

Über die Berechtigung und die Verwendung des elektrischen Potentials und einiger verwandter Begriffe im Mittelschulunterricht.

Von Dr. G. Albrecht.

I.

„In unserer Vorstellung spielt sicherlich die stofflich gedachte Elektrizität eine grosse Rolle; und in der Redeweise vollends herrschen heutzutage noch unumschränkt die althergebrachten, allen geläufigen, uns gewissermaßen lieb gewordenen Vorstellungen von den beiden sich anziehenden und abstoßenden Elektrizitäten, welche mit ihren Fernwirkungen wie mit geistigen Eigenschaften begabt sind. Aber die Ökonomie der Wissenschaft fordert, dass Umwege vermieden werden, wo ein gerader Weg möglich ist. Gibt es denn überhaupt Elektrizitäten? Lassen sich die elektrischen Erscheinungen nicht wie alle Erscheinungen allein auf die Eigenschaften des Äthers und der ponderablen Materie zurückführen? Könnte nicht der Äther, welcher die Wellen des Lichtes leitet, auch fähig sein, Änderungen aufzunehmen, welche wir als elektrische und magnetische Kräfte bezeichnen? Wäre nicht sogar ein Zusammenhang zwischen diesen Änderungen und jenen Wellen denkbar? Denn wenn wir mit Hilfe elektrischer Wellen unmittelbar die Erscheinungen des Lichtes herstellen können, so bedürfen wir keiner Theorie als Vermittlerin; die Verwandtschaft beider tritt aus den Versuchen selbst hervor. — Und solche Versuche sind in der That möglich. Die Verbindung zwischen Licht und Elektrizität, welche die Theorie ahnte, vermuthete, voraussah, ist damit hergestellt, den Sinnen fasslich, dem natürlichen Geiste verständlich. Wir erblicken nun Elektrizität an tausend Orten, wo wir bisher von ihrem Vorhandensein keine sichere Kunde hatten. In jeder Flamme, in jedem leuchtenden Atom sehen wir einen elektrischen Process. Das Licht ist eine elektrische Erscheinung, das Licht an sich, alles Licht: das Licht der Sonne, das Licht einer Kerze, das Licht eines Glühwurms. Auch wenn ein Körper nicht leuchtet, solange er nur noch Wärme strahlt, ist er der Sitz elektrischer Erregungen. So verbreitet sich das Gebiet der Elektrizität über die ganze Natur. Es rückt auch uns selbst näher; wir erfahren, dass wir in Wahrheit ein elektrisches Organ haben, das Auge. Nehmt aus der Welt die Elektrizität, und das Licht verschwindet; nehmt aus der Welt den lichttragenden Äther, und die elektrischen und magnetischen Kräfte

können nicht mehr den Raum überschreiten. Die Quintessenz uralter physikalischer Lehrgebäude ist uns in den Worten aufbewahrt, dass alles, was ist, aus dem Wasser, aus dem Feuer geschaffen sei. Der heutigen Physik liegt die Frage nicht mehr ferne, ob nicht etwa alles, was ist, aus dem Äther geschaffen sei. Diese Dinge sind die äussersten Ziele unserer Wissenschaft, der Physik.“

Ungefähr mit diesen Worten hat einer der Hauptmitarbeiter an dem gewaltigen Umschwung in unseren Anschauungen, Heinrich Hertz, bei der 62. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Heidelberg in vortrefflicher Weise den heutigen Zustand der Elektrizitätslehre und der Physik überhaupt gekennzeichnet. Unser Jahrhundert hat eine ungeahnte Umwälzung auf dem Gebiete der Naturwissenschaften und in erster Reihe auf dem der Physik hervorgebracht, und wenn nicht alle Zeichen trügen, so befindet sich gerade die ebengenannte Wissenschaft im letzten Abschnitte dieser Umgestaltung, die, kurz gesagt, dahin zielt, an Stelle der groben, höchst sinnlichen Erklärung der verschiedenartigen Erscheinungen durch die Annahme ebensovieler verschiedener unwägbarer Stoffe oder „Fluida“ eine einheitliche Auffassung aller physikalischen Vorgänge zu setzen, so dass diese hienach nur als verschiedenartige Erscheinungsformen eines und desselben Geschehnisses zu betrachten sind. Die Physik der Gegenwart steht in hervorragendem Sinne, wenn man dies bezeichnende Wort gebrauchen darf, unter dem Zeichen der Einheit der Kraft.

Es ist jetzt nahezu ein Jahrhundert her, dass Graf Rumford durch seine Versuche und Carnot durch seine Betrachtungen über die Dampfmaschine die Vorbedingungen für die Entwicklung der mechanischen Wärmetheorie schufen. In dem mittlerweile verstrichenen Zeitraum sind zunächst durch Ampères Theorie die beiden magnetischen Fluida aus der Wissenschaft beseitigt worden, dann hat sich die Auffassung von dem Wesen des Lichts als einer Bewegungs-Erscheinung gegenüber der alten Emanationstheorie mit überraschendem Erfolge Bahn gebrochen, der Wärmestoff ist allmählich aus den physikalischen Erörterungen verschwunden, und mit der hauptsächlich von Faraday und Maxwell begründeten, durch Boltzmann, Hertz und andere siegreich an Versuchen bestätigten neuen Betrachtungsart der elektrischen Vorgänge dürfte endlich auch den letzten Überresten einer veralteten Vorstellungsweise, den elektrischen Fluidis, ihr lange geahntes und noch länger ersehntes Ende zuteil werden. Dann sind aber alle physikalischen Vorgänge nur verschiedene Erscheinungsformen einer und derselben Kraft, die sich je nach den Umständen und der Beschaffenheit unserer Sinne bald als wahrnehmbare Bewegung, bald als Schall, Licht, Wärme, Elektrizität oder Magnetismus zu erkennen gibt, oder, wie Maxwell sagt („Substanz und Bewegung“, Vorrede): „Während die Physik früher die Naturerscheinungen als Ergebnisse von Kräften betrachtete, die zwischen den Körpern wirken, betrachtet sie jetzt die Configuration eines materiellen Systems und seine Bewegung als das Bestimmende und als das Maßgebende für seine Energie.“

Die Hauptaufgabe der Physik wird sich nun thatsächlich darauf erstrecken, „die Vorgänge in der Natur zu beschreiben“ (Kirchhoff, „Mechanik“), ihre

Beziehungen zu einander aufzusuchen und die Veränderungen der Energie bei Zustandsänderungen eines Körpers festzustellen, ohne, von besondern Fällen abgesehen, wenigstens vorläufig haltlose Muthmaßungen über das Wesen der Kraft und des Stoffes als Ausgangspunkt zu benützen, sowie sich ja auch die Geometrie im allgemeinen um die Begründung der Raumvorstellungen nicht weiter zu kümmern braucht. Für den physikalischen Unterricht erwächst aber aus dieser Umwandlung der Anschauungen, die noch lange nicht beendet ist, eine schwere und überaus verantwortungsvolle Aufgabe. Sowie die Umgestaltung der Chemie vor ungefähr einem Menschenalter so vieles, was bis dahin als eine Art sicherer Thatsache galt, in seinen Grundlagen erschütterte oder völlig auf den Kopf stellte, so muss auch der Umschwung in unserer Wissenschaft und insbesondere in der Elektrizitätslehre, wo er am weitesten geht, eine Veränderung des ganzen Aufbaues der Wissenschaft zur Folge haben und so eine durchgreifende Umwälzung in nahezu allen Theilen dieses ungeheueren Gebietes nach sich ziehen. Was wir bisher als wesentlich und als Hauptsache betrachteten, büßt in gewissem Grade von seiner Wichtigkeit ein; Bezeichnungen, die vom Standpunkte der alten Auffassung als durchaus zutreffend erschienen, behalten nur mehr geschichtlichen Wert; dafür rückt manch unverständene Thatsache nun in hellerer Beleuchtung in den Vordergrund und bildet oft sogar einen Grundstein des neuen Gebäudes, — und alle diese Veränderungen, die sich doch nur allmählich vollziehen können, soll der physikalische Unterricht mitmachen, ohne dabei an seinem Gehalt und seiner Stetigkeit, aber auch ohne an seinem Zusammenhang mit der lebendigen Wissenschaft etwas einzubüßen.

Freilich liesse sich dem eben ausgesprochenen Verlangen gegenüber mit Recht betonen: „Es kann nicht Aufgabe der Mittelschule sein, sämtliche Phasen einer sich entwickelnden inductiven Wissenschaft durchzumachen“ („Instr. f. d. Unterr. an d. Gymn. in Oesterreich“), und in dieser Allgemeinheit ist der Satz keineswegs anfechtbar. Aber es geht doch sicher auch ebenso wenig an, etwa in dem einen Jahre den Schülern die elektrischen Erscheinungen noch auf Grund der Hypothese von zwei Fluidis darzustellen und dann dem nächsten Jahrgang gegenüber mit der Erklärung zu beginnen, dass diese selbe Hypothese eigentlich gar keinen Wert mehr habe, weil sie mittlerweile allen ihren Boden unter den Füßen verloren hat. Ebenso gewiss ist ja auch, dass gerade der strebsame Schüler sein Wissen nicht lediglich aus den Belehrungen in der Schule schöpft, zumal da die Fortschritte der Wissenschaft ihm durch gemeinverständliche Schriftwerke, ja selbst durch die Tagesblätter in raschester und höchst bequemer Weise vermittelt werden. Dazu kommt ferner, dass die Umwandlung der Anschauungen sich in Theorie und Praxis mit geradezu reissender Schnelligkeit schon allenthalben bemerkbar macht, so dass z. B. der gemeine Maschinist beim elektrischen Betriebe die Potentialdifferenz an den Polen seiner Maschine in Volt-Einheiten zu bestimmen und anzugeben bemüssigt ist. Wenn wir vollends beachten, dass der Unterricht an der Hochschule, für den wir ja vorarbeiten, und zwar auf den verschiedensten Gebieten den neuen Errungenschaften ganz und gar Rechnung zu tragen gezwungen ist, falls er überhaupt seinen Pflichten und seiner Stellung gerecht werden soll, so scheint

es kaum mehr einem Zweifel zu unterliegen, dass auch die Belehrung an der Mittelschule sich den Bedürfnissen der Gegenwart nicht weiter verschliessen kann. Insbesondere die Elektrizitätslehre „wird überhaupt im Elementarunterricht eine gründlichere Abänderung in Auswahl, Anordnung und Darstellung erfahren müssen, wenn sie ein Bild des gegenwärtigen Denkens der Elektriker bieten und so eine wirkliche Vorbereitung für weitere Studien gewähren soll“ (Maß in der Zeitschrift: „Oesterr. Mittelschule“, VI. Jahrgang, S. 97, 1892).

Damit ist aber nun noch keinesfalls gemeint, dass etwa an Stelle der alten Anschauungen von den elektrischen Fluidis bereits die neue Auffassung in dem Umfang, wie sie Hertz in den eingangs erwähnten Worten geschildert hat, als eine neue Hypothese treten soll. Dies würde mit dem früher als richtig bezeichneten Grundsatz ja geradezu im Widerstreite stehen. Denn die Gleichstellung des Lichtes und der elektrischen Erscheinungen ist noch durchaus nicht in allen Theilen so weit durchgeführt und so sicher begründet, dass sie jetzt schon erfolgreich und allgemein erfasslich zu klarem Verständnis gebracht werden könnte; auf dieser Stufe der Entwicklung entzieht sich die nur theilweise ausgebildete Theorie dem Wirkungsbereich der Mittelschule selbstverständlich vollkommen. Aber gibt es für die Übergangszeit bis zu dem vollständigen Siege der neuen Anschauung und ihrer endgiltigen Einführung in den Unterricht nicht schon genug zu leisten? Ist in der Elektrizitätslehre, dieser „wahrhaft kaiserlichen Wissenschaft“, nicht bereits so viel Bleibendes, thatsächlich Feststehendes und dauernd Wertvolles geschaffen worden, dass dessen Berücksichtigung bei einem wirklich auf der Höhe der Zeit stehenden Unterrichte unmöglich länger unterbleiben darf? Müssen die Begriffe des Potentials, der Capacität, der Kraftlinien und so manches andere nicht als derart fruchtbar und aufklärend bezeichnet werden, dass sie mit Fug und Recht dem Aufbau des ganzen Lehrgebäudes zugrunde gelegt zu werden verdienen? Muss nicht lediglich im Hinblick auf das nachfolgende Universitätsstudium und auf die weiteren Fortschritte der Wissenschaft es höchst wünschenswert erscheinen, den einzelnen von der Macht der Hypothesen und der mit ihnen eingesogenen Vorurtheile nach Möglichkeit fernzuhalten, ihm die außerordentliche Umgestaltung der Anschauungen für seine Person möglichst wenig fühlbar zu machen und ihm bloß aus Gründen der „geistigen Ökonomie“ schon möglichst viel Bleibendes und so wenig Hypothetisches als möglich auf seinen künftigen Lebensweg mitzugeben?

Die bisherige Behandlung der elektrischen Erscheinungen entspricht dem wahren Stande der Wissenschaft durchaus nicht mehr und auch keineswegs den Anforderungen des praktischen Lebens. Die Darstellung der Reibungs-Elektrizität ist, wie Maß (a. a. O.) sehr treffend bemerkt, gegenwärtig in den meisten Lehrbüchern bloß eine „Reclame für die Elektrisiermaschine.“ Als ob es dabei nicht viel Belangreicheres, zehnmal Wertvolleres zu lehren und zu verstehen gäbe! Und von diesen wirklich bedeutungsvollen und wichtigen Thatsachen bietet der jetzige physikalische Unterricht in der Regel fast nichts oder doch nur so geringe und schüchterne Anfänge, dass sich recht deutlich merken lässt, dass hier außer dem Einfluss der Vorschriften namentlich auch die berüchtigte Sorge vor einer „Überbürdung“ der Jugend einem entschiedenem

Vorgehen hindernd im Wege gestanden ist. Als ob es bei der Überbürdung immer nur auf das Was und nicht so sehr auf das Wie ankäme, und als ob nicht die Vermehrung des Lehrstoffs auf der einen Seite durch das erzielte bessere Verständnis sowie durch die Abwerfung einer Menge unnützen, veralteten Ballastes auf der anderen Seite vollständig wettgemacht werden könnte!

Wie kann dem nun geholfen werden? Heute, da wir an Stelle der alten Hypothese eben noch keine völlig ausgebaute und allgemein verständliche neue Theorie geben können, dürfte sich hierfür bloß ein einziges Mittel darbieten; und dieses besteht darin, die elektrischen Erscheinungen in einer Art zu entwickeln, die alle hypothetischen Anschauungen möglichst fernhält und soweit als möglich sich durchaus nur mit Thatsächlichem beschäftigt. „Es ist immer sicher und philosophisch“, sagt der geniale Schöpfer unserer neuen Elektrizitätslehre, Michael Faraday, „Thatsache von Theorie soviel als möglich zu unterscheiden: die Erfahrungen vergangener Zeiten lehren uns die Weisheit eines solchen Vorgehens genügend, und wenn man bedenkt, dass der Geist die Neigung hat, sich bei einer Annahme zu beruhigen und, wenn sie den augenblicklichen Zwecken genügt, zu vergessen, dass sie eben eine Annahme sei, so sollten wir dessen eingedenk sein, dass sie in solchen Fällen zu einem Vorurtheil wird und unvermeidlich die Klarheit des Urtheils mehr oder weniger trübt.“ (Lond. and Edinb. phil. Mag., 24. Bd. 1844, S. 136; auch in den „Experimental-Untersuchungen“, deutsche Übersetzung von S. Kalischer, 2. Bd., S. 256.) Noch schärfer betonte Faraday 11 Jahre später den gleichen Gedanken: „Was uns fehlt, ist nicht eine Mannigfaltigkeit von Methoden, die Kräfte darzustellen, als vielmehr ein wahrer physikalischer Ausdruck dessen, was uns durch die Erscheinungen offenbart wird, und der diese beherrschenden Gesetze. Es ist klar, dass unsere physikalischen Vorstellungen sehr zweifelhaft sind, und ich kann mir nur Gutes davon versprechen, wenn wir uns bemühen, uns von solchen Voreingenommenheiten, wie sie darin enthalten sind, frei zu machen, und einmal die Kraft soviel als möglich in ihrer Reinheit betrachten.“ (Phil. Mag., 9. Bd. 1855; „Exper.-Untersuch.“, 3. Bd., S. 488.)

Wenn wir bis heute dem bezeichneten Ziele etwas näher gekommen sind, so haben unzweifelhaft gerade Michael Faraday und eine Reihe der bedeutendsten Geister unseres Jahrhunderts dafür ihr Bestes geleistet. Bis vor kurzem hiess es allerdings in der Regel, dass es, wenigstens im Mittelschulunterricht, überhaupt nicht möglich sei, von den elektrischen Fluidis ganz abzusehen und dafür jene Begriffe, die in der neuern Elektrizitätslehre die Hauptrolle spielen, namentlich die des Potentials, der Capacität und der Kraftlinien entsprechend hervortreten zu lassen; diese Begriffe sollten dem Verständnis von Schülern so überaus schwer fallen, dass es für entschieden besser gehalten wurde, auf sie ganz zu verzichten und sie bedingungslos der Hochschule zu überlassen. In jüngster Zeit scheint die Ansicht indessen allmählich immer mehr Boden zu gewinnen, dass die Schwierigkeiten doch nicht geradezu unüberwindlich sind und dass es zu ihrer Beseitigung nur auf die richtige Art der Einführung dieser Begriffe ankomme, um dieselben für den Unterricht völlig brauchbar und erspriesslich zu machen. In diesem Sinne

ist insbesondere die „Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht“ seit ihrer Begründung im Jahre 1887 mit vorzüglichem Erfolge thätig gewesen, nachdem schon vorher in verschiedenen und für verschiedenartige Kreise bestimmten Werken, z. B. in einzelnen Bänden der „Elektrotechnischen Bibliothek“, so namentlich dem 9. Band: „Die Grundlehren der Elektrizität“ von W. Ph. Hauck 1883, in Bd. 19: „Die Spannungselektrizität“ von R. W. Zenger 1884, Bd. 22: „Die Generatoren hochgespannter Elektrizität“ von J. G. Wallentin 1884, und Bd. 23: „Das Potential“ von O. Tumlirz 1884, ferner im „Lehrbuch der Physik für die oberen Classen der Mittelschulen“ von A. Handl 1884, im 28. Bande von „Das Wissen der Gegenwart“: „Die Elektrizität und ihre Anwendungen, für weitere Kreise dargestellt“ von A. Waßmuth 1885, im „Lehrbuch der Physik für die österr. Cadettenschulen“ von A. v. Obermayer 1885, und sonst noch in anderen Schriften Versuche der mannigfachsten Art unternommen worden waren, um die in Rede stehenden Begriffe in einer möglichst einfachen und allgemein verständlichen, also auch dem elementaren Unterricht möglichst zugänglichen Weise auseinanderzusetzen. Es wäre ein grosser Fehler, hier nicht ganz besonders die Darstellung Maxwells in seinem Buche: „Die Elektrizität in elementarer Behandlung“ (deutsch von Graetz 1883) hervorzuheben, eine Darstellung, die nicht nur wegen des grossen Mannes, von dem sie ausging, sondern auch wegen der anregenden Art der Ausführung, wegen der Anordnung der Versuchsreihen und ihres gedankenreichen Inhalts wegen allenthalben höchste Beachtung verdient. Durch diese vielseitigen Bemühungen ist es unzweifelhaft gelungen, dem anzustrebenden Ziele um ein beträchtliches näher zu rücken.

Am meisten zeigt sich dies wohl zunächst an dem ersten und maßgebenden der genannten Begriffe, an dem des elektrischen Potentials. Auch in der Wissenschaft hat sich dieser, wie Mascart in der Vorrede zu seinem „Handbuch der statischen Elektrizität“ (deutsch von J. G. Wallentin 1883) in sehr hübscher Weise ausführt, nur langsam und nach vielen Hindernissen Bahn gebrochen, und wie dies geschah, bildet einen der anziehendsten Abschnitte in der Geschichte der Elektrizitätslehre und der Entwicklung des menschlichen Geistes überhaupt. Nach Coulombs Versuchen konnte man nämlich die Lehre von der Reibungselektrizität für endgiltig festgestellt halten. „Doch blieb noch ein wichtiger Schritt zu machen, sollte man die Elektrizität von ihrer wahren Seite betrachten. Auch hier gieng der Versuch, von einem genialen Manne ausgeführt, lange Zeit der Theorie voran. Zu derselben Zeit, als Coulomb die Elementargesetze der elektrischen Wirkungen bestimmte, brachte Volta eine wichtige Eigenschaft derselben zur Kenntnis, welche er die elektrische Spannung nannte, eine Eigenschaft, die er nicht durch Rechnung an ein einfaches Gesetz knüpfen konnte, die ihm aber gestattete, die elektrischen Capacitäten der Körper, die condensierende Kraft und den elektrischen Zustand der Luft zu bestimmen, ohne dass man bei diesen verschiedenen Anwendungen irgend einen Erklärungsfehler hätte angeben können. Diese Arbeiten Voltas würden hinreichen, seinen Namen unsterblich zu machen, wenn nicht die Entdeckung des galvanischen Elements, welche nur die weitere Entwicklung und Verallgemeinerung seiner ersten Anschauungen war, den Ausgangspunkt

seiner Forschungen zu sehr in Vergessenheit gebracht hätte. Der neue Begriff der elektrischen Spannung, welche Volta nur als ein Bestreben der Elektrizität definieren konnte, sich in einer gewissen Richtung zu bewegen, blieb verworren und wurde oft unrichtig ausgelegt, bis die Mathematiker eine aus den Gesetzen Coulombs hergeleitete scharfe Definition lieferten und die Grundeigenschaften der elektrischen Spannung nachwiesen. In diesem Augenblick wurde aber die Aufmerksamkeit aufs neue vom Gegenstande abgelenkt; die Arbeiten Oerstedts und Ampères über Elektromagnetismus und Elektrodynamik, die überraschende Entdeckung der Induction durch Faraday hatten Erscheinungen bekannt gemacht, welche man durch Voltas Princip nicht mehr erklären konnte. Die Experimentatoren wurden auf ein fruchtbringenderes Gebiet abgelenkt, und die Abhandlung von Georges Green blieb ganz in Vergessenheit. Schließlich musste die mechanische Wärmetheorie, welche die Wechselbeziehungen zwischen den physikalischen Erscheinungen mittels des allgemeinen Princips von der Erhaltung der Arbeit in allen ihren Formen darstellt, die vollständige Untersuchung wieder aufnehmen und sich die elektrischen Erscheinungen beordnen, damit diese unter einer ganz neuen Form sich zeigen konnten.* (Mascart, a. a. O.).

Wie Poske in einer für unsern Gegenstand geradezu grundlegenden Abhandlung („Zeitschr. f. physik. u. chem. Unterr.“, I. Bd. 1888, S. 92) sehr treffend bemerkt, rang Volta förmlich danach, für den ihm vorschwebenden Begriff den passenden Ausdruck zu finden, und gebrauchte abwechselnd, ja sogar gleichzeitig hintereinander die Worte: elektrische Spannung, Intensität, Kraft, Impulsion, so wie einst Galilei in ähnlicher Verlegenheit für den Momentbegriff der Reihe nach die Bezeichnungen: Antrieb, Fähigkeit, Arbeitskraft, Stärke, Wirksamkeit, Kraft zuhilfenahm. Obwohl die richtige Vorstellung von dem Wesen der Sache vorhanden war und S. Ohm durch seine Definition der von ihm sogenannten „elektroskopischen Kraft“ in der Abhandlung über „Die galvanische Kette“ (S. 87) schon 1827 eine genaue und klare Bestimmung des Begriffs geliefert hatte, gelang es, wie Mascart erwähnt, doch noch lange nicht, dessen volle Bedeutung zu erfassen und ihn scharf von ähnlichen, verwandten Begriffen zu unterscheiden. Dies wurde erst durch die Bestrebungen der Mathematiker ermöglicht, welche mittlerweile von einem andern Gesichtspunkte aus selbständig zu einer durchaus verschiedenen Definition des Potentials gelangt waren. Darnach ist dies eine Function, deren Differential-Quotienten nach den Coordinatenachsen die Grösse und Richtung der wirkenden Kräfte bestimmen. Aus dieser rein mathematischen Feststellung arbeitete sich allmählich eine neue, mechanische Erklärungsweise heraus, die in der Auffassung des Potentials als der Arbeit gipfelt, welche nothwendig wäre, um einen mit der Elektrizitätsmenge 1 geladenen Punkt aus unendlicher Entfernung bis zu irgend einer Stelle eines elektrischen Feldes zu bringen. Indem Kirchhoff 1849 („Über eine Ableitung der Ohm'schen Gesetze“, Pogg. Ann., Bd. 78; „Gesammelte Abhandlungen“, Bd. I, S. 49, 1881) die Identität dieser beiden Begriffsbestimmungen, der mathematischen und damit auch der mechanischen, mit der von Ohm gegebenen rein physikalischen nachwies, gelangte endlich das Potential zu seiner vollen Bedeutung in der Wissenschaft,

und es handelt sich nun nur darum, ihm schließlich auch auf dem Gebiete des Unterrichts die gebührende Stellung einzuräumen.

Dass von den drei Erklärungen die mathematische trotz ihrer Schärfe und Wichtigkeit für die Praxis wenigstens unmittelbar nicht verwertbar ist und im Unterrichte an Schulen, in denen die dazu nöthigen Kenntnisse nicht vorhanden sind, überhaupt keine Anwendung finden kann, ist ohneweiters einleuchtend; sie kann uns daher weiter nicht beschäftigen. Von grosser physikalischer Bedeutung ist dagegen unzweifelhaft die zweite, die mechanische, welche das Potential als eine Arbeit bestimmt. Sie wird infolge dessen auch in den meisten Lehrbüchern, die für weitere Kreise berechnet sind, mit besonderer Vorliebe herangezogen; doch gegen ihre Verwendung im Unterrichte sind mehrfache Bedenken zulässig. Zunächst müsste für eine ersprießliche Ausnützung derselben der Arbeitsbegriff schon vorher in einer Weise geistiges Eigenthum des Schülers geworden sein, wie dies heute gewöhnlich nicht der Fall und vielleicht auf der Unterstufe, wenigstens vorläufig, auch noch gar nicht nöthig ist. Zweitens muss der Begriff der Elektrizitätsmenge dieser Definition vorausgehen, und insoweit dieser Begriff, wie das Wort es schon andeutet, jener hypothetischen Anschauung entlehnt ist, die gerade jetzt ihren Boden verliert, setzt diese Einführung des Potentialbegriffs bereits eine Darstellung jener Hypothese voraus, die nach den frühern Auseinandersetzungen beim Unterrichte gerade möglichst vermieden werden soll. Allerdings lässt sich die Bedeutung des Wortes „Elektrizitätsmenge“ auch unabhängig von der Annahme eines Fluidums lediglich auf Grund des Coulomb'schen Wirkungsgesetzes entwickeln. Hier zeigt sich aber wieder die Schwierigkeit, dass die Erörterung und die schliessliche Definition in ziemlich hohem Maße abstract verläuft, so dass das Moment der Anschaulichkeit fast vollständig verloren geht und an die Fassungskraft der Schüler übertriebene Anforderungen gestellt werden müssen. Auf jeden Fall kann man sagen, dass diese Erklärung sich wohl gut anhören und auch ganz gut wiederholen lässt, dass wir uns aber im Grunde nicht viel dabei vorstellen können, so dass sie eigentlich meist auch nur bei Rechnungen verwertet wird und es im übrigen bei dem Nachweis sein Bewenden hat, dass wir aus der Größe des Potentials einen Rückschluss auf die Beschaffenheit des elektrischen Zustandes ziehen dürfen. Dies leitet uns aber schon unvermerkt zu der dritten Auffassung über, wie sie z. B. Hauck, Waßmuth und Obermayer in den früher angeführten Werken mehr oder weniger scharf entwickelt haben und die namentlich von Poske in der „Zeitschrift f. phys. u. chem. Unterr.“ (I. Bd. 1888, S. 89; III. Bd. 1890, S. 161) mit Klarheit und mit großem Nachdruck betont worden ist. Mit Erfolg haben auch J. G. Wallentin (5. Aufl. 1888) und noch mehr E. Mach (1891) in ihren Lehrbüchern der Physik für die oberen Classen der Mittelschulen von dieser Erklärungsart Gebrauch gemacht. Danach ist das Potential oder der „Elektrizitätsgrad“ nichts anderes als das Maß für die Größe des elektrischen Zustandes eines Körpers, so wie er sich durch die Wirkung auf ein entfernt aufgestelltes und mit ihm leitend verbundenes Elektroskop zu erkennen gibt. Das Potential ist für die Elektrizitätslehre dasselbe wie die Temperatur für die Wärmemessung. Die so gegebene Definition ist eine

eigentlich physikalische d. h. ganz und gar anschaulich. Sie knüpft an sinnliche Wahrnehmungen an, die wir ohneweiters machen können; sie stellt die Beziehungen zu ähnlichen Erscheinungen, namentlich auf dem Gebiete der Wärmelehre, her und setzt dabei, was von besonderer Wichtigkeit ist, auch nicht die geringste hypothetische Annahme voraus. Von den Erscheinungen ausgehend, können wir, stets die Ähnlichkeit mit andern uns bereits bekannten Erscheinungen im Auge behaltend, mit Leichtigkeit zu den wichtigsten Sätzen über das elektrische Potential gelangen, wir können durch logische Folgerungen alle Sätze der Elektrizitätslehre herleiten, den Begriff der Capacität und selbst den der Elektrizitätsmenge ohne Zuhilfenahme jeder Hypothese entwickeln und, wie es scheint, ein volles Verständnis für die elektrischen Vorgänge und alle damit im Zusammenhange stehenden Begriffe erzielen.

Um die soeben aufgestellte Behauptung zu beweisen, gibt es kaum ein besseres Mittel als an einem Beispiel den gedanklichen Zusammenhang bei einem solchen Lehrvorgang zu veranschaulichen. Eine derartige „Experimentelle Einführung in die Lehre vom elektrischen Potential“ rührt zwar schon von Poske her (*Zeitschrift f. phys. u. chem. Unterr.*, III. Jahrg. 1890, S. 161), und seither sind in den Heften der genannten Zeitschrift noch eine Reihe weiterer wertvoller Beiträge zu dem gleichen Zwecke geliefert worden. Wenn im Nachfolgenden trotzdem ein neuer Versuch vorgebracht wird, so findet er seine Begründung und wohl auch seine Berechtigung in dem Gedankengange, aus dem er erwachsen ist und der in den vorangeschickten Erörterungen wiedergegeben wurde.

Dabei mag es vielleicht nicht überflüssig sein, nochmals mit Nachdruck zu betonen, dass bei diesen Überlegungen nicht lediglich die Rücksicht auf eine klare und möglichst genaue Darstellung der Thatsachen maßgebend war und ebenso nicht bloß der Hinblick auf die Verwendung des Potentialbegriffs in der Praxis, sondern ganz besonders ist die Erwägung dabei ins Gewicht gefallen, dass der Mittelschulunterricht den sich vollziehenden Umschwung in der Wissenschaft insoweit auch in seinem engen Rahmen wiederzuspiegeln verpflichtet ist, dass er statt der das Urtheil trübenden veralteten Hypothese durch Hervorhebung des thatsächlich und für alle Zukunft Wichtigen die zu erwartende Gestaltung der neuen Theorie wenigstens einigermaßen ahnen lasse und ihr dadurch auch seinerseits in seinem Wirkungskreise den Boden ebne.

Von diesem Gesichtspunkte aus erscheint es nicht unwichtig, auf die wirklich berechtigten Analogien, soweit nur irgend möglich, einzugehen, um auf diese Weise rechtzeitig auf den innern Zusammenhang der verschiedenartigen Erscheinungen aufmerksam zu machen und auch durch den Hinweis auf allgemein bekannte Vorgänge das Verständnis für das Neue und noch nicht Bekannte thunlichst zu erhöhen. Solche Vergleiche sind für eine klare Vorstellung gewöhnlich viel wertvoller als abstracte mathematische Definitionen, und trotz des scheinbaren Widerspruchs mit allen bisherigen Ausführungen ließe sich kühnlich behaupten, dass, wenn man die Begriffe: Potential, Elektrizitätsmenge, Capacität und Kraftlinie nicht eben auf anderm Wege hinreichend anschaulich machen könnte, dann die Hypothese von den elektrischen Fluidis ausschließlich dieser Veranschaulichung wegen für den

Unterricht so hohen Wert besäße, dass man sie selbst benützen müsste, wenn die Wissenschaft schon längst auf sie verzichtet hätte. Was nützt z. B. die mechanische Definition des Potentials als einer Art Arbeit bei der Erklärung der Spitzenwirkung? „Man kann die erstere durchaus verstehen und deshalb doch nur sehr dunkle Vorstellungen darüber haben, warum ein elektrisierter Körper sich durch eine Spitze entladet, obwohl sein Potential an allen Stellen der Oberfläche dasselbe ist“.

Aus diesen Gründen ist auch in den nachfolgenden Ausführungen ein Hauptgewicht auf die Hervorhebung der Ähnlichkeit zwischen den elektrischen und den Erscheinungen der Wärme und des Lichtes gelegt. Darüber sei aber vorher noch eine Bemerkung gestattet. Soweit es dem Verfasser bekannt ist, wurde nämlich bisher ausnahmslos immer nur die Vergleichung der Reibungs-Elektricität mit den Erscheinungen an Flüssigkeiten und mit denen der Wärmeleitung hervorgehoben, und doch zeigen sich beide bei einiger Überlegung sehr bald unzulänglich. Daneben muss es befremden, dass anscheinend noch niemand sich bewogen gefunden hat, die Vorgänge bei der Wärmestrahlung zu einem Vergleiche heranzuziehen, ein Unternehmen, das nach vielen Richtungen hin doch recht dankbar erscheint und hier wenigstens bis zu einem gewissen Grade versucht werden soll. Eine weitere Ausführung dieser Behauptungen bleibe einer anderen Gelegenheit vorbehalten. Um aber die Ähnlichkeit der elektrischen Erscheinungen mit denen der Strahlung mehr betonen zu können, müssen die Veränderungen im Dielektricum mehr als bisher in den Vordergrund treten, und auch dies kann als eine Vorbereitung für die neue Elektrizitätslehre nur ersprießlich sein.

Die Darlegung selbst soll durchaus keinen bestimmten Lehrvorgang schildern, denn dieser wird immer ein Ergebnis der Verhältnisse sein d. h. sich nach der Anschauung des Lehrers, der Vorbildung und Auffassungsgabe der Schüler, den Andeutungen des Lehrbuchs, den vorhandenen Mitteln und noch manch anderm richten müssen; es wäre daher zwecklos, sich an Einzelheiten anzuklammern. Ob in dieser oder jener Weise eine Thatsache beobachtet wird, ist in vielen Fällen ziemlich gleichgiltig. Aber der Gedankengang, der den Lehrer bei seinem Vorgehen leiten kann, soll an einem Beispiele erläutert werden. Zum großen Theil wird sich derselbe schon beim Unterricht in den untern Classen unserer Mittelschulen mit Erfolg verwerten lassen; wo die Grenze für die oberen beginnt, ist meistens wohl leicht aus dem Zusammenhange zu erkennen. Auch hierüber werden übrigens oft die Umstände entscheiden müssen. Die Auseinandersetzungen beschränken sich aus Raumsrücksichten auf das Gebiet der statischen Elektrizität, doch sind ja gerade auf diesem auch die Schwierigkeiten am größten, und wenn sie hier einmal wirklich behoben sind, ergibt sich die Behandlung des Galvanismus nahezu von selbst. Aus dem gleichen Grunde hat auch sonst sehr vieles nur kurz und andeutungsweise berührt werden können. Wo auf Einzelheiten näher eingegangen wurde, geschah dies in der Regel hauptsächlich deshalb, weil sie von besonderem Belang für die Gesamtauffassung des Gegenstandes zu sein schienen. Wenn nun auch aller Voraussicht nach behauptet werden kann, dass sicher noch manch andere Wege, vielleicht kürzer und besser, zum

gleichen Ziele hinführen, so können die nachfolgenden Zeilen doch vielleicht auch ihrerseits etwas zur Verbreitung der Erkenntnis beitragen, dass sich ohne erhebliche Schwierigkeiten bloß auf Grund der Erfahrung und mit Vermeidung jeder Hypothese durch logische Betrachtungen die verschiedenen Grundthatsachen der Reibungselektricität herleiten und ihre wichtigsten Begriffe entwickeln lassen. Vielleicht, dass auch sachlich die Anordnung des Stoffes dem Fachmanne hie und da einige Anregung zu bieten vermag!

II.

Wenn man einen Körper mit einem andern reibt, so wird er bekanntlich erwärmt, d. h. die Wärmeempfindung, die er in uns zu erregen vermag, wird gesteigert. In der Regel ist damit eine Vergrößerung des von ihm eingenommenen Raumes verbunden, eine Erscheinung, die man sich früher durch die Annahme zurechtzulegen suchte, dass die einzelnen Theile eines Körpers aufeinander abstoßende Wirkungen ausüben. Wird nun ein irgendwie erwärmter Körper mit verschiedenen andern berührt, so zeigen auch diese oft eine Erwärmung und im Zusammenhange damit eine Ausdehnung des Rauminhalts. Es liegt daher die Vermuthung nahe, dass nicht nur zwischen ihren Theilen, sondern auch zwischen ihnen selbst und überhaupt zwischen irgend zwei erwärmten Körpern eine Art gegenseitiger Abstoßung eintreten wird infolge der Wirkung, welche auch die einzelnen Theile zweier verschiedenen Körper scheinbar aufeinander äußern dürften. Im allgemeinen wird diese Erwartung nun nicht erfüllt, wenigstens nicht, solange sich die beiden Körper nicht unmittelbar berühren; in sehr vielen Fällen finden wir aber dafür auch, dass schon einfaches Reiben genügt und gewöhnlich allerdings auch nothwendig ist, um gewisse Abstoßungserscheinungen hervorzubringen; nur zeigen sich diese von ganz anderer Art, als wir voraussehen konnten. Zunächst zieht nämlich der geriebene Körper andere, leicht bewegliche Körperchen an sich heran, und erst, wenn sie mit ihm in Berührung gekommen sind, stößt er sie wieder ab. Wir haben daher hier eine eigenthümliche Erscheinung, die, wie sich leicht herausstellt, mit den Wärmevorgängen nichts zu thun hat und die wir deshalb mit einem besonderen Namen belegen. Wir heißen solche Körper „elektrisch“.

Einige Körper werden durch Reiben sehr leicht „elektrisiert“ d. h. in den elektrischen Zustand versetzt; wir nennen sie wegen gewisser anderer Eigenschaften „dielektrisch“ oder „Isolatoren“ (Glas, Schwefel, Harz u. s. w.) Mit andern Körpern gelingen die Versuche weniger gut oder geradezu gar nicht wenn sie nicht ganz von Isolatoren umgeben sind; diese heißen gewöhnlich „Leiter“ der „Elektricität“ d. h. des elektrischen Zustandes (Metalle). Wird ein elektrischer Körper mit einem Leiter berührt, so wird auch dieser sich elektrisch zeigen und wird vom ersteren abgestossen, und von einer Reihe von Leitern, die untereinander in Berührung sind, wird jeder einzelne die gleiche Wirkung äußern, sobald man nur einen von ihnen elektrisch macht. Sie theilen einander ihren elektrischen Zustand also mit, gerade so wie es die guten Wärmeleiter bezüglich ihres Wärmezustandes thun; sie „leiten“ ihn weiter,

etwa so wie eine zusammenhängende Reihe von Röhren eine Flüssigkeit von einer Stelle zu allen übrigen hinüberleitet.

Die sogenannte Abstoßung zweier sich berührender elektrisierter Leiter besteht darin, dass sie sich von einander zu entfernen streben, und wenn sie in ihrer Bewegung irgendwie gehemmt sind, wird sich dieses „Bestreben“ durch eine Art Spannung zu erkennen geben, die wir zwar nicht unmittelbar wahrzunehmen vermögen, die aber ebenso irgendwie vorhanden sein muss, wie z. B. zwischen den einzelnen Theilen einer zusammengedrückten elastischen Feder oder eines durch ein Gewicht gespannten Fadens eine Spannung besteht. Sobald die Leiter sich selbst überlassen sind, trennen sie sich wirklich von einander. In gleicher Weise muss auch zwischen den einzelnen Theilen eines und desselben Leiters eine gegenseitige Abstoßung vorhanden sein, die nur infolge der großen Cohäsion bei festen Körpern für uns nicht immer bemerkbar wird (elektrisierte Seifenblasen, elektrisierter Flüssigkeitsstrahl u. s. w.). Eine einfache Vorrichtung erlaubt uns, diese Abstoßung der einzelnen Theile eines elektrisierten Leiters nicht nur leicht zu beobachten, sondern auch mit grossem Vortheil praktisch zu verwerten.

Wir befestigen an einem leitenden Körper z. B. einer Metallkugel zwei frei nebeneinander hängende gut leitende Fäden, am besten zwei Goldblättchen, die zum Schutze gegen Luftströmungen von irgend einem Gehäuse umschlossen sind. Beim Elektrisieren der Kugel durch Berührung mit einem elektrischen Körper verrathen sie augenblicklich durch ihre Divergenz die gegenseitige Abstoßung und damit den elektrischen Zustand, in welchem sie sich befinden. Eine solche Vorrichtung nennen wir ein „Elektroskop“, die oben angebrachte Kugel die „Elektrode“, weil sie den Weg darstellt, auf welchem der elektrische Zustand sich bis zu den Goldblättchen verbreitet hat. Wir können das Elektroskop zum Erkennen des elektrischen Zustandes benützen, ja mit seiner Hilfe sogar verschiedene elektrische Zustände bis zu einem gewissen Grade miteinander vergleichen und in allerdings sehr roher Weise „messen“. Denn so wie ein und derselbe Körper unter verschiedenen Umständen bald wärmer bald kälter, bald heller bald dunkler, bald stärker bald weniger laut tönend erscheinen kann, so wird er auch durchaus nicht immer in gleichem Grade seine elektrische Wirksamkeit äußern müssen. Wir wollen vorläufig den Winkel der beiden Goldblättchen miteinander als Maß des elektrischen Zustandes betrachten, sowie wir z. B. in Bezug auf die Wärme die Ausdehnung der Quecksilbersäule eines Thermometers als Maß für den Wärmegrad eines Körpers benützen. Je nach der Größe des Ausschlags, den ein Körper am Elektroskop hervorruft, werden wir seinen „Elektricitätsgrad“ als höher oder niedriger bezeichnen.

Wenn ein Körper den Ausschlag, den die Goldblättchen schon infolge einer vorhergegangenen Elektrisierung besaßen, nicht ändert, so wollen wir sagen, sein Elektricitätsgrad sei der gleiche wie der der Goldblättchen. Wird der Ausschlag dagegen größer, so schreiben wir dem Körper einen höhern Elektricitätsgrad, im entgegengesetzten Fall einen geringern zu, als ihn die beiden Goldblättchen vor der Berührung mit ihm besaßen, gerade so wie wir einen Körper als wärmer oder kälter bezeichnen, je nachdem er die Quecksilbersäule eines Thermometers zum Steigen oder Fallen bringt d. h. die gegen-

seitige scheinbare Abstossung der Quecksilbertheilchen vergrössert oder verringert. Das Elektroskop entspricht also in gewisser Beziehung dem Thermometer, der Elektricitätsgrad dem, was wir die Temperatur eines Körpers nennen.

Wir wollen nun den Elektricitätsgrad verschiedener Körper untersuchen. Zunächst setzen wir zwei Leiter, von denen einer elektrisiert ist, miteinander in Berührung. Wenn wir sie nachher auf das Elektroskop wirken lassen, zeigt dieses stets denselben Ausschlag, gleichgültig ob wir sie einzeln oder gleichzeitig durch Drähte mit der Elektrode verbinden. Auf zwei guten Leitern stellt sich daher bei gegenseitiger Berührung immer derselbe elektrische Zustand her; und ebenso ist der Elektricitätsgrad an allen Stellen eines elektrisierten Leiters ausnahmslos derselbe. Ein Isolator dagegen wird, wenn er selbst vorher unelektrisch war, auch nach seiner Berührung mit einem elektrischen Körper am Elektroskop keinen Ausschlag erzeugen; wir sehen also auch hier wieder, dass er bei der Berührung nicht merklich elektrisiert wird. So wird auch die Temperatur eines schlechten Wärmeleiters bei vorübergehender Berührung mit irgend einem Körper von anderer Temperatur nicht merklich geändert.

Ein warmer Körper wird bei Berührung mit einem kältern guten Wärmeleiter eine niedrigere Temperatur d. h. einen geringern Wärmegrad annehmen. In gleicher Weise finden wir, dass ein elektrisierter Körper nach Berührung mit einem nicht elektrischen Leiter einen geringern Elektricitätsgrad als vorher anzeigt. Es kommt dabei, wie in der Wärmelehre, auf die Grösse dieses guten Leiters an. Je größer derselbe ist, desto mehr verringert sich der Elektricitätsgrad des erstgenannten Körpers. Dies gilt in allen Fällen, wo wir zwei gut leitende Körper von verschiedenen Elektricitätsgraden miteinander berühren, und es lässt sich leicht zeigen, dass sich dabei immer ein Elektricitätsgrad herstellt, der zwischen den beiden ursprünglichen gelegen ist. Da dies auch für unser Elektroskop gelten muss, werden wir diesen Umstand immer berücksichtigen müssen, und um seinen Einfluss auf den zu untersuchenden Körper nach Möglichkeit zu vermindern, werden wir uns wenigstens vorläufig bei unsern Versuchen immer möglichst grosser elektrischer Körper bedienen. Wir haben dabei bisher immer zunächst irgend einen Körper durch Reiben elektrisiert und seine Elektricität dann der Reihe nach durch Berührung mehreren gut leitenden Körpern, und zwar in der Regel von kugelförmiger Gestalt, mitgetheilt. Diese zeigen dabei gewöhnlich verschiedene Elektricitätsgrade, solange sie nicht untereinander berührt worden sind.

Wird der unelektrische gute Leiter im Vergleich zum elektrischen, mit dem wir ihn berühren, überaus groß gewählt, so verliert dieser seinen elektrischen Zustand fast gänzlich. Es zeigt sich nun, dass das Gleiche eintritt, wenn wir irgend einen elektrisierten Körper z. B. die Elektrode des Elektroskops mit einem Theile unseres eigenen Körpers berühren, besonders wenn wir dabei unmittelbar auf dem Erdboden stehn. Wir müssen daraus schließen, dass unser eigener Körper und ebenso auch die Erde an ihrer Oberfläche ein Leiter ist. Um diese letztere Vermuthung zu prüfen, können wir die elektrisierten Goldblättchen auch durch irgend einen beliebigen guten Leiter mit der Erde verbinden. Sie fallen augenblicklich zusammen. Die Erde

ist daher ein guter Leiter, trockene Luft aber ein „Isolator“, denn sie verhindert die Mittheilung des elektrischen Zustandes an die Erde. In feuchter Luft verliert ein Körper seinen elektrischen Zustand sehr rasch, ein Beweis, dass feuchte Luft ebenfalls gut leitet.

Wir haben vorhin gesehen, dass jeder leitende Körper bei Berührung mit einem zweiten einen Elektrizitätsgrad annimmt, der auf beiden gleich groß ist. Ebenso müssen wir schließen, dass bei leitender Verbindung eines Körpers mit der Erde beide den gleichen Elektrizitätsgrad besitzen. Wie groß dieser ist, können wir an sich nicht beurtheilen, denn es fehlen uns die Mittel, den elektrischen Zustand der Erde zu bestimmen; da wir aber jeden Körper, der mit der Erde in Berührung gekommen ist, als unelektrisch bezeichnen, weil wir die Eigenschaften der Anziehung und Abstoßung an ihm nicht bemerken können, und ihm dementsprechend den Elektrizitätsgrad 0 beilegen, müssen wir auch den Elektrizitätsgrad der Erde bei unsern Untersuchungen gleich 0 annehmen. Es ist dies etwas Ähnliches, wie wenn wir z. B. in der Wärmelehre jenen Körpern, die die Temperatur unseres eigenen Leibes besitzen, den Wärmegrad 0 zuschreiben würden; auch die Temperatur unseres Körpers müssten wir dann gleich 0 bezeichnen, wie man dies thatsächlich bei den ältesten Thermometern auch gethan hat. Einen positiven Wärmegrad hätten dann alle Körper, deren Temperatur höher ist als unsere eigene; die niedrigeren Temperaturen müssten als negativ bezeichnet werden. Heute halten wir es bekanntlich anders, denn die Festsetzung des Nullpunktes ist eben etwas rein Willkürliches.

Bei dieser Überlegung drängt sich uns indessen fast von selbst schon die Frage auf, ob wir nicht auch für elektrische Zustände negative Grade aufzufinden vermögen, und thatsächlich ist das der Fall. Wir hatten bei allen bisherigen Versuchen immer nur ein und denselben Körper zur Erregung des elektrischen Zustandes durch Reiben verwendet. Wenn wir nun jedoch von zwei leitenden Kugeln die eine mit einer Glasstange berühren, die wir durch Reiben mit Zinkamalgam elektrisch gemacht haben, während die andere durch eine Harzstange elektrisiert wird, die vorher mit einem Felle gerieben worden ist, so wird zunächst jede der Kugeln für sich am Elektroskop einen gewissen Elektrizitätsgrad anzeigen; wenn wir sie aber miteinander berühren, so stellt sich auf ihnen ein elektrischer Zustand her, der nicht zwischen den beiden ursprünglichen gelegen zu sein scheint, sondern kleiner ist als diese, ja unter Umständen geradezu gleich 0 ist. Wir können diese Wahrnehmung mit den früheren nur durch die Annahme vereinbaren, dass der Elektrizitätsgrad des einen Körpers bei diesem Versuche negativ ist, denn nur dann ist es für unser Verständnis möglich, dass sich die beiden elektrischen Zustände gegenseitig vernichten, sowie z. B. Körper von positiven und negativen Temperaturen einander auf die Temperatur 0 bringen können. Welchen von beiden Zuständen wir als positiv und welchen wir als negativ bezeichnen, hängt wieder rein von unserer Willkür ab, denn so wie wir z. B. übereingekommen sind, die Temperatur nach Wärme- und nicht nach Kältegraden zu messen, hätten wir augenscheinlich auch umgekehrt die Kältegrade als positiv und die höheren als negativ festsetzen können, wie es auch schon thatsächlich vorgekommen

ist. Nach allgemeinem Übereinkommen wird der elektrische Zustand einer mit Zinkamalgal geriebenen Glasstange positiv genannt; die Elektrizität des Harzes ist dann negativ. Je nach dem Elektrizitätsgrad werden die Körper selbst auch positiv oder negativ elektrisch heißen. Wir müssen aber dabei beachten und mit Entschiedenheit daran festhalten, dass damit nur ein gradweiser Unterschied in der elektrischen Erregung bestimmt ist; eine Temperatur, die nach dem Thermometer von Celsius negativ ist, kann nach jenem Fahrenheit's noch als positiv erscheinen, und ebenso beziehen sich auch z. B. die Elektrizitätsgrade $+1$ und -1 zweier Körper nur auf den willkürlich von uns gewählten Ausgangspunkt, der dem elektrischen Zustand der Erde entsprechen soll; der eine ist eben um einen Grad höher, der andere um einen Grad niedriger elektrisch. Würden wir aber den Elektrizitätsgrad der Erde z. B. gleich $+10$ annehmen, so müssten wir die Elektrizitätsgrade der beiden Körper als $+11$ und $+9$ angeben. Ihre „elektrische Differenz“, d. h. der Unterschied im Elektrizitätsgrade, beträgt 2.

Aber äußern zwei verschiedenartig elektrische Körper wirklich gar keinen Unterschied in ihrem Verhalten? Wiederholung der Grundversuche. Bei Glas und Harz gegenüber leichten Körpern und unelektrischen Leitern dieselben Erscheinungen wie früher, dagegen Anziehung zwischen ihnen und ebenso zwischen zwei durch sie entgegengesetzt elektrisierten Leitern. Verschiedenartig elektrische Körper üben also auch verschiedene und zwar gerade entgegengesetzte Wirkungen aus, im Einklange mit der algebraischen Bezeichnung $+$. Dadurch erweist sich die getroffene Wahl des Nullpunktes als ganz besonders zweckmäßig. Es verdient dabei bemerkt zu werden, dass dann bei einem positiven Werte des Productes beider Elektrizitätsgrade eine Abstoßung, bei einem negativen eine Anziehung eintritt. Daraus neue Definition gleichartig elektrischer Körper: gegenseitige Abstoßung, durchaus gleiches Verhalten gegen andere Körper. Die beiden Zustände sind nicht an das Wesen der Körper gebunden, sondern durch die obwaltenden Verhältnisse bedingt (Reibzeug u. s. w.). Merkwürdigerweise stets gleichzeitiges Auftreten beider bei ihrer Entstehung.

Die Anziehungs- und Abstoßungswirkungen bilden einen wesentlichen Unterschied zwischen den elektrischen und den Wärmeerscheinungen, daher betrachten wir sie erst später genauer. Aber sonst herrschte bisher zwischen beiden eine große Ähnlichkeit. Geht diese nicht noch weiter? Wenn ein Körper erwärmt wird, verliert er seine Wärme stets nur durch Leitung? Vorgänge bei der Wärmestrahlung. Ihnen entspricht die sogenannte „Zerstreuung“ der Elektrizität, die sich ja bei all unsern Versuchen schon dadurch bemerkbar gemacht hat, dass der elektrische Zustand eines Körpers allmählich verschwunden ist. Er scheint sich somit durch die isolierende Luft hindurch in die Umgebung verbreitet zu haben, Versuch mit dem Elektroskop: die Goldblättchen divergieren schon bei bloßer Annäherung an einen elektrischen Körper; sie erfahren also einen elektrisierenden „Einfluss“, eine „Influenz“, durch ihn. Eine genauere Prüfung des Zustandes an einer ganz bestimmten Stelle des Raumes wird ermöglicht, wenn wir anstatt des doch immer ziemlich großen Elektroskops einen sehr

kleinen leitenden Körper dahin bringen, der aber durch einen Draht mit dem Elektroskop verbunden ist; zur Vermeidung einer unmittelbaren Wirkung wird dies dabei möglichst weit von dem elektrischen Körper entfernt werden müssen. Die Goldblättchen zeigen wieder einen Ausschlag, der umso größer wird, je mehr wir den Probekörper dem elektrischen Leiter nähern. Der ganze Raum unterliegt also der Influenz dieses letztern, bildet sein „elektrisches Feld“. An der Oberfläche eines leitenden elektrischen Körpers ist, wie bereits früher gezeigt, der Elektrizitätsgrad überall derselbe; von ihr aus ändert er sich nach allen Richtungen hin mit zunehmender Entfernung allmählich stets in gleichem Sinne. Rings um den influenzierenden Körper herum müssen alle Punkte, auf denen der Elektrizitätsgrad einen bestimmten Wert hat, eine geschlossene zusammenhängende Fläche bilden: „Niveauflächen“. Ermittlung derselben durch Versuche.

Die elektrische Wirkung pflanzt sich also gewissermaßen durch die Isolatoren hindurch fort. Sie gestatten ihr den Durchgang, ähnlich wie diathermane Körper den Wärmestrahlen und durchsichtige Stoffe dem Lichte; daher der Name „Dielektrica“. Anders ein Leiter, der in das elektrische Feld gebracht wird. Da die elektrischen Zustände seiner einzelnen Theile sich augenblicklich ausgleichen, kann auf ihm überall nur ein einziger Elektrizitätsgrad vorhanden sein, wie sich dies auch bei seiner Berührung mit unserm Probekörper durch das Elektroskop zu erkennen gibt. Einfluss auf die Gestalt der Niveauflächen. Der elektrische Zustand der einzelnen Theile unsers Leiters ist daher nicht so groß, als er genau an der gleichen Stelle in dem Dielektricum sein würde, sondern liegt zwischen den beiden äußersten Werten, die in dem eingenommenen Raum überhaupt möglich sind; er ist also an den einem positiv elektrischen Körper zugewendeten Punkten geringer als er sein sollte, an den entfernteren größer, und umgekehrt bei negativen Körpern. Es hat jedenfalls bei der Annäherung des Leiters an den elektrischen Körper eine eigenthümliche Veränderung in seinem elektrischen Zustande stattgefunden, die wir noch weiter werden untersuchen müssen. Er lässt gewissermaßen die elektrischen Wirkungen nicht ungehindert hindurch, sondern fängt sie gleichsam auf und muss sich deshalb dem umgebenden Dielektricum gegenüber elektrisch zeigen, so wie etwa adiathermane Körper die Wärmestrahlen und undurchsichtige Stoffe den Gang des Lichts durch Absorption oder Reflexion aufhalten und dabei erwärmt oder aber selbst wärmestrahlend und leuchtend werden. Während jedoch im erstern Falle, nämlich dem der Absorption, die eingetretene Temperaturerhöhung auch nach der Entfernung des strahlenden Körpers bestehen bleibt, hat diese im Falle der Reflexion auch unmittelbar das Verschwinden jeder Gegenstrahlung zur Folge. Der Versuch zeigt die Ähnlichkeit der Influenz mit der letzteren Erscheinung: nach der Entfernung des influenzierenden Körpers stellt sich auf dem influenzierten Leiter der ursprüngliche Elektrizitätsgrad wieder her. Von welcher Art ist aber nun die augenscheinlich eingetretene Veränderung des elektrischen Zustandes, und lässt sie sich nicht vielleicht auch dauernd erhalten?

Zur Beantwortung dieser Fragen bringen wir den mit dem entfernten Elektroskop verbundenen Leiter an den elektrischen Körper heran. Die Gold-

blättchen verrathen durch ihren Ausschlag die Elektrisierung, die jedenfalls nur durch die Vermittlung des Leiters erfolgen konnte. Ist dieser Leiter indes zum Fortbestehn des elektrischen Zustandes nothwendig, oder hat er nur zu seiner Herbeiführung dienen müssen? Wir unterbrechen seine Verbindung mit dem Elektroskop: die Blättchen bleiben divergent; sie sind demnach an sich elektrisch ohne Rücksicht auf den Leiter. Und jetzt bleiben sie es auch, selbst wenn der influenzierende Körper aus dessen Nähe entfernt wird. Wir haben gleichsam durch die Unterbrechung der Verbindung den Weg zerstört, auf dem der elektrische Zustand aus den Goldblättchen wieder hätte entweichen können.

Wenn aber influenzierter Leiter und Elektroskop ununterbrochen in Verbindung geblieben wären, müssten sie nach der Entfernung des influenzierenden Körpers wieder den ursprünglichen Zustand zeigen, also z. B. beide wieder unelektrisch geworden sein; wie ist es, wenn wir sie jetzt d. h. nach erfolgter dauernder Elektrisierung miteinander berühren? Auch diesmal stellt sich der anfängliche Elektrizitätsgrad wieder her. Wir sehen somit, dass bei der Unterbrechung der Verbindung zwischen influenziertem Leiter und Goldblättchen beide entgegengesetzt elektrisch gewesen sein müssen, denn ihre Zustände haben sich wechselseitig aufgehoben. Hätten wir die Verbindung eben bestehn gelassen, so würde der Elektrizitätsgrad augenblicklich nach der Entfernung des influenzierenden Körpers auf dem ganzen Leiter seinen frühern Wert erhalten haben, weil sich die Zustände seiner einzelnen Theile ja bei jeder beliebigen Veränderung stets unmittelbar ausgleichen können; in unserm Falle ist dies nur wegen der Unterbrechung der Verbindung nicht mehr möglich gewesen. Durch die Annäherung eines influenzierenden Körpers werden demnach im elektrischen Zustande eines Leiters eigenthümliche Veränderungen hervorgerufen, die sich nach Art bekannter Spannungserscheinungen wieder aufzuheben streben, unter Umständen aber durch eine Theilung des Leiters auch dauernd erhalten bleiben können. Indem wir nun die Versuche mit einem in mehrere Theile zerlegbaren Leiter wiederholen und den elektrischen Zustand der einzelnen Theile nach erfolgter dauernder Elektrisierung mit Hilfe eines Elektroskopes prüfen, sowie auch dadurch, dass wir unmittelbar die Anziehungs- und Abstoßungswirkungen auf ein elektrisiertes Pendel an den verschiedenen Stellen des influenzierten Leiters untersuchen, ergeben sich leicht die Influenzgesetze. Es zeigt sich danach außer der uns schon bekannten Abstoßung gleichartig elektrischer Körper und der Anziehung ungleichartiger auch noch gewissermaßen eine Art Abstoßung und Anziehung zwischen den elektrischen Zuständen wirksam, in der Weise, dass durch die Nähe eines elektrisierten Körpers in einem Leiter immer gleichzeitig beide elektrischen Zustände erregt werden, wobei der gleichartig elektrische Zustand stets am entfernteren Ende des Leiters auftritt, gleichsam als ob er dorthin abgestoßen, der ungleichartige hinwider in entgegengesetzter Richtung angezogen worden wäre. Es ist etwa ähnlich, als ob der elektrische Zustand eines Körpers durch das Vorhandensein eines oder zweier Stoffe bedingt würde, die sich in den Leitern unendlich leicht weiter bewegen und auf die ihnen gleichartigen Theilchen abstoßende Wirkungen, auf die ungleichartigen Anziehungen ausüben. Kurze

Erwähnung der Hypothesen von Franklin und Symmer; Vergleiche mit dem Wärme- und dem Lichtstoff.

Aus der Eigenschaft der guten Leiter, die elektrischen Wirkungen in ihrem Gang zu hemmen, folgt, dass ein solcher, zwischen den influenzierenden elektrischen Körper und den influenzierten Leiter gestellt, die Influenz umso mehr zu schwächen vermag, je größer er ist, und bei leitender Verbindung mit der Erde sie ganz und gar verhindert: „elektrische Schirmwirkung“. Es ergibt sich weiter, dass ein elektrischer Körper im Innern eines mit der Erde verbundenen Elektrizitätsleiters nach außen hin überhaupt keine Wirkung auszuüben imstande sein wird: Ähnlichkeit mit einem wärmestrahrenden Körper im Innern eines mit der Erde verbundenen vollkommenen Wärmeleiters. Bestätigung dieser Vermuthungen durch Versuche; Erklärung aus der Influenzwirkung und Erläuterung mittels der Niveauflächen: durch den eingeschlossenen Körper werden eigentlich beide Seiten des Leiters gleich stark und einander entgegengesetzt elektrisiert, da sich ihre beiden Zustände ja gegenseitig vernichten können; die Verbindung des Leiters mit der Erde bringt auf ihm den Elektrizitätsgrad 0 hervor, und die elektrische Erregung der Außenseite wird damit gleichsam fortgeschafft, so dass nur die dem influenzierenden Körper entgegengesetzte Elektrisierung auf der Innenseite des Leiters übrig bleibt. Wir sehen demnach, dass die Wirkung dieser letztern die des eingeschlossenen elektrischen Körpers unter allen Umständen gerade aufhebt, ohne dass seine Lage im Innern noch weiter in Betracht käme. Wird der Leiter mit der Erde nicht verbunden, so findet jedenfalls das Gleiche statt; die Außenseite ist dann aber auch elektrisch und muss daher nothwendig eine gewisse Wirkung ausüben, und zwar ist diese genau dieselbe, wie sie der eingeschlossene Körper ohne Dazwischentreten des hohlen Leiters unmittelbar erzeugen würde; denn da beide für sich die entgegengesetzte Elektrisierung von der Innenseite gerade aufzuheben vermögen, müssen sie sich gegenseitig ersetzen können. Versuche, z. B. mit Faradays Eiskübel, erweisen die Richtigkeit dieser Behauptung; das elektrische Feld besitzt stets dieselbe Beschaffenheit. Wärmestrahrender Körper im Innern eines guten Wärmeleiters.

Wenn wir den Verlauf der Niveauflächen in diesen verschiedenen Fällen betrachten, so zeigt sich dabei gleichsam eine Übereinanderlagerung verschiedener Systeme, derart dass bei gleichzeitigem Vorhandensein zweier elektrischer Körper, von denen jeder für sich an einem bestimmten Orte des elektrischen Feldes einen gewissen Elektrizitätsgrad hervorbringen würde, an dieser Stelle ein Elektrizitätsgrad entsteht, der gleich der algebraischen Summe der beiden einzeln erzeugten elektrischen Zustände ist; Ähnlichkeit mit der Zusammensetzung von Wellenbewegungen. Mit Hilfe unserer bisherigen Vorrichtungen können wir aber diesen Satz nur eben in ganz besondern Fällen als gültig nachweisen, nämlich wenn zwei gleich große, entgegengesetzte Wirkungen einander aufheben; sonst erlaubt uns das Elektroskop nur ungefähr aus seinen Angaben auf die Richtigkeit des Gesetzes zu schließen. Wir wollen aber nun die Annahme machen, dass dieser Grundsatz immer und unter allen Umständen gilt, dann haben wir ein einfaches Mittel

in der Hand, um hinfortan den Elektrizitätsgrad eines Körpers zahlenmäßig beliebig genau ermitteln zu können. Die gemachte Annahme dient uns dann also als Ersatz für eine scharfe Definition des Elektrizitätsgrades; ihre Berechtigung und Zweckmäßigkeit muss sich aus den daraus gezogenen Folgerungen erweisen.

Wenn zwei einander völlig gleiche kugelförmige Leiter nach erfolgter Elektrisierung und gegenseitiger Berührung einzeln in Faradays Eiskübel gebracht werden, erzeugt jeder denselben Elektrizitätsgrad an irgend einer bestimmten Stelle des elektrischen Feldes. Nach unserm Grundsatz muss sich dieser genau verdoppeln, wenn beide Kugeln gleichzeitig im Eiskübel drin sind. Das entsprechende würde für eine beliebig große Anzahl solcher Kugeln gelten. Wir könnten danach die Beziehung zwischen den Ausschlagswinkeln des Elektroskops und den verschiedenen Elektrizitätsgraden herstellen, unser Elektroskop somit durch „Aichen“ in ein „Elektrometer“ verwandeln. Es gibt aber noch ein weniger umständliches Verfahren, zu dem ein einziger elektrisierter Körper ausreicht. Wenn wir diesen in ein metallisches Gefäß bringen, so können wir letzteres durch ableitende Berührung in einem genau bestimmten Grade elektrisch machen und dann seine ganze elektrische Erregung dadurch auf Faradays Eiskübel übertragen, dass wir das Gefäß in dessen Hohlraum bringen und mit seiner Innenseite vorübergehend berühren. Durch mehrfache Wiederholung dieses Vorganges können wir die ursprüngliche elektrische Erregung und somit auch den Elektrizitätsgrad in unserm Elektroskop nach Belieben vervielfachen und auf diese Weise eine Scala mit gewünschter Genauigkeit herstellen. Wir haben nun anstatt der bisherigen, sehr unzuverlässigen Bestimmung des Elektrizitätsgrades mit Hilfe des Ausschlagswinkels eine genaue Angabe desselben, die uns von der Wahl des gebrauchten Messgeräthes ganz unabhängig macht. Vergleich mit Thermoskop und Thermometer. Verschiedene Arten von Elektrometern.

Aus den zuletzt erörterten Versuchen lässt sich noch eine Fülle höchst bedeutsamer Folgerungen ziehn. Zunächst haben wir gefunden, dass die Wirkung eines elektrischen Körpers im Innern eines hohlen Leiters unter allen Umständen durch die eben so große Gegenwirkung der durch Influenz elektrischen Innenseite dieses Leiters aufgehoben wird; dies gilt, wo sich auch der Körper im Innern befinden mag und ob er von dem Leiter isoliert ist oder nicht; es muss also natürlich auch für alle Theile des Leiters selbst gelten, soweit sie in dessen Innern liegen. Nach außen hin können also nur die an der Oberfläche des Leiters befindlichen Theile wirksam sein, oder, wie man zu sagen pflegt, der „Sitz“ des elektrischen Zustandes eines Leiters ist an dessen Oberfläche. Bestätigung durch Versuche, sowie Schutzwirkung eines Leiters auf die in seinem Innern vorhandenen Körper gegen alle Wirkungen von außen her (Faradays Würfel); Ähnlichkeit mit vollständig adiathermanen oder undurchsichtigen Körpern gegenüber den Wärme- oder den Lichtstrahlen.

Da die Wirksamkeit eines elektrisierten Leiters nur von seiner Oberfläche abhängig sein kann, wollen wir nun zur Untersuchung dieser Beziehung das Elektroskop mit einem Leiter verbinden, dessen Oberfläche sich beliebig vergrößern und verkleinern lässt (elektrischer Rollvorhang); es ergibt sich,

dass der Elektrizitätsgrad unsers Körpers mit abnehmender Oberfläche wächst und umgekehrt. Er hängt also nicht bloß von der Stärke der elektrischen Erregung, sondern auch von der Größe und, wie sich weiter leicht zeigen lässt, von der Gestalt der Oberfläche, dagegen nicht von ihrer sonstigen Beschaffenheit ab. Erinnerung an die Verminderung des Elektrizitätsgrades bei Berührung eines elektrischen Leiters mit einem unelektrischen; Faradays Eiskübel zeigt ferner bei der Elektrisierung auf die schon wiederholt betrachtete Art einen niedrigeren Elektrizitätsgrad als der Körper, dessen elektrische Erregung auf ihn übergieng. Es ist gleichsam, als ob eine gewisse Menge eines Stoffes oder eines Bewegungszustandes von einem Körper auf den andern übertragen würde. Daher sprechen wir von „Elektrizitätsmengen“, welche in Bewegung sind, von „Ladungen“, die den Körpern ertheilt werden, und von der „Capacität“ eines Leiters d. h. der Elektrizitätsmenge, welche er aufnehmen muss, um einen bestimmten Elektrizitätsgrad zu erhalten; doch das alles nur in bildlicher Weise, ohne mit dem Worte wirklich eine entsprechende Vorstellung zu verbinden. Die eigentliche Bedeutung dieser Ausdrücke folgt aus nachstehenden Untersuchungen.

Da der Elektrizitätsgrad rings um einen kugelförmigen Leiter nach allen Seiten hin sich gleichmäßig und allmählich ändert, wird es ausreichen, ihm die schon früher benützte und mit dem entfernten Elektroskop verbundene Probekugel recht nahe zu bringen, um durch den Ausschlag des Elektroskops mit sehr großer Annäherung den Elektrizitätsgrad des Leiters selbst erfahren zu können. Wir machen diesen Versuch zuerst mit zwei elektrisierten Leitern einzeln und wiederholen ihn, nachdem wir beide miteinander berührt haben. Der eine erfährt eine Abnahme des Elektrizitätsgrades von P_1 auf P , der andere eine Vergrößerung von P_2 auf P , und wir finden, dass diese Änderungen in einem bestimmten Verhältnisse zu einander stehen: $(P_1 - P) : (P - P_2) = C_2 : C_1$. Dies Verhältniss bleibt für je zwei Körper immer dasselbe, und aus den Werten dieses Verhältnisses für zwei Leiter in Bezug auf irgend einen dritten lässt sich auch immer durch einfache Division das Verhältniss für diese beiden Leiter untereinander herleiten. Vergleich mit den Formeln für die Wärmecapacität und beim Stoße. Die Größen C sind daher für die verschiedenen Körper charakteristische Zahlen, die als deren „elektrische Capacität“ bezeichnet werden, entsprechend dem „Wasserwert“ eines Körpers oder, beim Stoße, seiner „Masse“. Die Capacität hängt von Gestalt und Größe der Leiteroberfläche ab. Wir können sie z. B. für eine Kugel mit dem Halbmesser 1 gleich 1 annehmen; dann lässt sie sich für jeden andern leitenden Körper durch Versuche ermitteln. Für Kugeln wächst sie proportional mit dem Halbmesser, denn es ergibt sich genau derselbe Elektrizitätsgrad, ob wir eine Kugel mit einer eben so großen oder mit zwei untereinander gleichen unelektrischen Kugeln berühren, deren Halbmesser nur die Hälfte ihres eigenen beträgt; die beiden kleinen Kugeln haben daher zusammen dieselbe Capacität wie die große und jede für sich nur die halbe.

Die früher aufgestellte Gleichung lässt sich noch auf eine andere Form bringen: $C_1 P_1 + C_2 P_2 = C_1 P + C_2 P$, entsprechend den Sätzen über die Erhaltung der Wärme- und der Bewegungsmengen. Die Summe der Producte

aus Capacität und Elektricitätsgrad hat vor und nach der Berührung denselben Wert. Dieses Product bezeichnen wir als die „Elektricitätsmenge“ des Körpers: $E = CP$. Eine andere, physikalische Deutung dieses Ausdrucks vermögen wir gegenwärtig nicht zu geben. Die Elektricitätsmenge eines Körpers ist demnach schon dieser Definition zufolge seinem Elektricitätsgrade proportional; die Capacität ist die Elektricitätsmenge, die dem Elektricitätsgrade 1 entspricht.

Bei Vergrößerung der Oberfläche einer Kugel wächst deren Capacität so wie der Halbmesser, die Oberfläche dagegen wie das Quadrat desselben; auf die Flächeneinheit der Oberfläche entfällt daher jetzt nicht mehr dieselbe Elektricitätsmenge wie früher, sondern nur $\frac{1}{n}$ mal so viel, wenn der Halbmesser n -mal vergrößert wurde. Die Elektricitätsmenge auf der Flächeneinheit der Kugel oder allgemeiner das Verhältnis einer Elektricitätsmenge zu dem zugehörigen Flächenstück heißt die „elektrische Dichte“ des Körpers. Untersuchung derselben mit Hilfe des „Probescleichens“. Sie ist an allen Stellen einer Kugelfläche gleich groß; bei andern Körpern wächst sie mit der Größe der Krümmung. Untersuchung eines Körpers mit einer möglichst scharfen Spitze; bei Berührung mit ihm verliert ein elektrischer Körper seinen elektrischen Zustand fast ganz, aber auch der Körper mit der Spitze zeigt sich nahezu unelektrisch. Seine „Elektricitätsmenge“ ist verschwunden. Die Schuld kann nur an der Spitze liegen, und da hier die Dichte am größten war, müssen wir annehmen, dass die elektrische Erregung von der Spitze aus sich sehr rasch über die ganze Umgebung verbreitet hat; die elektrische „Ausstrahlung“ ist gleichsam an dieser Stelle besonders stark gewesen. Bestätigung dieser Vermuthung durch das Annähern eines Leiters an die Spitze, auf dem die elektrische Wirkung thatsächlich zum Vorschein kommt: er fängt beinahe die ganze Elektricitätsmenge auf, die der erste Körper abgibt. Wiederholung des Versuchs im Dunkeln; von der Spitze geht während der Entladung ein Licht aus; die elektrischen Erscheinungen hängen somit wahrscheinlich mit denen des Lichts eng zusammen, ja sind vielleicht damit verwandt. Wiederholung des Versuchs ohne Benützung einer Spitze: durch die Annäherung eines Leiters ändert sich die Dichte an den verschiedenen Stellen eines elektrischen Körpers; sie kann bei genügender Nähe so groß wie an einer Spitze werden und daher eine „Entladung“ zur Folge haben; nur findet diese bei einer bestimmten „Schlagweite“ plötzlich statt, und ein von der Erschütterung der Luft herrührendes Geräusch begleitet den mehr oder weniger hellen „Funken“. Elektrisiermaschine. Gleichzeitige Entstehung beider elektrischer Zustände. Die elektrische Erregung ist mit einer gewissen Arbeitsleistung verbunden. Definition des „Potentials“ als der Arbeit, welche erforderlich ist, um einen mit der Elektricitätsmenge $+1$ geladenen Punkt von einer Stelle mit dem Elektricitätsgrade 0 an irgend einen bestimmten Ort des elektrischen Feldes heranzubringen. Zur Bestimmung dieser Arbeit ist die Kenntnis des Wirkungsgesetzes für die elektrischen Abstößungen und Anziehungen nothwendig. Versuche von Coulomb. Schärferer Beweis mit Hilfe des Satzes, dass für andere Gesetze als das Coulomb'sche elektrische Wirkungen auch im Innern eines Leiters auftreten müssten. Neue Bestimmung der „Elektricitätsmenge“ auf Grund der Abstößungswirkung. Elektrische Kraft-

linien; Vergleichung derselben mit Licht- und Wärmestrahlen. Arbeit bei Verschiebung eines elektrischen Punktes längs einer Kraftlinie; bei Verschiebung auf einer Niveaufläche muss die Arbeit gleich 0 sein. Kraftlinien und Niveauflächen stehen daher aufeinander senkrecht, und auf einer Niveaufläche hat das Potential überall denselben Wert; die Niveauflächen sind zugleich Potentialflächen. Potentialgefälle, „elektromotorische Kraft“. Aus: $E = CP$ und $C = r$ folgt insbesondere für eine Kugel: $P = \frac{E}{r}$, der Elektrizitätsgrad derselben ist gleich ihrem Potential. Nachweis der allgemeinen Gültigkeit dieses Ergebnisses. Elektrische Energie eines Leiters. Vorrichtungen zur Erhöhung der Capacität: Condensatoren. Dielektricitätsconstante. Arbeitsleistungen mit Hilfe elektrischer Entladungen. Gesetz von der Erhaltung der Energie.
