

Die
moderne Erzeugung und Verwendung
der
Elektrischen Energie.



Gemeinfasslich dargestellt

von

Joseph Spennrath

Direktor der Städtischen gewerblichen Schulen und der Königl. Baugewerkschule in Aachen.

Mit 113 Abbildungen im Text.

Vorrede.

Das vorliegende Buch verfolgt die Aufgabe, den Leser in gemeinverständlicher Darstellung über dasjenige zu unterrichten, was man die moderne Elektrotechnik nennt. Die ausserordentliche und stetig fortschreitende Entwicklung dieser Technik hat in weitesten Kreisen das Bedürfnis nach einer Unterweisung geweckt, um so mehr, als sich die Elektrizität der sinnlichen Wahrnehmung entzieht und die elektrische Energie als etwas Geheimnisvolles erscheint. Die Art der Darstellung bedingte den Verzicht auf die sonst üblichen Hilfsmittel, insbesondere auf die Benutzung mathematischer und chemischer Formeln; auch war es nötig, zu den bildlichen Hilfsmitteln einfache schematische Zeichnungen zu verwenden, die auch dem Nichttechniker ohne weiteres verständlich sind. Im übrigen aber wurde die Erörterung durchaus wissenschaftlich gehalten. Die Behandlung des Stoffes weicht von der sonst üblichen vielfach ab; sie geht überall von der Grundlage der modernen Physik, dem Gesetz der Erhaltung der Energie, aus und stützt sich auf diese. — Auf die Elektrochemie wurde nicht eingegangen. Ihr Verständnis setzt weitgehende chemische Vorkenntnisse voraus, und das Interesse für sie beschränkt sich wesentlich auf die Fachkreise.

Unter dem Titel: „Die Bedienung und Wartung elektrischer Anlagen und Maschinen. Leitfaden zur Einführung in die Elektrotechnik“ erschien im April d. J. in demselben Verlage ein zu Unterrichtszwecken bestimmter Auszug aus diesem Buche. Die überaus günstige Aufnahme und Beurteilung, welche dieser erfahren hat, lässt mich hoffen, dass auch das vorliegende Buch sich Freunde erwerben wird.

Aachen, im November 1901.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung	1
Energie im allgemeinen und elektrische Energie im besonderen	1—53
Begriff der Energie 1—4. Thätige Energie, Energie der Lage 4—6. Erhaltung der Energie 7—8. Elektrische Energie 8—11. Energie der ruhenden Elektrizität 11—15. Messen der elektrischen Energie 15—22. Aufspeicherung elektrischer Energie in Form von ruhender Elektrizität. Kapazität 22—29. Strömende Elektrizität oder elektrischer Strom 29—37. Elektrischer Widerstand. Ohmsches Gesetz 37—43. Kurzschluss 43—46. Ströme in verzweigten Leitern. Reihenschaltung und Parallelschaltung 46—50. Gleichstrom. Wechselstrom 50—52. Strömung im geschlossenen Kreise 52—53.	
Die Erzeugung der elektrischen Energie	54—184
Formen der Energie 54—55. Kraftlinien und Kraftfelder 55—72. Elektrische Ströme im magnetischen Feld. Magnet-elektrische Maschinen 72—74. Beziehung zwischen elek-trischer Energie und mechanischer Arbeit 75—80. Induktion 80—87. Erzeugung elektrischer Energie in der Dynamo-maschine 87—103. Erzeugung des magnetischen Feldes der Dynamomaschine 103—110. Gegenwirkungen des Ankers 110—115. Bürstenverschiebung und funkenfreier Gang der Maschine 115—118. Mehrpolige Maschinen 118—124. Wechselstrom und Wechselstromerscheinungen 124—130. Wechselstrom- und Drehstrommaschinen 130—140. Umformen der elektrischen Energie. Der Transformator 140—141. Der Wechselstromumformer 142—149. Der Gleichstromumformer 149—152. Der Sammler oder Akkumulator 152—155. Der Bleiakku-mulator 155—162. Die elektrischen Schwingungen 162—170. Funkenent-ladung in verdünnten Gasen. Röntgensche Strahlen 170—175. Ausbreitung der elektrischen Schwingungen im Dielektrikum. Drahtlose Telegraphie oder Funkentelegraphie 175—184.	

Die Verwendung der elektrischen Energie 184—244

Umwandlung elektrischer Energie in andere Energieformen 184.
Wärmeerzeugung durch elektrische Energie 184—188.

Elektrische Beleuchtung 188—205. Umwandlung der elektrischen Energie in Licht 188—189. Glühlampe mit Kohlenbügel 189—190. Glühlampen mit mineralischem Glühkörper. Nernstlampen 190—195. Die Bogenlampen 195—196. Regulierung der Bogenlampe 197—205.

Elektrische Kraftübertragung 205—244. Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Arbeit 205—206. Der Elektromotor für Gleichstrom 206—210. Der Elektromotor für ein- und mehrphasigen Wechselstrom 210—211. Der Drehstrommotor 211—217. Der einphasige Wechselstrommotor 218—222. Synchronmotoren 222. Behandlung der magnetelektrischen Maschinen 223—228.

Die Versendung und Verteilung der elektrischen Energie 228—231.

Energieübertragung für Schwachstrom 231. Die elektrische Klingel 231—234. Der elektromagnetische Telegraph 234—236. Das Telephon und Mikrophon 237—244.

Das Messen der elektrischen Energie 244—259

Messen der elektrischen Energie 244—245. Strommesser für Gleichstrom 245—253. Spannungsmesser für Gleichstrom 253—254. Strom- und Spannungsmesser für Wechselstrom 254—256. Energiemesser und Energieverbrauchsmesser 256—259.

EINLEITUNG.

Unter der „Elektrotechnik“ versteht man die Erzeugung und praktische Verwendung derjenigen Energieform, welche in gespannter Elektrizität enthalten ist, und die wir aus diesem Grunde elektrische Energie nennen. Das Verständnis des Gegenstandes erfordert die Kenntnis des Begriffs der Energie im allgemeinen, der elektrischen Energie im besonderen, der Eigenschaften und des Verhaltens der gespannten Elektrizität, endlich der Vorrichtungen und Arbeiten, welche zur Erzeugung und Verwendung der elektrischen Energie erforderlich sind. Hierüber soll im Nachstehenden das Nötige mitgeteilt werden.

I.

Energie im allgemeinen und elektrische Energie im besonderen.

§ 1. Begriff der Energie.

Die Grundlage der modernen Physik bildet das Gesetz der Erhaltung der Energie. Auf ihm baut sich die heutige physikalische Wissenschaft auf, und seine Erkenntnis hat die Anschauungen dieser Wissenschaft neu gestaltet, ihre Entwicklung mächtig gefördert. Für das Verständnis und die Beurteilung physikalischer und insbesondere auch

elektrischer Vorgänge ist deshalb die Kenntnis dieses Gesetzes und demzufolge vorab des Begriffes „Energie“ unerlässlich.

Wir haben kein deutsches Wort, welches dasselbe bezeichnen könnte, was die Physik mit dem technischen Ausdruck „Energie“ sagen will. Will man den Ausdruck umschreiben, so sagt man: Jeder Körper besitzt Energie, welcher im Stande ist, Arbeit zu leisten. Was das bedeuten soll, wird am besten an einem Beispiel erkannt.

Denken wir uns, eine schwere Metallkugel werde auf irgend eine Weise, etwa durch Abschliessen aus einem senkrecht aufwärts gerichteten Rohr, in die Höhe geschleudert. Die Kugel verlässt den Lauf mit einer bestimmten Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeit vermindert sich in dem Masse, wie die Kugel höher steigt; sie wird schliesslich gleich Null, d. h. der Körper hört auf zu steigen. Von diesem Augenblicke ab beginnt die Kugel sich abwärts zu bewegen, sie fällt. Auf dem Wege von dem höchsten erreichten Punkte der Bahn bis zum Ausgangspunkte des Steigens zurück nimmt die Geschwindigkeit der Kugel in dem Masse wieder zu, in welchem sie vorhin abgenommen hatte, so dass an jedem gleich hohen Punkte der Bahn die Geschwindigkeit der steigenden und der fallenden Kugel dieselbe ist. Die niederfallende Kugel kommt somit mit derselben Geschwindigkeit unten an, mit welcher sie den Lauf verlassen hat. — Die Abweichungen, welche durch den Luftwiderstand hervorgerufen werden, bleiben hierbei und weiterhin unberücksichtigt.

Man sagt nun von einem in Bewegung befindlichen Körper, er leiste mechanische Arbeit, wenn er einen Widerstand, der sich seiner Bewegung entgegensetzt, überwindet. Bei der emporgeschleuderten Kugel trifft diese Bedingung offenbar zu. Die Kugel hat ein bestimmtes Gewicht, d. h. sie wird mit einer bestimmten Kraft von der Erde angezogen. Auf dem Wege von der Mündung des Rohres bis zum höchsten Punkte ihrer Bahn ist sie sich selbst überlassen, und auf diesem Wege muss sie die entgegenwirkende Schwerkraft überwinden. Es ist also klar, dass beim Verlassen des Rohres ein gewisser Arbeitsvorrat in ihr aufgespeichert sein muss, den sie allmählich verbraucht. Sobald dieser ver-

braucht ist, hört das Steigen auf. Diesen Arbeitsvorrat nennt die Wissenschaft die Energie der Kugel.

Die Energie der Kugel kann sich auch in anderer Weise als durch Ueberwindung der Anziehungskraft der Erde äussern, bezw. ihr Energievorrat kann auch durch Ueberwindung irgend eines anderen Widerstandes verbraucht werden. Zunächst ist ersichtlich, dass, wenn man die Kugel nicht auf der Erde, sondern auf einem Himmelskörper abschiessen könnte, dessen Anziehungskraft beispielsweise doppelt so gross wäre, wie diejenige der Erde, die Kugel dort nur die Hälfte der Höhe erreichen würde. Besässe dagegen dieser Himmelskörper nur die Hälfte der Anziehungskraft der Erde, oder, was dasselbe sagt, hätte die Kugel auf ihm die Hälfte ihres Gewichts auf der Erde, so würde sie doppelt so hoch fliegen. Schiessen wir die Kugel nicht senkrecht in die Luft, sondern in irgend einer Richtung in loses Erdreich, so wird sie ihre Energie verbrauchen, indem sie den Widerstand der sich ihr entgegenstellenden Erdmassen überwindet und in das Erdreich eindringt. Lassen wir sie gegen eine feste Wand fliegen, so kann sie die Wand zertrümmern, oder in die Wand eindringen, oder von der Wand zurückprallen, oder endlich sich abplatteln und neben der Wand niederfallen. Immer bemerken wir, dass die Energie der Kugel sich darin äussert, dass sie einen ihrer Bewegung entgegertretenden Widerstand überwindet, also Arbeit leistet.

Das erwähnte Gesetz der Erhaltung der Energie behauptet nun, die einem Körper innewohnende Energie sei ebenso unzerstörbar, wie der Stoff oder die Materie, aus welcher der Körper gebildet ist. Damit steht es anscheinend im Widerspruch, wenn vorhin gesagt wurde, die senkrecht in die Höhe geschleuderte Kugel „verbrauche“ in dem Masse ihre Energie, wie sie höher steigt, und am höchsten Punkte ihrer Bahn angelangt, habe sie dieselbe vollständig aufgebraucht. Wo ist denn der Arbeitsvorrat geblieben, den die Kugel besass, als sie den Lauf verliess? Die steigende Kugel hat allerdings ihre Energie dazu verbraucht, um auf der ganzen Länge ihrer Bahn die Anziehungskraft der Erde zu überwinden, aber dafür hat sie, am höchsten Punkte der Bahn angelangt, die Fähigkeit erworben, den ganzen ihr ursprünglich mitgetheilten und während der Aufwärtsbewegung verbrauchten Arbeits-

vorrat wieder zu sammeln und neuerdings zu verbrauchen. Schiessen wir eine Kugel senkrecht abwärts in weiches Erdreich, so wird sie bis zu einer gewissen Tiefe eindringen. Wird die gleiche Kugel mit derselben Kraft senkrecht aufwärts geschossen, so wird sie nachher beim Niederfallen und Auftreffen auf dasselbe Erdreich genau bis zur gleichen Tiefe eindringen. Es ist also klar, dass die fallende Kugel in dem Augenblicke, wo sie den Erdboden berührt, dieselbe Energie besitzt, wie unmittelbar beim Verlassen des Rohres. Mit anderen Worten, die fallende Kugel hat während des Fallens dieselbe Energie angenommen, gesammelt, welche die steigende Kugel während des Steigens verloren, verbraucht hatte.

Es ist also thatsächlich nicht richtig, zu sagen, die Energie der Kugel sei während des Steigens verbraucht worden. An ihrem höchsten Punkte angelangt, steht die Kugel eine, wenn auch sehr kurze Zeit still, ehe sie die Bewegung abwärts beginnt. In diesem Zustande leistet sie allerdings keine Arbeit, aber sie besitzt die Fähigkeit oder Möglichkeit, Arbeit zu leisten.

Es ist hiernach nötig, zwischen zwei Formen der Energie zu unterscheiden. Die von einem bewegten Körper gelieferte oder gethane Arbeit nennt man thätige Energie, auch wohl lebendige Kraft. Von einem Körper, welcher die Fähigkeit oder Möglichkeit besitzt, Arbeit zu leisten, sagt man, er besitze Energie der Lage. Diese Form der Energie nennt man auch tote Kraft oder, und zwar besser, Spannkraft. Beide Energieformen lassen sich ineinander verwandeln. Die thätige Energie der steigenden Kugel verwandelt sich in dem Masse in Energie der Lage, wie die Kugel höher steigt. Die Energie der Lage der am höchsten Punkte angelangten Kugel verwandelt sich in dem Masse in thätige Energie oder lebendige Kraft, wie die Kugel tiefer fällt, indem sie die Geschwindigkeit der fallenden Kugel vergrössert. Denken wir uns, dass die fallende Kugel auf eine elastische Feder auftrifft, so wird sie diese soweit zusammendrücken, bis ihre Energie verbraucht ist. Die zusammengedrückte Feder aber ist jederzeit im stande, Arbeit zu leisten. Die lebendige Kraft der auffallenden Kugel hat sich also in eine gleichgrosse Spannkraft der elastischen

Feder umgesetzt. Diese können wir wiederum benutzen, um neuerdings einen Körper emporzuschleudern, also wieder in lebendige Kraft umsetzen etc.

Energie der Lage besitzt beispielsweise das hochgezogene Gewicht oder die aufgezozene Feder einer Uhr. Spannkraft besitzen die gespannten Dämpfe eines Dampfkessels, thätige Energie oder lebendige Kraft aber ist der Arbeitsvorrat des umlaufenden Schwungrades einer Dampfmaschine, welche von diesen gespannten Dämpfen getrieben wird. Energie der Lage besitzt das aufgestaute Oberwasser eines Wasserrades oder einer Turbine. In dem von ihm getriebenen Rade aber setzt sich die Energie der Lage in Energie der Bewegung oder thätige Energie um.

Allein, wenn auch diese Thatsachen eine Einwendung nicht zulassen, so ist die Behauptung, dass eine vorhandene Energiemenge weder zerstört noch überhaupt vermindert werden kann, anscheinend noch nicht für alle Fälle bewiesen. Denken wir uns, dass eine grosse Bleikugel senkrecht emporgeschossen wird und beim Herabfallen auf einen harten Felsen auftrifft. Dass diese Kugel beim Beginn des Aufstieges einen gewissen Energievorrat besitzt, ist klar, auch dass sie diesen während des Aufsteigens allmählich in Energie der Lage umsetzt, diese endlich während des nachfolgenden Fallens wieder in lebendige Kraft verwandelt. Beim Auffallen auf dem Felsen plattet sie sich ab. Sie leistet also dadurch Arbeit, dass sie den Widerstand, den die Masse der Kugel ihrer Formveränderung entgegensetzt, überwindet. Nach dem Satze von der Erhaltung der Energie muss aber die gesamte Energiemenge auch nach dem Abplatten der Kugel noch vorhanden sein. Wo aber steckt dieselbe jetzt? Anscheinend ist, sobald die Kugel zur Ruhe gelangt, die Energie verschwunden, also vernichtet. Allerdings sowohl als Energie der Bewegung wie als Energie der Lage ist sie ohne weiteres nicht mehr zu entdecken, sehen wir aber genauer zu, so werden wir sie doch wieder ausfindig machen. Haben wir hinreichend empfindliche Instrumente, so können wir feststellen, dass sowohl die Bleikugel als die Stelle des Felsens, wo die Kugel niedergefallen ist, sich erwärmt haben. Fehlen uns solche feinen Instrumente, so können wir uns in anderer Weise von der eingetretenen Erwärmung Gewissheit

verschaffen. Lassen wir nicht eine Bleikugel auf einen Felsen fallen, sondern legen wir die Bleikugel auf den Felsen oder eine sonstige hinreichend widerstandsfähige Unterlage und schlagen nun mit einem Hammer so lange auf die Kugel, bis aus ihr eine Platte geworden ist. Nehmen wir jetzt die Platte in die Hand, so fühlen wir deutlich, dass sie warm, sogar heiss geworden ist. Wir haben auch in diesem Falle Arbeit in einer Form verbraucht. Der niederfallende Hammer besass bei jedem Schlage einen Vorrat thätiger Energie und gab diesen an die Kugel ab. Die Kugel aber behielt diesen Arbeitsvorrat nicht als lebendige Kraft, verwandelte ihn auch nicht in Energie der Lage, sondern setzte ihn in Wärme um. Ganz dasselbe thut das kalte Metallplättchen, welches als heisse Münze aus der Prägmaschine herauskommt. Die lebendige Kraft des niederfallenden Prägestempels ist in Wärme verwandelt worden. Es ist also möglich, thätige Energie oder lebendige Kraft in Wärme umzusetzen, und wir ziehen daraus den Schluss, dass die Wärme nichts anderes sei, als eine besondere Form der Energie. Wir können diesen Schluss durch den Nachweis erhärten, dass überall da, wo thätige Energie durch Schlag, Stoss, Druck, Reibung verbraucht wird, eine entsprechende Wärmemenge auftritt.

Wenn dies aber wahr ist, so muss es auch möglich sein, umgekehrt Wärme in thätige Energie oder lebendige Kraft umzusetzen. Dass dies möglich ist, brauchen wir aber nicht erst zu beweisen, wir sehen dies tagtäglich und überall bei jeder Dampfmaschine, Gaskraftmaschine, Heissluftmaschine etc., überhaupt bei jeder sogenannten Wärmekraftmaschine.

Damit ist indessen unser Gegenstand noch nicht erschöpft. Nicht allein die Wärme ist eine Form der Energie, sondern alles dasjenige, was der Physiker unter den verschiedenen Bezeichnungen als mechanische Kraft, Wärme, Licht, elektrische Wirkungen u. a. kennt und behandelt, und was früher allgemein der Einteilung seiner Wissenschaft zu Grunde lag und heute noch vielfach die Einteilung bestimmt. Hierzu tritt als weitere Form die chemische Energie, die sich darin äussert, dass die kleinsten Teilchen der Grundstoffe, welche die Körper zusammensetzen, andere Gleichgewichts-

lagen einzunehmen bestrebt sind, also Umsetzungen hervorrufen und neue Körper bilden.

Alle diese Energieformen lassen sich ineinander umformen, übertragen. Jeder in einer gegebenen Form auftretenden Energiemenge entspricht eine stets gleichbleibende Menge einer anderen Energieform. Mit anderen Worten: durch Aufwand einer bestimmten Menge von Wärme kann eine bestimmte Menge von mechanischer Arbeit, oder elektrischer Energie oder chemischer Energie u. a. erzeugt werden, und umgekehrt. Wir können das Verhältnis der einzelnen Energieformen zueinander auch zahlenmässig ausdrücken, sobald wir wissen, wie wir die einzelnen Formen zu messen haben. Ein sehr schönes Beispiel der Umwandlung der Energie in ihre verschiedenen Formen bietet eine durch Dampfkraft getriebene Dynamomaschine. Auf dem Rost unter dem Kessel werden Kohlen verbrannt und es wird Wärme erzeugt. Das Verbrennen der Kohlen ist eine chemische Umsetzung. Es wird chemische Energie verbraucht und dafür Wärme eingetauscht. Die in Form von Wärme in den Dampfkessel geschickte Energie verwandelt sich hier in die Spannkraft des Wasserdampfes. Diese treibt die Dampfmaschine und setzt sich in derselben in thätige Energie oder lebendige Kraft um. Die von der Dampfmaschine getriebene Dynamomaschine verwandelt die lebendige Kraft in elektrische Energie. Benutzen wir nun den von der Dynamomaschine gelieferten Strom zum Treiben eines Elektromotors, so verwandeln wir die elektrische Energie wieder in mechanische Arbeit; in der elektrischen Lampe setzt sie sich um in Wärme und Licht, im galvanischen Bade wiederum in chemische Energie etc.

Die Kenntnis und Nutzbarmachung der Möglichkeit, die Energie in ihre verschiedenen Formen umzuwandeln, ist eine der Hauptgrundlagen der heutigen Technik.

Jeder Körper besitzt nicht allein eine bestimmte Menge von Stoff, sondern auch eine bestimmte Menge von Energie. Letztere mag nun bestehen in lebendiger Kraft, in Energie der Lage, in Wärme, elektrischer Energie u. a. Der Stoff, aus welchem der Körper besteht, ist unzerstörbar; er kann nur verschiedene äussere Erscheinungsformen annehmen. Die Kohlen, welche auf dem Roste verbrennen, verschwinden

nur scheinbar. Der brennbare Bestandteil derselben geht in Form und als Bestandteil unsichtbarer Gase durch den Schornstein. Es ist Aufgabe der Chemie, nachzuweisen, wie derselbe Stoff verschiedene äussere Formen annimmt, d. h. neue Körper erzeugt. Auch der Energievorrat, den ein Körper besitzt, ist unzerstörbar. Er kann nur, wie der Stoff, verschiedene Formen annehmen. Aufgabe der Physik ist es, die Umwandlung der Energie in ihre verschiedenen Formen zu verfolgen und ihre Gesetze klarzulegen. Die Veränderungen des Stoffes sind immer mit Aenderungen der Energie verbunden; man kann deshalb Physik und Chemie nicht vollständig von einander trennen und getrennt behandeln. Insbesondere ist auch die Wissenschaft, welche die Umwandlung der verschiedenen Energieformen in elektrische Energie und die Umsetzung dieser in die anderen Energieformen behandelt, nicht nur eine physikalische, sondern auch in hervorragendem Masse eine chemische Disciplin.

Die Körper, welche das gesamte Weltall zusammensetzen, besitzen insgesamt eine gewisse Menge von Stoff. Diese Stoffmenge kann nicht vermehrt und nicht vermindert werden. Jeder Körper des Weltalls, ob gross oder klein, besitzt auch einen bestimmten Energievorrat. Diesen Satz, welcher neben dem von der Unveränderlichkeit der Stoffmenge die Grundlage der heutigen Naturanschauung bildet, fasste einer der hervorragendsten Begründer der modernen Naturlehre, der verstorbene Clausius, in die kurzen, aber inhaltschweren Worte zusammen: Die Energie des Weltalls ist unveränderlich.

§ 2. Die elektrische Energie.

Fliesst ein elektrischer Strom durch einen Leitungsdraht, so wird in dem Draht Wärme erzeugt, d. h. es kommt Energie in der Form zum Vorschein, die wir Wärme nennen. Schicken wir den elektrischen Strom durch eine wässrige Lösung von Kochsalz, so wird das Salz in seine chemischen Bestandteile, Natrium und Chlor, gespalten. Hier wird also chemische Arbeit geleistet. Wickeln wir den stromdurchflossenen Draht zu einer Spule auf und bringen wir an das untere Ende der senkrecht gehaltenen Spule einen dünnen

Eisenstab, so wird der Stab von der Spule unter Ueberwindung der Schwerkraft in das Spulennere hineingezogen. Hier also tritt eine Energieäusserung in Form von mechanischer Arbeit auf. Die Erscheinungen sind umkehrbar: es lässt sich durch Aufwand von Wärme, von chemischer und von mechanischer Arbeit ein elektrischer Strom hervorbringen. Diese Thatsachen, welche hier nur erwähnt, nicht erklärt werden sollen, beweisen, dass in einem elektrischen Strom Energie enthalten sein muss, denn Energie kann nur aus Energie entstehen und in sie verwandelt werden. Es giebt darnach eine Energieform, deren Träger Elektrizität ist.

Man muss aber unterscheiden zwischen Elektrizität und elektrischer Energie, ähnlich wie zwischen Wasser und Wasserkraft, zwischen Dampf und Dampfkraft. Das Wasser ist keine Energie, aber es besitzt Energie der Lage, wenn es aufgestaut oder sonstwie auf eine Höhe gehoben ist, und lebendige Kraft oder thätige Energie, wenn es infolge seines Gefälles in Bewegung ist, also strömt. Der Dampf einer Flüssigkeit ist Träger von Energie, sobald er Spannung besitzt. Der gewöhnliche Sprachgebrauch ist in diesen Bezeichnungen wenig genau. Man sagt von einer Dampfmaschine, sie verbrauche stündlich so und soviel Kilogramm Dampf, von einem Wasserrade oder einer Turbine, der Apparat verbrauche in der Zeiteinheit diese oder jene Wassermenge. Thatsächlich verbraucht keine Dampfmaschine wirklich Dampf und kein Wassermotor wirklich Wasser. Der Dampf, welcher aus der Leitung in den Cylinder einströmt, geht an einem anderen Orte bis zum letzten Rest wieder hinaus, und das dem Wasserrade oder der Turbine zuströmende Wasser fliesst bis zum letzten Tropfen wieder ab. Die Dampfmaschine verbraucht nicht den Dampf, sondern seine Spannung und damit die ihm innewohnende Energie, und der Wassermotor verbraucht die Energie der Lage des aufgestauten und die lebendige Kraft des zuströmenden Wassers, keineswegs aber das Wasser selbst.

Auch die Elektrizität als solche ist noch keine Energie, aber sie besitzt solche, wenn sie unter Druck oder Spannung steht, oder wenn sie infolge ihrer Spannung sich in Bewegung befindet. Was Elektrizität eigentlich ist, ob ein Stoff oder eine von der gewöhnlichen Materie abweichende feinere

Flüssigkeit (Aether), kann hierbei vorerst ausser acht gelassen werden. Für die praktische Verwendung der elektrischen Energie hat überhaupt die Frage, was Elektrizität ist, nicht die Bedeutung, welche ihr vielfach zugeschrieben wird. Wir würden beispielsweise unsere Wassermotoren geradeso wie jetzt nutzbar machen können, wenn wir nicht wüssten, was Wasser ist, d. h. wenn wir das Wasser und viele seiner Eigenschaften nicht sinnlich wahrnehmen könnten. Es genügt, zu wissen, dass das Wasser eine Flüssigkeit ist, die dem Gesetz der Schwere unterliegt, und dass infolgedessen in ihm Energie aufgespeichert werden kann.

Es ist insbesondere für den Laien nützlich und wichtig, sich über den Unterschied zwischen Elektrizität und elektrischer Energie klar zu werden. Wie nirgendwo Elektrizität verbraucht wird, so wird auch nirgendwo solche erzeugt. Die Dynamomaschine erzeugt keine Elektrizität, sondern sie bringt gegebene oder vorhandene Elektrizität unter Druck oder Spannung, genauso, wie eine Druckpumpe kein Wasser erzeugt, sondern vorhandenes Wasser auf eine bestimmte Höhe hebt. Die Dynamomaschine erzeugt elektrische Energie, d. h. eine Energieform, deren Träger eben Elektrizität ist. Die elektrische Kraftmaschine verbraucht keine Elektrizität. Der elektrische Strom beispielsweise, welcher aus der Zuführungsleitung einer elektrischen Eisenbahn zu dem Elektromotor des Wagens geführt wird, fliesst bis zum letzten Rest durch die Schienen ab. Der aus dem Elektromotor austretende Strom besitzt aber eine viel niedrigere Spannung, als der aus der Zuleitung in die Maschine eintretende. Die elektrische Kraftmaschine hat also nicht Elektrizität, sondern Spannung der Elektrizität verbraucht.

Die elektrische Energie ist dadurch ausgezeichnet, dass sie sich mit Leichtigkeit in andere Energieformen umwandeln, meistens auch aus ihnen herstellen lässt. Wo elektrische Energie zur Verfügung steht, kann mit überraschender Einfachheit und Leichtigkeit mechanische Arbeit, Licht, Wärme, chemische Energie aus ihr gewonnen werden. Der gegenwärtige Aufschwung der elektrischen Industrie datiert von dem Zeitpunkte, wo es praktisch möglich wurde, elektrische Energie durch Aufwand mechanischer Arbeit und damit verhältnismässig billig im Grossen zu gewinnen. Zu den

Vorzügen der elektrischen Energie kommt noch hinzu, dass man sie ohne erhebliche Kosten und ohne grossen Verlust auf weite Strecken transportieren kann. Dies schafft die Möglichkeit, die Naturkräfte in weitestem Umfange nutzbar zu machen, indem man sie an Ort und Stelle in elektrische Energie umsetzt, diese an die Verbrauchsstelle befördert und dort wieder in diejenige Energieäusserung umformt, deren man zu einem gegebenen Zweck bedarf.

Unter Spannung stehende Elektrizität kann unbewegt und in Bewegung sein. Wir unterscheiden darnach die Energie der ruhenden und die Energie der bewegten Elektrizität.

§ 3. Energie der ruhenden Elektrizität.

Ruhende oder statische gespannte Elektrizität ist mit der Energie der Lage vergleichbar, wie wir sie an aufgestautem Wasser, an gespannten Dämpfen, einem aufgezogenen Gewicht, einer gespannten Feder etc. beobachten. Wie das aufgestaute Wasser eine Stauvorrichtung, der gespannte Dampf ein umschliessendes Gefäss, das hochgezogene Gewicht eine haltende Schnur, die gespannte Feder eine Sperrvorrichtung erfordern, so setzt auch die gespannte Elektrizität etwas voraus, was sie unter Druck oder Spannung hält. Einen Körper, welcher im stande ist, Elektrizität aufzustauen, unter Druck oder Spannung zu halten, nennt man ein Dielektrikum. Das entscheidende Merkmal eines solchen Körpers ist, dass sich Elektrizität durch ihn hindurch nicht bewegen, also auch dem Druck, unter welchem sie steht, nicht folgen kann. Wir sagen von einem Körper, auf welchem Elektrizität unter Druck steht, also gespannt ist, er sei elektrisiert oder mit Elektrizität geladen, sprechen in einem solchen Falle auch von der Elektrizitätsmenge, welche auf dem Körper angehäuft ist. Aus dem Ausdruck „Elektrizitätsmenge“ darf man jedoch nicht ohne weiteres herleiten, die Elektrizität sei ein Stoff mit räumlicher Ausdehnung. Wir sprechen auch von einer Wärmemenge, obschon wir wissen, dass die Wärme kein Stoff ist. Immerhin ist der Begriff der Menge geeignet, die Vorstellung zu erleichtern. Je mehr Wärme einem gegebenen Körper mitgeteilt wird, um so höher steigt der Druck der Wärme, d. h. das, was wir den Wärmegrad oder

die Temperatur nennen, und je mehr Elektrizität wir einem gegebenen Körper zuführen, um so höher steigt der Druck oder die Spannung der Elektrizität. Füllen wir einen Hohlraum von gegebener Grösse mit irgend einem Gas, so drückt das Gas auf die umschliessenden Wandungen, und der Druck steigt in dem Masse, wie wir mehr Gas in den Hohlraum hineinbringen. Daraus folgt nicht, dass die Elektrizität ein Gas ist, wohl aber, dass sie sich in dieser Beziehung wie ein Gas verhält.

Hier ist nun zunächst der Ort, mit einer landläufigen Vorstellung zu brechen. Man unterscheidet von altersher zwischen Leitern und Nichtleitern der Elektrizität, und es ist hinlänglich bekannt, dass den Leitern vor den Nichtleitern besondere Wichtigkeit beigelegt wird. Man hat neuerdings sich zu anderen Anschauungen bekehren müssen. Nicht die sogenannten Leiter, sondern die Nichtleiter sind es, in und an denen sich die elektrischen Vorgänge abspielen, und welche für diese wesentlich in Betracht kommen. Ein Nichtleiter ist nicht, wie man früher dachte, ein Körper, mit dem für die Elektrizität eigentlich nichts anzufangen wäre, sondern das, was vorhin ein Dielektrikum genannt wurde und heute allgemein so heisst, somit ein Körper, welcher im stande ist, Elektrizität unter Druck oder Spannung zu halten und damit für die praktische Verwendung geeignet und bereit zu machen. Um sich das klar zu machen, benutze man den Vergleich mit einer Dampfrohrleitung, durch welche gespannter Dampf geht. Man unterscheidet an der Leitung zweierlei: die umschliessende Wandung und den umschlossenen Hohlraum. Wer hält denn nun hier den Dampf unter Druck oder Spannung? Doch nicht der Hohlraum, sondern die umschliessende Rohrwandung. Auf die Wandung, also auf das, was den Dampf nicht durchlässt, nicht leitet, wird der Druck des Dampfes ausgeübt, und die Druckwirkungen kommen ausschliesslich hier zum Vorschein. Wird der Dampfdruck zu stark, so hat das keinen Einfluss auf den Hohlraum, sondern auf die Wandung, d. h. diese wird durchbrochen. Statt der Dampfrohrleitung kann man auch den unter Druck stehenden Dampfkessel zum Vergleich heranziehen. Auch hier sind es die Kesselwandungen, welche die Dämpfe einschliessen und unter Druck oder Spannung halten. Was

beim gespannten Dampf die einschliessenden Wandungen, das sind bei der unter Druck oder Spannung befindlichen Elektrizität die Dielektrika, oder, wie man früher sagte, die Nichtleiter der Elektrizität; die Leiter bedeuten dasselbe, was beim Kessel oder bei der Dampfrohrleitung die umschlossenen Hohlräume sind. Haben wir einen elektrischen Leitungsdraht, welcher dem Motorwagen einer elektrischen Bahn Strom, d. h. unter Druck stehende Elektrizität zuführt, so können wir die Vorrichtung vollständig mit einer Dampfrohrleitung vergleichen. Der Leitungsdraht ist aber nicht das zuführende Rohr, sondern der Hohlraum dieses Rohres; die einschliessende und die die Druckwirkung ermöglichende Wandung ist das den Draht umgebende Dielektrikum, bei einem blanken Draht also die umgebende Luft. Die Möglichkeit, elektrische Energie auf diese bequeme Art zu transportieren, wird dadurch geschaffen, dass die Luft ein sogenannter Nichtleiter, richtiger gesagt, ein Dielektrikum ist.

Wird die Spannung der in einem Kupferdraht transportierten Elektrizität zu gross, so wird der Draht ebenso wenig beschädigt, wie bei zu hohem Dampfdruck in einem Kessel oder in einer Rohrleitung der umschlossene Raum, durchbrochen wird das umgebende Dielektrikum; es tritt eine gewaltsame Entladung, eine Art Explosion ein, das Dielektrikum, die Isolation wird durchbrochen, durchschlagen. Für höhere Dampfspannungen muss man bekanntlich entsprechend stärkeres Material und grössere Dicke für die Rohr- und Kesselwandungen nehmen. Auch bei steigender elektrischer Spannung genügt nicht jedes Dielektrikum und nicht jede Dicke desselben. Für die stoffliche Festigkeit der umhüllenden Wandung beim Dampfdruck haben wir bei elektrischer Spannung die sogenannte dielektrische Festigkeit, d. h. das Vermögen, der Druckwirkung der Elektrizität das Gleichgewicht zu halten. Bei der stofflichen Festigkeit der verschiedenen Materialien rechnen wir mit einer Masseinheit, welche Festigkeitsgrösse, Festigkeitskoeffizient genannt wird; in ähnlicher Weise sprechen wir bei der Festigkeit gegen Elektrizitätsdruck von einer Dielektricitätsgrösse oder einer Dielektricitätskonstante und rechnen mit ihr als mit einer Masseinheit.

Jedermann wird es als widersinnig bezeichnen, einen Raum mit gespannten Dämpfen füllen zu wollen, ohne dass

eine umschliessende Wandung vorhanden ist, welche erst die Druckwirkung der eingeschlossenen Dämpfe ermöglicht. Ein Dampfkessel ohne Kesselwandung, eine Dampfrohrleitung ohne Rohrwandung ist undenkbar. In gleicher Weise aber ist es auch unmöglich und widersinnig, auf oder in einem sogenannten elektrischen Leiter Elektrizität aufstauen oder unter Druck stellen zu wollen, und wenn auch in weiten Kreisen diese Vorstellung gepflegt wird, so ist sie doch nichtsdestoweniger falsch. Man kann einen elektrischen Leiter ebensowenig elektrisieren, wie man, wenn die Vorstellung gestattet ist, einen Eimer mit Wasser füllen kann, der keinen Boden und keine Wandungen hat. Man wird sagen, ein Eimer ohne Boden und Wandung ist eben kein Eimer, überhaupt kein zur Aufnahme einer Flüssigkeit geeignetes Gefäss. Ganz richtig! Aber ein sogenannter elektrischer Leiter ist in Bezug auf die Elektrizität auch nichts anderes als ein Hohlraum, der nur dann Elektrizität festhalten kann, wenn er umschliessende Wandungen hat, d. h. wenn und soweit er von einem Dielektrikum oder Nichtleiter oder Isolator umgeben ist. Zu den elementaren Versuchen über die sogenannte Reibungselektrizität, welche wesentlich dasselbe bedeutet, was wir ruhende oder statische Elektrizität nennen, gehört das Laden eines Konduktors. Man versteht unter einem Konduktor einen Metallkörper von kugelförmiger oder cylindrischer Gestalt, welcher auf isolierenden Glasfüssen ruht, d. h. wie man zu sagen pflegt, gegen die Erde isoliert ist. Leitet man diesem Körper Elektrizität zu, so entsteht nach der landläufigen Vorstellung auf ihm eine Spannung, man sagt, der Konduktor sei mit Elektrizität geladen. Thatsächlich wird das Metall des Konduktors von dem Druck der Elektrizität gar nicht beeinflusst, oder richtiger gesagt, das Metall stellt und hält die Elektrizität nicht unter Spannung, sondern dies thut lediglich die Luft, welche den Konduktor umgiebt, oder irgend ein anderes Dielektrikum, welches das Metall umhüllt. Das Metall des Konduktors ist nichts anderes als ein Hohlraum für die Elektrizität, welcher sie nicht aufzuhalten vermag, und in welchem sie sich folglich sofort so weit verbreitet, bis sie auf ein Hindernis, d. h. auf ein Dielektrikum stösst. Es lässt sich sogar experimentell zeigen, dass man bei einem soge-

nannten geladenen Konduktor den Konduktor selbst entfernen kann, ohne dass das vorhin von ihm berührte Dielektrikum unelektrisch wird, also ohne dass der Druck oder die Spannung der Elektrizität aufhört. Ein geladener Konduktor muss in derselben Weise und aus ähnlichen Gründen gegen die Erde isoliert sein, wie man einen Dampfkessel nur so lange unter Druck halten kann, wie sein Hohlraum keine offene, leitende Verbindung mit der freien Atmosphäre hat.

Es wurde in dem Vorstehenden fortwährend von dem Druck oder der Spannung der Elektrizität geredet. Es fragt sich nun, wie diese Kraft sich äussert und wie sie gemessen wird. Vorab sei bemerkt, dass die Ausdrücke Spannung und Druck nicht ganz dasselbe bedeuten. Spannung und Druck entspringen derselben Quelle, werden auch durch dasselbe Mass gemessen, sind offenbar auch gleich gross, aber der Druck ist nicht die Spannung, sondern die Folge der Spannung. Bei einem unter Druck stehenden Dampfkessel sprechen wir von der Spannung des eingeschlossenen Dampfes; unter dem Druck aber verstehen wir die Wirkung des gespannten Dampfes auf die Kessel- und Rohrwandungen und schliesslich auf den Kolben im Dampfzylinder. Offenbar ist der Druck gleich der Spannung, aber doch nicht dasselbe, was die Spannung. Ist die Elektrizität in Bewegung, haben wir also das, was wir einen elektrischen Strom nennen, so setzt und hält die Spannung die Elektrizität in Bewegung, und alsdann sprechen wir von einer elektromotorischen, d. h. die Elektrizität bewegenden Kraft. Es ist klar, dass die elektromotorische Kraft durch dasselbe Mass gemessen wird, wie die Spannung der Elektrizität, auch ihr an Grösse gleich ist, aber doch als eine Wirkung jener angesehen werden muss.

§ 4. Messen der elektrischen Energie.

Will man 1 kg Wasser auf eine Höhe von 1 m heben, so ist klar, dass dazu eine bestimmte Arbeit, ein bestimmter Energieaufwand erforderlich ist. Ebenso ist klar, dass das gehobene Kilogramm Wasser die aufgewandte Arbeit in Form von Energie der Lage enthält und sie durch Herabgehen auf die frühere Höhe jederzeit in thätige Energie umsetzen kann. Ferner ist ersichtlich, dass man, um 1 kg Wasser-

dampf auf eine Spannung zu bringen, die um 1 Atmosphäre¹⁾ grösser ist, als sie vorhin war, eine gewisse Energiemenge aufwenden muss, und dass der Dampf bei der Rückkehr auf die frühere Spannung sie wieder abgeben kann. Der weitere Gedankengang sagt uns, dass der erforderliche Aufwand an Arbeit und somit auch die aufgespeicherte Energie der Lage auf das Doppelte anwächst, wenn wir 2 kg Wasser auf 1 m Höhe oder 1 kg Wasser auf 2 m Höhe heben, ebenso wenn wir die Spannung von 2 kg Dampf um 1 Atmosphäre oder die Spannung von 1 kg Dampf um 2 Atmosphären erhöhen. Der Energievorrat des gehobenen Wassers und des gespannten Dampfes steigt also in dem Masse, wie die Wasser- bzw. Dampfmenge und wie die Höhe bzw. die Spannung grösser wird. Mit anderen Worten, der Energievorrat wird bestimmt durch das Produkt aus der Wasser- bzw. Dampfmenge und aus der Höhe bzw. der Spannung. Wir haben nur nötig, die Wasser- und Dampfmenge sowie die Höhe und Spannung durch die bekannten Masseinheiten auszudrücken, um im gegebenen Falle den Energievorrat zahlenmässig angeben zu können.

Mit der ruhenden Elektrizität verhält es sich ebenso. Der Energievorrat wird auch bei ihr bestimmt durch die vorhandene Elektrizitätsmenge und durch die Spannung, unter welcher sie steht. Es handelt sich also nur noch darum, für beide Grössen Masseinheiten zu gewinnen. Wir wissen nun nicht, ob Elektrizität überhaupt räumliche Ausdehnung besitzt; deshalb kann man eine Elektrizitätsmenge nicht mit einem Raummass messen. Elektrizität steht auch nicht unter der Wirkung der Schwerkraft, wenigstens hat man bis heute keine sicheren Beweise dafür, dass sie Gewicht hat; deshalb sind auch Gewichtseinheiten als Elektrizitätsmasse nicht verwendbar. Die Elektrizität besitzt aber eine Eigenschaft, die mit der Schwerkraft, d. h. der allgemeinen Massenanziehung stofflicher Körper sehr nahe verwandt ist und in ähnlicher Weise wie diese sich äussert. Sie kann als Mittel zum Messen von Elektrizitätsmengen benutzt werden und findet

¹⁾ Unter 1 Atmosphäre versteht man eine Spannung, welche auf eine Fläche von 1 qcm Ausdehnung einen Druck von 1 kg ausübt. Die Bezeichnung rührt daher, dass dieser Druck annähernd gleich dem der freien atmosphärischen Luft an der Erdoberfläche ist.

bis heute allgemein hierzu Anwendung. Es ist eine allgemeine Eigenschaft der stofflichen Massen, dass sie sich gegenseitig anziehen. Den Grund dieser Eigenschaft oder Kraftäusserung kennen wir ebensowenig, wie die entsprechende Kraftäusserung bei Elektrizitätsmassen, dass sie sich gegenseitig abstossen. Die Gewohnheit verleitet uns allerdings, hierbei die gleichen Erscheinungen verschieden aufzufassen. Lassen wir einen in der Hand gehaltenen Gegenstand los, so findet es jedermann natürlich und klar, dass derselbe zur Erde fällt. Sehen wir aber, dass zwei frei bewegliche Körper, auf welchen Elektrizität unter Spannung steht, sich voneinander abbewegen, d. h. sich abstossen, so finden wir das meistens höchst wunderbar. Wir wissen von beiden Erscheinungen gleich viel oder gleich wenig. Wir wissen nicht, warum der von der Hand losgelassene Körper fällt, und wir wissen auch nicht, weshalb zwei an einem Seidenfaden aufgehängte elektrisierte Holundermarkkugeln sich abstossen. Sagen wir, der losgelassene Körper fällt, weil er schwer ist, oder weil die Erde ihn anzieht, so wird die Erscheinung damit nicht erklärt, sondern nur auf eine andere oder anders benannte, aber ebenso unerkannte Ursache zurückgeführt.

Ruhende gespannte Elektrizität stösst ruhende gespannte Elektrizität ab. Die Abstossung folgt demselben Gesetz, wie die Anziehung der stofflichen Massen. Diese Thatsache wurde schon 1785 von dem Franzosen Coulomb festgestellt und fand ihren Ausdruck in dem nach dem Entdecker benannten Coulombschen Gesetz.

Die Stoffmenge eines Körpers bestimmen wir allgemein durch sein Gewicht, d. h. durch die Kraft, mit welcher seine Masse von der Erde angezogen wird. Es ist aber klar, dass wir zu der Bestimmung der Stoffmenge eines Körpers auch gelangen können, wenn wir das Mass nicht auf die Anziehung gründen, die die in der Erde vereinigte, sondern welche irgend eine andere Stoffmenge auf ihn ausübt. Insbesondere könnten wir als Masseneinheit auch eine Stoffmenge bezeichnen, die auf eine ihr gleiche eine bestimmte anziehende Wirkung ausübt. Aehnlich verfährt man thatsächlich bei der Bestimmung von Elektrizitätsmengen, und man ist zu diesem Ausweg gezwungen, weil uns bei der Elektrizität nicht eine ähnliche gegebene und unveränderliche Elektrizitätsmenge zur Ver-

fügung steht, wie bei der stofflichen Anziehung die Erdmasse. Als Masseinheit für die Elektrizität bezeichnet man darnach eine Elektrizitätsmenge, welche auf eine ihr gleiche eine Abstossung von bestimmter Stärke ausübt. Es handelt sich also nur noch darum, für die Stärke der Abstossung einen festen Ausdruck zu finden.

Die abstossenden Kräfte bei Elektrizitätsmengen folgen, wie gesagt, demselben Gesetze, wie die bei der Massenanziehung wirksamen. Dieses Gesetz sagt, dass die wirksame Kraft in dem Masse grösser wird, wie die Massen zunehmen, und um so kleiner, je grösser die gegenseitigen Entfernungen der anziehenden oder abstossenden Massen sind. Teilt man also jede Masse durch ihre Entfernung von der anderen, so ergibt das Produkt aus beiden gefundenen Grössen die anziehende oder abstossende Kraft. Man kann auch sagen und sagt gewöhnlich auch, dass die Kraft wächst, wie das Produkt der beiden Massen, und abnimmt im umgekehrten Quadrat der Entfernung, d. h. dass bei gegebenen Massen die Kraft auf $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{25}$ etc. sinkt, wenn die Entfernung der Massen auf das 2-, 3-, 4-, 5 fache anwächst.

Wichtig für uns ist hierbei zunächst nur, dass sowohl bei stofflichen als auch bei elektrischen Massen die Anziehung bezw. Abstossung von der Entfernung der Massen abhängig ist, wir folglich, wenn es sich um die Bestimmung dieser Kraft handelt, eine bestimmte Entfernung voraussetzen oder zu Grunde legen müssen. Als diese Entfernung wird 1 cm angenommen. Wir kommen also nunmehr dahin, zu sagen, die Einheitsmenge der Elektrizität sei diejenige, welche auf eine ihr gleiche in der Entfernung von 1 cm eine bestimmte abstossende Kraft ausübt. Das Mass für die Kraft wird in folgender Weise festgesetzt.

Nehmen wir an, dass auf einen ruhenden aber vollkommen frei beweglichen Körper eine Zugkraft stetig wirkt. Die Kraft wird den Körper zunächst aus dem Ruhezustande in einen Bewegungszustand versetzen und ihm stetig, d. h. in jedem noch so kurz gedachten Zeitmoment einen neuen Bewegungsantrieb verleihen. Die Geschwindigkeit des bewegten Körpers wird also wachsen, die Bewegung wird, wie man zu sagen pflegt, beschleunigt werden. Der Geschwindigkeitszuwachs heisst allgemein die Beschleunigung. Es ist

klar, dass bei gleich bleibender beschleunigender Kraft die Grösse des Geschwindigkeitszuwachses in gleichen Zeitechnitten dieselbe sein wird. Mit anderen Worten, unter dem Einfluss der bewegenden Kraft wird der bewegte Körper in jeder Sekunde einen gleichen Geschwindigkeitszuwachs, eine gleiche Beschleunigung erhalten. Als Geschwindigkeit eines Körpers bezeichnen wir nun den in 1 Sekunde zurückgelegten Weg. Wir sagen von einem bewegten Körper, er habe eine Geschwindigkeit von 1 m, 1 cm, 1 km, wenn er in 1 Sekunde einen Weg von bezw. 1 m, 1 cm, 1 km zurücklegt. Es hat somit auch einen bestimmten Sinn, wenn wir sagen, eine Kraft verleihe einem Körper eine sekundliche Beschleunigung von 1 cm. Wir wollen damit ausdrücken, dass, wenn diese Kraft 1 Sekunde auf den Körper eingewirkt hat, sie ihn zu einer Geschwindigkeit von 1 cm gebracht hat, wenn sie auf ihn im Ruhezustande wirkte, und dass sie seine Geschwindigkeit um 1 cm erhöhte, wenn die Beschleunigung zu der vorhin schon vorhandenen Geschwindigkeit hinzukam.

Die Mechanik erklärt nun als Krafteinheit diejenige Kraft, welche der Masse von 1 Kubikcentimeter (1 ccm) Wasser in jeder Sekunde eine Beschleunigung von 1 cm verleiht. Diese Massgrösse wird 1 Dyne genannt. Das Wort Dyne ist hergeleitet von dem griechischen Worte dynamis, die Kraft.

Die Kraft, mit welcher 1 ccm Wasser von der Erde angezogen wird, heisst bekanntlich das Gewicht dieser Wassermenge. Sie wird allgemein als Gewichtseinheit angenommen und heisst 1 Gramm (1 g). Steht nun ein frei beweglicher, oder, wie man gewöhnlich zu sagen pflegt, ein frei fallender Körper unter der Einwirkung der Erdanziehung, also der Schwerkraft, so erhält er in jeder Sekunde einen Geschwindigkeitszuwachs von 9,81 m = 981 cm. Daraus ergibt sich sofort, dass

$$\begin{aligned} 1 \text{ g} &= 981 \text{ Dynen} \\ 1 \text{ Dyne} &= \frac{1}{981} \text{ g} \end{aligned}$$

ist. 1 kg (= 1000 g) ist also = 981 000 Dynen, 1 t (= 1000 kg) = 981 000 000 Dynen.

Man kann also sagen, dass 1 Dyne gleich annähernd 1 Milligramm ist. Nunmehr sind wir in der Lage, die Masseneinheit für die Elektrizitätsmenge sofort festzusetzen. Wir bezeichnen als solche eine Elektrizitätsmenge, welche auf eine

ihr gleiche in der Entfernung von 1 cm eine abstossende Kraft gleich 1 Dyne ausübt. Diese heisst Einheit der ruhenden Elektrizität (elektrostatische Einheit). Für die meisten praktischen Rechnungen ist diese Masseinheit unbequem, weil sie zu klein ist. Man hat deshalb, ähnlich wie bei den Gewichtsmassen, aus Zweckmässigkeitsgründen aus ihr eine grössere Masseinheit zusammengestellt. Diese ist das Coulomb¹⁾; es bedeutet 3000 Millionen der vorhin erklärten Einheit der ruhenden Elektrizität und steht in demselben Verhältnis zu dieser, wie eine stoffliche Masse von 3000 t zu der Masse von 1 g.

Es bleibt nun noch übrig, eine Masseinheit für das zu bestimmen, was wir die Spannung der ruhenden Elektrizität nennen. Dazu gelangt man in folgender Weise:

Denken wir uns zwei gleich grosse Dampfkessel *A* und *B* nebeneinander, jeden mit gespanntem Dampf gefüllt. Die Spannung in *A* aber soll 12 Atmosphären, die in *B* 4 Atmosphären betragen. Verbinden wir die beiden Kessel durch ein Rohr miteinander, so wird von *A* nach *B* so lange Dampf überströmen, bis die Spannung in beiden Kesseln dieselbe geworden ist. Der von *A* nach *B* strömende Dampf leistet hierbei Arbeit, denn er muss den Dampf in *B* auf höhere Spannung bringen, als dieser vorhin besass. Wir können auch sagen, die Energiemenge, welche der Kessel *A* abgibt, nimmt der Kessel *B* auf. Die gleiche Erscheinung zeigt sich, wenn wir zwei Elektrizitätsmengen von ungleicher Spannung in leitende Verbindung bringen. Auch hier wird Energie von dem höher gespannten Vorrat in *A* nach dem niedriger gespannten in *B* übertragen. Die Menge der übertragenen Energie hängt in beiden Fällen von dem Spannungsunterschied der Dampf- bzw. Elektrizitätsansammlungen ab, kann somit auch als Mass für den Spannungsunterschied und damit für die Spannung selbst benutzt werden.

Wie wir nun im vorliegenden Falle bei den beiden

¹⁾ Es ist üblich geworden, die elektrischen Masseinheiten nach den Namen von Forschern zu benennen, welche auf dem Gebiete der Physik und insbesondere der Elektrizität bahnbrechend tätig gewesen sind. Daher die Bezeichnungen 1 Coulomb, 1 Ampere, 1 Ohm u. a. — Coulomb, Charles Augustin, geb. 14. Juni 1736, gest. 23. August 1806, Ingenieur, später Oberstleutnant im Geniekorps, General-Inspektor der Pariser Universität, Mitglied der Akademie der Wissenschaften und des späteren Instituts.

Dampfkesseln sagen, es strömen so und so viel Kilogramm Dampf oder Bruchteile eines Kilogramm Dampf von *A* nach *B*, so sagen wir bei den elektrischen Ladungen, es werden so und so viel Coulomb oder Bruchteile eines Coulomb transportiert. Die transportierte Dampfmenge ist noch nicht die übertragene Energie, ebensowenig die transportierte Elektrizitätsmenge; es kommt für beide noch in Frage, mit welcher Spannung, also mit welchem Druck die Bewegung erfolgt ist. Folglich können wir sagen, als Masseinheit der elektrischen Spannung soll derjenige Elektrizitätsdruck angesehen werden, welcher beim Transport von 1 Coulomb Elektrizität eine bestimmte Arbeit leistet. Somit handelt es sich jetzt noch um die Festsetzung einer bestimmten Arbeitsgrösse.

Mechanische Arbeit wird nun, wie früher dargelegt, geleistet, wenn eine Masse bewegt und dabei ein Widerstand überwunden wird; mit anderen Worten, wenn eine Kraft auf einer Strecke zur Wirkung kommt. Nimmt man nun als Krafteinheit die Dyne, als Wegeinheit 1 cm, sagen wir folglich, dass 1 Dyne auf einer Strecke von 1 cm wirksam ist, oder dass unter der Wirkung von 1 Dyne ein Körper sich um 1 cm in der Kraftrichtung fortbewegt, so ist das eine ebenso bestimmte Arbeitsgrösse, als wenn wir sagen, 1 kg wirkt auf einer Strecke von 1 m, oder ein Gewicht von 1 kg wird um 1 m gehoben. Letztere Arbeitsgrösse heisst bekanntlich 1 Kilogramm-meter (1 kgm), erstere dagegen bildet die sogenannte absolute Arbeitsgrösse und wird 1 Erg genannt (ergon griechisch = Arbeit).

Demnach könnten wir nun sagen, diejenige Spannung der ruhenden Elektrizität sei die Masseinheit für die Spannung, welche beim Transport von 1 Coulomb gerade 1 Erg Arbeit leistet. Theoretisch ist das vollkommen richtig, nur ist die gewonnene Massgrösse wiederum unbequem klein. Man nimmt deshalb für praktische Rechnungen wieder eine grössere Masseinheit und zwar eine solche, bei welcher nicht 1 Erg, sondern 10 000 000 Erg geleistet werden. Die Spannung nun, welche beim Transport von 1 Coulomb Elektrizität eine Arbeit von 10 000 000 Erg erzeugt, heisst 1 Volt.¹⁾

¹⁾ Volt abgeleitet von Volta. — Volta, Alessandro, geb. 19. Februar 1745, gest. 5. März 1827, Professor der Physik am Gymnasium zu Cömo (1774—1779), dann an der Universität zu Pavia bis 1804.

Die Energie der ruhenden Elektrizität ist das Produkt aus der Elektrizitätsmenge und aus ihrer Spannung, also aus der Zahl der Coulomb und der Zahl der Volt, ähnlich wie die Energie eines gehobenen Wassers als das Produkt aus der Zahl der Kilogramm des Wassers und aus der Zahl der Meter der Erhebung erhalten wird. Wie man als Masseinheit für die Energie des aufgestauten Wassers $1 \text{ kgm} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m}$ nimmt, so bezeichnet man die Masseinheit der Energie der ruhenden Elektrizität zweckmässig mit dem Namen 1 Volt-coulomb $= 1 \text{ Volt} \times 1 \text{ Coulomb}$. Es ist üblich geworden, für diese Massgrösse auch noch einen anderen Namen und zwar 1 Joule¹⁾ zu gebrauchen.

Elektrische Energie kann man, wie wiederholt gesagt, in andere Energieformen übertragen. Wird beispielsweise 1 Joule in Wärme umgesetzt, so kann man mit der erhaltenen Wärmemenge 0,24 g Wasser um 1°C , oder 1 g Wasser um $0,24^\circ \text{C}$ erwärmen. Setzt man sie in mechanische Arbeit um, so kann man $\frac{1}{9,81}$ kgm leisten, also 1 kg auf eine Höhe von $\frac{1}{9,81}$ m $=$ annähernd 102 mm heben.

§ 5. Aufspeicherung elektrischer Energie in Form von ruhender Elektrizität. Kapazität.

Die Erscheinungen und Wirkungen der ruhenden Elektrizität finden in der modernen Elektrotechnik wenig praktische Verwendung. Auf die Mittel und Wege zur Erzeugung dieser Form der elektrischen Energie, insbesondere auf die verschiedenen Reibungs- und Influenzelektrisiermaschinen soll deshalb hier nicht eingegangen werden. Die bisherigen Ausführungen aber waren nötig, um gewisse Grundbegriffe klarzustellen, und insbesondere, um die Herleitung und Feststellung der wichtigsten Masseinheiten zu erläutern. Es erscheint nützlich, dem Gegenstand noch einige weitere Worte zu widmen, zumal sich dabei Gelegenheit bietet, verschiedene Ausblicke zu thun, die des allgemeinen Interesses nicht entbehren.

¹⁾ Joule, James Prescott, geb. 24. Dezember 1818, gest. 11. Oktober 1889, Brauer in Salford bei Manchester, seit 1842 Mitglied der Phil. Soc. in Manchester, seit 1850 der Royal Soc. in London.