.
Bd. I: Heldenleben. (Bd. 292.)
Bd. II: Ritterromantik. (Bd. 293.)
- Mittelstandsbewegung, Die moderne.** Von Dr. L. Müffelmann. (Bd. 417.)
- Moltke.** Von Kaiserl. Ottoman. Major im Generalstab F. C. Endres. Mit Bildn. (Bd. 415.)
- Münze, Die, als historisches Denkmal sowie ihre Bedeutung im Rechts- und Wirtschaftsleben.** Von Prof. Dr. A. Luschin v. Bengreuth. Mit 53 Abb. — siehe auch Geld. (Bd. 91.)
- Napoleon I.** Von Prof. Dr. Th. Ritterauf. 2. Aufl. Mit Bildn. (Bd. 195.)
- Naturvölker, Die geistige Kultur der R.** Von Prof. Dr. K. Th. Breuß. Mit 7 Abb. (Bd. 452.)
- Organisationen, Die wirtschaftlichen.** Von Privatdoz. Dr. E. Lederer. (Bd. 428.)
- Orient, Der. Eine Länderkunde.** Von G. Banke. 3 Bde.
Bd. I: Die Atlasländer. Marokko, Algerien, Tunesien. Mit 15 Abb., 10 Karten, 3 Diagrammen u. 1 Tafel. (Bd. 277.)
Bd. II: Der arabische Orient. Mit 29 Abb. und 7 Diagrammen. (Bd. 278.)
- Orient, Der.**
Bd. III: Der arische Orient. Mit 34 Abb., 3 Karten, 3 Diagrammen. (Bd. 279.)
- Österreich.** Geschichte der auswärtigen Politik Österreichs im 19. Jahrhundert. Von R. Charnas. (Bd. 374.)
- Österreichs innere Geschichte von 1848 bis 1907.** Von R. Charnas. 2 Bände.
2. Aufl.
Bd. I: Die Vorherrschaft der Deutschen. (Bd. 242.)
Bd. II: Der Kampf d. Nationen. (Bd. 243.)
- Ötmar, Die.** Eine Einführung in die Probleme ihrer Wirtschaftsgeschichte. Von Prof. Dr. W. Mitjcherlich. (Bd. 351.)
- Ötzegebiet.** Von Privatdozent Dr. G. Braun. (Bd. 367.)
- Palästina und seine Geschichte.** Von Prof. Dr. S. Freiherr von Soden. 3. Aufl. Mit 2 Karten, 1 Plan und 6 Ansichten. (Bd. 6.)
- Palästina und seine Kultur in fünf Jahrtausenden.** Von Gymnasialoberlehrer Dr. B. Thomsen. Mit 36 Abb. (Bd. 260.)
- Polarforschung.** Geschichte der Entdeckungstouren zum Nord- und Südpol von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart. Von Prof. Dr. R. Hassert. 3. Aufl. Mit 6 Karten. (Bd. 38.)
- Politische Geographie.** Von Dr. E. Schöne. (Bd. 353.)
- Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrhundert.** Von Prof. Dr. R. Th. v. Seigel. 2. Aufl. (Bd. 129.)
- Pompeji, eine hellenistische Stadt in Italien.** Von Prof. Dr. Fr. v. Duhn. 2. Aufl. Mit 62 Abb. (Bd. 114.)
- Postwesen, Das, Entwicklung und Bedeutung.** Von Postrat. J. Prunz. (Bd. 165.)
- Reaktion und neue Ara.** Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der Gegenwart. Von Prof. Dr. R. Schwemer. 2. Aufl. (Bd. 101.)
- Recht** siehe Eherecht, Erbrecht, Gewerbli. Rechtsschutz, Jurisprudenz, Kaufmann, Kaufmann. Angestellte, Urheberrecht, Verbrechen, Verfassungsrecht, Wahlrecht, Zivilprozeßrecht.
- Rechtsprobleme, Moderne.** Von Prof. Dr. F. Kohler. 3. Aufl. (Bd. 128.)
- Reichsversicherung, Die, Die Kranken-, Invaliden-, Hinterbliebenen-, Unfall- und Angestelltenversicherung nach der Reichsversicherungsordnung u. dem Versicherungs-gesetz für Angestellte.** Von Landesversicherungsassessor S. Seelmann. (Bd. 380.)
- Restauration und Revolution.** Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. R. Schwemer. 3. Aufl. (Bd. 37.)

- Revolution. Geschichte der Französischen
R. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf.
(Bd. 346.)
- 1848. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr.
D. Weber. 2. Aufl. (Bd. 53.)
- Rom. Das alte Rom. Von Geh. Reg.-Rat
Prof. Dr. O. Richter. Mit Silberan-
hang u. 4 Plänen. (Bd. 386.)
- Soziale Kämpfe im alten Rom. Von
Privatdoz. Dr. E. Bloch. 3. Aufl.
(Bd. 22.)
- Roms Kampf um die Weltherrschaft.
Von Prof. Dr. Promayer. (Bd. 368.)
- Schiffahrt. Deutsche, und Schiffahrtspolitik
der Gegenwart. Von Prof. Dr. R.
Thieß. (Bd. 169.)
- Schrift- und Buchwesen in alter und neuer
Zeit. Von Prof. Dr. D. Weise. 3. Aufl.
Mit 37 Abb. (Bd. 4.)
- siehe auch Buch.
- Schulwesen. Geschichte des deutschen Schul-
wesens. Von Oberrealschuldir. Dr. R.
Knabe. (Bd. 85.)
- Seerrieg. Eine geschichtl. Entwicklung vom
Zeitalter der Entdeckungen bis zur Gegen-
wart. Von R. Freiherrn v. Malgahn,
Vizeadmiral a. D. (Bd. 99.)
- Das Kriegsschiff. Von Geh. Marine-
baurat Krieger. Mit 60 Abb. (Bd. 389.)
- siehe Krieg.
- Soziale Bewegungen und Theorien bis
zur modernen Arbeiterbewegung. Von
G. Maier. 4. Aufl. (Bd. 2.)
- siehe auch Arbeiterschutz und Arbeiter-
versicherung.
- Soziale Kämpfe im alten Rom siehe Rom.
- Sozialismus. Geschichte der sozialistischen
Ideen im 19. Jahrh. Von Privatdoz.
Dr. Fr. Müde. 2 Bde.
Band I: Der rationale Sozialismus.
(Bd. 269.)
- Band II: Proudhon und der entwicklungs-
geschichtliche Sozialismus. (Bd. 270.)
- Städte. Die. Geographisch betrachtet. Von
Prof. Dr. R. Hassert. Mit 21 Abb.
(Bd. 163.)
- Deutsche Städte und Bürger im Mit-
telalter. Von Prof. Dr. B. Heil. 3.
Aufl. Mit zahlr. Abb. u. 1 Doppel-
tafel. (Bd. 43.)
- Historische Städtebilder aus Holland
und Niederdeutschland. Von Reg.-Bau-
meister a. D. A. Erbe. Mit 59 Abb.
(Bd. 117.)
- siehe auch Griechische Städte, ferner
Pompeji, Rom.
- Statistik. Von Prof. Dr. E. Schott.
(Bd. 442.)
- Strafe und Verbrechen. Von Dr. P. Pol-
lig. (Bd. 323.)
- Student. Der Leipziger. von 1409 bis
1909. Von Dr. W. Bruchmüller.
Mit 25 Abb. (Bd. 273.)
- Telegraphie. Die, in ihrer Entwicklung und
Bedeutung. Von Postrat J. Bruns.
Mit 4 Fig. (Bd. 183.)
- Testamentserrichtung und Erbrecht. Von
Prof. Dr. F. Leonhard. (Bd. 429.)
- Theater. Das. Schauspielhaus und Schau-
spielkunst vom griech. Altertum bis auf
die Gegenwart. Von Dr. Chr. Gachde.
2. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 230.)
- Über Universitäten u. Universitätsstudium.
B. Prof. Dr. Th. Ziegler. (Bd. 411.)
- siehe auch Student, Der Leipziger.
- Urheberrecht. Das Recht an Schrift- und
Kunstwerken. Von Rechtsanwalt Dr. R.
Mothés. (Bd. 435.)
- Verbrechen. Strafe und B. Von Dr. P.
Pollig. (Bd. 323.)
- Verbrechen und Aberglaube. Skizzen aus
der volkstümlichen Kriminalistik. Von
Dr. A. Hellwig. (Bd. 212.)
- Verbrecher. Die Psychologie des B. Von
Dr. P. Pollig. Mit 5 Diagrammen.
(Bd. 248.)
- Verfassung. Grundzüge der B. des Deut-
schen Reiches. Von Prof. Dr. E. Loe-
ning. 4. Aufl. (Bd. 34.)
- Verfassungsrecht, Deutsches, in geschicht-
licher Entwicklung. Von Prof. Dr. E. d.
Sührich. 2. Aufl. (Bd. 80.)
- Verkehrsentwicklung in Deutschland. 1800
bis 1900 (fortgeführt bis zur Gegen-
wart). Vorträge über Deutschlands Eisen-
bahnen und Binnenwasserstraßen, ihre
Entwicklung und Verwaltung sowie ihre
Bedeutung für die heutige Volkswirt-
schaft. Von Prof. Dr. W. Vogt. 3. Aufl.
(Bd. 15.)
- siehe auch Eisenbahnwesen.
- Versicherungswesen. Grundzüge des B.
Von Prof. Dr. A. Manes. 2. Aufl.
(Bd. 105.)
- siehe auch Arbeiterschutz und Arbeiter-
versicherung und Reichsversicherung.
- Volkssitte und Volkssitten. Deutsche. Von
D. S. Rehm. Mit 11 Abb. (Bd. 214.)
- Volkstämme. Die deutschen, und Land-
schaften. Von Prof. Dr. D. Weise.
4. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 16.)
- Volkstrachten, Deutsche. Von Pfarrer C.
Spieß. (Bd. 342.)
- siehe auch Deutsche Volkssitte usw.
- Vom Bund zum Reich. Neue Skizzen zur
Entwicklungsgeschichte der deutschen Ein-
heit. Von Prof. Dr. R. Schwemer.
2. Aufl. (Bd. 102.)
- Von Jena bis zum Wiener Kongress. Von
Prof. Dr. G. Roloff. (Bd. 465.)
- Von Luther zu Bismarck. 12 Charakter-
bilder aus deutscher Geschichte. Von Prof.
Dr. D. Weber. 2 Bde. 2. Aufl.
(Bd. 123, 124.)
- Wahlrecht. Das. Von Reg.-Rat Dr. D.
Poensgen. (Bd. 249.)

- Weidwerk, Das deutsche. Von G. Frh. v. Nordenflicht. (Bd. 436.)
Welthandel siehe Handel.
Wirtschaftliche Erdkunde. Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 2. Aufl. Bearb. von Prof. Dr. R. Dove. (Bd. 122.)
Wirtschaftsleben, Deutsches. Auf geographischer Grundlage geschildert. Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 3. Aufl. Neubearb. v. Dr. S. Reinlein. (Bd. 42.)
— Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im letzten Jahrhundert. Von Prof. Dr. L. Pohle. 3. Aufl. (Bd. 57.)

Wirtschaftsleben, Deutsches. Deutschlands Stellung in der Weltwirtschaft. Von Prof. Dr. P. Urndt. 2. Aufl. (Bd. 179.)

Wirtschaftlichen Organisationen, Die. Von Privatdozent Dr. E. Lederer. (Bd. 428.)

Wirtschaftsgeschichte siehe Antike Wirtschaftsgeschichte.

Zeitungswesen. Von Dr. S. Diez. (Bd. 328.)

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

Wichtige Gebiete der Volkswirtschaft sind auch in der Abteilung Naturwissenschaft und Technik behandelt unter den Stichwörtern: Automobil, Bierbrauerei, Bilder aus der chem. Technik, Eisenbahnwesen, Eisenhüttenwesen, Electr. Kraftübertragung, Gartenstadtbewegung, Ingenieurtechnik, Kaffee, Kaffee, Kinas, Kinematographie, Kohlen, Landwirtschaft, Maschinen, Metalle, Patente, Salz, Schmelzsteine, Spinneret, Straßenbahnen, Tabak, Tee, Wald, Wasserkraftmaschinen, Weinbau.

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Mathematik, Naturwissenschaften, Medizin und Technik.

- Aberglaube, Der, in der Medizin und seine Gefahr für Gesundheit und Leben. Von Prof. Dr. D. v. Hansemann. 2. Aufl. (Bd. 83.)
Abstammungs- und Vererbungslehre, Experimentelle. Von Dr. S. Lehmann. Mit 26 Abb. (Bd. 379.)
Abstammungslehre und Darwinismus. Von Prof. Dr. R. Hesse. 4. Aufl. Mit 37 Fig. (Bd. 39.)
Agrilkulturchemie. Von Dr. P. Krichbe. Mit 21 Abb. (Bd. 314.)
Algebra siehe Arithmetik.
Alkoholismus, Der. Von Dr. G. B. Gruber. Mit 7 Abb. (Bd. 103.)
Ameisen, Die. Von Dr. Fr. Knauer. Mit 61 Fig. (Bd. 94.)
Anatomie des Menschen, Die. Von Prof. Dr. R. v. Bardeleben. 6 Bde. 2. Aufl. I. Teil: Zellen- und Gewebelehre. Entwicklungsgeschichte der Körper als Ganzes. Mit 70 Abb. (Bd. 418.)
II. Teil: Das Skelett. Mit 53 Abb. (Bd. 419.)
III. Teil: Das Muskel- und Gefäßsystem. Mit 68 Abb. (Bd. 420.)
IV. Teil: Die Eingeweide (Darm-, Atmungs-, Harn- und Geschlechtsorgane). Mit 39 Abb. (Bd. 421.)
V. Teil: Nervensystem und Sinnesorgane. Mit 50 Abb. (Bd. 422.)
VI. Teil: Statik und Mechanik des menschlichen Körpers. Mit 20 Abb. (Bd. 423.)
Aquarium, Das. Von E. B. Schmidt. Mit 15 Fig. (Bd. 335.)
Arithmetik und Algebra zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. P. Franz. 2 Bde. I. Teil: Die Rechnungsarten. Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten. Gleichungen zweiten Grades. 2. Aufl. Mit 9 Fig. (Bd. 120.)
II. Teil: Gleichungen. Arithmetische und geometrische Reihen. Binomials- und Rentenrechnung. Komplexe Zahlen. Binomischer Lehrsatz. 3. Aufl. Mit 23 Fig. (Bd. 205.)
Arzneimittel und Genußmittel. Von Prof. Dr. O. Schmiedeberg. (Bd. 363.)
Arzt, Der. Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenwart. Ein Leitfaden der sog. Medizin. Von Dr. med. M. Fürst. (Bd. 265.)
Astronomie. Probleme der modernen Astronomie. Von Prof. Dr. S. Oppenheim. Mit 11 Fig. (Bd. 355.)
— Astronomie in ihrer Bedeutung für das praktische Leben. Von Prof. Dr. A. Marcuse. Mit 26 Abb. (Bd. 378.)
— siehe auch Weltall, Weltbild, Sonne, Mond, Planeten.
Atome, Moleküle — Atome — Welttäter. Von Prof. Dr. G. Mie. 3. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 58.)
Auge des Menschen, Das, und seine Gesundheitspflege. Von Prof. Dr. G. A. H. v. Helldorf. Mit 15 Abb. (Bd. 149.)
Auge, Das, und die Brille. Von Dr. M. v. Kohn. Mit 84 Abb. und 1 Lichtdrucktafel. (Bd. 372.)

- Automobil, Das.** Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ingenieur R. Blau. 2. Aufl. Mit 86 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 166.)
- Bakterien, Die, im Kreislauf des Stoffes in der Natur und im Haushalt des Menschen.** Von Prof. Dr. E. Gutzeit. Mit 13 Abb. (Bd. 233.)
- **Die krankheitserregenden Bakterien.** Von Privatdozent Dr. M. Voehlein. Mit 33 Abb. (Bd. 307.)
- Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers.** Von Prof. Dr. H. Sachs. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 32.)
- Baufunde, Das Wohnhaus.** Von Reg.-Baumeister a. D. G. Langen. 2 Bde. Mit Abb. Bd. I: Sein technischer Aufbau. (Bd. 444.) Bd. II: Seine Anlage und Ausgestaltung. (Bd. 445.)
- **Eisenbetonbau, Der.** Von Dipl.-Ing. E. Saimovici. 81 Abb. (Bd. 275.)
- Baukunst** siehe Abtlg. Kunst.
- Befruchtungsvorgang, Der, sein Wesen und seine Bedeutung.** Von Dr. E. Reichmann. 2. Aufl. Mit 7 Abb. und 4 Doppeltafeln. (Bd. 70.)
- Beleuchtungswesen, Das moderne.** Von Dr. H. Lux. Mit 54 Abb. (Bd. 433.)
- Bierbrauerei.** Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 333.)
- Biochemie, Einführung in die B.** Von Prof. Dr. R. Löb. (Bd. 352.)
- Biologie, Allgemeine.** Von Prof. Dr. H. Miehe. 2. Aufl. Mit 140 Fig. (Bd. 130.)
- **Experimentelle.** Von Dr. E. Theising. Mit Abb. 2 Bände. Bd. I: Experim. Zellforschung. (Bd. 336.) Band II: Regeneration, Transplantation und verwandte Gebiete. (Bd. 337.)
- , siehe auch Abstammungslehre und Befruchtungsvorgang, Erscheinungen des Lebens, Lebewesen, Organismen, Mensch und Tier, Urtiere.
- Blumen, Unsere Bl. und Pflanzen im Garten.** Von Prof. Dr. U. Dammer. Mit 69 Abb. (Bd. 360.)
- **Unsere Bl. und Pflanzen im Zimmer.** Von Prof. Dr. U. Dammer. Mit 65 Abb. (Bd. 359.)
- Blut, Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen.** Von Prof. Dr. H. Rosin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)
- Botanik** siehe Kolonialbotanik, Blumen, Kulturpflanzen.
- Brauerei, Die Bierbrauerei.** Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 333.)
- Brille, Das Auge und die Br.** Von Dr. M. v. Rohr. Mit 84 Abb. und 1 Lichtdrucktafel. (Bd. 372.)
- Buch, Wie ein Buch entsteht.** Von Prof. A. B. Unger. 3. Aufl. Mit 7 Tafeln und 26 Abb. (Bd. 175.)
- siehe auch Abt. Kultur (Buchgewerbe, Schrift- u. Buchwesen).
- Chemie, Einführung in die chemische Wissenschaft.** Von Prof. Dr. W. Löb. Mit 16 Figuren. (Bd. 264.)
- **Einführung in die organ. Chemie: Natürl. und künstl. Pflanzen- u. Tierstoffe.** Von Dr. B. Davink. 2. Aufl. Mit 7 Fig. (Bd. 187.)
- **Bilder aus der chemischen Technik.** Von Dr. A. Müller. Mit 24 Abb. (Bd. 191.)
- Chemie in Küche und Haus.** Von Dr. F. Klein. 3. Aufl. Mit 1 Doppeltafel. (Bd. 76.)
- Chemie und Technologie der Sprengstoffe.** Von Prof. Dr. R. Wiedermann. Mit 15 Fig. (Bd. 286.)
- Chirurgie, Die, unserer Zeit.** Von Prof. Dr. Feßler. Mit 52 Abb. (Bd. 339.)
- Dampfkessel** siehe Dampfmaschine I und Feuerungsanlagen.
- Dampfmaschine, Die.** 2 Bde. I: Wirkungsweise des Dampfes in Kessel und Maschine. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3. Aufl. Mit 45 Abb. (Bd. 393.)
- II: Ihre Gestaltung und ihre Verwendung. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Mit 95 Abb. u. 1 Taf. (Bd. 394.)
- Darwinismus, Abstammungslehre und D.** Von Prof. Dr. R. Sella. 4. Aufl. Mit 37 Fig. (Bd. 39.)
- Differential- u. Integralrechnung.** Von Dr. M. Lindow. (Bd. 387.)
- Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik.** Von Telegrapheninspektor H. Fried. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)
- Eisenbahnwesen, Das.** Von Eisenbahnbau- und Betriebsinspektor a. D. E. Wiedermann. 2. Aufl. M. zahlr. Abb. (Bd. 144.)
- siehe auch Klein- u. Straßenbahnen, Verkehrsentwicklung.
- Eisenbetonbau.** Von Dipl.-Ing. E. Saimovici. Mit 81 Abb. (Bd. 275.)
- Eisenhüttenwesen.** Von weif. Geh. Bergrat Prof. Dr. H. Webbing. 4. Aufl. von Bergreferendar F. W. Webbing. Mit 15 Fig. (Bd. 20.)
- Eiszeit, Die, und der vorgeschichtliche Mensch.** Von Prof. Dr. G. Steinmann. Mit 24 Abb. (Bd. 302.)
- Elektrische Kraftübertragung.** Von Ing. B. Röhren. Mit Abb. (Bd. 424.)
- Elektrochemie.** Von Prof. Dr. R. Arndt. Mit 38 Abb. (Bd. 234.)
- Elektrotechnik, Grundlagen der E.** Von Dr. A. Kottb. Mit 72 Abb. (Bd. 391.)
- siehe auch Drähte und Kabel, Telegraphie.

- Energie.** Die Lehre von der **E.** Von Dr. A. Stein. Mit 13 Fig. (Bd. 257.)
- Ernährung und Volksernährungsmittel.** Von weil. Prof. Dr. F. Frenzel. 2. Aufl. Neu bearbeitet von Geh.-Rat Prof. Dr. R. Jungh. Mit 7 Abb. und 2 Tafeln. (Bd. 19.)
- Farben** siehe **Licht.**
- Feuerungsanlagen, Industrielle, u. Dampfessel.** Von Ingenieur F. E. Mayer. Mit 88 Abb. (Bd. 348.)
- Funkentelegraphie.** Von Oberpostprokurator G. Thurn. Mit 53 Illustr. 2. Aufl. (Bd. 167.)
- Garten** siehe **Blumen, Pflanzen.**
- Gartentunst.** Geschichte der **G.** Von Reg.-Baumeister Chr. Rand. Mit 41 Abb. (Bd. 274.)
- Gartenstadtbewegung, Die.** Von Generalsekretär S. Kamppfmeier. Mit 43 Abb. 2. Aufl. (Bd. 259.)
- Gebiß.** Das menschliche, seine Ernährung und Pflege. Von Zahnarzt Fr. Jäger. Mit 24 Abb. (Bd. 229.)
- Geisteskrankheiten.** Von Anstaltsarzt Dr. G. Jberg. (Bd. 151.)
- Genußmittel** siehe **Kaffee, Tee, Kakao, Tabak, Arzneimittel u. Genußmittel.**
- Geologie, Allgemeine.** Von Geh. Bergrat Prof. Dr. Fr. Frech. 2. u. 3. Aufl.
Bd. I: **Vulkane** einst und jetzt. Mit 80 Abb. (Bd. 207.)
Bd. II: **Gebirgsbau** und **Erdbeben.** Mit 57 Abb. (Bd. 208.)
Bd. III: **Die Arbeit des fließenden Wassers.** Mit 51 Abb. (Bd. 209.)
Bd. IV: **Die Arbeit des Ozeans** und die chemische Tätigkeit des Wassers im allgemeinen. Mit 1 Titelbild und 51 Abb. (Bd. 210.)
Bd. V: **Kohlenbildung** und **Klima** der Vorzeit. 49 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 211.)
Bd. VI: **Gletscher** einst und jetzt. Mit 1 Titelbild und 65 Abb. (Bd. 61.)
- Geschlechtskrankheiten, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Bekämpfung und Verhütung.** Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 2. Aufl. Mit 4 Abb. und 1 Tafel. (Bd. 251.)
- Gesundheitslehre.** Acht Vorträge aus der **G.** Von weil. Prof. Dr. H. Buchner. 4. Aufl. besorgt von Prof. Dr. M. von Gruber. Mit 26 Abb. (Bd. 1.)
- Gesundheitslehre für Frauen.** Von Prof. Dr. D. Pöy. Mit Abb. (Bd. 171.)
- Getreidegräser** siehe **Kulturpflanzen.**
- Graphische Darstellung, Die.** Von Prof. Dr. F. Auerbach. (Bd. 437.)
- Handfeuerwaffen, Die.** Ihre Entwicklung und Technik. Von Hauptmann R. Weiß. Mit 69 Abb. (Bd. 364.)
- Häuserbau** siehe **Baufunde, Heizung** und **Lüftung.**
- Haustiere.** Die Stammesgeschichte unserer **H.** Von Prof. Dr. C. Keller. Mit 28 Fig. (Bd. 252.)
- Hebzeuge.** Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Von Geh. Bergat Prof. R. Vater. Mit 67 Abb. (Bd. 196.)
- Heilwissenschaft, Die moderne.** Wesen und Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. E. Piernacki. Deutsch von Dr. S. Ebel. (Bd. 25.)
- Heizung und Lüftung.** Von Ingenieur F. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)
- Herz, Blutgefäße und Blut** und ihre Erkrankungen. Von Prof. Dr. S. Kolin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)
- Hüttenwesen** siehe **Eisenhüttenwesen.**
- Hypnotismus und Suggestion.** Von Dr. E. Trömmner. 2. Aufl. (Bd. 199.)
- Infinitesimalrechnung.** Einführung in die **I.** mit einer historischen Übersicht. Von Prof. Dr. G. Nowalewski. 2. Aufl. Mit 18 Fig. (Bd. 197.)
- Ingenieurtechnik.** Bilder aus der **I.** Von Baurat R. Merdel. Mit 43 Abb. (Bd. 60.)
- **Schöpfungen der Ingenieurtechnik** der Neuzeit. Von Geh. Regierungsrat R. Geitel. Mit 32 Abb. (Bd. 28.)
- Kabel, Drähte und K., ihre Anfertigung** und Anwendung in der Elektrotechnik. Von Telegrapheninspektor S. Brück. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)
- Kaffee, Tee, Kakao** und die übrigen narkotischen Getränke. Von Prof. Dr. A. Wiewer. Mit 24 Abb. und 1 Karte. (Bd. 132.)
- Kälte, Die, ihr Wesen, ihre Erzeugung** und Bewertung. Von Dr. S. Witt. Mit 45 Abb. (Bd. 311.)
- Kinematographie.** Von Dr. S. Lehmann. Mit 69 Abb. (Bd. 358.)
- Klein- und Straßenbahnen.** Von Oberingenieur a. D. A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)
- Kohlen, unsere.** Von Bergassessor P. Kukul. Mit 60 Abb. (Bd. 396.)
- Koloniasbotanik.** Von Prof. Dr. F. Töpler. Mit 21 Abb. (Bd. 184.)
- Korallen** und andere gesteinsbildende Tiere. Von Prof. Dr. W. May. Mit 45 Abb. (Bd. 321.)
- Kraftanlagen** siehe **Feuerungsanlagen** und **Dampffessel, Elektr. Kraftübertragung, Dampfmaschine, Wärmekraftmaschine.**
- Kraftmaschinen** siehe **Wärmekraftmaschine, Wasserkraftmaschine.**
- Kraftübertragung, Die elektrische.** Von Ingenieur P. Köhn. Mit Abb. (Bd. 424.)

- Krankenpflege.** Von Chefarzt Dr. B. Leid. (Bd. 152.)
- Kriegsschiff.** Das. Von Geh. Marinebau-
 rat Krieger. Mit 60 Abb. (Bd. 389.)
- Küche** siehe Chemie in Küche und Haus.
- Kulturpflanzen.** Unsere wichtigsten K. Die
 Getreidegräser. Von Prof. Dr. F. Gie-
 senhagen. 2. Aufl. Mit 38 Fig.
 (Bd. 10.)
- Landwirtschaftliche Maschinenkunde.** Von
 Prof. Dr. G. Fischer. Mit 62 Abb.
 (Bd. 316.)
- Lebewesen.** Die Beziehungen der Tiere und
 Pflanzen zueinander. Von Prof. Dr. K.
 Kraepelin. Mit 132 Abb.
 — I. Der Tiere zueinander. (Bd. 426.)
 — II. Der Pflanzen zueinander und zu
 den Tieren. (Bd. 427.)
 — siehe Organismen, Biologie.
- Leibesübungen.** Die, und ihre Bedeutung
 für die Gesundheit. Von Prof. Dr. K.
 Zander. 3. Aufl. Mit 19 Abb. (Bd. 13.)
- Licht.** Das, und die Farben. Von Prof.
 Dr. L. Graetz. 3. Aufl. Mit 117 Abb.
 (Bd. 17.)
- Luft, Wasser, Licht und Wärme.** Neun
 Vorträge aus dem Gebiete der Exper-
 mentalchemie. Von Prof. Dr. R. Bloch-
 mann. 4. Aufl. Mit 115 Abb. (Bd. 5.)
- Luftfahrt.** Die, ihre wissenschaftlichen
 Grundlagen und ihre technische Entwic-
 lung. Von Dr. R. Nimführ. 3. Aufl.
 von Dr. Fr. Suth. Mit 53 Abb.
 (Bd. 300.)
- Luftstickstoff.** Der, und seine Verwertung.
 Von Prof. Dr. K. Kaiser. Mit 13
 Abb. (Bd. 313.)
- Lüftung.** Heizung und L. Von Ingenieur
 J. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)
- Maschinen** siehe Hebezeuge, Dampfmaschine,
 Wärmekraftmaschine, Wasserkraftma-
 schine und die folg. Bände.
- Maschinenelemente.** Von Geh. Bergrat Prof.
 R. Vater. Mit 184 Abb. (Bd. 301.)
- Maschinenkunde** siehe Landwirtschaftl. Ma-
 schinenkunde.
- Mäße und Messen.** Von Dr. W. Bod.
 Mit 34 Abb. (Bd. 385.)
- Mathematik, Praktische.** Von Dr. R. Neu-
 ENDORFF. I. Teil: Graphisches u. nu-
 merisches Rechnen. Mit 62 Fig. u. 1
 Tafel. (Bd. 341.)
- Mathematik, Naturwissenschaften und M.**
 im klassischen Altertum. Von Prof. Dr.
 Joh. L. Heiberg. (Bd. 370.)
- Mathematische Spiele.** Von Dr. W. Ah-
 renz. 2. Aufl. Mit 70 Fig. (Bd. 170.)
- Mechanik.** Von Kais. Geh. Reg.-Rat A.
 v. Fhering. 2 Bde.
 Bd. I: Die Mechanik der festen Körper.
 Mit 61 Abb. (Bd. 303.)
 Bd. II: Die Mechanik der flüssigen Kör-
 per. Mit 34 Abb. (Bd. 304.)
- Meer.** Das, seine Erforschung und sein Le-
 ben. Von Dr. O. Janson. 3. Aufl.
 Mit 41 Fig. (Bd. 30.)
- Mensch.** Entwicklungsgeschichte des M. Von
 Dr. A. Heilborn. Mit 60 Abb.
 (Bd. 388.)
- Mensch der Urzeit.** Der. Vier Vorlesungen
 aus der Entwicklungsgeschichte des Men-
 schengeschlechtes. Von Dr. A. Heil-
 born. 2. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 62.)
- Mensch.** Der vorgeistliche, siehe Eiszeit.
- Mensch und Erde.** Stützen von den Wech-
 selbeziehungen zwischen beiden. Von weil.
 Prof. Dr. A. Kirchhoff. 3. Aufl.
 (Bd. 31.)
- Mensch und Tier.** Der Kampf zwischen
 Mensch und Tier. Von Prof. Dr. R.
 Cschrein. 2. Aufl. Mit 51 Fig. (Bd. 18.)
- Menschlicher Körper.** Bau und Tätigkeit
 des menschl. K. Von Prof. Dr. S.
 Sachs. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 32.)
 — siehe auch Anatomie, Blut, Herz, Ner-
 ven-system, Sinne, Verästelungen.
- Metalle.** Die. Von Prof. Dr. K. Scheid.
 3. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 29.)
- Mikroskop.** Das, seine Optik, Geschichte und
 Anwendung. Von Dr. Scheffer. 2. Aufl.
 Mit 99 Abb. (Bd. 35.)
- Milch.** Die, und ihre Produkte. Von Dr.
 A. Reib. Mit 16 Abb. (Bd. 362.)
- Moleküle — Atome — Weltäther.** Von
 Prof. Dr. G. Mie. 3. Aufl. Mit 27 Fig.
 (Bd. 58.)
- Mond.** Der. Von Prof. Dr. F. Franz.
 Mit 31 Abb. (Bd. 90.)
- Natur und Mensch.** Von Direktor Prof.
 Dr. M. G. Schmidt. Mit 19 Abb.
 (Bd. 458.)
- Naturlehre.** Die Grundbegriffe der mo-
 dernen N. Von Prof. Dr. F. Auer-
 bach. 3. Aufl. Mit 79 Fig. (Bd. 40.)
- Naturwissenschaften im Haushalt.** Von Dr.
 J. Bongardt. 2 Bde.
- I. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die
 Gesundheit der Familie?** Mit 31 Abb.
 (Bd. 125.)
- II. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für gute
 Nahrung?** Mit 17 Abb. (Bd. 126.)
- Naturwissenschaften und Mathematik im
 klassischen Altertum.** Von Prof. Dr.
 Joh. L. Heiberg. (Bd. 370.)
- Naturwissenschaft und Religion.** N. und M.
 in Kampf und Frieden. Ein geschicht-
 licher Rückblick. Von Dr. A. Pfann-
 luche. 2. Aufl. (Bd. 141.)
- Naturwissenschaften und Technif.** Am saun-
 senden Weibstuhle der Zeit. Übersicht über
 Wirkungen der Entwicklung der N. und
 T. auf das gesamte Kulturleben. Von
 Prof. Dr. W. Launhardt. 3. Aufl.
 Mit 16 Abb. (Bd. 23.)
- Nautik.** Von Dir. Dr. J. Müller. Mit
 58 Fig. (Bd. 255.)

- Nerven.** Vom Nervensystem, seinem Bau und seiner Bedeutung für Leib und Seele in gesundem und krankem Zustande. Von Prof. Dr. K. Bander. 2. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 48.)
- Obstbau.** Von Dr. E. Boges. Mit 13 Abb. (Bd. 107.)
- Optik** siehe Auge, Brille, Licht u. Farbe, Mikroskop, Spektroskopie, Stereoskop, Strahlen.
- Optischen Instrumente, Die.** Von Dr. M. v. Rohrer. 2. Aufl. Mit 84 Abb. (Bd. 88.)
- Organismen. Die Welt der D.** In Entwicklung und Zusammenhang dargestellt. Von Prof. Dr. K. Lampert. Mit 52 Abb. (Bd. 236.)
- siehe Lebewesen.
- Patente und Patentrecht** siehe Abtlg. Recht. (Gewerbl. Rechtsschutz).
- Pflanzen. Das Werden und Vergehen der Pfl.** Von Prof. Dr. P. Gisevius. Mit 24 Abb. (Bd. 173.)
- Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen. Von Prof. Dr. E. Küster. Mit 38 Abb. (Bd. 112.)
- Die fleischfressenden Pflanzen. Von Dr. A. Wagner. Mit 82 Abb. (Bd. 344.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Garten. Von Prof. Dr. U. Dammer. Mit 69 Abb. (Bd. 360.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Zimmer. Von Prof. Dr. U. Dammer. Mit 65 Abb. (Bd. 359.)
- siehe auch Lebewesen.
- Pflanzenwelt des Mikroskops, Die.** Von Bürgerschullehrer E. Neukauf. Mit 100 Abb. (Bd. 181.)
- Photochemie.** Von Prof. Dr. G. Kämmerell. Mit 23 Abb. (Bd. 227.)
- Photographie, Die, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre Anwendung.** Von Dr. O. Prelinger. Mit 65 Abb. (Bd. 414.)
- Photographie, Die künstlerische.** Von Dr. W. Warstat. Mit Silberanhang (12 Tafeln). (Bd. 410.)
- Physik. Verdegang der modernen Ph.** Von Dr. H. Keller. Mit 13 Fig. (Bd. 343.)
- Einleitung in die Experimentalphysik. Von Prof. Dr. R. Börnstein. Mit 90 Abb. (Bd. 371.)
- Physiker. Die großen Ph. und ihre Leistungen.** Von Prof. Dr. F. A. Schulze. Mit 7 Abb. (Bd. 324.)
- Pilze, Die.** Von Dr. A. Eichinger. Mit 54 Abb. (Bd. 334.)
- Planeten, Die.** Von Prof. Dr. B. Peter. Mit 18 Fig. (Bd. 240.)
- Planimetrie zum Selbstunterricht.** Von Prof. Dr. P. Crank. Mit 99 Fig. (Bd. 340.)
- Radium und Radioaktivität.** Von Dr. M. Gentner-Szwer. 33 Abb. (Bd. 405.)
- Salzlagertstätten, Die deutschen.** Von Dr. E. Niemann. (Bd. 407.)
- Säugling, Der, seine Ernährung und seine Pflege.** Von Dr. W. Kaube. Mit 17 Abb. (Bd. 154.)
- Schachspiel, Das, und seine strategischen Prinzipien.** Von Dr. M. Lange. 2. Aufl. Mit den Bildnissen E. Lasters und F. Morphys, 1 Schachbrettafel u. 43 Darst. von Abzugsbeispielen. (Bd. 281.)
- Schiffbau** siehe Kriegsschiff.
- Schifffahrt** siehe Nautik und Abt. Wirtschaft.
- Schmucksteine, Die, und die Schmuckstein-Industrie.** Von Dr. A. Eppler. Mit 64 Abb. (Bd. 376.)
- Schulhygiene.** Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 43 Fig. (Bd. 96.)
- Sinne des Menschen, Die fünf.** Von Prof. Dr. F. R. Kreibitz. 2. Aufl. Mit 39 Abb. (Bd. 27.)
- Spektroskopie.** Von Dr. L. Grebe. Mit 62 Abb. (Bd. 284.)
- Spinnerei.** Von Dir. Prof. M. Lehmann. Mit 35 Abb. (Bd. 338.)
- Sprengstoffe, Chemie und Technologie der Spr.** Von Prof. Dr. R. Biedermann. Mit 15 Fig. (Bd. 286.)
- Stereoskop, Das, und seine Anwendungen.** Von Prof. Th. Hartwig. Mit 40 Abb. und 19 Tafeln. (Bd. 135.)
- Sonne, Die.** Von Dr. A. Krause. Mit 64 Abb. im Text u. auf 1 Buntdrucktafel. (Bd. 357.)
- Stimme. Die menschliche St. und ihre Hygiene.** Von Prof. Dr. P. H. Gerber. 2. Aufl. Mit 20 Abb. (Bd. 136.)
- Strahlen, Sichtbare und unsichtbare.** Von Prof. Dr. R. Börnstein und Prof. Dr. W. Marckwald. 2. Aufl. Mit 85 Abb. (Bd. 64.)
- Strassenbahnen. Die Klein- und Strassenbahnen.** Von Oberingenieur a. D. A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)
- Suggestion, Hypnotismus und Suggestion.** V. Dr. E. Trömmner. 2. Aufl. (Bd. 199.)
- Süßwasser-Plankton, Das.** Von Prof. Dr. D. Zacharias. 2. Aufl. Mit 49 Abb. (Bd. 156.)
- Tabak, Der, in Landwirtschaft, Handel und Industrie.** Mit Abb. Von Jac. Wolf. (Bd. 416.)
- Tea, Kaffee, Tee, Kakao und die übrigen narkotischen Getränke.** Von Prof. Dr. A. Winter. Mit 24 Abb. und 1 Karte. (Bd. 132.)
- Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung.** Von Telegrapheninspektor H. Bried. Mit 58 Abb. (Bd. 235.)

- Telegraphen- u. Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung. Die Funken-telegraphie. Von Oberpostpraktikant H. Thurn. Mit 53 Illustrat. 2. Aufl. (Bd. 167.)
 — siehe auch Drähte und Kabel.
- Tiere der Vorwelt. Von Prof. Dr. D. Abel. Mit 31 Abb. (Bd. 399.)
- Tierkunde. Eine Einführung in die Zoologie. Von weil. Privatdozent Dr. R. Hennings. Mit 34 Abb. (Bd. 142.)
 — Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere. Von Prof. Dr. D. Maaz. Mit 11 Karten und Abb. (Bd. 139.)
 — Zweigestalt der Geschlechter in der Tierwelt (Dimorphismus). Von Dr. Fr. Sinauer. Mit 37 Fig. (Bd. 148.)
 — siehe auch Lebewesen.
- Tierzüchtung. Von Dr. G. Wildbort. Mit 30 Abb. auf 12 Tafeln. (Bd. 369.)
 — Die Fortpflanzung der Tiere. Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 77 Abb. (Bd. 253.)
- Trigonometrie, Ebene, zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. P. Craun. Mit 50 Fig. (Bd. 431.)
- Tuberkulose, Die, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung. Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 2. Aufl. Mit 1 Tafel u. 8 Fig. (Bd. 47.)
- Uhr, Die. Von Reg.-Bauführer a. D. H. Bod. Mit 47 Abb. (Bd. 216.)
- Urtiere, Die, Einführung in die Biologie. Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. 2. Aufl. Mit 43 Abb. (Bd. 160.)
- Verbildungen, Körperliche, im Kindesalter und ihre Verhütung. Von Dr. M. David. Mit 26 Abb. (Bd. 321.)
- Vererbung. Experimentelle Abstammungs- und Vererbungslehre. Von Dr. S. Lehmann. Mit 26 Abb. (Bd. 379.)
- Vogelleben, Deutsches. Von Prof. Dr. A. Voigt. (Bd. 221.)
- Vogelzug und Vogelschutz. Von Dr. W. R. Eckardt. Mit 6 Abb. (Bd. 218.)
- Vollnahrungsmittel siehe Ernährung u. B.
- Wald, Der deutsche. Von Prof. Dr. S. Hausrath. 2. Aufl. Mit 15 Abb. und 2 Karten. (Bd. 153.)
- Wärme. Die Lehre von der W. Von Prof. Dr. R. Vornstein. Mit 33 Abb. (Bd. 172.)
 — siehe auch Luft, Wasser, Licht, Wärme.
- Wärmekraftmaschinen, Die neueren. 2 Bde. I: Einführung in die Theorie und den Bau der Maschinen für gasförmige und flüssige Brennstoffe. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 4. Aufl. Mit 42 Abb. (Bd. 21.)
 — II: Gasmaschinen, Gas- und Dampfturbinen. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3. Aufl. Mit 48 Abb. (Bd. 86.)
 — siehe auch Kraftanlagen.
- Wasser, Das. Von Privatdozent Dr. D. Aufseimino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)
 — siehe auch Luft, Wasser, Licht, Wärme.
- Wasserkraftmaschinen und die Ausnützung der Wasserkräfte. Von Geh. Reg.-Rat A. v. Fhering. 2. Aufl. Mit 73 Fig. (Bd. 228.)
- Weinbau und Weinbereitung. Von Dr. F. Schmitthener. 34 Abb. (Bd. 332.)
- Weltall. Der Bau des W. Von Prof. Dr. J. Scheiner. 4. Aufl. Mit 26 Fig. (Bd. 24.)
- Weltäther siehe Moleküle.
- Weltbild. Das astronomische W. im Wandel der Zeit. Von Prof. Dr. S. Oppenheim. 2. Aufl. Mit 24 Abb. (Bd. 110.)
- Weltentstehung. Entstehung der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft. Von Prof. Dr. B. Weinstein. 2. Aufl. (Bd. 223.)
- Wetter, Gut und schlecht. Von Dr. R. Hennig. Mit 46 Abb. (Bd. 349.)
- Wind und Wetter. Von Prof. Dr. L. Weber. 2. Aufl. Mit 28 Figuren und 3 Tafeln. (Bd. 55.)
- Wirbeltiere. Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der W. Von Prof. Dr. W. Lubosch. Mit 107 Abb. (Bd. 282.)
- Wohnhaus siehe Baukunde.
- Zahnheilkunde siehe Gebiß.

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

DIE KULTUR DER GEGENWART

== IHRE ENTWICKLUNG UND IHRE ZIELE ==

HERAUSGEGEBEN VON PROF. PAUL HINNEBERG

Eine systematisch aufgebaute, geschichtlich begründete Gesamtdarstellung unserer heutigen Kultur, welche die Fundamentalergebnisse der einzelnen Kulturgebiete nach ihrer Bedeutung für die gesamte Kultur der Gegenwart und für deren Weiterentwicklung in großen Zügen zur Darstellung bringt. Das Werk vereinigt eine Zahl erster Namen aus Wissenschaft und Praxis und bietet Darstellungen der einzelnen Gebiete jeweils aus der Feder des dazu Berufensten in gemeinverständlicher, künstlerisch gewählter Sprache auf knappstem Raume. Jeder Band ist inhaltlich vollständig in sich abgeschlossen und einzeln erhältlich.

*) Jeder Band kostet in Leinw. geb. M. 2.—, in Halbfr. geb. M. 4.— mehr.

TEIL I u. II: Die geisteswissenschaftlichen Kulturgebiete.

Die allgemeinen Grundlagen der Kultur der Gegenwart.

Geh. *) M. 18.—. [2. Aufl. 1912. Teil I, Abt. 1.]

Inhalt: Das Wesen der Kultur: W. Lexis. — Das moderne Bildungswesen: Fr. Paulsen † — Die wichtigsten Bildungsmittel. A. Schulen und Hochschulen. Das Volksschulwesen: G. Schöppa. Das höhere Knabenschulwesen: A. Matthias. Das höhere Mädchenschulwesen: H. Gaudig. Das Fach- und Fortbildungsschulwesen: G. Kerschstein. Die geisteswissenschaftliche Hochschulausbildung: Fr. Paulsen †. Die mathematische, naturwissenschaftliche Hochschulbildung: W. v. Dyck. B. Museen. Kunst- und Kunstgewerbemuseen: L. Pallat. Naturwissenschaftliche Museen: K. Kraepelin. Technische Museen: W. v. Dyck. C. Ausstellungen. Kunst- u. Kunstgewerbeausstellungen: J. Lessing †. Naturwissenschaftl.-techn. Ausstellungen: O. N. Witt. D. Die Musik: G. Göhler. E. Das Theater: P. Schlenker. F. Das Zeitungswesen: K. Bücher. G. Das Buch: R. Rietschmann. H. Die Bibliotheken: F. Milkau. — Organisation der Wissenschaft: H. Diels

Die Religionen des Orients und die altgermanische Religion

Geh. *) M. 8.—. [2. Aufl. 1913. Teil I, Abt. III, 1.]

Inhalt: Die Anfänge der Religion und die Religion der primitiven Völker: Edv. Lehmann. — Die ägyptische Religion: A. Erman. — Die asiatischen Religionen: Die babylonisch-assyrische Religion: C. Bezold. — Die indische Religion: H. Oldenberg. — Die iranische Religion: H. Oldenberg. — Die Religion des Islams: J. Goldziher. — Der Lamaismus: A. Grünwedel. — Die Religionen der Chinesen: J. J. M. de Groot. — Die Religionen der Japaner: a) Der Shintoismus: K. Florenz, b) Der Buddhismus: H. Haas. — Die orientalischen Religionen in ihrem Einfluß auf den Westen im Altertum: Fr. Cumont. — Altgermanische Religion: A. Heusler.

Geschichte der christl. Religion. M. 18.—*). [2. A. 1909. T. I, IV, 1.]

Inhalt: Die israelitisch-jüdische Religion: J. Wellhausen. — Die Religion Jesu und die Anfänge des Christentums bis zum Nicaenum (325): A. Jülicher. — Kirche und Staat bis zur Gründung der Staatskirche: A. Harnack. — Griechisch-orthodoxes Christentum und Kirche in Mittelalter und Neuzeit: N. Bonwetsch. — Christentum und Kirche Westeuropas im Mittelalter: K. Müller. — Katholisches Christentum und Kirche in der Neuzeit. A. Ehrhard. — Protestantisches Christentum und Kirche in der Neuzeit: E. Troeltsch.

Systemat. christl. Religion. M. 6.60*). [2. A. 1909. Teil I, IV, 2.]

Inhalt: Wesen der Religion u. der Religionswissenschaft: E. Troeltsch. — Christlich-katholische Dogmatik: J. Pohle. — Christlich-katholische Ethik: J. Mausbach. — Christlich-katholische praktische Theologie: C. Krieg. — Christlich-protestantische Dogmatik: W. Herrmann. — Christlich-protestantische Ethik: R. Seeberg. — Christlich-protestantische praktische Theologie: W. Faber. — Die Zukunftsaufgaben der Religion und der Religionswissenschaft: H. J. Holtzmann.

Allgemeine Geschichte der Philosophie. Geh. *) M. 14.—.

[2. Auflage 1913. Teil I, Abt. V.]

Inhalt. Einleitung. Die Anfänge der Philosophie und die Philosophie der primitiven Völker: W. Wundt. I. Die indische Philosophie: H. Oldenberg. II. Die islamische und jüdische Philosophie: J. Goldziher. III. Die chinesische Philosophie: W. Grube. IV. Die japanische Philosophie: T. Jnouye. V. Die europäische Philosophie des Altertums: H. v. Arnim. VI. Die patristische Philosophie: Cl. Bäumker. VII. Die europäische Philosophie des Mittelalters: Cl. Bäumker. VIII. Die neuere Philosophie: W. Windelband.

Systemat. Philosophie. Geh.*) M. 10.—. [2. Aufl. 1908. T. I, VI.]

Inhalt. Allgemeines. Das Wesen der Philosophie: W. Dilthey. — Die einzelnen Teilgebiete. I. Logik und Erkenntnistheorie: A. Riehl. II. Metaphysik: W. Wundt. III. Naturphilosophie: W. Ostwald. IV. Psychologie: H. Ebbinghaus. V. Philosophie der Geschichte: R. Eucken. VI. Ethik: Fr. Paulsen. VII. Pädagogik: W. Münch. VIII. Ästhetik: Th. Lipps. — Die Zukunftsaufgaben der Philosophie: Fr. Paulsen.

Die oriental. Literaturen. Geh.*) M. 10.—. [1906. Teil I, Abt. VII.]

Inhalt. Die Anfänge der Literatur und die Literatur der primitiven Völker: E. Schmidt. — Die ägyptische Literatur: A. Erman. — Die babylonisch-assyrische Literatur: C. Bezold. — Die israelitische Literatur: H. Gunkel. — Die aramäische Literatur: Th. Nöldeke. — Die äthiop. Literatur: Th. Nöldeke. — Die arab. Literatur: M. J. de Goeje. — Die ind. Literatur: R. Pischel. — Die altpers. Literatur: K. Geldner. — Die mittelpers. Literatur: P. Horn. — Die neupers. Literatur: P. Horn. — Die türkische Literatur: P. Horn. — Die armenische Literatur: F. N. Finck. — Die georg. Literatur: F. N. Finck. — Die chines. Literatur: W. Grube. — Die japan. Literatur: K. Florenz.

Die griechische und lateinische Literatur und Sprache. Geh.*) M. 12.—. [3. Auflage. 1912. Teil I, Abt. VIII.]

Inhalt: I. Die griechische Literatur und Sprache: Die griech. Literatur des Altertums: U. v. Wilamowitz-Moellendorf. — Die griech. Literatur des Mittelalters: K. Krumbacher. — Die griech. Sprache: J. Wackernagel. — II. Die lateinische Literatur und Sprache: Die römische Literatur des Altertums: Fr. Leo. — Die latein. Literatur im Übergang vom Altertum zum Mittelalter: E. Norden. — Die latein. Sprache: F. Skutsch.

Die osteuropäischen Literaturen u. die slawischen Sprachen. Geh.*) M. 10.—. [1908. Teil I, Abt. IX.]

Inhalt: Die slawischen Sprachen: V. v. Jagić. — Die slawischen Literaturen. I. Die russische Literatur: A. Wesselovsky. — II. Die poln. Literatur: A. Brückner. III. Die böhm. Literatur: J. Máchal. IV. Die südslaw. Literaturen: M. Murko. — Die neugriech. Literatur: A. Thumb. — Die finnisch-ugr. Literaturen. I. Die ungar. Literatur: F. Riedl. II. Die finn. Literatur: E. Setälä. III. Die estn. Literatur: G. Suits. — Die litauisch-lett. Literaturen. I. Die lit. Literatur: A. Bezenberger. II. Die lett. Literatur: E. Wolter.

Die romanischen Literaturen und Sprachen. Mit Einschluß des Keltischen. Geh.*) M. 12.—. [1908. Teil I, Abt. II, 1.]

Inhalt: I. Die kelt. Literaturen. 1. Sprache u. Literatur im allgemeinen: H. Zimmer. 2. Die einzelnen kelt. Literaturen. a) Die ir.-gäl. Literatur: K. Meyer. b) Die schott.-gäl. u. die Manx-Literatur. c) Die kymr. (walis.) Literatur. d) Die korn. u. die breton. Literatur: L. Ch. Stern. II. Die roman. Literaturen: H. Morf. III. Die roman. Sprachen: W. Meyer-Lübke.

Allgemeine Verfassungs- und Verwaltungsgeschichte. I. Hälfte. Geh.*) M. 10.—. [1911. Teil II, Abt. II, 1.]

Inhalt: Einleitung. Die Anfänge der Verfassung und der Verwaltung und die Verfassung und Verwaltung der primitiven Völker: A. Vierkandt. A. Die orientalische Verfassung und Verwaltung: 1. des orientalischen Altertums: L. Wenger, 2. des Islams: M. Hartmann, 3. Chinas: O. Franke, 4. Japans: K. Rathgen. — B. Die europäische Verfassung und Verwaltung (1. Hälfte): 1. des europäischen Altertums: L. Wenger, 2. der Germanen und des Deutschen Reiches bis zum Jahre 1806: A. Luschin v. Ebengreuth.

Staat u. Gesellschaft d. Griechen u. Römer. M. 8.—*). [1910. II, IV, 1.]

Inhalt: I. Staat und Gesellschaft der Griechen: U. v. Wilamowitz-Moellendorf. — II. Staat und Gesellschaft der Römer: B. Niese.

Staat u. Gesellschaft d. neueren Zeit. M. 9.—*). [1908. Teil II, V, 1.]

Inhalt: I. Reformationszeitalter. a) Staatensystem und Machtverschiebungen. b) Der moderne Staat und die Reformation. c) Die gesellschaftlichen Wandlungen und die neue Geisteskultur: F. v. Bezold. — II. Zeitalter der Gegenreformation: E. Gothein. — III. Zur Höhezeit des Absolutismus. a) Tendenzen, Erfolge und Niederlagen des Absolutismus. b) Zustände der Gesellschaft. c) Abwandlungen des europäischen Staatensystems: R. Koser.

Allgem. Rechtsgeschichte. [1914. Teil II, Abt. VII, 1. Unt. d. Presse.]

Inhalt: Altertum: Die Anfänge des Rechts: J. Kohler — Orientalisches Recht im Altertum: L. Wenger. — Europäisches Recht im Altertum: L. Wenger.

Systematische Rechtswissenschaft. Geh.)* M. 14.—. [2. Auflage 1913. Teil II, Abt. VIII.]

Inhalt: I. Wesen des Rechtes und der Rechtswissenschaft: R. Stammler. II. Die Teilgebiete: A. Privatrecht. Bürgerliches Recht: R. Sohm. Handels- und Wechselrecht: K. Gareis. Internat. Privatrecht: L. v. Bar. B. Zivilprozeßrecht: L. v. Seuffert. C. Strafrecht u. Strafprozeßrecht: F. v. Liszt. D. Kirchenrecht: W. Kahl. E. Staatsrecht: P. Laband. F. Verwaltungsrecht. Justiz u. Verwaltung: G. Anschütz. Polizei- u. Kulturpflege: E. Bernatzik. G. Völkerrecht: F. v. Martitz. III. Zukunftsaufgaben: R. Stammler.

Allgemeine Volkswirtschaftslehre. Von W. Lexis. Geh.)* M. 7.—, [2. Auflage. 1913. Teil II, Abt. X, 1.]

TEIL III: Mathematik, Naturwissenschaft und Medizin.

Diemathematischen Wissenschaften. Bandred.: F. Klein. [Abt. I.]

Erschienen ist: Lfrg. I: Die Mathematik im Altertum und im Mittelalter: H. G. Zeuthen. Geh. M. 3.—. — Lfrg. II: Die Beziehungen der Mathematik zur Kultur der Gegenwart: A. Voß: Die Verbreitung mathematischen Wissens und mathematischer Auffassung: H. E. Timerding.

Chemie einschl. Kristallographie u. Mineralogie. Bandredakt.: E. v. Meyer u. F. Rinne. Geh.)* M. 18.—. [1913. Abt. III., 2.]

Inhalt: Entwicklung der Chemie von Robert Boyle bis Lavoisier [1660—1793]: E. v. Meyer. — Die Entwicklung der Chemie im 19. Jahrhundert durch Begründung und Ausbau der Atomtheorie: E. v. Meyer. — Anorganische Chemie: C. Engler und L. Wöhler. — Organische Chemie: O. Wallach. — Physikalische Chemie: R. Luther und W. Nernst. — Photochemie: R. Luther. — Elektrochemie: M. Le Blanc. — Beziehungen der Chemie zur Physiologie: A. Kossel. — Beziehungen der Chemie zum Ackerbau: † O. Kellner und R. Immdorf. — Wechselwirkungen zwischen der chemischen Technik: O. Witt. — Kristallographie und Mineralogie: Fr. Rinne.

Zellen- u. Gewebelehre, Morphologie u. Entwicklungsgesch.

1. Botan. Tl. M. 10.—.*) 2. Zoolog. Tl. M. 16.—.*) [1913. Abt. IV., Bd. 2, Ju. II.]

Inhalt des botanischen Teils (Bandred. E. Strasburger): Pflanzl. Zellen- und Gewebelehre: E. Strasburger. — Morphologie und Entwicklungsgeschichte der Pflanzen: W. Benecke. Inhalt des zoologischen Teils (Bandred. O. Hertwig): Die einzelligen Organismen: R. Hertwig. — Zellen und Gewebe des Tierkörpers: H. Poll. — Allgemeine und experimentelle Morphologie und Entwicklungslehre der Tiere: O. Hertwig. — Entwicklungsgeschichte und Morphologie der Wirbellosen: K. Heider. — Entwicklungsgeschichte der Wirbeltiere: F. Keibel. — Morphologie der Wirbeltiere: E. Gaupp.

Abstammungslehre, Systematik, Paläontologie, Biogeographie.

Bdred.: R. Hertwig u. R. v. Wettstein. M. 20.—.*) [1913. Abt. IV, Bd. 4.]

Inhalt: Die Abstammungslehre: R. Hertwig. — Prinzipien der Systematik mit besonderer Berücksichtigung des Systems der Tiere: L. Plate. — Das System der Pflanzen: R. v. Wettstein. — Biographie: A. Brauer. — Pflanzengeographie: A. Engler. — Tiergeographie: A. Brauer. — Paläontologie und Paläozoologie: O. Abel. — Paläobotanik: W. J. Jongmans. — Phylogenie der Pflanzen: R. v. Wettstein. — Phylogenie der Wirbellosen: K. Heider. — Phylogenie der Wirbeltiere: J. E. V. Boas.

TEIL IV: Die technischen Kulturgebiete.

Technik des Kriegswesens. Geh.)* M. 24.—. [1913. Bd. 12.]

Inhalt (Bandredakt. M. Schwarte): Kriegsvorbereitung, Kriegsführung: M. Schwarte. — Waffentechnik, a) in ihren Beziehungen zur Chemie: O. Poppenberg; b) in ihren Beziehungen z. Metallurgie: W. Schwinning; c) in ihren Bezieh. z. Konstruktionslehre: W. Schwinning; — d) in ihren Beziehungen zur optischen Technik: O. von Eberhard; e) in ihren Beziehungen zur Physik und Mathematik: O. Becker. — Technik des Befestigungswesens: J. Schröter. — Kriegsschiffbau: O. Kretschmer. — Vorbereitung für den Seekrieg u. Seekriegsführung: M. Glatzel. — Einfluß d. Kriegswesens auf die Gesamtkultur: A. Kersting.

Probeheft mit Inhaltsübersicht d. Gesamtwerkes, Probeabschnitten, Inhaltsverzeichnis u. Besprech. ums. durch B. G. Teubner, Leipzig, Poststr. 3.

Schaffen und Schauen

Dritte Auflage Ein Führer ins Leben Zweite Auflage

1. Band:

Von deutscher Art
und Arbeit



2. Band:

Des Menschen Sein
und Werden

Unter Mitwirkung von

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

Jeder Band in Leinwand gebunden M. 5.—

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

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

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

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

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

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

30.00

Dr. R. Hesse

Professor an der Landwirtschaftlichen
Hochschule in Berlin

und

Dr. F. Doflein

Professor der Zoologie an der Universität
Freiburg i. Br.

Tierbau und Tierleben in ihrem Zusammenhang betrachtet

Mit über 1000 Abbildungen sowie 40 Tafeln
in Schwarz- und Buntdruck nach Originalen von W. Engels, W. Heu-
bach, E. L. Höp, E. Kitzling, W. Kuhnert, B. Liljefors, C. Mer-
culiano, L. Müller-Mainz, P. Reagenborn, O. Vollrath u. a.

1. Band: Das Tier als selbständiger Organismus | 2. Band: Das Tier als Glied
des Naturganzen

Jeder Band in künstlerischem Original-Ganzleinenband geb. M. 20.—,
in elegantem Halbfranzband M. 22.—

Aus der gewaltigen Fülle naturwissenschaftlicher Schriften und Bücher, hervor-
gerufen durch das in immer weitere Kreise dringende Verlangen nach naturwissenschaft-
licher und hauptsächlich biologischer Erkenntnis, ragt das Werk von Hesse und Doflein
in mehr als einer Beziehung hervor. Sich nicht auf eine Beschreibung der einzelnen
Tiere beschränkend, sondern in meisterhafter Weise das Typische, allen Lebewesen Ge-
meinsame herausgreifend, schildert es auf Grund der modernsten Forschungsergebnisse
die tierische Organisation und Lebensweise, die Entwicklungs-, Fortpflanzungs-
und Vererbungs-gesetze, die Abhängigkeit der einzelnen Teile vom Gesamtorganismus und
wiederum deren Einfluß auf das Ganze, kurz, alle die Fragen, die heute den Forscher
wie den interessierten Laien bewegen. Dabei vereinigt das Werk mit unbedingter wissen-
schaftlicher Zuverlässigkeit eine seltene Klarheit der Sprache, die eine Lektüre desselben
für jeden Gebildeten zu einem Genuß gestaltet. Eine große Anzahl künstlerischer Bilder
und Tafeln, von ersten Künstlern besonders für das Werk hergestellt, unterstützt den
Text, so daß die innere wie äußere Ausstattung als hervorragend bezeichnet werden muß.

Aus den Besprechungen:

„...Jeder Zoologe und jeder Freund der Tierwelt wird dieses Werk mit Vergnügen
studieren, denn die moderne zoologische Literatur weist kein Werk auf, welches in dieser
großzügigen Weise alle Seiten des tierischen Organismus so eingehend behandelt. Das
Werk wird sich bald einen Ehrenplatz in jeder biologischen Bibliothek erobern.“
(L. Plate im Archiv f. Bassen- u. Gesellsch. Biologie.)

„Ein in jeder Hinsicht ausgezeichnetes Werk. Es vereinigt sachliche, streng
wissenschaftliche Behandlung des Gegenstandes mit klarer, jedem, der in rechter Mit-
arbeit an das Werk herantritt, verständlicher Darstellung. Jeder wird das Buch mit
großem Gewinn und trotzdem großem Genuß lesen und Einblick in den Ernst der Wissen-
schaft gewinnen. Das schöne Werk darf als Muster volkstümlicher Behandlung wissen-
schaftlicher Probleme bezeichnet werden.“ (11. Jahresbericht des Dürerbundes.)

„...Ein Buch, welches ganz auf der Höhe steht, und auf welches Autor und Ver-
leger in gleichem Maße stolz sein können. Der großen Schar von Freunden der Biologie
sel dieses Buch aufs wärmste empfohlen.“ (Prof. Dr. W. Rükenhof in d. Schlef. Ztg.)

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

Künstlerischer Wandschmuck für das deutsche Haus

B. G. Teubners farbige Künstler-Steinzeichnungen

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



J. B. Wieland

Letztes Leuchten

Verkleinerte farbige Wiedergabe der Original-Lithographie.

Die Sammlung enthält über 200 Blätter der bedeutendsten Künstler, wie: Karl Banzer, Karl Bauer, O. Bauriedl, F. Bedert, Artur Bendrat, Karl Biese, H. Eichrodt, Otto Sifentscher, Walter Georgi, Franz Hein, Franz Hoch, S. Hodler, S. Kallmorgen, Gustav Kampmann, Erich Kuithan, Otto Leiber, Ernst Liebermann, Emil Orlik, Maria Ortlieb, Sascha Schneider, W. Strich-Chapell, Hans von Volkmann, H. B. Wieland u. a.

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

Vollständiger Katalog der Künstler-Steinzeichnungen mit farbiger Wiedergabe von über 200 Blättern gegen Einfind. von 50 Pf. (Ausland 60 Pf.) vom Verlag B. G. Teubner, Leipzig, Poststr. 3

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301533

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296094