

Wie sehr nun auch Helmholtz auf Grund der Versuche, welche er zum Zwecke einer Entscheidung für oder gegen die Annahme einer Fernwirkung angestellt hatte, geneigt war, den Anschauungen von Faraday beizupflichten, so suchte er doch erst noch als besonnener Kritiker eine Reihe anderer, scheinbar fernliegender Erscheinungen in den Kreis seiner Betrachtungen zu ziehen.

Die Mittheilungen, welche er im August 1872 der Naturforscherversammlung in Leipzig „Ueber die galvanische Polarisation des Platins“ und der Berliner Akademie im folgenden Jahre „Ueber galvanische Polarisation in gasfreien Flüssigkeiten“ machte, und welche zunächst rein experimenteller Natur sind, waren hervorgerufen durch theoretische Bedenken, welche dem Princip der Erhaltung der Energie entsprangen. Es war bekannt, dass, wenn ein Daniell'sches Zinkkupferelement durch eine Wasserzersetzungszelle mit Platinelektroden geschlossen wird, ein polarisirender Strom von schnell abnehmender Stärke entsteht, der aber selbst nach sehr langer Zeit nicht ganz aufhört. Man wusste ferner, dass, wenn nach Trennung der Zersetzungszelle von dem Element die Platinplatten mit dem Galvanometer verbunden werden, der depolarisirende Strom in gewöhnlichen lufthaltigen Flüssigkeiten anfangs stark ist und bald zum Unwahrnehmbaren abnimmt. Helmholtz wirft nun die Frage auf, worauf die scheinbar unbegrenzt lange Fortdauer des polarisirenden Stromes beruht, und findet, dass der dauernde Strom in engem Zusammenhange steht mit den in der Flüssigkeit oder an den Elektroden vor Beginn des Stromes vorhandenen Gasen. Durch Anwesenheit von Wasserstoff wird ein Theil des elektrolytischen Sauerstoffes neutralisirt, und dadurch ein Theil des Wasserstoffes auf der anderen Elektrode frei, der sich dann in der Flüssigkeit löst oder in das Platin eindringt, so dass wieder die Zersetzung einer entsprechenden Menge von Wasser erfolgen kann. Den Vorgang der Fortführung der Electricität durch Bewegung ihrer

ponderablen Träger bezeichnet, Helmholtz als elektrische Convection. Die Bewegung eines in den Elektroden eingeschlossenen Gases erfolgt sehr langsam, wenn die Flüssigkeit selbst gasfrei ist, so dass der Depolarisationsstrom in gasfreien Flüssigkeiten sehr lange dauern kann. Durch die Annahme, dass bei der galvanischen Polarisation nicht nur oberflächlich haftende, sondern auch tiefer in das Platin eingedrungene Theile der Gase eine Rolle spielen, und dass für die Fortbewegung der in den Metallen occludirten Gase dieselben Gesetze wie für die Wärmeleitung gelten, konnte aber Helmholtz den Widerspruch mit dem Gesetze von der Erhaltung der Energie fortschaffen. Die Producte der Elektrolyse brauchen hiernach nämlich nicht zum Vorschein zu kommen und die chemische Verwandtschaft von der elektromotorischen Kraft nicht überwunden zu werden; durch Diffusion des Wasserstoffes kann der Vorgang dauernd erhalten werden, so dass die anfängliche Anwesenheit einer beschränkten Gasmenge für einen lange anhaltenden Strom genügt. Um nun das Eindringen der Gase in das Platin bei der galvanischen Polarisation wirklich nachzuweisen, liess Helmholtz in seinem Laboratorium Versuche darüber anstellen, ob der durch Elektrolyse gegen die eine Seite einer dünnen Platinplatte geführte Wasserstoff nach einiger Zeit sich auch an der entgegengesetzten Seite dadurch bemerkbar machen werde, dass er auch dort galvanische Polarisation hervorbringe. Nach dem der Akademie am 16. März 1876 vorgelegten „Bericht über Versuche des Herrn Dr. E. Root aus Boston, die Durchdringung des Platins mit elektrolytischen Gasen betreffend“, zeigte sich in der That, dass der Wasserstoff auf der entgegengesetzten Seite das Platin positiver erscheinen lasse.

Die Frage nun, ob elektrische Convection elektrodynamisch gleichwerthig sei der Strömung der Elektrizität in einem Leiter, wird in einem von Helmholtz der Akademie ebenfalls am 16. März 1876 vorgelegten „Bericht, betreffend Versuche

über die elektrodynamische Wirkung elektrischer Convection, ausgeführt von Herrn Henry A. Rowland“ beantwortet. Die so gewonnenen Convectionsströme lieferten in der That gleichsam ein Surrogat für die Elektrizitätsbewegung in ungeschlossenen Leitern und eröffneten dadurch die Möglichkeit zur Entscheidung wichtiger theoretischer Fragen. Die Resultate der Versuche liessen sich sowohl mit der Theorie von W. Weber als auch mit der die diëlektrische Polarisirung der Isolatoren berücksichtigenden Potentialtheorie von Maxwell in Einklang setzen. Indem man eine auf beiden Seiten vergoldete, zwischen zwei ruhenden vergoldeten Glasscheiben bewegliche Ebonitscheibe um eine vertikale Axe in schnelle Rotation versetzte, während sie mit Hilfe einer Spitze von den Belegungen einer Leidener Flasche aus mit positiver oder negativer Elektrizität geladen wurde, ergab sich, dass die Wirkung dieser convectiv fortgeführten Elektrizität nicht nur qualitativ dieselbe ist, wie die der galvanisch strömenden, sondern sie lieferte auch quantitativ die durch die Weber'sche Theorie geforderte Uebereinstimmung.

Der hierdurch geführte Nachweis, dass auch convectiv mit ihren Trägern fortgeführte Elektrizität elektromagnetische Wirkungen habe, verbunden mit seinen früheren Versuchen, war aber nach der Ansicht von Helmholtz entscheidend für die Annahme, dass mit dem erweiterten Neumann'schen Potentialgesetz die Faraday'sche Hypothese zu vereinigen sei, dass die Entstehung elektrischer oder magnetischer Kraftlinien im Raume immer mit einer Entstehung diëlektrischer bzw. magnetischer Polarisirung im Aether und im ponderablen Medium verbunden ist. Da unter dieser Annahme alle elektrischen Ströme als geschlossene zu betrachten sind, so werden, insofern jene Versuche sich mit den Thatsachen als vereinbar erweisen, die Unterschiede aller derjenigen elektrodynamischen Theorien, welche für geschlossene Ströme gleiche Resultate ergeben, verschwinden.

Die Besprechung der Untersuchungen von Helmholtz über die Theorie der Elektrodynamik möge zunächst mit einer für die allgemeine Mechanik hochinteressanten Aufzeichnung aus jener Zeit geschlossen werden, die als ein Muster ruhiger Kritik, vorsichtigen Abwägens und genialer Disposition gelten darf:

„Die Anschauungsweise von Faraday ist auch der thatsächliche Kern der Maxwell'schen Theorie der Electricität. Diese höchst umfassende Theorie, welche auch die Optik auf die Grundprincipien der Elektrodynamik reducirt und dabei eine Reihe von Schwierigkeiten der bisherigen Undulationstheorie des Lichtes und ihres fest elastischen Aethers beseitigt, ist offenbar wegen ihrer höchst abstracten Sprache, die jede hypothetisch bildliche Fassung verschmäh't, noch wenig bekannt geworden. Ausserdem fehlt aber allerdings noch ihre explicite Durchführung gerade für das entscheidende Gebiet, nämlich für die Wirkungen oder Ströme in nicht geschlossenen Leitern, wobei nothwendig auch die von den bewegten elektrischen Medien auf die bewegten Leiter ausgeübten Rückwirkungen zu untersuchen sind.

Der Fortgang der Untersuchungen über mögliche elektrodynamische Hypothesen, namentlich die sehr sorgfältigen und umfassenden Untersuchungen von Herrn Clausius scheinen mir immer vollständiger zu erweisen, dass die Faraday'sche Annahme die einzige ist, welche eine Theorie der Elektrodynamik herzustellen erlaubt, die nicht mit den allgemeinsten Principien der Mechanik, von deren Geltung wir noch keine thatsächliche Ausnahme kennen, in Widerspruch tritt. Als solche allgemeine Principien, von denen dies behauptet werden kann, betrachte ich die folgenden drei:

1. Newton's Definition der Kraft in Verbindung mit dem sogenannten Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte hat den wesentlichen thatsächlichen Inhalt, dass jede Beschleunigung eines Massenpunktes, die durch irgend welche

Bedingungen gesetzt wird, zu Stande kommt unabhängig von den gleichzeitig stattfindenden anderen Beschleunigungen desselben Massenpunktes, die durch andere Bedingungen gesetzt sind. Gleichzeitig stattfindende Beschleunigungen verbinden sich nach dem Gesetz des Parallelogramms (der geometrischen Addition). In der von Newton gegebenen Formulirung ist nun noch die Beziehung auf Massenpunkte ein über den Kreis möglicher Beobachtung hinausgreifendes Moment. Vermieden ist dies in der von Lagrange gegebenen Umformung der Newton'schen Bewegungsgleichungen, für beliebige Arten der Coordinaten und für beliebige feste Verbindungen gültig. Diese Umformung erfordert ausser den genannten Bewegungsgleichungen und den allgemeinen Sätzen der Differentialrechnung durchaus weiter keine Prämissen und macht gar keine weiteren Voraussetzungen über die Art der wirkenden Kräfte als die von Newton hingestellten.

2. Das zweite der ausnahmslos geltenden Principien ist das Newton'sche Princip von der Gleichheit der Action und Reaction, was wir, wenn wir es auf beliebig zusammengesetzte, aber der Wirkung äusserer Kräfte entzogene Massensysteme anwenden wollen, in zwei Theile zerlegen können, nämlich das Princip von der Erhaltung der Bewegung des Schwerpunktes und das von der Erhaltung der Momente der Rotationsbewegung.

3. Das dritte ist das Gesetz von der Constanz der Energie. Es ist erfüllt in der Mechanik der ponderablen Körper für den Fall der Existenz einer Kräftefunction. Wenn wir mit einem Körpersystem zu thun haben, in dessen Innerem verschiedene an äusseren Merkzeichen vorhandene Zustände unbekannter Art eintreten können, so werden wir doch der Regel nach ermitteln können, wie viel Energie wir von aussen zuführen oder wegnehmen müssen, um einen dieser Zustände in den anderen überzuführen; selbst wenn wir nicht immer sicher bestimmen können, wie viel davon

zur Veränderung der Lage unsichtbarer Theile, wie viel für unsichtbare Bewegungen verbraucht wird. Der Energievorrath der uns bekannten Körpersysteme von endlichen Massen ist stets endlich, und weil die lebendige Kraft eine nothwendig positive Grösse ist, ist der Energievorrath in der Ruhe eines Systemes stets kleiner, als er in derselben Lage des Systems ist, wenn dessen Theilen Geschwindigkeiten mitgetheilt werden. Könnte die Energie eines Systemes in allen Phasen einer in sich zurücklaufenden Bewegung kleiner werden als im Zustande der Ruhe, so würde dasselbe, gezwungen, in dieser Ruhe zu bleiben, niemals von selbst wieder zur Ruhe kommen können, im Gegentheil bei fortdauernder Entziehung von Energie in immer schnellere Bewegung gerathen und somit eine unerschöpfbare Quelle von Energie abgeben. Das Perpetuum mobile würde dann gefunden sein. Die Mechanik der ponderablen Körper bietet uns keinen solchen Fall, und wir können es deshalb ebenso als ein ausnahmsloses allgemeines Gesetz bezeichnen, dass der gesammte Energievorrath endlicher Körper stets endlich ist und der bewegter Systeme stets grösser als der derselben Systeme in derselben Lage in der Ruhe ist. Ich werde diesen Theil des Satzes von der Energie, wo er getrennt bezeichnet werden muss, als das Princip von der Endlichkeit der Energie bezeichnen.

Nun dürfen wir ferner als vollkommen festgestellt betrachten, dass die Wirkungen geschlossener elektrischer Ströme auf einander oder auf Magnete diesen genannten allgemeinsten mechanischen Principien entsprechen. Das Gesetz von der Action und Reaction ist durch die Rückführung auf Ampère's Anziehungskräfte der Stromelemente erfüllt. Die elektrischen Quanta und ihre Bewegungen kommen bei der Berechnung des Schwerpunktes und der Rotationsmomente nicht in Betracht, sie gelten als Quanta ohne Trägheit oder als gleich schnell in entgegengesetzter Richtung strömende Massen. Die Gültigkeit des Gesetzes

von der Constanz der Energie ist bekannt, und die für die Grösse der elektrodynamischen Energie geschlossener Stromsysteme von endlichen Dimensionen gewonnenen Ausdrücke haben stets endliche Werthe. Was die Anwendung des ersten Principis (Newton-Lagrange) betrifft, so liegt dies ebenfalls in dem Potentialgesetze fertig formulirt vor. Herr F. E. Neumann, der die zu dieser Erkenntniss nöthigen Ausdrücke klar und deutlich entwickelte, hat allerdings, so viel ich finde, die Beziehung dieser Ausdrücke auf das von Lagrange formulirte Gesetz nirgends explicite ausgesprochen. Ausdrücklich zur Grundlage der weiteren Entwicklungen ist das Princip von Lagrange mit Benutzung des Neumann'schen Werthes der Energie zuerst von Cl. Maxwell gemacht worden.

Die neuesten Arbeiten über die Theorie der Elektrodynamik zeigen nun den sehr erfreulichen Fortschritt, dass statt der bisherigen Polemik gegen die Zulässigkeit eines Potentialgesetzes, wie man die Anwendung des Principis von Lagrange bezeichnete, jetzt die Ueberzeugung von der Nothwendigkeit und Nützlichkeit eines solchen sich Bahn gebrochen hat. Herr Clausius hat die Gesetze von W. Weber und Riemann auf diese Form zurückgeführt und das von ihm selbst aufgestellte neue Grundgesetz aus derselben Form abgeleitet; unabhängig von ihm hat Herr C. Neumann (Sohn) dasselbe für das Weber'sche Gesetz gethan. Der Streit dreht sich nur noch um den Werth der Grösse, die ich mit Maxwell die elektrokinetische Energie nenne, Herr Clausius das elektrodynamische Potential.

In der Theorie von Herrn W. Weber ist die elektrokinetische Energie je zweier elektrischen Quanta proportional gesetzt dem Quadrate der Geschwindigkeit, mit der sie sich von einander entfernen; in Riemann's Theorie tritt dafür das Quadrat ihrer relativen Geschwindigkeit ein. Beide Ausdrücke machen das elektrodynamische Potential relativ zu einander sich bewegender gleichnamiger elektrischer

Quanta negativ, woraus folgt, dass sie gegen das Princip der Endlichkeit der Energie verstossen. Riemann's Ausdruck verstösst auch gegen das Gesetz von der Erhaltung der Rotationsmomente, wie sich aus der Berechnung der Kraftcomponenten ergibt. Die Hypothese von Herrn Clausius dagegen macht die elektrokinetische Energie abhängig von der absoluten Geschwindigkeit und widerspricht, wie Herr Clausius selbst zugegeben hat, dem Gesetz von der Gleichheit der Action und Reaction, und zwar sowohl dem Gesetz von der Erhaltung der Bewegung des Schwerpunktes wie dem von der Erhaltung der Rotationsmomente. Einen wesentlichen Vorzug hat das von Herrn Clausius aufgestellte elektrodynamische Potential dadurch, dass es eine nothwendig immer positive Grösse ist, die Clausius'sche Hypothese wird also auch nicht labiles Gleichgewicht der Elektrizität in ruhenden Leitern oder die verkehrte Wirkung äusserer beschleunigender Kräfte ergeben können, wie sie aus der Weber'schen Hypothese als möglich folgen.

Dass das negativ genommene Neumann'sche Potential, als Werth der elektrokinetischen Energie gebraucht, gegen keinen der genannten allgemeinsten mechanischen Grundsätze verstösst, ist in meinen bisherigen Arbeiten über Elektrodynamik erwiesen worden; über das Gesetz von der Erhaltung der Kraft ist darin ausführlich gehandelt worden, die ponderomotorischen Kräfte, die es ergibt, sind nur anziehende oder abstossende, welche auf beide Endpunkte gleich stark wirken. In meinen Augen ist das immer als ein methodischer Vorthail des Neumann'schen Potentials vom allerhöchsten Gewicht erschienen, und dies war der Grund, warum ich nur diese Form des Potentials in meinen bisherigen Arbeiten berücksichtigt habe. Ich habe zu verschiedenen Zeiten versucht, Formen nach Analogie des Weber'schen Potentials zu finden, die in besserer Uebereinstimmung mit dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft

wären, und keine gefunden. Aber allerdings habe ich die Gleichheit der Action und Reaction als *conditio sine qua non* festgehalten.

Ich betrachte die genannten allgemeinen mechanischen Principien freilich nur als durch Induction gefunden und einen auf sie gestützten Beweis also auch nur als einen Inductionsschluss; aber allerdings als einen solchen, der unter diesen Umständen den höchsten Grad von Wahrscheinlichkeit ergiebt, der überhaupt nur durch Inductionsschlüsse unter den günstigsten Umständen gewonnen werden kann. Die Erwartung, dass in den nächsten 24 Stunden in Berlin es einmal Nacht und einmal Tag werden wird, stützt sich auf ein viel engeres Gebiet von Beobachtungen als es die allgemeinen Principien der Mechanik thun. Und obgleich jene Principien zunächst von der Mechanik der ponderabeln Körper abstrahirt sind, so haben sie sich bisher doch auch in dem ganzen, schon sehr eingehend durchgearbeiteten Gebiete der Elektrostatik und bei den verhältnissmässig kräftigen Wirkungen der geschlossenen elektrischen Ströme ebenfalls als vollständig zutreffend bewährt. Dass sie nun in dem unmittelbar mit dem letzteren zusammenhängenden Gebiete der Ströme in nicht geschlossenen Leiterkreisen nicht zutreffen sollten, würde ich erst dann voraussetzen wagen, wenn gar kein anderer Ausweg mehr zu finden wäre.

Das Neumann'sche Potentialgesetz in seiner bisher auf die elektrischen Bewegungen in Leitern beschränkten Anwendung, welches einen solchen Ausweg nach einwurfsfreier Methode zu bieten schien, ist aber durch Versuche als unzureichend erwiesen. Die unter diesen Umständen zunächst gebotene Frage scheint mir die zu sein, ob durch Erweiterung seiner Voraussetzungen die Uebereinstimmung mit den Versuchen hergestellt werden kann. Eine solche Erweiterung ist durch Faraday's Voraussetzung der diëlektrischen Polarisirbarkeit des raumfüllenden Mediums, welches

wir kurzweg den Aether nennen wollen, gegeben. Da nun die elektrische Polarisirbarkeit von ponderabeln isolirenden Medien, die magnetische von paramagnetischen ponderabeln Medien allgemein anerkannt ist, und nach dem Gelingen des Rowland'schen Versuches kaum noch ein Zweifel bei den Physikern darüber bestehen wird, dass die bei der Entstehung diëlektrischer Polarisirung vor sich gehende elektrische Bewegung elektrodynamische Wirkungen haben wird, so reducirt sich die thatsächliche Frage, wenn wir von der verschiedenen theoretischen Ausdrucksweise absehen, in der That auf die Frage nach dem Werthe zweier Constanten. Ich habe in meiner ersten Arbeit über Elektrodynamik schon hervorgehoben, dass die Phänomene der elektrostatischen und magnetischen Vertheilung ungeändert bleiben, wenn nur das Verhältniss der den einzelnen Körpern beigelegten diëlektrischen und magnetischen Constanten ungeändert bleibt. Für den von ponderabeln Körpern freien Raum hat man die betreffenden Constanten, von der theoretischen Annahme einer reinen Fernwirkung der elektrischen und magnetischen Kräfte ausgehend, gleich 1 gesetzt. Die Versuche über die elektromagnetische Induction im rotirenden Condensator und die über die elektromagnetische Wirkung convectiv fortgeführter Elektrizität sind aber mit dem Neumann'schen Potentialgesetz nur unter der Annahme in Uebereinstimmung zu bringen, dass jene Constante auch im Aether schon viel grösser als 1 sei, d. h. dass auch im Aether schon die etwa vorhandene directe Fernwirkung der elektrostatischen und magnetischen Kräfte gegen die durch die Spannung des Mediums übertragene verhältnissmässig unbedeutend sei. Nach Faraday's und Maxwell's Annahme verschwinden sie ganz und gar; beide erkennen gar keine directe Fernwirkung mehr an. Es schien mir unter diesen Umständen geboten, Maxwell's Untersuchungen in der Richtung zu vervollständigen, dass ich die Consequenzen der Faraday'schen Hypothese für un-

geschlossene Leiterkreise discutirte. Es erschien mir praktisch unnöthig, die Untersuchung dadurch verwickelter zu machen, dass ich die vielleicht nur sehr hohen, aber im Verhältniss zur Einheit noch endlichen Werthe der dielektrischen und magnetischen Constante des Aethers wie früher festhielt. Ich bleibe bei der weiteren Durchführung der Untersuchung bei dem Neumann'schen Potential stehen, weil die nach diesem ausgeführten Rechnungen verhältnissmässig viel einfacher sind, als die aus den anderen Ausdrücken hergeleiteten, und weil wir ferner bei der Rechnung mit diesem Potential von vorn herein sicher sind, gegen keines der allgemeinen mechanischen Principien zu verstossen.“

Am Anfange des Jahres 1873 trat an Helmholtz die Versuchung heran, einer Einladung Knapp's folgend, in Amerika eine Reihe öffentlicher Vorlesungen zu halten; aber nach ruhiger und reiflicher Ueberlegung schreibt er demselben am 5. Januar 1873:

„Das Berliner Treiben macht mich schon sehr müde, so dass ich nach beendetem Semester vor allen Dingen den Wunsch zu haben pflege, keine Menschen mehr sehen zu müssen und meine Gedanken sammeln zu können an einem stillen Orte. Von allem diesem wäre Amerika ungefähr das gerade Gegentheil. Und was meine Vorlesungen betrifft, so habe ich mich doch überzeugt, dass ich wohl sachverständigen Leuten wissenschaftliche Dinge in trockener sachlicher Weise auseinandersetzen kann, aber ich habe nicht Herrschaft genug über die Sprache, um dasselbe so zu thun, dass ich ein grösseres Auditorium von nicht fachmässig Gebildeten fesseln könnte. Dabei kostet mir die Ausarbeitung in der fremden Sprache doppelte Zeit, und selbst wenn ich die Hülfe eines Engländers dabei habe, wird es doch Flickwerk. Ich habe noch mancherlei, was ich für die Wissenschaft thun möchte, und darf nicht mehr allzu viel Zeit verlieren. Ich fange deshalb an zu glauben, dass ich in diesem Leben nicht mehr nach Amerika kommen werde.“

Er hatte in der That schon neben seinen grossen und umfassenden elektrischen Arbeiten um diese Zeit seine aerodynamischen Untersuchungen begonnen, deren erste Resultate er unter dem Titel „Ueber ein Theorem, geometrisch ähnliche Bewegungen flüssiger Körper betreffend, nebst Anwendungen auf das Problem, Luftballons zu lenken“ am 26. Juni 1873 der Akademie vorlegte.

Die Grösse des Widerstandes, welchen Luft oder Wasser einem sich durch sie hinbewegenden Körper von complicirter Gestalt entgegensetzt, kommt wesentlich in Betracht, wenn es sich darum handelt, ein Schiff oder einen Ballon zu construiren, welche durch Vermittelung irgend welcher Bewegungsapparate fortbewegt werden sollen. Da der Widerstand des Wassers oder der Luft gegen die Ruder, Schaufeln, Schrauben die forttreibende Kraft, derselbe Widerstand gegen den Körper des Schiffes oder des Ballons aber die widerstehende Kraft angiebt, so wird von dem Verhältniss dieser beiden Kräfte die Geschwindigkeit der erreichbaren Fortbewegung abhängen. Doch war die mathematische Analyse noch selten im Stande gewesen, aus den für die Bewegung tropfbarer und gasartiger Flüssigkeiten mit Berücksichtigung des Druckes und der Reibung aufgestellten Differentialgleichungen die den Bedingungen des gegebenen besonderen Falles angepassten Integrale zu finden, aus denen jene Widerstände berechnet werden können. Andererseits liegen aber für die Schiffe bei den mannigfachsten Constructionsformen reiche Erfahrungen vor, da wir die Grösse der Kraft kennen, welche nöthig ist, um einem Boot oder Schiff eine gewünschte Geschwindigkeit zu ertheilen, und wir auch schon die vortheilhaftesten Formen für die Schiffskörper sowie für die Grösse und Gestalt der Bewegungsorgane gefunden haben; für die Luft dagegen konnten, abgesehen von den noch wenig vorgeschrittenen Versuchen mit Ballons, nur die Vögel als Beispiele für derartige Fortbewegungsmaschinen gelten. Diese Ueberlegung führte Helmholtz dazu, durch

Anwendung der allgemeinen, für Flüssigkeiten und Gase geltenden hydrodynamischen Gleichungen die an Schiffen gemachten Erfahrungen auf die entsprechende Aufgabe für die Luft zu übertragen. Er zeigt auf streng mathematischem Wege, dass es möglich ist, Beobachtungsergebnisse, welche an einer Flüssigkeit und an Apparaten von gewisser Grösse und Geschwindigkeit gewonnen worden sind, zu übertragen auf eine geometrisch ähnliche Masse einer anderen Flüssigkeit und auf Apparate von anderer Grösse und anderer Bewegungsgeschwindigkeit, und er stellt das Verhältniss fest, nach welchem die Geschwindigkeiten, der Druck und die aufzuwendende Energie vergrössert werden müssen, wenn das Verhältniss der physikalischen Constanten der Flüssigkeiten gegeben ist.

Die Anwendung dieses Princips bietet freilich die Schwierigkeit, dass unter der Einwirkung von Druck die Dichte der Luft merklich verändert wird. Da die Luft jedoch nach allen Seiten hin frei entweichen kann, und sich zeigt, dass gerade mit den geringeren Geschwindigkeiten der Flügel oder Schrauben die vortheilhaftesten Resultate zu erzielen sind, so kommen nur diejenigen Druckunterschiede in Betracht, welche durch die Beschleunigungen der bewegten Lufttheile bedingt sind, und diese sowie die von ihnen abhängige Volumenänderung der Luft brauchen, wie Helmholtz zeigt, nicht berücksichtigt zu werden, so lange die erzeugten Geschwindigkeiten im Vergleich mit der Schallgeschwindigkeit zu vernachlässigen sind. Er folgert unter anderem, dass die Grösse der Vögel eine Grenze haben muss, wenn nicht die Muskeln in der Richtung weiter ausgebildet werden können, dass sie bei derselben Masse noch mehr Arbeit leisten als jetzt. Die Natur hat deshalb wahrscheinlich im Modell des grossen Geier schon die Grenze erreicht, welche für die Grösse eines Geschöpfes erlangt werden kann, das sich durch Flügel selbst heben und längere Zeit in der Höhe verbleiben soll. Der Mensch hat daher

nach seiner Ansicht wohl keine Aussicht, durch den geschicktesten flügelähnlichen Mechanismus, den er durch seine Muskelkraft zu bewegen hätte, sein Gewicht in die Höhe zu heben und dort zu erhalten. Wendet man das Helmholtz'sche Princip für die Vergleichung der Luftballons und der Schiffe an, so ergibt sich das interessante Resultat, dass, wenn der Ballon etwa anderthalbmal so viel wiegt als die arbeitenden Menschen, welche er trägt, das Verhältniss zwischen Arbeitskraft und Gewicht dasselbe wäre, wie wir es in einem Kriegsdampfer dargestellt sehen.

„Dass man Luftballons“, sagt Helmholtz in einem Bericht vom 1. März 1878, „durch mechanische Mittel, die den zur Fortbewegung der Schiffe gebrauchten ähnlich sind, bei windstillem Wetter vorwärts treiben und lenken kann, ist theoretisch evident und durch Versuche, namentlich von Dupuy de Lôme, erwiesen. Dass man mit hinreichend grossen Ballons auch ganz ausreichende Geschwindigkeiten würde erreichen können, ergibt die Rechnung. Ich erlaube mir in dieser Beziehung die von mir im Jahre 1873 darüber verfasste kleine Abhandlung beizulegen. Ich bin dem zu Folge der Meinung, dass eine blosser Variation und Zusammenhäufung der zur Fortbewegung von Schiffen angewendeten Mittel am Ballon keine neue Erfindung im Sinne des Gesetzes ausmache.“

Noch bis zuletzt hält er seine im Jahre 1873 in der oben erwähnten Arbeit ausgesprochene Ansicht aufrecht; so äussert er sich am 9. März 1894 in amtlicher Eigenschaft folgendermaassen:

„Die Ergebnisse meiner eigenen Studien und Ueberlegungen über dieses Thema habe ich schon im Jahre 1873 unter dem 26. Juni zusammengestellt und der Königl. Akademie der Wissenschaften mitgetheilt, von welcher Abhandlung Abdrücke sich jedenfalls auch in den Acten des Königl. Cultusministeriums befinden werden unter den Berichten, die ich als Vorsitzender der damals zur Untersuchung der

Gesetze des Luftwiderstandes eingesetzten Commission verfasst habe. Unter Beziehung auf diese Abhandlung, deren Resultate seither durch alle späteren Erfahrungen, von denen ich gehört, bestätigt worden sind, hoffe ich, dass die weiteren Verhandlungen mit der Commission über diejenigen Fragen, über die ich ein Urtheil abzugeben im Stande bin, sich leicht werden schriftlich führen lassen, wozu ich gern bereit bin.“

Am Ende des Sommersemesters 1873 reiste seine Frau mit den Kindern in die badische Heimath, während Helmholtz den Monat Juli, mit Arbeiten überhäuft, ziemlich einsam in Berlin zubrachte:

„Gestern Abend war ich allein zu Haus und wurde durch Heyse's Novelle darauf geführt, Schopenhauer's Aufsatz über die Frauen zu suchen, fand aber nur das Kapitel über die Liebe, welches ich auf dem Balkon mit der Lampe gelesen habe. Es ist ein gescheuter Kerl, aber er hat eine wahre Lust am Gemeinen und geht absichtlich jeder höheren Auffassung aus dem Wege, wenn sie auch noch so nahe liegt.“

Am 3. August schreibt er seiner Frau:

„Ich blieb im Hause, habe mich noch für die letzten Stunden meines mathematischen Collegs vorbereitet und schliesslich Zeller's Kirche und Staat ausgelesen. Ich muss sagen, dass das Buch mir interessant gewesen ist, trotzdem es übermässig viel besprochene Gegenstände behandelt. Ich habe noch nichts so Vernünftiges und Wohlbegründetes darüber gelesen. Am Vormittag erschien Mr. Theodor Steinway und erklärte mir, er wünsche an unserem Flügel seine neueste Verbesserung der hohen Saiten anzubringen, wenigstens soweit es noch bei einem älteren Instrumente möglich sei. Diese besteht darin, dass er an dem Stücke der Saiten, was auf der Seite der Tastatur nicht mehr klingt, zwischen dem Wirbel und dem Befestigungspunkt noch einen zweiten Steg angebracht hat,

der Saitenstücke abgrenzt, die gewisse Obertöne der ganzen Saite geben. . . . Die bisher etwas trockenen hohen Noten scheinen in der That voller und klingender geworden zu sein. Die höchsten Töne des Flügels haben wirklich gewonnen, und man kann den Unterschied noch jetzt hörbar machen, wenn man die freigemachten Saitentheile wieder dämpft. . . .“

Mit Beginn der Ferien reiste er wie gewöhnlich nach Pontresina, und nachdem das Engadin ihn wieder von allerlei Herzbeschwerden befreit hat, ging er mit seiner Frau zum Besuche der Ausstellung nach Wien, und dann allein zum ersten Mal nach Florenz, von wo er seiner Frau begeisterte Schilderungen sendet von alle dem, was Natur und Kunst ihm bieten.

„ . . . . Ich bin ganz verzaubert und hingerissen von dieser Fülle und Schönheit — was wir in Deutschland sehen, sind doch nur ärmliche Bruchstücke, hier sind die Hauptstücke der Meister in unerschöpflicher Fülle. . . . . Fra Angelico ist hinreissend lebenswürdig in dem, was er wirklich durchgeführt hat — dann sind Sachen von Perugino in der Akademie, die an Farbengluth und Ausdruck den besten Raphaels ganz nahe kommen, höchst wunderbare Sachen von einem Mariotto Albertinelli, aus der Zeit des Raphael, von dem ich nie gehört oder etwas gesehen hatte, tief und ausdrucksvoll und von grösster Farbenpoesie. . . . .“

Der kurze Aufenthalt in Florenz gestattet ihm nur noch, die Gallerie der Ufficien zu besuchen, die er nach fünfständigem Studium „fast ohnmächtig von Müdigkeit und Hunger“ verlässt, um gegen Sonnenuntergang noch über die Anhöhen der Südseite einen herrlichen Spaziergang um die Stadt zu machen. Nachdem er noch auf dem Rückwege, wie er es verabredet, mit Beltrami in Bologna zusammengetroffen war, um mancherlei geometrische Speculationen und mathematisch-physikalische Probleme mit dem-

selben zu besprechen, holte er seine Frau aus Wien ab, welche dort zum Besuche ihrer Schwester, der Frau des Sectionschefs von Schmidt-Zabiérow, nachherigen Landespräsidenten von Kärnthen, sich aufhielt, und reiste über München nach Berlin zurück.

Schon am Ende des Sommersemesters und im Laufe der Herbstferien beschäftigten ihn neben seinen elektrodynamischen Untersuchungen äusserst wichtige Probleme der physikalischen Optik, über die er zunächst am 20. October 1873 der Akademie eine kurze Mittheilung „Ueber die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Mikroskope“ vorlegte, deren ausführliche Bearbeitung unter dem Titel „Die theoretische Grenze für die Leistungsfähigkeit der Mikroskope“ in dem Jubelband der Poggendorff'schen Annalen 1874 erschien. Seine Forschungen und Resultate begegneten sich mit denen des grössten Meisters in diesem Zweige der Optik, Herrn Abbe in Jena.

Helmholtz griff die für alle Zweige der Naturwissenschaften überaus wichtige Frage an, wie weit die Leistungsfähigkeit der Mikroskope noch gesteigert werden könne, und hebt hervor, dass die Fortschritte in derselben bereits bei einem Zustande angekommen wären, wo jede kleinste neue Verbesserung nur noch durch einen unverhältnissmässigen Aufwand von geistiger und mechanischer Arbeit zu erreichen sei. Während der Grund dafür immer nur in der etwas allgemein gehaltenen Vorstellung gesucht wurde, dass die sphärische Abweichung kleiner und stark gekrümmter Linsen schwer zu beseitigen ist, berücksichtigt Helmholtz die Diffraction und Helligkeit als wesentliche Momente der Untersuchung. Er hatte bereits in seiner physiologischen Optik einem von Lagrange für beliebige Zusammenstellungen unendlich dünner Linsen aufgestellten Satze die einfache Form gegeben, dass das Product aus dem Divergenzwinkel eines beliebigen Strahles mit der Axe, dem Brechungsverhältniss des Mediums, durch welches er sich zur Zeit bewegt, und

der Grösse des Bildes, welchem die durch das betreffende Medium sich bewegenden Strahlen angehören, bei jeder Brechung in einem centrirten Systeme kugelig brechender und spiegelnder Flächen unverändert bleibt, wenn überhaupt die Bedingungen für die Entwerfung genauer Bilder eingehalten sind. Daraus, dass das bezeichnete Product nach dem Austritt der Strahlen aus dem System noch denselben Werth hat, wie vor dem Eintritt in dasselbe, konnte er nun zunächst nach bekannten Gesetzen der Photometrie schliessen, dass, wenn Object und Bild in demselben Medium liegen, die Helligkeit eines Bildes, welches durch Strahlen entworfen wird, die mit der Axe und den Einfallsloten sehr kleine Winkel machen, der Helligkeit des Objectes immer nur gleich sein kann. Aber Helmholtz konnte sich nun auch von der Beschränkung der sehr kleinen Winkel frei machen. Er fand, dass die Helligkeit des Instrumentes gleich der des freien Auges ist, wenn die Vergrösserung gleich oder kleiner ist als die Normalvergrösserung, d. h. diejenige, bei welcher der Lichtkegel die Pupille gerade ausfüllt; dagegen wächst bei gleichbleibender Divergenz der einfallenden Strahlen die Helligkeit umgekehrt mit der Vergrösserung der Flächen, wenn diese grösser als die Normalvergrösserung ist. Es ist somit die Beziehung zwischen Helligkeit und Vergrösserung gänzlich unabhängig von der besonderen Construction des Instrumentes, und eine Steigerung der Vergrösserung daher nur möglich unter Anwendung sehr viel stärkeren Lichtes; die Dunkelheit des mikroskopischen Bildes wird also steigen mit zunehmender Vergrösserung.

Helmholtz findet ferner, dass bei zusammengesetzten Mikroskopen die Diffraction viel stärkere Abweichungen der Strahlen von ihrem Brennpunkte hervorbringt als die chromatische und sphärische Aberration, und er unterwirft daher auch diese einer genauen Untersuchung. Wenn die Grösse der kleinsten wahrnehmbaren Objecte beurtheilt wird nach dem Abstände je zweier hellen Linien, die noch

als getrennt von einander erkannt werden können, so wird diese Grösse derjenigen gleichgesetzt werden dürfen, welche im vergrösserten Bilde des Objectes gleich der Breite der äusseren Diffractionsfransen eines jeden hellen Punktes ist. Eine im Object vorhandene Länge wird also, wenn sie im vergrösserten Bilde gleich der Fransensbreite erscheint, nicht mehr als besondere Länge wahrnehmbar sein. Da nun die Grösse nur von dem Divergenzwinkel der einfallenden Strahlen, und nicht von der Construction des Instrumentes abhängt, und mit enger werdendem Strahlenkegel die durch die Diffraction bedingte Undeutlichkeit des Bildes wächst, so ergibt sich die Grenze für die uns noch sicher wahrnehmbaren Grössenunterschiede im Allgemeinen gleich der halben Wellenlänge der benutzten Lichtart. Eine weitere Steigerung des optischen Vermögens über das der besten neueren Instrumente hinaus erscheint somit nicht möglich.

Eine andere wichtige physikalisch-optische Arbeit legte Helmholtz der Akademie unter dem Titel „Zur Theorie der anomalen Dispersion“ am 29. October 1874 vor, die ihn, nachdem er von einer längeren Schweizer Reise zurückgekehrt war, während des letzten Monats beschäftigt hatte. Er schliesst sich in derselben im Princip der zur Erklärung der anomalen Dispersion aufgestellten Hypothese von Sellmeier an, welcher ponderable, in den Aether eingelagerte Molekel annimmt, die des Mitschwingens fähig sind; dieser war jedoch nicht im Stande, den Fall zu behandeln, in dem die eigene Schwingungsperiode der mitschwingenden Moleküle der Periode der Lichtoscillationen gleich wird. Weil nun die Dispersion wesentlich durch die Absorption bedingt wird, nimmt Helmholtz zunächst als Ursache der Absorption einerseits das Mitschwingen der ponderabeln Masse an, welche aus einer zwischen Aether und ponderabeln Atomen bestehenden elastischen Kraft hervorgeht, andererseits aber auch einen Reibungswiderstand, welchen die schwingenden ponderabeln Theilchen an der nicht mitschwingenden ponderabeln Masse erleiden; diese

Reibungskraft wird wie bei langsamen Schwingungen eines Pendels und tönender Körper der Geschwindigkeit proportional gesetzt. Ist nur eine Art ponderabler Atome vorhanden, und sieht man den Aether und die ponderablen Moleküle als zwei continuirliche, sich gegenseitig durchdringende Medien an — was erlaubt ist, wenn die Entfernungen der ponderablen Theile von einander verschwindend klein sind gegen die Wellenlänge —, so ergeben sich aus der Differentialgleichung der Aetherbewegung und der Bewegungsgleichung der mitschwingenden Atome dieselben Gleichungen für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und die Absorptionsconstanten, welche Ketteler bereits aus Beobachtungen gefolgert hatte. Diese liefern für den Fall der schwachen Lichtabsorption, wie sie die Lösungen der Farbstoffe mit anomaler Dispersion aufweisen, eine genügende Uebereinstimmung mit den Beobachtungen. Für einen stärkeren Grad der Absorption stellt die Theorie in der Nähe des Absorptionsmaximums die Erscheinungen gut dar; den Beobachtungen entsprechend erreicht die Curve der Brechung vor dem Maximum der Absorption ein Maximum, hinter dem Absorptionsmaximum ein Minimum und fällt continuirlich von ersterem zum letzteren. Bei Farben, welche sehr weit vom Absorptionsmaximum entfernt sind, müssen jedoch neue Annahmen für die Structur des Aethers im Körper zu Hülfe genommen werden. Helmholtz zeigt endlich, dass die Ausdehnung der Theorie auf Medien mit einer grösseren Anzahl von Absorptionsstreifen keinen erheblichen Schwierigkeiten unterliegt, wenn man nur verschiedene Arten mitschwingender ponderabler Massen voraussetzt.

C. Dieterici hatte zum Zwecke der experimentellen Prüfung der Sellmeier-Helmholtz'schen Theorie eine Reihe von Folgerungen aus diesen Annahmen gezogen und dieselben Helmholtz brieflich mitgetheilt. Nach diesen sollte dann die Absorption des Lichtes bei sehr kurzer Belichtung grösser sein als bei dauernder Durchstrahlung, weil kurze

Lichtstöße ganz dazu benutzt werden müssten, die ponderablen Theile in Mitschwingen zu versetzen; erst nach gewisser Zeit müsse ein Zustand dynamischen Gleichgewichts eintreten und dann erst der Absorptionscoefficient constant sein. Helmholtz wollte diese Folgerungen in ihrer Allgemeinheit jedoch nicht anerkennen:

„Wenn schwere Molekeln da sind“, schreibt er an Dieterici am 21. Februar 1892, „die den Lichtschwingungen Energie entnehmen müssen, um in Mitschwingen zu gerathen, so werden sie auch nothwendig bei Unterbrechung der Strahlung dieselbe Menge Energie wieder an den Aether abgeben müssen, abgesehen von dem Reibungsverlust dieser Energie während des Ausschwingens. Was aber beim Ausschwingen durch Reibung verloren geht, wird beim Anfang der Schwingungen, wo diese noch nicht ihre volle Stärke haben, erspart, wahrscheinlich in gleichem Betrage. Die Berechnung ist etwas complicirt, da Anfangs auch noch abnehmende Eigenschwingungen des mitschwingenden Molekels eintreten. Da Sie nun bei Ihren vorgeschlagenen Beobachtungen nur die gesammte Menge der durchgegangenen Schwingungsenergie messen können, so bekommen Sie jedenfalls die Energie des Ausschwingens mit und dürfen nicht darauf rechnen, dass die Arbeit, die das Mitschwingen erregt, merkbar wird, denn diese wird wiedergewonnen, und die anfänglichen Ersparnisse an Reibung werden wahrscheinlich nachher wieder vollständig verloren gehen für den Durchschnitt der Molekeln.“

Dieterici hob freilich dagegen hervor, dass das Ausklingen der in Bewegung versetzten ponderablen Theile nach allen Richtungen des Raumes hin erfolge, nicht allein in Richtung des Lichtstrahles, dass also die in einer Richtung auffallende und absorbirte Energie nach allen Richtungen des Raumes hin zerstreut werde, doch unterblieb die experimentelle Verfolgung wegen der grossen technischen Schwierigkeiten.

Um diese Zeit begann aber auch Helmholtz schon die Vorstudien zu seinen meteorologischen Arbeiten und trat zunächst mit einem gemeinfasslichen Vortrage über „Wirbelstürme und Gewitter“, den er im Jahre 1875 in Hamburg hielt, in die Oeffentlichkeit. Nachdem er die mechanischen Verhältnisse dargelegt, aus denen hervorgeht, dass der beständige Wechsel unserer Witterungsverhältnisse, wie Dove schon weit früher bis ins Einzelne nachgewiesen, auf dem gegenseitigen Verdrängen kühler, trockener Polarwinde und warmer, feuchter Aequatorialwinde beruht, geht er näher auf die Untersuchung derjenigen Luftbewegungen ein, welche die Regelmässigkeit der tropischen Witterung unterbrechen, der Orkane oder Wirbelstürme.

Nach einer brieflichen Mittheilung von Helmholtz lenkte eine zufällig vom Gipfel des Rigi aus sich darbietende Wolken- und Gewitterbildung seine Aufmerksamkeit auf diese Naturerscheinungen und führte ihn zu dem merkwürdigen Versuche, in welchem durch eine kreisende Wassermasse eine senkrechte mit Luft gefüllte Röhre sich bildet, genau von der Form, in der man die Wasserhosen darzustellen pflegt. Auch die Stürme treten in Wirbelform auf, und im Centrum eines solchen Wirbels findet sich in der Regel ein Raum mit geringer Luftbewegung. Während der Sturm die Richtung der Rotation der Erde hat, zeigt die dem Aequator zugekehrte Seite der Stürme immer Westwind; kommen nun trockene und feuchte Luft zusammen, so können sich, wie Reye nachgewiesen, grosse Luftmassen ansammeln, die anfangs im stabilen Gleichgewicht, bei eintretenden Temperaturänderungen allmählich ins labile Gleichgewicht übergehen. Nebelige und trockene Luft nämlich, die über oder neben einander gelagert sind, können solche Temperaturen haben, dass sie in der mittleren Höhe der Atmosphäre gerade gleich schwer sind; in diesem Falle wird in der unteren Hälfte des Luftkreises, wo der Druck grösser ist, die nebelige Luft die dichtere werden und zu Boden sinken, während in

der oberen Hälfte der Atmosphäre dieselbe nebelige Luft bei geringerem Drucke sich mehr ausdehnt, als die trockene, leichter wird und aufsteigt. Das zuerst stabile Gleichgewicht wird somit, da durch fortgesetzte Wirkung der Sonne die untere Schicht heisser und feuchter wird, die obere durch Strahlung gegen den Weltraum an Wärme verliert, allmählich in das labile Gleichgewicht übergehen. Wird nun das Gleichgewicht an einer Stelle durchbrochen, wodurch diese Stelle durch die aufsteigende leichtere nebelige Luft geringeren Druck bekommt, so wird die untere Luft heranstören und selbst in die aufsteigende Strömung gerissen, während ringsum, wo das Gleichgewicht noch stabil war, dieses durch die Entleerung der feuchten Luft und Senkung der oberen Grenzfläche derselben noch sicherer wird; das Aufsteigen wird andauern, bis die ganze untere feuchte Schicht sich gehoben hat. Bei der Besprechung der Gewitter bezeichnet Helmholtz als Quelle der elektrischen Entladungen den Vorrath negativer Elektrizität, mit dem die Erde dauernd geladen ist. Schliesslich hebt er noch die Schwierigkeit bei der Voraussagung des Wetters und der Luftströmungen in der Atmosphäre hervor:

„Ueberhaupt ist zu bemerken, dass wir nur solche Vorgänge in der Natur voraus berechnen und in allen beobachtbaren Einzelheiten verstehen können, bei denen kleine Fehler im Ansatz der Rechnung auch nur kleine Fehler im Endergebniss hervorbringen. Sobald labiles Gleichgewicht sich einmischt, ist diese Bedingung nicht mehr erfüllt. So besteht für unsern Gesichtskreis noch der Zufall; aber es ist in Wirklichkeit nur der Ausdruck für die Mannigfaltigkeit unseres Wissens und die Schwerfälligkeit unseres Combinationsvermögens. Ein Geist, der die genaue Kenntniss der That-sachen hätte, und dessen Denkopoperationen schnell und präcis genug vollzogen würden, um den Ereignissen voraus zu eilen, würde in der wildesten Launenhaftigkeit des Wetters nicht weniger als im Gange der Gestirne das harmonische Walten

ewiger Gesetze anschauen, das wir nur voraussetzen und ahnen.“

Am 4. November 1875 traf Helmholtz und die Seinen ein schwerer Verlust. Robert von Mohl, wenige Tage zuvor zu den Reichstagssitzungen in Berlin eingetroffen, erlag daselbst einem Herzschlag. „Dass er viel mehr gelitten, als irgend Jemand wusste, dass er im vollen Bewusstsein, der letzten Stunde entgegen zu gehen, abreiste, das kommt jetzt nach und nach zu Tage. Er hat es gewusst, dass die Zeit naht und ist doch allein geblieben und gestorben; die Wehmuth darüber wird mich nie verlassen“, schreibt seine Tochter aus Karlsruhe, wohin sie zur Beerdigung des geliebten Vaters geeilt war. Helmholtz verbrachte jene Tage der Trauer in stiller Zurückgezogenheit mit seinen Kindern — für seine tiefernste Stimmung sucht er nur den Wiederhall in der Musik. Nach einem von Joachim's Quartettabenden schreibt er:

„Beethoven's Op. 130, ungeheuer gross und ernst, aber tieftraurig, wurde mir erst heute ganz durchsichtig. Das Adagio haben sie über alle Maassen schön gespielt; es ist wie ein weinendes Träumen von den verlorenen Idealen und vielleicht das Urbild von Tristan's Liebestod, formloses Wogen der unendlichen Melodie.“

Das Jahr 1876 brachte die ersten Bayreuther Festspiele, denen auch Helmholtz mit seiner Frau beiwohnte. Beide waren von der allgemeinen Begeisterung ergriffen, welche das Neue und Gewaltige der Schöpfungen Richard Wagner's der gesammten musikalischen Welt abgerungen, „sie reihten sich in die Zahl begeisterter Freunde des Meisters und bahnten Geistes- und Herzensbeziehungen an, welche, fördernd und beglückend, gegenseitig ein theurer Lebensbesitz werden mussten“. Nachdem Helmholtz Bayreuth verlassen, um in den Schweizer Bergen Erholung zu suchen, schreibt ihm seine Frau am 30. August darüber:

„Ausser den Leuten, die nicht dort waren, kann doch

Niemand das Grosse und Gewaltige des Werkes leugnen. Das Schöpferische und wahrhaft Grosse wird der Mittel-mässigkeit stets unsympathisch sein; armseliger als die deutsche Kritik mit ihrem Cothurn und ihrem frostigen Nichtanerkennen ist mir nie etwas erschienen. Zum Glück werden diese Herren mit ihrer Unfruchtbarkeit nicht das siegreich Entstandene hemmen können.“

Die Vielseitigkeit von Helmholtz wird immer grösser, die Höhe der Anschauung und Auffassung wissenschaftlicher Probleme immer staunenswerther. Jede neue Erscheinung verfolgt er mit dem grössten Interesse und ist stets gern bereit, in ausführlichen Briefen seine Ansichten darüber kund zu geben. Als ihm Kühne am Anfange des Jahres 1877 seine Optogramme überschickte, nahm er dessen Entdeckung mit Begeisterung auf und legte dieselben unmittelbar nach deren Empfang der Akademie vor; er schreibt ihm am 13. März 1877:

„Ich habe mich ungeheuer gefreut über diesen Fund; ich hatte mir immer hypothetisch eine photochemische Wirkung in der Netzhaut gedacht, aber nie daran gedacht, dass man sie würde nachweisen können. Nun bin ich neugierig auf die Farbenwirkung. Boll hat schon der hiesigen Akademie und den Lincei Mittheilungen darüber gemacht. Roth's Licht soll das Roth verstärken, blaues Licht es ausblassen, daneben unterscheidet er aber noch grünliche Stäbchen zwischen den rothen, die durch grünes Licht intensiver werden sollen. Ob das Grün mehr als ein Contrast ist, ist mir noch fraglich; aber dass anders gefärbte und ungefärbte Stäbchen zwischen den rothen lagen, habe ich bei seinen Demonstrationen im vorigen Sommer hier selbst gesehen.“

Und all' die ausgebreitete wissenschaftliche Bethätigung hinderte ihn nicht, als nach dem Tode Poggendorff's in demselben Jahre die Leitung der Annalen der Physik und Chemie auf G. Wiedemann überging, der Redaction, nach

der eigenen Aussage Wiedemann's, stets hilfsbereit zur Seite zu stehen und derselben über jede eingereichte Arbeit mathematisch-physikalischen Inhalts ausführliche schriftliche Gutachten abzugeben.

Nachdem er noch am 24. Juli 1877 zum Professor der Physik an der „medizinisch-chirurgischen Akademie für das Militär“, durch welche er selbst seinen Bildungsgang genommen, ernannt worden war, hielt er am 2. August dieses Jahres zur Feier des Stiftungstages der militär-ärztlichen Bildungsanstalten eine Rede „das Denken in der Medicin“, in welcher er das medicinische Studium als diejenige Schule pries,

„welche ihm eindringlicher und überzeugender, als es irgend eine andere hätte thun können, die ewigen Grundsätze aller wissenschaftlichen Arbeit gepredigt hat, Grundsätze so einfach und doch immer wieder vergessen, so klar und doch immer wieder mit täuschendem Schleier verhängt“.

Er hebt hervor, dass man in der Medicin mehr als auf anderen Wissensgebieten zur Einsicht geführt wird, dass erkenntnistheoretische Fragen über die Methodik der Wissenschaft auch eine bedrängende Schwere und eine fruchtbare praktische Tragweite erlangen können; dass, wenn man auf wohl gesicherter Basis arbeitet, einem durch Irrthum nichts genommen wird, als das, worin er sich geirrt hat, dass aber, wo alles auf eine Hypothese gestellt ist, die nur dem entspricht, was man für wahr halten zu können wünscht, jeder Riss das ganze Gebäude der Ueberzeugungen einreisst. Und nun wendet er sich in überaus geistvoller Ausführung gegen die metaphysischen Systeme in der Naturforschung, ebenso wohl gegen die Spiritualisten, die sich als Wesen fühlen wollen, welche über das Maass der übrigen Natur hinausragen, wie gegen die Materialisten, welche durch ihr Denken mit denjenigen Begriffsformen, zu deren Ausbildung sie bis jetzt gelangt sind, die Welt unbedingt beherrschen

wollen. Wie er es früher und bis zu seinem Ende stets gethan, hebt er auch hier wieder eindringlich hervor, dass es keine andere Methode zur Feststellung des Kommenden giebt, als die Gesetze der Thatsachen durch Beobachtungen kennen zu lernen; wir können sie kennen lernen durch Induction, durch Herbeiführung und Beobachtung solcher Fälle, die unter das Gesetz gehören; dann erst beginnt das Geschäft des Deducirens.

Er führt klar und überzeugend aus, dass durch Kant's Zurückweisung der Ansprüche des reinen Denkens die spiritualistische Theorie zurückgedrängt worden sei; dass seine Kritik der reinen Vernunft eine fortlaufende Predigt gegen den Gebrauch der Kategorien des Denkens über die Grenzen der Erfahrung hinaus gewesen, und dass er in allen metaphysischen Systemen nur Gewebe von Trugschlüssen erkannt habe. Aber dadurch, dass Kant die Axiome der Geometrie als durch transcendente Anschauung gegeben betrachtete, ist die reine Anschauung a priori der Ankerplatz der Metaphysiker geworden; der Ausdruck eben dieser Theorie in der Physiologie ist die nativistische Theorie. Daher sind die Versuche von so grosser Bedeutung, die reinen oder empirischen Anschauungen, die Axiome der Geometrie, die Grundsätze der Mechanik oder die Gesichtswahrnehmungen in ihre rationellen Elemente aufzulösen. Er ermahnt die jungen Naturforscher, sich dadurch nicht irre machen zu lassen, dass alle Secten der Metaphysiker sich darüber ereifern, „denn diese Untersuchungen legen die Axt an die scheinbar festeste Stütze, die ihren Ansprüchen noch blieb“. Aber auch den Materialismus hält Helmholtz für eine metaphysische Hypothese, die sich bisweilen für die Naturwissenschaften fruchtbar erwiesen hat, aber als Dogma dem Fortschritt der Wissenschaft ebenso hinderlich werden kann.

„Gedächtniss, Erfahrung, Uebung sind auch Thatsachen, deren Gesetze gesucht werden können, und welche sich nicht

wegdecretiren lassen, wenn sie auch nicht schon jetzt glatt und einfach auf die bekannten Gesetze der Erregung von Nervenfasern und deren Leitung zurückzuführen sind, so günstigen Spielraum der Phantasie das Gewirr der Gangliensfortsätze und Nervenfaserverbindungen im Gehirn darbieten mag.“

Durch den Tod seiner Tochter Käthe und die unausgesetzte wissenschaftliche Arbeit war Helmholtz gemüthlich, körperlich und geistig angegriffen; auch nahm er manche Widerwärtigkeiten, die Neid und Missgunst ihm bereiteten, schwerer als sonst. Da war ihm seine Frau, welche mit ihren Kindern am Starnberger See weilte, eine Trösterin im edelsten Sinne:

„Ich sitze und träume stundenlang und denke an Dich, Du lieber Mann, und wünsche Dich her, ferne von allen Miserabilitäten. Die Natur ist eine grosse Lehrerin auch auf Gebieten, wo sie sonst nichts zu thun hat. Der relative Werth der Dinge kommt in ihrem Lichte so recht zu Tage.“

Hatte er noch in seiner eben besprochenen Rede seinen Schülern zurufen können:

„Nun noch eine Verwahrung; ich möchte nicht, dass Sie glaubten, meine Darstellung sei durch persönliche Erregung beeinflusst gewesen. Dass Jemand, der solche Meinungen hat, wie ich sie Ihnen vorgetragen, der seinen Schülern, wo er kann, den Grundsatz einschärft: „Ein metaphysischer Schluss ist entweder ein Trugschluss oder ein versteckter Erfahrungsschluss“, von den Liebhabern der Metaphysik und der Anschauungen a priori nicht günstig angesehen wird, brauche ich nicht aus einander zu setzen. Metaphysiker pflegen, wie Alle, die ihren Gegnern keine entscheidenden Gründe entgegen zu setzen haben, nicht höflich in ihrer Polemik zu sein; den eigenen Erfolg kann man ungefähr an der steigenden Unhöflichkeit der Rückäusserungen beurtheilen.“, und nahm er auch sonst stets von unhöflichen wissen-

schaftlichen Entgegnungen mit einer des grossen Forschers würdigen Vornehmheit Kenntniss, so übten doch die unqualificirbaren Angriffe auf seine Person und seine Familie einen deprimirenden Eindruck auf ihn aus, und es war eine kritische Zeit, welche Helmholtz damals durchlebte.

Da verband sich, wie es die philosophische Facultät schon früher gethan, die ganze Berliner Universität solidarisch mit ihm; sie wählte ihn, der erst wenige Jahre ihr angehörte, für das Jahr 1876 zu ihrem Rector, und dieses glänzende Zeugniß von Vertrauen und Verehrung so vieler hervorragender Forscher, welche der Berliner Hochschule angehörten, gab ihm wieder Ruhe und Freudigkeit. Er suchte Erfrischung und Erholung in der Schweiz, ging in starken Märschen über die Grimsel, Eggischhorn, Belalp, wo er Tyndall besuchte, nach Zermatt und von dort mit seiner Frau nach Stresa, Mailand, Spezzia und Rom.

Noch auf der Reise verfasste er seine am 15. October 1877 zum Antritt des Rectorats gehaltenen Rede „Ueber die akademische Freiheit der deutschen Universitäten“, welche den Geist kennzeichnen sollte, der durch die Eigenartigkeit der deutschen Universitäten besonders gehegt und gepflegt wird, und den Helmholtz in der weit später von ihm verfassten Glückwunschadresse der Akademie zum 50jährigen Doctorjubiläum du Bois' in die Worte kleidet: „Es soll die Jüngeren lehren, dass ideale Ziele schon in diesem Leben erreichbar sind und ihren Lohn finden, freilich aber nur, wenn man die rechte Arbeit dafür einsetzt.“ Die Rede bietet gerade dadurch ein ganz hervorragendes Interesse, weil aus ihr sowie schon aus der zum Gedächtniss von Magnus 1871 gehaltenen der hohe sittliche, religiöse und politische Standpunkt erkennbar ist, den Helmholtz während seines ganzen Lebens festgehalten, ohne dass er je zu Fragen dieser Art öffentlich Stellung genommen.

Helmholtz sieht die Macht einer Nation nicht allein begründet in den Vorräthen von Lebensmitteln und Geld,

von Gussstahlkanonen und Panzerschiffen, sondern vor allem in der politischen und rechtlichen Organisation des Staates und in der moralischen Disciplin des Einzelnen, welche das Uebergewicht der gebildeten Nationen über die ungebildeten bedingt. Wo kein fester Rechtszustand ist, wo die Interessen der Mehrzahl des Volkes sich nicht in geordneter Weise geltend machen können, wo nicht den politischen Interessen der arbeitenden bürgerlichen Classe eine berechtigte Stimme in dem Rathe der Regierungen eingeräumt wird, da hält er eine Entwicklung der Macht des Staates für unmöglich. In dem Ringen und Streben wohlentwickelter Staaten ist aber, wie er später bei anderer Gelegenheit hervorhebt, bei der modernen Menschheit die Wissenschaft das einzig einigende Band geworden, welches unbedingt Frieden predigt; in ihr arbeitet jeder für das Wohl seines Volkes nicht nur, sondern für das der ganzen Menschheit, so weit die Menschen die Vorbildung besitzen, um von den Früchten der Wissenschaft Vortheil zu ziehen. Aber zur fruchtbaren Fortentwicklung der Wissenschaften ist die selbständige Ueberzeugung von der Richtigkeit der Resultate derselben als eine Folge gewissenhaftester Prüfung und entschlossener Arbeit nöthig, sie wird dann ein fruchtbarer Keim neuer Einsicht und die wahre Richtschnur des Handelns. Er betrachtet Deutschland im Vorrang des Kampfes gegen die Autorität stehend, es hat im 16. Jahrhundert für das Recht solcher Ueberzeugung als Blutzuge gelitten. Schon in seiner Innsbrucker Rede hatte er hervorgehoben, dass in Deutschland eine grössere Furchtlosigkeit vor den Consequenzen der ganzen und vollen Wahrheit bestehe als anderswo, während in England und Frankreich die vielen und ausgezeichneten Naturforscher bisher fast immer vor gesellschaftlichen und kirchlichen Vorurtheilen sich beugen mussten, wenn sie nicht ihren gesellschaftlichen Einfluss und ihre Wirksamkeit schädigen wollten. In der voll erkannten Wahrheit sieht er das Heilmittel gegen die Gefahren und Nachtheile des halben Erkennens:

„Ein arbeitsfrohes, mässiges, sittenstrenges Volk darf solche Kühnheit üben, es darf der Wahrheit voll ins Antlitz zu schauen suchen; es geht nicht zu Grunde an der Aufstellung einiger voreiligen und einseitigen Theorien, wenn diese auch die Grundlagen der Sittlichkeit und der Gesellschaft anzutasten scheinen sollten.“

Aber gerade diese Liebe zur Wahrheit ist, wie er in seiner Magnus-Rede ausführt, bei den Deutschen auch wieder der Antrieb, die principiellen Fragen bis in ihre tiefsten Gründe zu verfolgen, unbekümmert um die praktischen Consequenzen und die nützlichen Anwendungen derselben. Die selbständige geistige Entwicklung der letzten drei Jahrhunderte hatte in Deutschland unter politischen Zuständen begonnen, welche das Hauptgewicht auf die theologischen Studien fallen liessen. Deutschland hatte Europa von der alten Zwingherrschaft befreit, aber durch die Reformation hatte das geistige Leben seinen alten Halt und seinen alten Zusammenhang verloren, alles musste in neuem Lichte erscheinen und neue Fragen aufregen. Da man nun hauptsächlich sittliche, ästhetische und metaphysische Probleme zu lösen hatte, so war es nach Helmholtz's Ansicht wohl begründet, dass sich die Gebildeten aller Nationen auf die Philosophie stürzten. Die Kritik der Erkenntnisquellen wurde vorgenommen, und der deutsche Geist konnte von der Metaphysik, die auf ihn eine gefährliche Anziehungskraft ausübte, nicht früher ablassen, bis er nichts mehr zu finden vermochte. Dazu kam, dass in der zweiten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts das verjüngte geistige Leben der Nation anfang, seine künstlerischen Blüten zu treiben, und aus der freudlosen bürgerlichen und politischen Existenz flüchteten sich alle Gemüther in das Land der Poesie oder das der Philosophie. „Die Arbeit des Naturforschers erschien eng, niedrig, gleichgültig neben den grossen Conceptionen der Philosophen und Dichter.“ Helmholtz erkennt wohl an, dass jene Strömung das napoleonische Joch ge-

brochen und in den grossen Dichtungen uns den edelsten Schatz unserer Nation gegeben, aber

„sich in eine ideale Welt flüchten, ist eine falsche Hülfe von kurz dauerndem Erfolge, sie erleichtert nur dem Gegner sein Ziel, und wenn das Wissen immer nur sich selbst spiegelt, so wird es gegenstandslos und leer oder löst sich in Illusionen und Phrasen auf“.

Die Reaction gegen diese Richtung ist jedoch nicht nur im Gebiete der Naturwissenschaften, sondern ebenso im Kreise der Geschichte, der Kunstwissenschaft und Sprachforschung eingetreten, man hat überall begriffen, dass man erst die Thatsachen kennen muss, ehe man ihre Gesetze aufstellen kann.

Helmholtz richtet nun in seiner Rectoratsrede an die jungen Studirenden die Aufforderung, die Wissenschaft um ihrer selbst willen zu treiben, und erörtert Gedanken hoher sittlicher Anschauung, denen er bescheiden und in offener Selbsterkenntniss in seiner berühmten Tischrede im Jahre 1891 so schöne Worte geliehen:

„Ich will nicht sagen, dass in der ersten Hälfte meines Lebens, wo ich noch für meine äussere Stellung zu arbeiten hatte, neben der Wissbegier und dem Pflichtgefühl als Beamter des Staates nicht schon höhere ethische Beweggründe mitgewirkt hätten; jedenfalls war es schwerer, ihres wirklichen Bestehens sicher zu werden, so lange noch egoistische Motive zur Arbeit trieben. Es wird ja wohl den meisten Forschern ebenso gehen. Aber später, bei gesicherter Stellung, wo diejenigen, welche keinen inneren Drang zur Wissenschaft haben, ganz aufhören können zu arbeiten, tritt für die, welche weiterarbeiten, doch eine höhere Auffassung ihres Verhältnisses zur Menschheit in den Vordergrund. Sie gewinnen allmählich aus eigener Erfahrung eine Anschauung davon, wie die Gedanken, die von ihnen ausgegangen sind, sei es durch die Literatur oder mündliche Belehrung ihrer Schüler, weiter durchgearbeitet, reicheren Inhalt und festere

Form erhalten und ihnen selbst wieder neue Belehrung zuführen. Es tritt ihm die ganze Gedankenwelt der civilisirten Menschheit als ein fortlebendes und sich weiter entwickelndes Ganzes entgegen, dessen Lebensdauer der kurzen des einzelnen Individuums gegenüber als ewig erscheint. Er sieht sich mit seinen kleinen Beiträgen zum Aufbau der Wissenschaft in den Dienst einer ewigen heiligen Sache gestellt, mit der er durch enge Bande der Liebe verknüpft ist. Dadurch wird ihm seine Arbeit selbst geheiligt.“

Dieser Geist ist es, welchen Helmholtz den jungen Studirenden als den auf deutschen Universitäten gepflegten schildert, deren Einrichtungen und Wesen er als von anderen Nationen unerreicht hinstellt, wenn er auch nicht verhehlen will, dass wir den englischen Universitäten in der Pflege eines lebendigen Gefühls für die Schönheit und Jugendfrische des Alterthums, der Feinheit und Schärfe des sprachlichen Ausdruckes und des körperlichen Wohles ihrer Studirenden nachstreben sollten. Aber die aufsichtslose Freiheit der deutschen Studirenden, ein Gegenstand des Staunens aller Ausländer, ist ein Schatz, der gewahrt bleiben muss; sie rechnet freilich auf die Urtheilskraft und Vernunft derer, denen man die Freiheit gewährt. Dann, aber auch nur dann, ist die Freiheit in der Lehre der Wissenschaft nothwendig und gefahrlos.

„Im neuen deutschen Reiche können auf den Universitäten die extremsten Consequenzen materialistischer Metaphysik, die kühnsten Speculationen auf dem Boden von Darwin's Evolutionstheorie ebenso ungehindert wie die extremste Vergötterung päpstlicher Unfehlbarkeit vorgetragen werden.“

Noch am Ende desselben Jahres, am 26. November 1877, legte Helmholtz der Akademie eine Arbeit vor, betitelt „Ueber galvanische Ströme, verursacht durch Concentrationsunterschiede; Folgerungen aus der mechanischen Wärmetheorie“, mit der er die Reihe seiner wichtigen elektrochemi-

schen Untersuchungen eröffnete. Nachdem er in seinen elektrischen Arbeiten die Ueberzeugung gewonnen hatte, dass die Faraday-Maxwell'sche Hypothese für die Elektrodynamik, zu deren erneuter Prüfung er erst nach zwei Jahren wieder zurückkehrte, die grösste Wahrscheinlichkeit für sich habe, wandte er sich jetzt auch den elektrochemischen Anschauungen Faraday's zu, von denen sowie von deren Ausbildung durch Hittorf, Wiedemann und F. Kohlrausch er später in der in England gehaltenen Faraday-Rede eine ausführlichere Darlegung gab.

Faraday nannte Ion die vom Strome fortgeführten Atome oder Atomgruppen, Kation diejenigen Bestandtheile, die mit der positiven Elektrizität sich bewegen, Anion, die mit der negativen fortgehen; das Kation wandert also zu derjenigen Elektrode, zu welcher die positive Elektrizitätsmenge der Flüssigkeit hinströmt, zur Kathode, das Anion zur Anode, von welcher dieselbe Elektrizität in die Flüssigkeit einströmt. Faraday hatte nun das die ganze jetzige Elektrochemie beherrschende Gesetz gefunden, dass durch jeden Querschnitt eines elektrolytischen Leiters immer äquivalente elektrische und chemische Bewegung stattfindet, also genau dieselbe bestimmte Menge sei es positiver, sei es negativer Elektrizität sich mit jedem einwerthigen Ion oder mit jedem Valenzwerthe eines mehrwerthigen Ion bewegt und es unzertrennlich begleitet bei allen Bewegungen, die dasselbe durch die Flüssigkeit macht. Helmholtz nennt diese Quantität die elektrische Ladung des Ion. Indem er nun annimmt, dass auch die Elektrizität in bestimmte elementare Quanta getheilt ist, Atome der Elektrizität, schliesst er, dass jedes Ion, so lange es sich in der Flüssigkeit bewegt, mit je einem elektrischen Aequivalent für jeden seiner Valenzwerthe vereinigt bleiben muss. Nur an den Grenzflächen der Elektroden kann eine Trennung eintreten, so dass, wenn dort eine hinreichend grosse elektro-

motorische Kraft wirkt, die Ionen ihre bisherige Elektrizität abgeben und elektrisch neutral werden können. Indem er als Grundvoraussetzung das Gesetz von der Constanz der Energie und die strenge Gültigkeit des Faraday'schen elektrolytischen Gesetzes festhält, findet er, dass Wasserstoff und Sauerstoff des Wassers, wenn sie, ohne ihre elektrischen Ladungen zu verlieren, von einander getrennt werden könnten, eine Anziehung auf einander ausüben würden, gleich der Gravitation von Massen, die ihnen 400 000 Billionen mal an Gewicht überlegen wären. Bei der weiteren Untersuchung, in welcher Weise die Bewegungen der wägbaren Molekel durch diese Kräfte beeinflusst werden, hatte sich durch die Betrachtungen von Clausius ergeben, dass die elektrischen Kräfte eine gleichmässige Vertheilung der entgegengesetzten Ionen durch die ganze Flüssigkeit zu unterhalten im Stande sind, so dass alle Theile derselben ebenso gut elektrisch wie chemisch neutralisirt sind, dass aber die geringsten äusseren elektrischen Kräfte ausreichen, um die Gleichmässigkeit dieser Vertheilung zu stören. Bei der Trennung eines Ion jedoch von seiner elektrischen Ladung begegnen die elektrischen Kräfte der Batterie einem Widerstande, dessen Ueberwindung einer höchst bedeutenden Arbeitsleistung entspricht. Dies wird eintreten, wenn die Ionen, indem sie ihre elektrischen Ladungen verlieren, auch gleichzeitig als Gase oder in Form fester metallischer Schichten aus der Flüssigkeit ausscheiden. Die chemische Verbindung zweier Elementarstoffe von grosser Verwandtschaft erzeugt Wärmemengen, welche einer grossen mechanischen Arbeitsleistung äquivalent sind; die Zersetzung der entstandenen chemischen Verbindung erfordert zur Herstellung der Energie der bei der Schliessung der Verbindung verloren gegangenen chemischen Arbeitskräfte einen entsprechenden Aufwand arbeitsfähiger Kräfte.

„Sauerstoff und Wasserstoff von einander getrennt, enthalten einen Vorrath von Energie; denn lassen wir sie mit

einander zu Wasser verbrennen, so entwickeln sie eine grosse Wärmemenge. Im Wasser sind die beiden Elemente enthalten, und ihre chemische Anziehungskraft besteht fort, indem sie sie fest vereinigt hält; aber dieselbe kann nunmehr keine Verwendung, keine positive Action mehr hervorbringen. Wir müssen die vereinigten Elemente in ihren ersten Zustand zurückführen, wir müssen sie von einander trennen und dazu eine Kraft anwenden, die ihrer Verwandtschaft überlegen ist, ehe wir ihnen die Fähigkeit wiedergeben, ihre erste Action zu erneuern. Die Wärmemenge, welche durch die chemische Verbindung hervorgebracht wird, ist wenigstens angenähert das Aequivalent der Arbeitsleistung der chemischen Kräfte, die in Wirksamkeit versetzt worden sind. Derselbe Betrag von Arbeit muss andererseits aufgewendet werden, um die Verbindung zu trennen und die beiden Gase in den unverbundenen Zustand zurückzuführen.“

In der oben erwähnten Arbeit „Ueber galvanische Ströme“ hat Helmholtz als erster die beiden Gesetze der Thermodynamik auf elektrischem Gebiete angewandt. Um einen elektrischen Strom durch irgend einen Leiter dauernd zu unterhalten, ist ein bestimmter Betrag chemischer oder mechanischer Arbeit nöthig; es müssen fortdauernd neue Vorräthe positiver Elektrizität in das positive Ende des Leiters gegen die abstossende Kraft der dort angesammelten positiven Elektrizität eingetrieben werden, negative Elektrizität in das negative Ende. Dabei muss nach dem Faraday'schen Gesetze die elektromotorische Kraft der Batterie der Arbeit proportional sein, welche durch die Umsetzungen von je einem Aequivalent der betreffenden Stoffe gewonnen werden kann. Nun kommen aber hierbei nicht bloss die grossen Verwandtschaftskräfte der sich in festen Verhältnissen vereinigenden und trennenden Elemente in Betracht, sondern auch die kleineren molekularen Anziehungskräfte, welche das Wasser und andere Bestandtheile der Lösung

auf deren Ionen ausüben, und Helmholtz stellte sich die Aufgabe, selbst Einflüsse dieser Art, welche zu schwach sind, um durch die calorimetrischen Methoden gefunden zu werden, durch Messung der elektromotorischen Kräfte zu ermitteln. Um mit Hilfe der mechanischen Wärmetheorie den Einfluss zu berechnen, welchen die Concentration einer Salzlösung auf die elektromotorische Kraft hat, wurde ein Strom durch eine Salzlösung geleitet, welcher einerseits eine chemische Zersetzung derselben nach ihren Aequivalenten, andererseits eine Veränderung der Concentration an den Elektroden bewirkte; diese Veränderung wurde fortdauernd dadurch rückgängig gemacht, dass da, wo der Strom die Lösung verdünnt, die überschüssige Wassermenge in Dampf verwandelt und entfernt wird, während an den Stellen, wo die Lösung concentrirter wird, Dampf niedergeschlagen wird. Bewegt sich das Wasser mit dem aufgelösten Salz, und wird durch geeignete Zufuhr von Wärme die Temperatur constant erhalten, so kann bei schwachen Strömen der ganze Vorgang als umkehrbarer Kreisprocess aufgefasst werden, und es wird die Summe der gewonnenen und verlorenen Arbeit verschwinden; die daraus gezogenen theoretischen Folgerungen gaben eine sehr befriedigende Uebereinstimmung mit den damals vorliegenden experimentellen Daten.

Am Ende des Jahres 1877 verliess sein Sohn Richard das Polytechnicum in München, welches er vier Jahre hindurch besucht hatte; Helmholtz hatte die Freude, seinen Sohn in der Locomotivfabrik von Krauss angestellt zu sehen, in welcher derselbe 1880 Chef des Constructionsbureaus und 1887 Oberingenieur wurde.

Die immer mehr sich häufenden Amtsgeschäfte nahmen nun Helmholtz sehr in Anspruch. Schon im October 1877 hatte er beim Antritt seines Rectorats die oben erwähnte Rede „Ueber die akademische Freiheit der deutschen Universitäten“ gehalten, nachdem kurz zuvor sein Vortrag „Das Denken in der Medicin“ die Feier des Stiftungstages

der militär-ärztlichen Bildungsanstalten in Berlin zu einem für die wissenschaftliche Welt bedeutungsvollen Acte gestaltet hatte. Als ihn daher am 12. März 1878 Beltrami zu der am 28. April in Pavia geplanten Enthüllung des Monumentes von Volta einlud:

„Tutti i mei colleghi e, posso dire, tutti gli scienziati italiani nutrono vivissimo desiderio che questa solennità sia onorata della presenza dei fisici che hanno maggiormente fecondato il campo aperto dall' invenzione di quel grande, e da Lei fra i primi. Io Le trasmetto l'espressione di questo desiderio con tanto maggiore fiducia in quanto mi è nota la di Lei benevolenza verso l'Italia, ed in quanto ebbi già da Lei una quasi promessa di intervenire a questa festa, quando ebbi l'onore di darne a Lei un preannuncio a Firenze, nello scorso Autunno“,  
musste Helmholtz zu seinem grossen Bedauern die ehrenvolle Einladung ablehnen, „da er den Umzug des physikalischen Instituts in das neue Gebäude bewerkstelligen müsse und ausserdem Rector der Universität sei“.

Und nun stand noch die verheissungsvolle Rede in Aussicht, die er am 3. August 1878 zur Stiftungsfeier der Berliner Universität halten sollte, und in welcher er frei und rückhaltlos sein philosophisches Glaubensbekenntniss abzulegen gedachte. Er schwankte einige Zeit, welchen Titel er seinem Vortrage geben sollte:

„Den Titel werde ich erst zuletzt machen“, schreibt er seiner Frau, „ich weiss ihn noch nicht. Vielleicht: „Was ist wirklich?“ oder „Alles Vergängliche ist nur ein Gleichniss“ oder „Ein Gang zu den Müttern“ oder auch vielleicht trockener „Principien der Wahrnehmung“.“

Er wählte aber den Titel „Die Thatsachen in der Wahrnehmung“, nachdem seine Frau ihm geschrieben: „Die „Mütter“, fürchte ich, würden für Viele ein unbekanntes Ziel sein.“

Nachdem er diese schönste und bedeutendste seiner

Reden, deren Inhalt schon oben skizzirt worden, gehalten, meldet er am 4. August seiner Frau:

„Ich wusste, dass es nicht nach dem Geschmack der Majorität sein würde. Es waren neue Gedanken darin, die sie in Verlegenheit bringen mussten — natürlich nicht Zeller, du Bois, Kronecker u. a. Ich aber hatte mir gesagt, wenn ich einmal arbeiten müsste, so wollte ich auch etwas machen, an dessen Ausarbeitung ich selbst Interesse hätte, dann ist es schliesslich immer besser, dass sie mich zu gelehrt finden, als trivial.“

So blieb ihm nur wenig Zeit zur Fortführung seiner elektrodynamischen und elektrochemischen Untersuchungen, und nur zwei auf seine früheren akustischen und optischen Arbeiten bezügliche Ergänzungen, aber von bedeutendem Interesse, traten in diesem Jahre in die Oeffentlichkeit.

Die Erfindung des Telephons hatte ihm zuerst eine grosse Ueberraschung bereitet, aber die wissenschaftliche Begründung desselben war ihm leicht gewesen.

„Die Sache sei ihm so selbstverständlich erschienen“, schreibt er an du Bois, „dass er es nicht für nöthig gehalten habe, eine Theorie davon zu geben; aber freilich, er sei Jahre lang mit Fourier'schen Reihen im Kopfe zu Bett gegangen und wieder aufgestanden und dürfe in diesem Falle keinen Schluss von sich auf Andere machen.“

Du Bois hatte unmittelbar nach dem Bekanntwerden des Telephons die Bewahrung der Klangfarbe durch diesen Apparat dadurch erklärt, dass er sich jeden Klang in seine Partialtöne zerlegt dachte und sich darauf stützte, dass jeder dieser Partialtöne zwar in veränderter Phase, aber mit derselben Schwingungszahl und verhältnissmässiger Amplitude durch die elektrischen sinusoiden Schwingungen des Leitungsdrahtes auf das Telephon des Hörers übertragen werde. Da die Verschiebung der Phase nach den früheren akustischen Untersuchungen von Helmholtz für die Klangfarbe gleichgültig ist, so müsste die Klangfarbe der gesprochenen

Klänge hiernach bewahrt bleiben. Hermann hatte zum Zwecke einer erneuten theoretischen Begründung einen Versuch angestellt, bei welchem ein stromerregendes Telephon durch den einen Draht einer aus zwei neben einander liegenden Drähten gewickelten Spirale geschlossen war, während der zweite, von jenem vollständig isolirte Draht entweder direct mit dem Telephon des Beobachters oder auch mit dem einen Draht einer zweiten bifilaren Spirale verbunden wurde, deren zweiter Draht zu dem Telephon des Beobachters führt. Nun ist nach dem bekannten Gesetz der elektrodynamischen Induction deren elektromotorische Kraft dem Differentialquotienten der Stromintensität nach der Zeit proportional; da aber bei dem Differentialquotient des Sinus einer linearen Function der Zeit der Multiplicator der Zeit als Factor zur Amplitude tritt, so folgerte Hermann, dass bei dieser Uebertragung der elektrischen Oscillationen durch Induction in jeder der Doppelspiralen die Amplituden der elektrischen Oscillationen, welche den höheren Partialtönen jedes Klanges entsprechen, im Verhältniss ihrer grösseren Schwingungszahlen gegen die der tieferen zunehmen. Da hiernach einerseits das Verhältniss der Intensitäten der aus dem zweiten Telephon herausdringenden Partialtöne erheblich verändert werden muss, andererseits die Klangfarbe in der That dieselbe bleibt, so fand Hermann dies unvereinbar mit der Theorie, welche Helmholtz von der Klangfarbe in seinen früheren akustischen Untersuchungen entwickelt hatte.

Helmholtz zeigt nun in einer der Akademie am 11. Juli 1878 vorgelegten Arbeit „Telephon und Klangfarbe“, dass, wenn man nicht bloss die Induction jedes Stromkreises auf den benachbarten, sondern auch auf sich selbst berücksichtigt, die von Hermann gemachten Schlüsse gerade die Richtigkeit seiner Erklärung von der Klangfarbe bestätigen. Er weist nach, dass die Intensitäten der inducirten Ströme von der Schwingungszahl unabhängig, ihre Phasen dagegen

ein wenig verschoben sind, und erklärt zugleich aus den von ihm aufgestellten mathematischen Ausdrücken die stets gemachte Erfahrung, dass die tiefen Töne der Männerstimmen im Allgemeinen bei den gebräuchlichen Telephonen verhältnissmässig zu schwach erscheinen. Die Rückwirkung, welche von der schwingenden Eisenplatte im Telephon des Hörers ausgeht, berücksichtigte Helmholtz bei seiner Untersuchung deshalb nicht, weil deren Oscillationen jedenfalls eine sehr viel geringere Amplitude haben als die der entsprechenden Platte im Telephon des Sprechers. Wenn die Dauer der ohne äussere Störung ablaufenden Inductionsströme 0,01 Secunde übertrifft, so weichen nach seinen Untersuchungen bei directer Verbindung beider Telephone die den höchsten Tönen und Geräuschen entsprechenden elektrischen Oscillationen weder in ihrer Phase noch in ihrer relativen Stärke wesentlich von denen des erregenden Magnetismus ab; die tieferen Töne dagegen können in der Phase merklich verschoben und in der Stärke etwas benachtheiligt sein. Die Klangfarbe wird nicht durch Vermittelung der elektrischen Bewegungen, sondern nur durch die mitschwingenden Eisenplatten beeinflusst.

Eine andere interessante Ergänzung zu seinen Ausführungen in der physiologischen Optik, in welcher er noch die Convergenzstellung der Augen als eines der unsicheren Mittel zur Beurtheilung der Entfernung binocular gesehener Objecte bezeichnet, lieferte er am 10. Mai 1878 in einer der Physiologischen Gesellschaft zu Berlin unter dem Titel „Ueber die Bedeutung der Convergenzstellung der Augen für die Beurtheilung des Abstandes binocular gesehener Objecte“ vorgelegten Mittheilung. Helmholtz geht von der bekannten Beobachtung aus, dass, wenn man die Augenachsen auf benachbarte, nicht identische Stücke eines Tapetenmusters richtet, dasselbe und zwar in anderer Entfernung körperlich plastisch erscheint, und findet, dass bei einer Bewegung des Kopfes eine scheinbare Bewegung des Tapeten-

bildes eintritt. Dagegen macht das reelle, mit richtig gestellten Augenaxen binocular angeschaute Object keine derartige Bewegung, weil wir die durch die Verschiebung unseres Kopfes entstehende Winkelgeschwindigkeit erwarten. Es ergibt sich daraus, dass eine ruhende Convergenz, welche auf eine bestimmte Entfernung eingerichtet ist, deutlich und fein unterschieden wird von dem Grade der Convergenz, welcher der wirklichen Lage des Objectes entsprechen würde. Die nicht objective Natur des Tapetenbildes verräth sich dadurch, dass jede Bewegung des Kopfes eine scheinbare Winkelbewegung des Bildes hervorruft, und zwar bei Convergenz auf einen entfernteren Punkt nach entgegengesetzter Richtung als der Kopf, bei Convergenz auf einen näheren in derselben Richtung.

Von den Anstrengungen des Rectoratsjahres sucht Helmholtz im August 1878 Erholung in der Schweiz und besucht zunächst Boll in Davos, der dort schwer krank danieder lag und mit ihm seine Hypothesen zur Licht- und Farbenempfindung zu besprechen wünschte. In der Einleitung zu der nach dem Tode Boll's im Jahre 1881 erschienenen Arbeit giebt Helmholtz selbst ein kurzes Referat darüber. Es handelte sich hauptsächlich um die beiden wesentlichen Fragen, ob die drei von Boll unterschiedenen lichtempfindenden Schichten der Netzhaut als die Träger der drei elementaren Farbenempfindungen aufzufassen sind, und ferner, wie die Empfindungen der drei Grundfarben an die drei empfindlichen Schichten der Netzhaut zu vertheilen sind. Helmholtz verwirft die von Boll gemachten Hypothesen nicht, hält aber eine weiter vertiefte Untersuchung für nothwendig.

„Boll hat mir die Resultate seiner letzten Arbeiten auseinandergesetzt“, schreibt Helmholtz seiner Frau, „unter denen wieder viel Interessantes ist. Es machte mir den Eindruck, als wolle er die Bewahrung seiner Gedanken gegen Eventualitäten sichern. Das Meiste war zwar aufgeschrieben;

über Einiges wollte er meine Meinung haben. Insofern ist es mir lieb, dass ich hergegangen bin, es wird vielleicht Einiges zu seiner Beruhigung beitragen... Er ist wirklich ein Mann von allgemeiner Bildung und originalen Gedanken.“

Er reiste von dort zunächst über Samaden nach Pontresina, sodann über die italienischen Seen nach Mailand und von dort über Nervi nach Siena, das er schon seit langer Zeit zu sehen gewünscht. Am 24. September schreibt er seiner Frau aus Siena:

„Gestern und heute habe ich nun das alte, höchst merkwürdige Bergnest betrachtet. Es liegt auf ein Hügelkreuz zusammengedrängt, von hohen Mauern umgeben, die mit engen Strassen angefüllt sind. Die jetzige Verarmung sticht tief ab gegen die gewaltigen Reste ehemaliger Grösse. Es hat aber viel mehr Charakter als Pisa, die Kunstwerke erinnern an die Pisaner, namentlich der Dom, dessen Façade von Giovanni Pisani herrührt, aber viel schöner und reicher ist, als die des Domes zu Pisa. Er ist auch schwarz gebändert, aber bedeckt mit einem ungeheuren Reichthum feinsten Sculpturarbeit in schöner Anordnung mit feinen rothen Marmoreinrahmungen dazwischen. Im Innern ist eine Kanzel von Niccolo Pisano, dem Vater des Giovanni, welche an diejenige im Baptisterium zu Pisa erinnert, allerdings nicht so fein gegliedert ist, wie jene. Im Innern, das auch gebändert und an der Decke mit feinen Farbenbändern versehen ist, sind ganz merkwürdig schöne Graffiti aus weissem Marmor mit schwarzen Strichen, zum Theil auch noch mit grauem, gelbem und rothem Marmor weiter ausgeführt, die den Fussboden bedecken. Sie sind von wunderbarer Vollendung der Zeichnung und machen eine merkwürdige Wirkung, nur sind sie schon zum Theil durch die Fusstritte der Menschen sehr zerstört. Auch ausser dem Dome sind viel merkwürdige Palazzi, meist mit den schweren Quadern von Pitti und Strozzi in Florenz in der Stadt erhalten;

man begegnet ihnen auf Schritt und Tritt. Eine grosse Menge von Gemälden sind überall angehäuft, überwiegend alterthümlicher Art, meist nicht sehr gut erhalten, so dass man auch die Farbenwirkung nicht mehr hat und sich höchstens an den freundlichen stillen Gesichtern erbauen kann. Von den späteren aber reichen Sodoma und Beccafumi bis dicht an Raphael heran. Von ersterem kriegt man sonst nur Ungenügendes zu sehen; er ist geschickter Al fresco, er ist unruhiger und hat nicht den grossen dramatischen Zug wie Raphael, aber seine Gestalten könnten oft für raphaelitisch gelten und sind sehr liebenswürdig im Ausdruck. Um Siena ganz gerecht zu werden, müsste man sich tiefer in die Kunsthistorien versenken, als ich bisher gekommen bin — sehr charakteristisch ist auch der Platz vor dem Rathhause, dem Palazzo publico, welcher letztere etwas an den Dogenpalast erinnert, freilich alterthümlicher und nicht so königlich. Der Platz davor hat die Form und Vertiefung eines alten, halbkreisförmigen Theaters, dessen geraden Durchmesser der Palazzo einnimmt. Die Räume im Innern sind sehr gross angelegt und enthalten eine Menge von Gemälden, aber meist älterer Periode und halb geschwunden.“

Nach kurzem Aufenthalte in Rom eilt er in das ihm noch unbekanntes Neapel:

„Ich sitze jetzt wirklich in Neapel, und die Natur ist wirklich unglaublich schön hier. Das von Bonghi empfohlene Hotel ist hoch gelegen, circa 200 Fuss über dem Meere am Bergabhänge an der neuen Grenzstrasse der inneren Stadt, dem Corso Vittorio Emmanuele. Wo ich wohne, haben wir hinter uns eine senkrechte Felswand, vor uns einen tiefen Abhang, so dass wir zu ebener Erde hoch über die Dächer der nächsten Häuser wegsehen. Nachmittags, wenn die Sonne von meinem Balcon weg ist, brauche ich mich bloss darauf zu setzen, um die schönste Aussicht der Welt vor mir zu haben, nämlich den belebtesten Theil des Strandes von der hochgethürmten Häusergruppe der Santa

Lucia in der Mitte der Stadt bis zum Posilippo am Ende, darüber den Golf in dem grünblau purpurnen Schiller des Mittelmeeres, jenseits den Vesuv, die Landzunge mit Castellamare und Sorrent und die Insel Capri, dazwischen freien Meereshorizont. Der Vesuv hat sich eben einen neuen Ausblasekegel in seinem Krater gemacht. Gestern Abend und heute früh war der Gipfel in Wolken; heute Abend aber sah man die Dampfwolke, die zwar aschenhaltig, aber bei Tage doch weiss ist, glühroth von dem darunter liegenden Loch des Berges erleuchtet. Man erwartet einen neuen Ausbruch von Lava. Die älteren Lavaströme sind von hier aus gut zu erkennen, weil sie durch ihre schwarzgraue Farbe von den grünen Weinbergen abstechen. Es trifft sich sehr gut, dass ich den Berg werde in einiger Thätigkeit sehen können. Das Wetter ist sehr schön, sonnig, mit halb-bewölktem tiefblauem Himmel, heute zum ersten Male recht warm, aber nicht drückend gewesen, kein Staub und die Vegetation grün, wie ich sie in Italien nie gesehen. Die Ulmen mit den dicken Weingehängen sind wohl etwas bräunlich angehaucht, darunter aber der Boden mit der frischesten grünen Saat bedeckt. Es war auch bei Genua und Pisa viel grüner, als wir es sonst gesehen, aber doch nicht so grün wie hier . . .

. . . Heute habe ich für dieses Jahr meine letzte Bergübung auf dem Vesuv ausgeführt, in dessen Krater ich hineingestiegen und auf dessen glühender Lava ich herumgewandelt bin und auch glücklich und unverbrannt zurückgekehrt. Der Krater ist jetzt in seinem Grunde mit dieser Lava bedeckt, durch welche sich die Dämpfe an einer neuen Stelle Bahn gebrochen haben und sich um das Loch einen neuen Aschenkegel gebildet, an dem man sie noch fortdauernd weiterbauen sieht, indem von Zeit zu Zeit die von den heissen Dämpfen abgeschmolzene Masse des Berges ihnen den Weg verstopft und dann mit einer kanonenartigen Explosion herausgeschleudert wird, wobei in einer

dicken Dampf Wolke die glühenden Fetzen der zähen Schlacke herausgeworfen werden und dann auf den Aschenkegel zurückfallen und so diesen vergrössern. Alle fünf Minuten etwa war eine solche Detonation, und wir konnten etwa auf 100 Schritte heran, da das glühende Zeug ganz regelmässig immer auf die Oberfläche des Schlackenkegels selbst fiel. Die Lava zeigte in ihren neuesten Theilen noch eine äusserst langsame, kaum wahrnehmbare Bewegung. Man fühlte noch etwas Wärme durch die Sohlen, und wenn man Wasser in einen Spalt goss, zischte es sogleich auf. Einzelne Spalten der jüngsten Lava liessen noch das Glühen erkennen. Die Bergstöcke flammten darin auf, und der Führer holte etwas von der zähen, glühenden Masse heraus. Die alten Wände des Kraters dampften überall von durchdringendem Wasserdampf und waren mit gelbem Schwefel, weissem Salz und grünem Kupfer äusserst bunt gefärbt. Es war im höchsten Grade interessant und grossartig, freilich auch ziemlich mühsam und kostspielig . . .“

Von Neapel reiste er über Rom und Trient nach München zu Lenbach und von dort nach Berlin zurück.

Von den Rectoratsgeschäften frei wendet sich Helmholtz wieder ganz den seit einem Jahre unterbrochenen elektrischen Studien zu und geht zunächst von einer Untersuchung der Contacttheorie in der Elektrizität aus, über welche er der Akademie am 27. Februar 1879 eine Mittheilung, „Ueber elektrische Grenzschichten“ betitelt, vorlegte, deren Ausführung „Studien über elektrische Grenzschichten“ in Wiedemann's Annalen erschien. Wenn man in der Theorie der Vertheilung der Elektrizität in leitenden Körpern nur die aus den Wirkungen in die Ferne bekannten Kräfte dieses Agens in Rechnung zieht, so findet man, dass im Gleichgewichtszustand die Elektrizität das Innere der Körper verlässt und nur auf der Oberfläche derselben eine unendlich dünne Schicht bildet. Tritt aber im Werthe der Potentialfunction ein Sprung an der Grenze zweier ver-

schiedener Körper ein, wie z. B. bei der Berührung zweier Leiter unter dem Einfluss einer zwischen ihnen wirkenden galvanischen Kraft, so wird sich in diesem Falle längs der Grenzfläche eine elektrische Doppelschicht bilden; Helmholtz bezeichnet das Product der Dichtigkeit der positiven Elektrizität mit dem Abstände der beiden Schichten als das elektrische Moment der Schicht, wobei der Abstand als klein, aber nicht als unendlich klein anzusehen ist, weil sonst die zur Bildung der Schichten aufgewandte Arbeit unendlich gross sein müsste.

Diese bereits früher für Körper, welche durch Contact elektrisch werden, gemachte Annahme von der Bildung einer Doppelschicht erweitert nun Helmholtz auf den Fall der Berührung zweier beliebiger Körper. Die Ausdrücke für die Potentialdifferenz lassen ihn zunächst die Elektrizitätserregung durch Reibung erklären, und es gelingt ihm, die Verhältnisse der reibungselektrischen Spannungsreihe und die Theorie der Elektrisirmaschine befriedigend daraus zu entwickeln. Den wesentlichsten Gegenstand der Arbeit bildet aber die Darstellung der Theorie derjenigen Erscheinungen, welche beim Fließen einer Flüssigkeit längs einer festen Wand eintreten und welche den Uebergang liefern zwischen der Elektrizitätserregung durch den galvanischen Gegensatz ruhender Körper und der durch gleitende Reibung fester Körper. Von der Annahme ausgehend, dass die Flüssigkeit in galvanischem Gegensatz zu der Wand des Gefässes steht, und beide längs ihrer Grenzfläche eine elektrische Doppelschicht ausbilden, gelingt es ihm, zwei in nahem Zusammenhange stehende Phänomene zu erklären: Die Fortführung von Flüssigkeiten durch enge Röhren in Folge des Durchganges eines elektrischen Stromes durch dieselben, und die Entstehung elektromotorischer Kräfte, wenn Flüssigkeiten durch hydrostatischen Druck durch solche Röhren getrieben werden. Die theoretischen Entwicklungen sowie die Vergleiche mit den Resultaten der von G. Wiede-

mann und Quincke angestellten Versuche beziehen sich jedoch nur auf Capillarröhren, während bei weiteren Röhren an der Stelle, wo der Strom eintritt, complicirtere Bewegungserscheinungen vorkommen.

In dieser Abhandlung, sowie in der späteren Faraday-Rede und in einer Reihe der folgenden elektrischen Arbeiten kommt Helmholtz wiederholt auf den engen Zusammenhang zwischen den elektrischen und chemischen Kräften sowie auf die Erklärung des Volta'schen Fundamentalversuchs zu sprechen. Er nimmt an, dass elektrische und chemische Kräfte im Wesentlichen dieselben sind, und hält die Ansicht fest, dass das Vorhandensein dieser Kräfte, welche bei ungehemmter Wirkung chemische Processe zu Stande bringen, genügt, um die entsprechenden elektrischen Vertheilungen hervorzurufen, auch ehe die chemische Vereinigung eintritt; es erscheint ihm nicht nothwendig, dass immer ein fertiger, chemischer Process vorausgehen müsse, wo Volta'sche Ladungen sich finden. Helmholtz weiss sich darin in Uebereinstimmung mit Faraday, welcher die Identität der chemischen Verwandtschaftskräfte mit der Elektrizität annahm und der Vorstellung Ausdruck gab, dass die Atome an ihren elektrischen Ladungen und die entgegengesetzten Ladungen wieder an einander haften, ohne deshalb Molekularkräfte auszuschliessen, welche unmittelbar von Atom zu Atom wirken.

Die von Volta beschriebenen, vielfach bestrittenen Versuche hält Helmholtz für unanfechtbar; wenn zwischen einer Kupferplatte und einer Zinkplatte, welche in sehr geringer Entfernung, gut isolirt durch Schellackstäbe getragen, wie Platten eines Condensators einander gegenüberstehen, für einen Augenblick eine metallische Verbindung hergestellt wird, und sie dann wieder von einander entfernt werden, so lädt sich das Kupfer negativ, das Zink positiv. Die dabei wesentlichen Erfahrungssätze hatte Helmholtz schon in seiner „Erhaltung der Kraft“ in der Form aus-

gesprochen, dass, so lange nur Leiter erster Classe concurriren — d. h. Leiter, welche durch die Leitung keine elektrolytische Zersetzung erfahren — und so lange diese Leiter gleiche Temperatur haben und unbewegt sind, die elektrische Strömung immer zu einem Gleichgewichtszustande der Elektrizität führt; nur wenn dieselben durch eine äussere Kraft bewegt werden, können elektrische Strömungen oder concentrirtere Ansammlungen von Elektrizität entstehen. In diese Classe von Versuchen gehören nun aber die mit trockenen Metallplatten, welche durch trockene und isolirte Metalldrähte in Verbindung gesetzt werden. Da hier bei jeder neu eingetretenen Anordnung solcher Leiter von gleicher Temperatur die elektrische Bewegung schnell zu einem Gleichgewichtszustande führt, so darf man als ihre Ursache Kräfte einfacher Art betrachten, welche dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft folgen. Helmholtz hatte in jener Schrift die Annahme aufgestellt, dass diese Erscheinungen herrühren von Anziehungskräften, welche die verschiedenen Stoffe in verschiedener Stärke gegen die beiden Elektrizitäten haben, und welche nur in merkbar kleiner Entfernung wirken. Wenn ein Kupfer- und ein Zinkstück in Berührung sind und das Zink die positive Elektrizität stärker anzieht als das Kupfer, so wird diese dem Zink zuströmen und es positiv laden, während das Kupfer negativ zurückbleibt, bis die durch diese Ladung entstehende und in die Ferne wirkende elektrische Anziehung, welche die positive Elektrizität zum Kupfer zurückzieht, der Anziehung des Zinks das Gleichgewicht hält. Dann wird also die lebendige Kraft, welche ein Theilchen positiver Elektrizität unter dem Einfluss des Zinks und Kupfers allein bei seinem Uebergang vom Kupfer zum Zink gewinnt, gleich sein dem Verluste der lebendigen Kraft, welche dasselbe elektrische Theilchen durch die Anziehung der negativen Ladung des Kupfers und die Abstossung der positiven des Zinks auf demselben Wege verliert. Diese letzte Grösse, für die Ein-

heit der positiven Elektrizität berechnet, wird aber der Unterschied der elektrischen Potentialfunction des Kupfers und des Zinks genannt.

Diese Theorie fordert also, dass die bei der Berührung von Kupfer und Zink in ihnen vorhandene Elektrizität sich zwischen beiden so vertheilt, dass der Unterschied der elektrischen Potentialfunction eine bestimmte, von der Natur der Metalle abhängige Grösse erreicht. Daraus ist dann unmittelbar ersichtlich, dass Leiter dieser Art dem Gesetze der galvanischen Spannungsreihe unterliegen, und dass Ketten, aus drei oder mehr Leitern erster Classe von gleicher Temperatur gebildet, niemals einen galvanischen Strom hervorbringen, da die Anziehungskräfte der Metalle zu den Elektrizitäten immer nur bewirken, dass die Elektrizitäten demjenigen Gleichgewichtszustande zustreben, wie er durch diese Anziehungskräfte gefordert ist. Volta nahm eine Scheidungskraft an, welche in der Berührungsfläche ihren Sitz haben sollte, und glaubte, dass die positive Elektrizität, welche durch die Berührungsfläche mit dem Kupfer einmal in das Zink eingetreten sei, ohne weiteres Hinderniss in jeden Leiter wieder ausfliessen könne, welcher ihr keine entsprechende neue Scheidungskraft an der Berührungsfläche entgegenstelle; nach Helmholtz's Ansicht dagegen wird die positive Elektrizität durch eine Anziehung im Zink festgehalten, und es muss durch Ueberwindung dieser Anziehung eine entsprechende Arbeit geleistet werden, ehe mittelst irgend einer anderen Naturkraft die positive Elektrizität dem Zink wieder genommen wird. Die zersetzbaren Leiter der Elektrizität folgen aber deshalb der Spannungsreihe nicht, weil sie durch jede elektrische Bewegung zersetzt werden und somit, während diese Zersetzung vor sich geht, in ihnen gar kein ruhender Gleichgewichtszustand entstehen kann. Helmholtz suchte seine Theorie durch eine grosse Reihe der feinsten Versuche zu bewahrheiten, welche er mit Hilfe des Quadrantelektrometers von W. Thomson anstellte.