

Helmholtz als Präsident der Physikalisch- Technischen Reichsanstalt von Ostern 1888 bis zum 8. September 1894.

Während der letzten Wintermonate des Jahres 1887 und des ganzen darauf folgenden Sommers nahmen die Einrichtung und Organisation der Reichsanstalt, vor allem die Disposition über die wissenschaftlichen und technischen Aufgaben, welche derselben oblagen, alle Gedanken, Kraft und Zeit von Helmholtz in Anspruch, und überraschend schnell wurde mit Hülfe ausgezeichnete Kräfte, die ihm zur Seite standen, alles in geordnete Wege geleitet.

Schon nach kurzer Zeit konnte eine Deputation des Curatoriums der Anstalt ihm den Dank dafür aussprechen,

„dass er auf der Höhe seines Wirkens seine Geistesarbeit in den unmittelbaren Dienst des Gesamtvaterlandes gestellt habe und an die Spitze der hochbedeutsamen Anstalt getreten sei, welche, eine Erweiterung der Reichsverfassung verkörpernd, dazu berufen sei, durch wissenschaftliche Ergründung geheimer Naturkräfte nicht nur die Herrlichkeit, sondern auch die Macht und Wohlfahrt des neuen Deutschen Reiches zu pflegen und zu erhöhen. Er sei ihnen nicht nur verehrungswürdig, sondern theuer und ein Vorbild geworden in der Schlichtheit, Lauterkeit und Treue des Sinnes und der That, durch welche er es vermocht habe, binnen überraschend kurzer

Frist das von Reichswegen ihm vertraute Werk zu demjenigen hohen Ansehen zu erheben, welches es jetzt bereits genieße“,

und der berufenste Vertreter, der ausgezeichnete Director der Anstalt, Loewenherz, durfte hinzufügen:

„Von der doppelten Aufgabe der Anstalt liegt die eine, die Förderung der Wissenschaft durch Anstellung umfassender fundamentaler Untersuchungen, ganz in dem Rahmen Ihrer früheren bahnbrechenden Forschungen. Neu und eigenartig aber stellt sich die andere Aufgabe dar, das Wirken für zweckentsprechende Anwendung der wissenschaftlichen Ergebnisse in den mannigfaltigen Zweigen der menschlichen Thätigkeit. Welch' hohes Maass von Dankbarkeit die Feintechnik und die Technik überhaupt Ihnen dafür schuldet, dass Sie sich entschlossen haben, Ihre Kräfte auch dieser neuen Forderung des Zeitalters zu widmen, das kann Niemand besser ermessen als wir, die wir als Gehülfen Ihnen zur Seite gestellt sind; denn wir kennen das lebhafteste und fortgesetzte Interesse, welches Sie auch dieser Aufgabe widmen, wir wissen, wie sehr Ihnen die Lösung der zahlreichen, uns hier entgegen tretenden Fragen am Herzen liegt.“

Nach einer unausgesetzten monatelangen Arbeit musste er aber im Interesse seiner Gesundheit darauf bedacht sein, eine Pause in seiner Thätigkeit eintreten zu lassen. Er ging zunächst in den ersten Tagen des August 1888 mit seiner Frau nach Bayreuth, wo er sich wieder dem Genuss der „ganz unvergleichlich schönen Meistersinger“ hingab, und seine Frau ist nur der Dolmetsch seiner Gefühle, wenn sie ihrer Tochter schreibt:

„Bayreuth, liebe Leute, ist zwar eiskalt gewesen und nur für den geistigen Menschen eine Wonne — aber die ist gross, und es ist eigentlich schön, dass das Irdische so ganz in den Hintergrund dort tritt Was die „hohe Frau“, um mit Robert zu reden, geleistet hat, mit diesen

idealen Vorstellungen, übersteigt die Begriffe. Ihr grosser künstlerischer Wille steht hinter jedem Mitwirkenden und ihr Geschmack über Allem. Alle Künstler sind einig und Alles liebt sich . . .“

Die Verehrung von Helmholtz für Richard Wagner mögen die schönen Worte von Frau Cosima Wagner bezeugen, welche sie nach des grossen Forschers Tode seiner Frau sandte:

„Mit Wehmuth gedenke ich, welch' ein Freund und Gönner von mir schied. Wie er, der Angesehenste seines Standes, seine Sympathie mir bekundete, zu einer Zeit und inmitten einer Welt, wovon die erste verständnisslos war, die zweite verständnisslos blieb.“

Von Bayreuth aus wendet sich Helmholtz wieder nach Pontresina, um die nie vergeblich erhoffte Erholung auch diesmal dort zu finden. Sehr glücklich ist er — wie aus dem warmen Ton seiner Briefe ersichtlich —, dass sein Sohn Robert sich durch mehrere experimentelle Arbeiten einen geachteten Namen unter den Physikern erworben, und dass dessen Neigung sich immer mehr den mathematisch-physikalischen Studien zuwendet. Am 18. August schreibt er demselben von Pontresina aus:

„ Was Deine Probleme betrifft, so weiss ich, dass die Astronomen die Frage discutirt haben, ob die Gravitation Zeit brauche. Welche Genauigkeit aber dabei zu erreichen ist, weiss ich nicht. Sie behaupten, die Beobachtung spräche gegen diese Hypothese. Jedenfalls lohnt es nicht, eine solche Frage anzugreifen, ehe man nicht weiss, welche Beobachtungen möglich wären, und wie auszuführen, um sie zu entscheiden.

Die thermoelektrischen Ströme im Erdkörper werden ein sehr complicirtes Problem abgeben. Eine Anordnung verschiedener concentrischer Kugelschichten in der Erdrinde würde nur Ströme geben, die geschlossenen Ringmagneten entsprechen und nicht nach aussen wirken. Um die Gravitation

des Mondes zu messen, sind unsere bisherigen Methoden, die Schwerkraft zu messen, noch nicht genau genug. Uebrigens suchen die Geodäten eben nach besseren Methoden, und eine akademische Preisfrage ist gestellt worden über den Einfluss der Aufhängung der Pendel auf ihre Schwingungsdauer (Elasticität der Unterlage, Form der Schneide, beziehlich Länge und Elasticität der Feder, an der sie hängen).

Ich für mein Theil habe allerdings, was ich von Mathematik weiss, nur an den Problemen, die ich zu lösen versuchte, gelernt und konnte durch rein abstracte Studien, ohne Anwendung auf Probleme, nie etwas begreifen. Aber Du wirst Dir zunächst einfachere Aufgaben wählen müssen, sei es aus der Mechanik oder aus der Lehre von den Potentialfunctionen, elektrische Vertheilung oder Vertheilung elektrischer Ströme. Die Theorie des Pendels z. B., welches an einer elastischen Uhrfeder aufgehängt ist, wäre ein gutes Beispiel. Diese Art der Aufhängung ist nämlich viel weniger der Reibung unterworfen als die auf Schneiden...“

Seinen Geburtstag verlebt er wie schon häufig in Pontresina, aber vereint mit seiner Frau und erhält wie immer eine reiche Zahl verehrungsvoller Glückwünsche; dieser erste Geburtstag in seiner neuen Stellung bringt ihm einen Brief des Mathematikers L. Kronecker vom 28. August, der in Form und Inhalt gleich interessant ist:

„In wenigen Tagen, am letzten dieses Monats, vollenden Sie das 67. Jahr ihres thatenreichen, über so viele Gebiete Licht spendenden und glanzvollen Lebens! Ich bringe Ihnen dazu meine wärmsten Glückwünsche dar Die Zahl 67 ist die letzte jener drei kritischen Zahlen im ersten Hundert, für welche der Beweis jenes berühmten Fermat'schen Satzes, der die grössten Mathematiker so lange beschäftigt hat, noch nicht erbracht ist. Die grössten arithmetischen Fährlichkeiten des ersten Hundert Ihrer Lebensjahre haben Sie also bei Empfang dieser Zeilen glücklich überstanden, und ich wünsche Ihnen von Herzen, dass Sie alle physischen

Fährlichkeiten ebenso sicher und leicht überstehen mögen! Dieser 31. August ist der erste Ihrer Geburtstage, den Sie in dem neuen Lebensstadium, in welches Sie das neue von Ihnen übernommene Amt geführt hat, begehen. Mögen Sie darin volle Befriedigung finden und eine lange Reihe von Jahren zum Segen der Wissenschaft Ihre grossartige Wirksamkeit ausüben, dabei aber auch der Universität — wie Sie es zugesagt haben und wie es jener Erlass betreffend „die Erhaltung der Kraft Helmholtz“ gestattet — Ihre segensreiche Lehrthätigkeit aufs Intensivste widmen. Nach diesem Stadium, in welchem Sie ausschliesslich mathematische Physik vortragen, wird — ich bin ebenso von dem Wunsche als der Ueberzeugung beseelt — ein Stadium nachkommen, in welchem Sie sich der reinen Mathematik zuwenden und auch dahinein die Leuchte Ihres Geistes tragen. Sie haben ja an vielen Stellen schon angesetzt, und es ist — wie mir schon lange scheint — nur die Consequenz des in der Geschichte der Wissenschaften wohl einzig dastehenden Entwicklungsganges Ihres wissenschaftlichen Lebens, dass es von der rechten Seite praktischst-wissenschaftlicher Medicin beginnend, durch die Physiologie zur experimentellen und theoretischen Physik weiterschreitend, schliesslich auf der äussersten Linken in der ganz abstracten „reinen“ Mathematik anlangt. Der Reichthum praktischer Erfahrung, gesunder und interessanter Probleme, den Sie der Mathematik zubringen, wird derselben — wie im vorigen Jahrhundert die Arbeit der Astronomen — sicher dann eine neue Richtung und damit einen neuen Aufschwung geben; denn die einseitig nur in sich selbst gekehrten mathematischen Speculationen führen in sterile Gebiete. Also, kommen Sie auch zu uns hinüber, hochverehrter Freund, und drücken Sie auch in die Bahnen der reinen Mathematik die unvergänglichen Spuren Ihrer originellen und kühnen Forschungsschritte, damit auch dort die Pfade der Zukunft damit bezeichnet werden.“

Gerade in dieser Zeit stand Helmholtz auch wirklich schon mitten in seinen grossen mathematischen Untersuchungen über die monocyclischen Systeme und das Princip der kleinsten Wirkung!

Die neue Auflage der physiologischen Optik nöthigte ihn zugleich, beständig eine fortlaufende Reihe schwieriger optischer Fragen nachzuprüfen und ihre Beantwortung neu zu gestalten. Am 2. November 1888 machte er der Physikalischen Gesellschaft eine kurze Mittheilung „Ueber das Eigenlicht der Netzhaut“, die in der Zeitschrift für Physiologie und Psychologie der Sinnesorgane unter dem Titel „Die Störung der Wahrnehmung kleinster Helligkeitsunterschiede durch das Eigenlicht der Netzhaut“ im Jahre 1890 näher ausgeführt ist.

Das Fechner'sche Gesetz, wonach die kleinsten unterscheidbaren Helligkeitsunterschiede der ganzen Helligkeit proportional sein sollen, hat insofern nicht allgemeine Gültigkeit, als die Empfindlichkeit des Auges sowohl für höchste Lichtintensitäten wie für niedrigste sich geringer erweist, als sie nach dem Gesetz sein sollte. Während für starkes Licht der Grund darin zu suchen ist, dass durch dasselbe die Empfindungsstärke der getroffenen Netzhautstelle herabgesetzt wird, wurde für die niedrigsten Helligkeiten von Fechner das Eigenlicht der Netzhaut als Grund dafür angesehen. Da nun die Stärke des Eigenlichts, die Volkmann auf Grund dieser Hypothese berechnete, einen viel zu geringen Werth ergab, so suchte Helmholtz den Grund in einer anderen Erscheinung. Er fand, dass das Eigenlicht nicht gleichmässig über den Grund der Netzhaut verbreitet ist, sondern dass wir es stets unregelmässig fleckig sehen, und dass, was man von dieser innern Erregung der Netzhaut unter gewöhnlichen Umständen bei schwacher äusserer Beleuchtung überhaupt wahrnimmt, nur die lokalen Unterschiede der Helligkeit in den Flecken sind, während man nur ausnahmsweise Gelegenheit hat, die mittlere Helligkeit

des Grundes durch Vergleichung mit noch dunkleren Feldern abzuschätzen. Helmholtz führt nun eine Reihe höchst interessanter Versuche aus, welche zeigten, dass die Fleckigkeit des Eigenlichts in der That das Haupthinderniss für die Wahrnehmung sehr schwach beleuchteter, namentlich kleinerer Objecte bildet, indem dieselben zwischen den Flecken des Eigenlichts verschwinden und mit solchen verwechselt werden. Es ergab sich bei seinen Versuchen auch die interessante Thatsache, dass eine grosse, schwaches Licht aussendende ruhende Fläche vollkommen unter dem Eigenlicht der Netzhaut verschwinden kann, während sie genug Licht aussendet, um von ihr beleuchtete bewegte Objecte erkennbar zu machen. Helmholtz entwirft endlich noch eine mathematische Theorie des Einflusses der fleckigen Vertheilung des Eigenlichts der Netzhaut auf die Grösse der Unterschiedsschwellen, die eine hinreichend gute Uebereinstimmung mit den Beobachtungen liefert, und ist auch im Stande, die Abweichungen vom Fechner'schen Gesetz für hohe Lichtstärken mit seinen mathematischen Ausdrücken vereinbar zu machen.

Die Weiterentwicklung der Elektrizitätslehre auf Grund der Faraday-Maxwell'schen Hypothese hatte Helmholtz, wie wir sahen, ganz seinem Freunde und Schüler Hertz überlassen.

Derselbe schreibt ihm am 30. November:

„Als Sie mich in Berlin fragten, ob ich weitere Versuche über die elektrischen Wellen angestellt habe, wusste ich nichts von Bedeutung zu berichten, gegenwärtig habe ich indessen einen weiteren Fortschritt gemacht, welcher die Verbindung zwischen Licht und Elektrizität, wie mir scheint, dauernd festlegt, und über welchen es mich daher drängt, Ihnen zu berichten.

Zunächst zeigte mir ein glücklicher Zufall, dass sich nicht nur Wellen von mehreren Metern Länge erzeugen lassen, sondern dass sich auch mit viel kürzeren Wellen

arbeiten lässt, wodurch an Bequemlichkeit unendlich gewonnen wird. Mit Wellen von 33 cm Länge in Luft habe ich meine früheren Resultate zum Theil mit Vorthail bestätigen können. Mit diesen kurzen Wellen habe ich nun auch die Versuche wiederholt, die Kraft durch Hohlspiegel in die Ferne zu senden und einen Strahl herzustellen und zwar mit bestem Erfolge. Ich stelle meine primären und secundären Leiter in die Brennnlinie eines parabolisch gekrümmten Bleches von 2 m Höhe und 2 m Breite und finde nun aus dem Spiegel einen Strahl austreten, der in wohlbegrenzter Breite von etwa $1\frac{1}{2}$ m in einem zweiten Hohlspiegel bis auf 16 m Entfernung, und wahrscheinlich weiter, wahrnehmbar ist. Man kann den Strahl durch Drehen des Spiegels richten, man kann an ihm die geradlinige Ausbreitung, die Schattengebung vollkommen nachweisen. Ein Mensch z. B., der die Bahn des Strahles kreuzt, lässt den Funkenstrom in dem inducirten Spiegel vollständig erlöschen. Gestern ist es mir nun auch geglückt, die regelmässige Reflexion des Strahles deutlicher nachzuweisen, als ich gehofft hatte. Stellte ich die Hohlspiegel neben einander, so war ein Einfluss von *A* auf *B* nicht vorhanden; wurde nun aber vor die Hohlspiegel eine ebene metallische Wand gestellt, so traten in *B* sofort Funken auf, die noch wahrgenommen wurden, wenn die Wand 10 m von den Spiegeln entfernt war. Ebenso konnte ich die Reflexion unter 45° herstellen, indem ich zwei benachbarte Zimmer benutzte. Das Schliessen der dieselben trennenden Holzthüren behindert das Zustandekommen des secundären Funkens durchaus nicht. Dagegen hören die Funken auf, wenn die ebene spiegelnde Wand nur um etwa 5° nach der einen oder anderen Seite aus der richtigen Lage gedreht wird; daraus ersieht man, dass die Reflexion die regelmässige, keine diffuse ist.

Verzeihen Sie, hochverehrter Herr Geheimrath, meinen Eifer, wenn ich suche, diese Beobachtungen so bald an Ihr

Ohr zu tragen. Ich beabsichtige, sie zu wiederholen und zu erweitern und sie dann zu einem Akademiebericht zusammenzustellen, und hoffe, Sie werden denselben gütig entgegennehmen, wenn Sie auch jetzt gewiss sehr überhäuft mit solchen Geschäften sind.“

Helmholtz antwortet ihm in freudigster Aufregung:

„Ueber Ihre letzten Thaten habe ich mich sehr gefreut. Es sind Dinge, an deren Möglichkeit ich Jahre lang herumgenagt habe, um ein Loch zu finden, wo man ihnen beikommen könnte, und mir ist desshalb auch der ganze Gedankengang vertraut und ihre grosse Wichtigkeit gleich einleuchtend.“

Nachdem Hertz bereits zu Ostern 1885 als ordentlicher Professor der Physik an die technische Hochschule zu Karlsruhe berufen war, wurde ihm durch Helmholtz nach dem Tode von Kirchhoff und Clausius die Wahl gestellt, einem Rufe nach Berlin oder Bonn zu folgen; als er sich sogleich für Bonn entschieden hatte, indem er „die Bonner Professur als Experimentalprofessur der grossen Ehre vorzog, welche die Facultät in Berlin ihm zugedacht hat“, schreibt ihm Helmholtz am 15. December 1888:

„Es thut mir persönlich leid, dass Sie nicht nach Berlin kommen wollen, aber, wie ich Ihnen schon früher sagte, ich glaube allerdings, dass Sie in Ihrem eigenen Interesse ganz richtig handeln, wenn Sie Bonn zunächst vorziehen. Wer noch viel wissenschaftliche Aufgaben vor sich sieht, die er angreifen möchte, bleibt den grossen Städten besser fern. Am Ende des Lebens, wenn es mehr darauf ankommt, den errungenen Standpunkt für die Heranziehung der neuen Generation und für die Staatsverwaltung zu verwerthen, ist es anders.“

Aus der Fülle der Auszeichnungen, welche Helmholtz in dieser Zeit zu Theil wurden, mag nur hervorgehoben werden, dass ihm die Doctorwürde der Universität Bologna verliehen, dass er zum Ehrenmitglied der Kaiserlich russischen

Akademie der Medicin und zum Professor de chimie biologique an der Universität von Madrid ernannt wurde.

Die Fortführung seiner meteorologischen Studien während des folgenden Winters und die dadurch nothwendig gewordene grössere Enthaltung von öffentlichen Vorträgen und Reden in wissenschaftlichen Versammlungen unterbrach er nur einmal in der ausgesprochenen Absicht, seinem nur zu früh verstorbenen Jugendfreunde und späterem vielfachen Gegner in der Werthschätzung seiner grossen wissenschaftlichen Verdienste gerecht zu werden.

Zur Erinnerung an R. Clausius hielt Helmholtz am 11. Januar 1889 einen Vortrag in der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin, in dem er trotz der vielen Streitpunkte in früherer Zeit die grossen Verdienste Clausius' hervorzuheben sich bemühte. Alle seine eigenen Untersuchungen der letzten Jahre, welche die Entwicklung der modernen Mechanik der Chemie betrafen, beruhten, so weit sie fest und sicher waren, auf dem schon von Sadi Carnot, aber nur in einer für engste Temperaturintervalle richtigen Form gegebenen, sogenannten zweiten Satze der mechanischen Wärmetheorie, dessen Bedeutung und Allgemeingültigkeit erst durch die von Clausius gegebene strenge Fassung gewonnen wurde. „Er ist nicht nur eine der wichtigsten, sondern auch eine der überraschendsten und originellsten Leistungen alter und neuer Physik“, weil derselbe einer der wenigen ist, welche absolute Allgemeingültigkeit unabhängig von aller Verschiedenheit der Naturkörper beanspruchen können. Helmholtz nennt das Gesetz originell deshalb, weil es trotz seiner uneingeschränkten Allgemeingültigkeit einen allgemeinen und strengen mechanischen Beweis noch nicht erhalten hat. Clausius und W. Thomson haben gleichzeitig die Untersuchung der Frage unternommen, wie Carnot's Gesetz mit dem Gesetz des mechanischen Wärmeäquivalents zu verbinden sei, doch spricht Helmholtz Clausius die Priorität zu, welcher seine Resultate schon

im Mai 1850 veröffentlicht hat; nur in ihren numerischen Werthen für die absolute Temperatur waren die beiden Forscher von verschiedenen Hypothesen ausgegangen und waren deshalb zu verschiedenen Schlüssen gekommen. Helmholtz hebt am Schlusse seiner die grösste Werthschätzung und Bewunderung der Clausius'schen Untersuchungen bekundenden Rede hervor, dass nun erst die Möglichkeit gegeben war, einen von den besonderen Eigenschaften irgend eines einzelnen Naturkörpers freien Begriff der absoluten Temperatur auszubilden; aber, was das Wichtigste war, es wurde dadurch ein ganz besonderer Charakter der Wärmebewegung festgestellt, welcher dieselbe von allen anderen Kraftäquivalenten unterscheidet; während die anderen beliebig in einander übergeführt werden können, ist dies für die Wärme nur in begrenztem Maasse der Fall, wenigstens so lange wir nicht auf den Nullpunkt der absoluten Temperatur zurückgehen können.

Wie Helmholtz gerade über diese letzte schwierige Frage gedacht hat, haben wir oben bei der Besprechung seiner monocyclischen Studien gesehen, wo er die geordnete Bewegung, welche durch eine continuirliche Function der Coordinaten und der Zeit definirt ist, von der ungeordneten Bewegung, bei welcher die Bewegung benachbarter Theilchen keine Art von Aehnlichkeit mit einander hat, unterscheidet. Er betrachtet die Wärmebewegung auch als eine ungeordnete, sieht aber das Hinderniss, dieselbe in eine geordnete zurückzuführen, nur in der Beschränktheit der Hilfsmittel der menschlichen Natur; könnten wir diese Mängel überwinden, so müssten alle Processe wieder rückwärts verlaufen. Allerdings bestehen, wie er in seinen Vorlesungen wiederholt andeutete, bei einigen Pflanzen Vegetationsprocesse, wo keine Kraftquelle sichtbar ist, wo also die Frage aufstösst, ob sie etwa die Wärmebewegung ordnen.

In den Osterferien erhielt Helmholtz die Nachricht von

dem Tode seines alten, treuen Freundes Donders: „Die mir von Ihnen übersendete Nachricht von Professor Donders' Tode“, schreibt er am 27. März an Engelmann, „hat mich ganz unvorbereitet getroffen und mich auf das tiefste erschüttert. . . . Ich habe nie einen Gelehrten und ausgezeichneten Forscher kennen gelernt, bei dem das Bewusstsein, für einen idealen Zweck zu arbeiten, so warm und begeistert hervorgetreten wäre. Die Berührung mit ihm hatte dadurch etwas ungemein Wohlthuendes und Hergewinnendes“

Nachdem er im Juni 1889 von seiner bisherigen Dienstwohnung in Berlin nach dem in der Marchstrasse in Charlottenburg belegenen Wohnhause des Präsidenten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt übergesiedelt war, legte er zunächst alle anderen wissenschaftlichen Arbeiten bei Seite und vertiefte sich ganz, soweit seine Zeit nicht durch die anstrengende Beschäftigung an der Reichsanstalt in Anspruch genommen war, in seine meteorologischen Arbeiten. Am 31. Mai 1888 und am 25. Juli 1889 legte er der Berliner Akademie zwei Mittheilungen „Ueber atmosphärische Bewegungen“ vor, deren Inhalt zum Theil, wenn auch in etwas anderer Form, den Gegenstand seines im September 1889 auf der Heidelberger Naturforscherversammlung gehaltenen Vortrages „Ueber die Bewegung der Atmosphäre“ bildete.

Helmholtz wendet zunächst auf Euler's hydrodynamische Gleichungen für eine der Reibung unterworfenen Flüssigkeit die schon mehrfach von ihm benutzte Ueberlegung an, dass die particulären Integrale derselben auch für den Fall gelten, dass die Coordinaten, die Zeit und die Reibungsconstante auf ein beliebiges n -faches vergrößert werden, während die Kräfte, der Druck und die Geschwindigkeitscomponenten denselben Werth behalten. Es ergibt sich daraus, dass die Bewegung in analoger Weise, nur langsamer von Statten geht, wenn bei der Bewegung der vergrößerten Masse auch gleichzeitig die

Reibungsconstante entsprechend vergrößert werden kann. Bleibt der Werth der letzteren jedoch unverändert, so wird der Einfluss der Reibung auf die vergrößerte Masse sehr viel kleiner werden, und also die grosse Masse die Wirkungen des Beharrungsvermögens viel weniger durch die Reibung beeinflusst zeigen. Da nun die Dichtigkeit und das Potential unverändert bleiben sollten, also die Kräfte, während der ganze Process zu seinem Ablauf die n -fache Zeit erfordert, auf den n -ten Theil der früheren Kräfte reducirt werden, so schliesst Helmholtz, dass sich in verkleinerten Modellen die in verschiedenen Höhen verschiedene Dichtigkeit der Luft nicht nachahmen lässt, da wir die Schwerkraft nicht entsprechend ändern können. Er zeigt nun an speciellen Fällen, wie ausserordentlich unbedeutend die Wirkungen der Reibung an der Erdoberfläche, die im Verlaufe eines Jahres zu Stande kommen können, für die höheren Luftschichten sein würden. Nur an festen Grenzen des von der Atmosphäre erfüllten Raumes oder an inneren Trennungsflächen, wo Ströme verschiedener Geschwindigkeit an einander grenzen, werden die Flächenkräfte bei Vergrößerung des Maassstabes dieselben bleiben, auch wenn man die Reibungscoefficienten nicht mit vergrößert. Es wird daher nur an der Bodenfläche und an den bei Wirbelbewegungen vorkommenden Trennungsflächen die Vernichtung lebendiger Kraft durch Reibung stattfinden können. Ebenso wird auch für den Wärmeaustausch fast nur Strahlung und Convection der Wärme durch Luftbewegung in Betracht kommen ausser an den Grenzen gegen den Erdboden und an inneren Discontinuitätsflächen, wo auch Temperaturänderungen durch die eigentliche Leitung der Wärme, Diffusion der bewegten Gasmolekeln zwischen wärmeren und kälteren Schichten vor sich gehen können. Mit Zugrundelegung der Maxwell'schen Reibungsconstanten für Luft wird gezeigt, dass eine durch Reibung verzögerte Bewegung bei 0° in 42747 Jahren auf die Hälfte ihrer Ge-

schwindigkeit herabgehen würde, falls der Abstand beider Schichten gleich 8026 m, der mittleren Höhe einer Atmosphäre von constanter Dichtigkeit ist, und die niedere Temperatur der oberen Schichten würde den Einfluss der Reibung noch weiter verringern. Ebenso würde durch Wärmeleitung der Temperaturunterschied der oberen und unteren Fläche einer Atmosphäre von 8026 m Höhe auf seine Hälfte in 36164 Jahren reducirt werden.

„Für die Meteorologie“, sagt v. Bezold, „werden seine Untersuchungen über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen in der Folgezeit noch hohe Bedeutung erlangen.“

Da nun ferner aus einer leichten Rechnung hervorgeht, dass eine ungehemmte Circulation der Luft in der Passatzone selbst nicht bis zu 30° Breite bestehen kann, die Beobachtungen aber in der That eine Circulation der Luft in der Passatzone nachweisen, so wirft Helmholtz die Frage auf, wodurch die westöstliche Geschwindigkeit dieser Luftmassen gehemmt und verändert wird.

Nachdem er die Bedingung für das Gleichgewicht rotirender und verschieden erwärmter Luftringe aufgestellt, deren Axe mit der Erdaxe zusammenfällt, und die durch den Druck der benachbarten ähnlichen Ringe bald mehr nördlich, bald südlich geschoben werden, stützt er sich auf das bekannte mechanische Princip, wonach das für die Einheit der Masse berechnete Rotationsmoment, welches dem Producte der Winkelgeschwindigkeit des Ringes und dem Quadrate von dessen Radius gleich ist, constant bleibt. Er findet, dass der Druck sowohl vom Pol wie vom Aequator her gegen die Stelle hin wächst, wo der Ring Windstille macht, d. h. die Winkelgeschwindigkeit des Ringes der Rotationsgeschwindigkeit der Erde gleich ist. Hierauf sich stützend, stellt er die Gleichgewichtsbedingung für an einander stossende Schichten von verschiedenen Werthen der Temperatur der betreffenden Luftmassen und verschiedener Rotationsgeschwindigkeit auf und findet aus denselben, dass das

Gleichgewicht stabil sein wird, wenn die wärmehaltigeren Schichten in der Richtung nach dem Himmelspol zu höher liegen; er bestimmt sodann die Lage der Schichten bei continuirlicher Aenderung der Rotationsgeschwindigkeit mit dem Wärmegehalt.

Nun geht er dazu über, die allmählichen Veränderungen des Gleichgewichts durch Reibung und Erwärmung zu untersuchen. Indem er von den bekannten Erscheinungen der Ausbreitung von Temperaturänderungen in der Luft ausgeht, je nachdem unten oder oben Wärme zugeführt oder entzogen wird, findet er, dass, während unten meist continuirliche Uebergänge in der Temperatur und dem Rotationsmoment der Schichten stattfinden, oben die Ränder der sich ausbreitenden Calmenzone in unmittelbare Berührung mit den unterliegenden Schichten von geringerer Rotationsgeschwindigkeit und geringerer Temperatur treten. Er knüpft nun an seine älteren Untersuchungen über discontinuirliche Bewegungen der Flüssigkeiten an, bei denen an gewissen Trennungsflächen, Wirbelflächen, plötzliche Sprünge in den Werthen der tangentialen Geschwindigkeiten auf der einen und anderen Seite der Fläche vorkommen, und charakterisirt die eigenthümliche Art des labilen Gleichgewichts, welches solche Flächen zeigen. Er weist auf die bekannten physikalischen Beispiele solcher Flächen hin, wie sie sich in den sensiblen Flammen, cylindrischen Strahlen rauchiger Luft und dem Blatt bewegter Luft an der Anblaseöffnung der Orgelpfeifen darbieten. So werden sich nun zwischen etwas schwereren und darüber liegenden etwas leichteren Luftschichten scharfe Grenzen ausbilden, es wird das Gleichgewicht an der Grenze labil sein, und die Bewegungen sich früher oder später in Wirbel auflösen, die zu ausgedehnten Vermischungen beider Schichten führen. Da die untere Schicht schwerer ist, so werden die Störungen ähnlich den Wasserwogen verlaufen, die durch Wind erregt werden, wenn auch der Unterschied des specifischen Gewichts in jenem

Falle viel geringer ist. Es werden in Fällen, wo zwei Luftmassen von verschiedener Temperatur über einander hinwegfließen, an der Grenzfläche Wellen entstehen müssen. Diese Wellen können sich dem Auge durch plötzlich auftretende Reihen regelmässig geordneter paralleler Wolkenstreifen verrathen, die durch einen neuen Anstoss abermals nach anderer Richtung gefurcht werden können und dann die sogenannten Lämmer- oder Schäfchenwolken, die gestreiften Cirruswolken, bilden; sie werden aber erst sichtbar, wenn die untere Schicht so weit mit Wasserdampf gesättigt ist, dass die Wellenberge, in denen der Druck geringer ist, Nebel zu bilden anfangen. Dass diese Erklärung auch die richtige ist, haben, wie Bezold hervorhebt, die während der letzten Jahre von Berlin aus unternommenen wissenschaftlichen Luftballonfahrten unwiderleglich bewiesen, indem das Durchschneiden einer Wolkenschicht von der oben angegebenen Art jedesmal von einem plötzlichen Sprunge der Temperatur begleitet war.

Nun war der Weg vorgezeichnet, um aus dem Auftreten von Wellen Schlüsse zu ziehen auf den Luftaustausch in den hohen Regionen der Atmosphäre. Die gemischten Schichten werden mittlere Temperaturen und Rotationsmomente erhalten, und ihre Gleichgewichtslage wird also näher gegen den Aequator hin liegen als die der kälteren in sie eingetretenen Schichten. Wo durch die absteigenden Massen die unten lagernden aus einander gedrängt werden, entstehen Anticyklone, wo sich Lücken durch aufsteigende Luftmassen bilden, Cyklone. Indem er nun noch eine andere dauernde Quelle von Winden, nämlich die Kühlung des Bodens an den Polen, einer Erörterung unterzieht, gelangt er zu dem Resultat, dass die hauptsächlichste Hemmung der Circulation unserer Atmosphäre, welche verhindert, dass dieselbe nicht ausserordentlich viel heftigere Winde erregt, als es thatsächlich der Fall ist, nicht sowohl in der Reibung an der Erdoberfläche als in der Vermischung verschieden

bewegter Luftschichten durch Wirbel gegeben ist, welche durch Aufrollung von Discontinuitätsflächen entstehen. Im Innern solcher Wirbel werden die ursprünglich getrennten Luftschichten in immer zahlreicheren und deshalb immer dünner werdenden Lagen spiralig um einander gewickelt, und es ist daher hier durch die ungeheuer ausgedehnte Berührungsfläche ein schneller Austausch der Temperatur und Ausgleich ihrer Bewegung durch Reibung möglich. Man erkennt auf diese Weise, wie es in der Luftmasse durch continuirlich wirkende Kräfte zur Bildung von Discontinuitätsflächen kommen kann.

Nachdem Helmholtz nachgewiesen, dass im Luftkreise regelmässig Zustände eintreten müssen, wo Schichten von verschiedener Dichtigkeit unmittelbar an einander grenzend über einander liegen, wobei die grössere Schwere der tiefer liegenden Schicht durch den geringeren Wärmegehalt und die geringere Umlaufgeschwindigkeit bedingt ist, so werden wie immer, wenn eine leichtere Flüssigkeit über einer schwereren liegt, an der Grenze die Bedingungen für das Entstehen und die regelmässige Fortpflanzung von Wogen gegeben sein. Helmholtz wirft nun die Frage auf, welche anderen Unterschiede im Verhalten der Luft- und Wasserwellen sich ergeben, abgesehen davon, dass in dem einen Falle die Differenz der specifischen Gewichte viel grösser ist als in dem anderen. Die von ihm angestellten Rechnungen, in denen wieder nach dem Princip der mechanischen Aehnlichkeit aus dem Verhalten der Wasserwellen auf das der Luftwellen geschlossen wird, ergaben, dass bei den beobachteten Windstärken sich nicht nur kleine Wellen, sondern auch solche von mehreren Kilometern Wellenlänge bilden können, welche die unteren Luftschichten stark in Bewegung setzen und sogenanntes böiges Wetter, das sich in wiederholten Windstössen und Regengüssen zeigt, hervorbringen. Helmholtz giebt ein Zahlenbeispiel, in dem ein Luftstrom mit 10 m Geschwindigkeit pro Secunde über einen

10° kälteren Luftstrom hinwegstreicht, und findet, dass dann Wellen möglich sind, deren Wellenlänge 550 m beträgt. Es ist interessant, dass Emden bei einer Ballonfahrt mit einer Fahrgeschwindigkeit von 12,5 m pro Secunde, bei ruhender unterer Luftschicht, und bei einer beobachteten Temperaturdifferenz von 6,5°, also bei Temperatur- und Geschwindigkeitsdifferenzen ähnlich wie in dem Helmholtz'schen Beispiel, einen Abstand der Nebelrollen von 540 m gemessen, also eine fast vollständige Uebereinstimmung mit der Helmholtz'schen Rechnung gefunden hat. Diese Wellenbildungen in der Atmosphäre sind die häufigste Veranlassung zur Vermischung der atmosphärischen Schichten, und Helmholtz stellt sich deshalb die Aufgabe, die Theorie der Wellen an der gemeinsamen Grenzfläche zweier Flüssigkeiten zu bearbeiten.

Er betrachtet zunächst den speciellen Fall der Bewegung geradliniger Wellenzüge, welche an der ebenen Grenzfläche unendlich ausgedehnter Schichten zweier verschieden dichter Flüssigkeiten, die auch verschieden strömende Bewegung haben, sich in unveränderter Form und mit constanter Geschwindigkeit fortpflanzen. Da diese Wogen, auf ein Coordinatensystem bezogen, welches selbst mit den Wellen fortrückt, eine stationäre Bewegung der beiden Flüssigkeiten darstellen, so nennt sie Helmholtz stationäre Wogen. Unter der gemachten Annahme erscheint alsdann die Grenzfläche beider Medien als eine im Raume feste Fläche, in welcher das obere Medium in einer, das untere in entgegengesetzter Richtung strömt, während in grösserer Entfernung von der Grenzfläche beide Bewegungen in eine geradlinige Strömung von constanter Geschwindigkeit übergehen, in der Nähe der gewellten Grenzfläche dagegen der Richtung dieser folgen müssen. Er leitet nun mit Hilfe einfacher analytischer Betrachtungen her, dass, wenn das Verhältniss der Dichtigkeiten nicht geändert wird, in geometrisch ähnlichen Wellen die Lineardimensionen wie die

Quadrate der Geschwindigkeiten beider Medien wachsen, die letzteren somit in gleichem Verhältniss; während, wenn das Verhältniss der Dichtigkeiten geändert wird, das Verhältniss der lebendigen Kräfte entsprechender Volumeinheiten ungeändert bleiben muss. Daraus folgert nun Helmholtz, dass, da wir bei den am Erdboden vorkommenden mässigen Winden oft genug Wasserwellen von einem Meter Länge haben, dieselben Winde in die Luftschichten von 10^0 Temperaturdifferenz übersetzt, 2 bis 5 Kilometer Länge erhalten; dass ferner grösseren Meereswellen von 5 bis 10 m Luftwellen von 15 bis 30 km entsprechen können, die schon das ganze Firmament des Beschauers bedecken und den Wellen in seichtem Wasser zu vergleichen sind, die das Wasser am Grunde erheblich in Bewegung setzen. Alle diese Schlüsse zieht er aus einer Discussion der Integrale der oben bezeichneten hydrodynamischen Gleichungen.

Schliesslich stellt er sich noch die Aufgabe, die Energie der unter dem Einfluss von Wind erregten Wasserwellen zu untersuchen; er vergleicht sie mit derjenigen, welche den beiden bei ebener Grenzfläche mit derselben Geschwindigkeit gleichmässig fortströmenden Substanzen, Wasser und Luft, zukommen würde, und findet, dass eine grosse Zahl der möglichen stationären Wellenbewegungen einen geringeren Energievorrath erfordern als die entsprechende Strömung bei ebener Grenzfläche, so dass die Strömung bei einer solchen Grenzfläche sich den genannten Wellenbewegungen gegenüber wie ein Zustand des labilen Gleichgewichts verhält. Er zeigt, dass Wogen unter Wind möglich sind, die einen geringeren Energievorrath haben, als derselbe Wind über ebener Grenzfläche. Während also der Zustand der geradlinigen Strömung mit ebener Grenzfläche, wenn man nur die niederen Potenzen der kleinen Grössen berücksichtigt, als ein Zustand indifferenten Gleichgewichts erscheint, ist derselbe bei Berücksichtigung der Glieder höheren Grades, gewissen Störungen gegenüber, die stationären Wellen zwischen

bestimmten Grenzen der Wellenlänge entsprechen, ein Zustand labilen Gleichgewichts, kürzeren Wellen gegenüber entspricht er dagegen stabilem Gleichgewicht. Helmholtz folgert hieraus die in der Natur bestätigte Erscheinung, dass auch der gleichmässigste Wind über eine ebene Wasseroberfläche nicht fahren können, ohne bei der kleinsten Störung Wellen gewisser Länge aufzutreiben, die bei gewisser Höhe regelmässige Form und Fortpflanzung werden gewinnen können. Steigt der Wind, so werden die Höhen aller dieser Wellen steigen, die kürzeren unter ihnen schäumen und zerspritzen, neue längere von geringerer Höhe werden sich bilden können, brandend verspritzende Wogen in den Luftmassen werden Mischung der Schichten hervorbringen. Der Umstand, dass derselbe Wind Wellen von verschiedener Länge und Fortpflanzungsgeschwindigkeit erregen kann, wird bewirken, dass Interferenzen zwischen denselben zu Stande kommen und sich abwechselnd höhere und niedere Wellenberge folgen.

Wenn also verschieden dichte, mit ungleicher Geschwindigkeit strömende Luftschichten in scharf ausgeprägten Discontinuitätsflächen an einander grenzen, dann sind ähnliche Bedingungen gegeben, wie wenn der Wind über eine Wasseroberfläche streicht, und jene Trennungsfläche wird zur Bildung gewaltiger, paralleler, in Richtung der rascher bewegten Schicht vorwärts eilender Wellenzüge veranlasst. Diese Wellenbildung hat aber für die allgemeine Circulation der Atmosphäre eine grosse Bedeutung. Die Wärmemenge, welche die Atmosphäre in den äquatorialen Gegenden empfängt und in mächtiger Strömung in den oberen Schichten den Polen zuführt, muss auch der Erdoberfläche in mittleren Breiten zugeführt werden. Ein einfaches Niedersteigen jener oberen Schichten ist unmöglich, da durch Beibehaltung ihres Rotationsmomentes schon in niederen Breiten regelmässig Stürme von nicht beobachteter Heftigkeit auftreten würden. Auch ist der Coefficient der

Wärmeleitung und der Reibungscoefficient viel zu klein, als dass sich der Wärmegehalt, den Helmholtz später nach Bezold die potentielle Temperatur genannt hat, durch Leitung, die Rotationsmomente durch innere Reibung ausgleichen könnten. Es werden sich somit die am Aequator mit Energie versehenen, nach dem Pol strömenden Luftmassen in immer neu sich bildenden Discontinuitätsflächen von den unteren an Energie ärmeren, zurück zu dem Aequator strömenden Luftmassen absondern. Die immer mächtiger sich ausbildenden und steiler werdenden Wellen werden wie Wasserwellen überhängen und branden, und an Stelle jedes Wirbelzuges wird sich ein gewaltiger, horizontal gelagerter Wirbel bilden, indem sich schliesslich die beiden Luftschichten mischen. Das Aufrollen der Discontinuitätsflächen bewirkt stetige Uebergänge in Bezug auf das Rotationsmoment und den Wärmegehalt.

Als Helmholtz den zweiten Theil seiner meteorologischen Untersuchungen Ende Juli in der Akademie vortrug, fanden ihn seine Collegen schon in tief gedrückter Stimmung, Kummer und Sorge lasteten schwer auf seiner Familie. Während es immer mehr zur Gewissheit wurde, dass die körperlichen Leiden auch die geistige Entwicklung seines Sohnes Fritz dauernd hemmen würden, hatten wenigstens zeitweise die Beschwerden des älteren Sohnes Robert einen Stillstand erfahren, und die Eltern gaben sich der Hoffnung hin, dass ihm noch eine längere Lebenszeit beschieden sein könnte. Seine wissenschaftlichen Arbeiten hatten die grösste Anerkennung gefunden, durch seine geistvolle Heiterkeit war er stets ein belebendes Element im Hause gewesen, ein grosser Kreis ausgezeichneter junger Freunde umgab ihn und brachte mittelbar dem Helmholtz'schen Hause „den Sonnenschein jugendlicher Unmittelbarkeit“.

„Wenn Robert Helmholtz“, schreibt der Assyriologe Professor Lehmann in Berlin, „seinen Freunden allezeit

als ein schwer erreichbares Vorbild vor Augen gestanden, so hatte die innere Wahrhaftigkeit seiner ganzen Persönlichkeit daran einen wesentlichen, wenn nicht den ersten Antheil. Ein hervorragender Zug im Wesen beider Eltern, war sie auf den Sohn übergegangen. An die Mutter, deren Züge er trug, erinnerte die erfrischende, nie verletzende Unmittelbarkeit der freundschaftlichen Missbilligung wie der erfreuten Anerkennung. Bei dem Vater hatte sich die Grösse der wissenschaftlichen Wahrhaftigkeit auch auf die ganze Beurtheilung menschlicher Verhältnisse übertragen, so dass seine Frau mit Recht sagen konnte „Wer naturwissenschaftlich nicht streng und unerbittlich ehrlich bis zu Ende denkt und folgert, dem traut mein Mann nicht, der ist ihm unverständlich“ — und diese ins Leben übertragene Wahrhaftigkeit wird man auch Robert zusprechen müssen. . . . Der ausserordentlich knappe und prägnante Stil, wie er sich in seinen Schriften und Briefen ausspricht, ist nach seines Vaters Urtheil ebenfalls durch Rücksicht auf seine Kräfte gefördert worden. „Es schien“, sagte Helmholtz einmal, „als sei es ihm darauf angekommen, die einzelnen Worte zu sparen.“ Robert's Energie steigerte sich da, wo es galt, dem Körper zum Trotz seine ungewöhnlichen Anlagen in unermüdlicher Forscherarbeit zu bethätigen. . . . Sein Vater sah gewiss recht, wenn er nach Robert's Tode äusserte, er habe wohl geahnt, dass ihm nur noch kurze Zeit gegönnt sei, und möglichst viel abzuschliessen gesucht. . . . Zu des Vaters Grösse blickte er bewundernd empor, klar erkennend und rückhaltlos äussernd, dass sie etwas Unerreichbares sei. „Wir Durchschnittsmenschen können uns mit dem Genie nicht vergleichen — wir haben einen ganz anderen Maassstab. . . .“ Vielleicht ist nichts für Robert als Freund bezeichnender, als dass er eigene Gebrechlichkeit oder Krankheit nur dann erwähnte, wenn es galt, einem weniger leidensgewohnten und ungeduldigen Freunde Muth zuzusprechen. . . .“

Noch bis in das Frühjahr 1889 hinein war er mit den schwierigsten experimentellen Untersuchungen beschäftigt, seine Preisarbeit „Ueber die Licht- und Wärmestrahlung verbrennender Gase“ wurde von dem Verein für Gewerbflaiss in Berlin mit dem ausgesetzten Preise von 5000 Mark und einer Medaille gekrönt, und noch in den ersten Sommermonaten betrieb er in Bonn und Berlin gemeinsam mit Richarz grössere experimentelle Studien, als plötzlich der von seiner Geburt an schwächliche Körper zusammenbrach. Eben war er noch ohne Wissen des Vaters zu dessen freudigster Ueberraschung zum Assistenten an der Reichsanstalt ernannt worden, da versagten die Körperkräfte; noch auf dem letzten Krankenbette bereitete er die Publication seiner Preisarbeit vor — er starb am 5. August. Die einleitenden Worte zu der von Helmholtz nach dem Tode seines Sohnes herausgegebenen Preisarbeit lauteten:

„Als die ersten Correcturbogen des nachfolgenden Aufsatzes ankamen, lag der Verfasser schon auf seinem Sterbette. Mir, als seinem Vater, ist also die traurige Pflicht zugefallen, die Drucklegung zu überwachen. Er hatte gehofft, die letzte Hälfte des Aufsatzes noch durchzuarbeiten und zu vervollständigen, und hatte schon Versuche mit einigen anderen Brennstoffen ausgeführt. Auch ist manches nicht ganz fertig, weil die Frist, die der Preisbewerbung gesetzt war, zwang, sich bei einigen Punkten mit vorläufigen Bestimmungen zu beruhigen, die bei reichlicherer Zeit sorgfältiger und sicherer hätten ausgeführt werden können; hieran lässt sich nun nichts mehr ändern. Auch kenne ich seine Absichten in dieser Beziehung nicht genau genug, denn er pflegte ganz selbständig zu arbeiten und holte sich selten bei mir Rath. Erst wenn er die Sachen zu Papier gebracht hatte, pflegte er sie mir zu zeigen und mit mir darüber zu sprechen. Meine Sorge musste sich also auf Aenderungen sichtlicher Fehler des Abschreibers beschränken, beziehlich einzelner Undeutlichkeiten der Darstellung, von

denen ich annehmen kann, dass der Verfasser sie selbst beim Durchsehen der Druckbogen in ähnlicher Weise geändert haben würde.“

Der Verlust des Sohnes wirkte wahrhaft betäubend auf die schwer geprüften Eltern.

„An seinem Bette standen wir Alle“, schreibt die Mutter, „mit dem Bewusstsein, dass unser bestes Theil mit ihm dahingeht; das hohe Wollen, das Nie-Rasten oder Schlaffwerden, die männliche Energie und der reine liebe Kindersinn — sie alle sind fort — das Höchste von sich verlangen, trotz aller Hindernisse nur Gutes und Schönes anstreben — wer von uns thut es ihm nach?“

Völlig gebrochen eilt Helmholtz in der Mitte des August in die Schweiz, um Körper und Geist durch neue Eindrücke zu erfrischen.

„ . . . Schreibe nicht zu viel“, schreibt er von München aus seiner Frau, „und suche zu schlafen, soviel Du kannst bei Tage und bei Nacht; da wir beide noch Arbeit auf der Welt haben und uns noch nicht hinlegen dürfen, um sie aufzugeben, so müssen wir schon auch noch sorgen, dass wir brauchbar bleiben. Fritz dürfen wir noch nicht verlassen, aber zunächst ist mir die Zukunft fürchterlich indifferent geworden. Meine Arbeit werde ich noch thun, aber ob sie lange dauert oder kurz, fängt an, mir gleichgültig zu werden.“

In Pontresina wirkt, wie seine Briefe zeigen, die Natur wieder belebend auf ihn ein, er macht grosse Spaziergänge, besteigt den Piz Languard, den er seit vier Jahren gescheut, und beginnt auch wieder seinen Geist mit verschiedenen und äusserst schwierigen Problemen zu beschäftigen. Am Ende des September reiste er nach Heidelberg zur Naturforscherversammlung, auf welcher Hertz die durch ihre Einfachheit und Klarheit, wie durch die Tiefe ihres Inhalts so berühmt gewordene Rede hielt.

„Ich traf mit der ganzen Familie Siemens und mit

Edison und Frau gleich am ersten Abend im Schlossgarten zusammen. Mr. Edison — ein bartloses, Napoleon I. etwas ähnliches, nur viel gutmüthiger und fast kindlich aussehendes Gesicht mit sehr klugen Augen, aber recht harthörig. Er berichtete uns auf unsere Fragen viel über seine Art zu arbeiten, was sehr interessant war. Heute Vortrag von Professor Hertz, der wirklich aussergewöhnlich gut, auch in der Form sehr vollendet, tactvoll und geschmackvoll war und einen Sturm von Beifall hervorrief....“

Wie Helmholtz ein Vierteljahrhundert früher in der Aula der Heidelberger Universität Kirchhoff als Prorector in seiner ausgezeichneten Rede hatte hervorheben hören, dass die Entdeckung und consequente Durchführung des Principes der Erhaltung der Kraft die grösste Errungenschaft des Jahrhunderts auf dem Gebiete der Naturwissenschaften sei, so war er auch jetzt auf der ersten Reihe der Zuhörer bei der Rede seines grossen Schülers Hertz zu sehen, welcher auf dem Boden der früher von Helmholtz gegebenen Kritik der verschiedenen elektrodynamischen Theorien stehend, sich dessen Anschauungen von der Bedeutung der Faraday-Maxwell'schen Hypothese zugewandt und so zu seinen fundamentalen Entdeckungen gelangt war.

„ . . . Als im gegenwärtigen Jahrhundert die Wechselwirkungen zwischen elektrischen Strömen und Magneten hinzukamen, welche unendlich viel mannigfaltiger sind als bei der Gravitation, in welchen die Bewegung, die Zeit eine so grosse Rolle spielt, wurde man gezwungen, die Zahl der Fernwirkungen zu vermehren, an ihrer Form herumzubessern. Dabei ging die Einfachheit, die physikalische Wahrscheinlichkeit mehr und mehr verloren. Durch das Aufsuchen umfassender einfacher Formen, sogenannter Elementargesetze, suchte man diese wieder zu erlangen. Das berühmte Weber'sche Gesetz ist der wichtigste Versuch dieser Art. Man mag über die Richtigkeit desselben denken,

wie man will, die Gesamtheit dieser Bestrebungen bildete ein in sich geschlossenes System voll wissenschaftlichen Reizes; wer einmal in den Zauberkreis desselben hineingerathen war, blieb in demselben gefangen. War der eingeschlagene Weg gleichwohl eine falsche Fährte, so konnte Warnung nur kommen von einem Geiste von grosser Frische, der wie von Neuem den Erscheinungen unbefangen entgegen trat, der wieder ausging von dem, was er sah, nicht von dem, was er gehört, gelernt, gelesen hatte. Ein solcher Geist war Faraday. Die elektrischen und magnetischen Kräfte selber wurden ihm das Vorhandene, das Wirkliche, das Greifbare, die Elektrizität, der Magnetismus wurden ihm Dinge, über deren Vorhandensein man streiten kann . . .“

Hertz hat es mit Absicht vermieden, in seiner Rede den Namen Helmholtz zu erwähnen — er fühlte tactvoll, dass der anwesende Meister seines Lobes nicht bedürfe. Als aber noch an demselben Tage in meinem Hause all' die ausgezeichneten Physiker wie Helmholtz, Hertz, G. Wiedemann, Kundt, Paalzow, der Botaniker Pringsheim und einige mathematische Freunde einige Stunden gesellig vereint waren, und ich in einigen Worten seine herrliche Rede rühmte und ihn den nächst Helmholtz grössten Physiker der Gegenwart nannte, da erhob er sich in seiner bescheidenen Weise und pries — sonst bei solchen Gelegenheiten wenig redegewandt — in überaus beredten Worten Helmholtz als den grössten Physiker aller Zeiten und bemühte sich, seine eigenen grossen Entdeckungen nur als den Ausfluss Helmholtz'scher Ideen darzustellen. Auf die Frage, weshalb er denn in seiner Rede nicht offen bekannt habe, dass er auch die Attractionskraft als Fernwirkung zu beseitigen wünsche, antwortete er verlegen: „Ich bin noch zu feige dazu.“

Am 9. März 1890 richtet Helmholtz an den Staatsminister Böttcher nachfolgendes Schreiben:

„Ew. Excellenz erlaube ich mir das gehorsamste Gesuch vorzutragen, mir vom 20. März bis 23. April Urlaub zu einer Reise an die Riviera ertheilen zu wollen. Ich befolge bei dieser Reise allerdings auch private Zwecke, nämlich die Zurückbegleitung meiner Frau, Tochter und Enkel, die dort den Winter zugebracht haben. Aber die fünfwöchentliche Dauer des erbetenen Urlaubs ist dadurch bedingt, dass ich die Gelegenheit benutzen möchte zur Anstellung einiger wissenschaftlichen Beobachtungen über das Verhalten der Meereswogen, die mir zur Prüfung der Richtigkeit einiger neuer theoretisch gefundener Sätze über die Wechselwirkung zwischen Wind und Wogen wünschenswerth erscheinen. Ich habe einen Theil derselben, welche bemerkenswerthe Folgerungen für die Meteorologie ergeben, schon unter dem 25. Juli v. J. der Akademie der Wissenschaften zu Berlin mitgetheilt. Dass dieselben auch für die Theorie der Nautik nützliche Ergebnisse haben werden, erscheint wahrscheinlich. Ich bedarf aber nun einiger orientirender Beobachtungen, um meine theoretischen Sätze an den thatsächlichen Verhältnissen zu prüfen oder wenigstens zu ermitteln, welche Beobachtungen darüber an Küstenstationen angestellt werden könnten, um die betreffenden Fragen zu entscheiden. Ich glaube die genannten Beobachtungen am besten an einer steilen Küste machen zu können, die einen weiten Ueberblick über die Wogenzüge eines tieferen Meeres erlaubt. Da ich hierbei von der Gunst der Witterung abhängen dürfte, durfte ich die Zeit nicht zu knapp bemessen. . . .“

Nach bereitwilligst ertheiltem Urlaub ging er im April an das Cap d'Antibes und legte die Resultate seiner theoretischen Ueberlegungen und Vergleichen mit den Beobachtungen der Berliner Akademie am 17. Juli 1890 unter dem Titel „Die Energie der Wogen und des Windes“ als eine Fortsetzung und Ergänzung seiner beiden früheren Arbeiten über atmosphärische Bewegungen vor.

Helmholtz hatte in seinen früheren Untersuchungen gezeigt, dass eine ebene Wasseroberfläche, über die ein gleichmässiger Wind hinfährt, sich in einem Zustande labilen Gleichgewichts befindet, und dass die Entstehung der Wasserwogen wesentlich diesem Umstande zuzuschreiben ist; dass ferner der gleiche Vorgang sich auch an der Grenze verschieden schwerer und an einander entlang gleitender Luftschichten wiederholen muss, hier aber viel grössere Dimensionen annimmt und bei den unregelmässig eintretenden meteorologischen Erscheinungen eine wesentlich ursächliche Bedeutung hat. Dies bestimmt ihn nun, in der Arbeit über die Energie der Wogen und des Windes die Verhältnisse der Energie und ihre Vertheilung zwischen Luft und Wasser noch genauer zu untersuchen, jedoch mit Beibehaltung der Beschränkung auf stationäre Wellen, bei denen die Bewegungen der Wassertheilchen nur parallel einer senkrechten Ebene vor sich gehen. Er führte die Gesetze der stationären geradlinigen Wellen auf ein Minimalproblem zurück, in welchem die potentielle und actuelle Energie der bewegten Flüssigkeiten die zu variirenden Grössen bilden, und konnte Folgerungen über das Abnehmen und Zunehmen der Energie und die Unterschiede stabilen und labilen Gleichgewichts der Wasseroberfläche herleiten. Es handelt sich hierbei um den Unterschied dieses Gleichgewichtszustandes nicht mehr von ruhenden, sondern von dauernd, aber stationär bewegten Massen.

Ein allgemeines Princip, wie es für ruhende Körper in der Forderung gegeben ist, dass das stabile Gleichgewicht ein Minimum der potentiellen Energie verlangt, war für bewegte Systeme bis dahin nicht aufgestellt worden. Helmholtz findet für stationäre Wellen bei constant bleibenden Strömungsmengen den Minimalsatz in der Form, dass die Variation der Differenz der potentiellen Energie und der lebendigen Kraft verschwindet, so dass stabiles Gleichgewicht einer stationären Wellenform bei allen möglichen Variationen

einer solchen Form einem Minimum jener Differenz entspricht. Wenn dagegen dieselbe Grösse bei einer anderen Curvengestalt zu einem Maximum oder Sattelwerthe wird, so ist die Bedingung der Gleichheit des Druckes beiderseits der Grenzfläche allerdings augenblicklich erfüllt, aber alle kleinsten Störungen der Gleichgewichtsgestalt werden anwachsen müssen, und das Gleichgewicht wird labil werden, was sich bei wirklichen Wasserwellen im Schäumen und Branden der Wellenkämme zu erkennen giebt. Bei Vergrösserung der Windstärke und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen gegen das Wasser wird schliesslich das absolute Minimum zu existiren aufhören, und das Gleichgewicht labil werden, so dass bei steigenden Strömungen stationäre Wellen gegebener Wellenlänge unmöglich werden. Es sind somit stationäre Wellen von vorgeschriebener Wellenlänge nur für Strömungsgeschwindigkeiten möglich, die unterhalb gewisser Grenzen liegen, aber das Gebiet der Werthe ist auch in der Richtung der kleineren Werthe hin beschränkt. Die eine Strömungsgeschwindigkeit bestimmt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen gegen das Wasser, die andere die Geschwindigkeit des Windes relativ zu den Wellen. Durch Anwendung der gefundenen analytischen Ausdrücke ergibt sich mit der Erfahrung übereinstimmend, dass gleichbleibend starker Wind, der eine ruhige Wasserfläche trifft, schneller laufende, d. h. längere oder höhere Wellen erzeugen kann, wenn er längere Zeit auf die erst entstandenen Wellen gewirkt und diese auf einem längeren Wege über die Wasserfläche begleitet hat; die Wellen können unter gleichbleibendem Winde nur wachsen, wenn der Wind schneller in derselben Richtung vorwärts geht, als sie selbst. Durch Beobachtungen, die er auf dem Cap d'Antibes im April mittelst eines kleinen tragbaren Anemometers zur Messung der Windstärke anstellte, fand er im Allgemeinen eine Bestätigung des aus der Theorie hergeleiteten Satzes, dass,

so lange der Wind den Wellen noch voreilt, er den Energievorrath und das Bewegungsmoment der Wellen weiter steigert; so lange noch die für ruhende Wellen berechnete Energie abnehmen und ein noch tieferes Minimum bilden kann, wird auch die Neigung mitwirken, unter der Einwirkung aller der kleinen Störungen, welche die mitlaufenden anderen Wellen in den Fällen der Wirklichkeit erzeugen, der Form geringster Energie zuzustreben. Diese wird endlich an den Sattelwerth und zum Zerschäumen der Oberkante führen, falls dies bei der gegebenen Windgeschwindigkeit erreicht werden kann.

Am 7. Mai 1890 wählte der Senat der Universität Berlin Helmholtz einstimmig zu seinem Vertreter bei der Feier des 600 jährigen Stiftungsfestes der Universität von Montpellier, obgleich dieser darauf aufmerksam machte, dass er keine unbedingte Annahme dieses Mandats aussprechen könne, da er dazu noch die Genehmigung des Staatsminister von Bötticher brauche; sein Vorschlag auf Wahl eines Anderen oder gleichzeitige Bezeichnung eines eventuellen Stellvertreters wurde vom Senat abgelehnt. Nachdem er den nachgesuchten Urlaub erhalten, reiste er in der Mitte des Mai nach Montpellier und erstattet später dem Minister auf dessen Aufforderung eingehenden Bericht über die gewonnenen Eindrücke. Ueber die Worte, mit denen er auf den bei dem Festmahl auf ihn ausgebrachten Toast erwiderte, berichtet er selbst:

„Indem ich in meiner Antwort zunächst dafür danke, dass man meiner doch schon 20 Jahre zurückliegenden physiologischen Arbeiten noch so anerkennend gedenke, sei mir diese Anerkennung hier in Montpellier um so ehrenvoller, als ursprünglich die hiesige Schule der letzte und stärkste Halt der conservativen Partei in der Medicin gewesen sei und sie die junge physiologische Schule J. Müller's in Berlin, der ich selbst angehörte, für die radicalste Linke habe ansehen müssen. Das heutige Fest zeige mir, wie

sehr die theoretischen Gegensätze auf beiden Seiten unter dem Einfluss der richtigen naturwissenschaftlichen Methode verschwunden seien. Diese einigende Kraft der Wissenschaft aber habe viel allgemeinere und umfassendere Bedeutung. Keiner von uns könne wissenschaftlich arbeiten und irgend ein werthvolles Ergebniss erreichen, ohne dass der Vorthail davon nicht bloss seiner Nation, sondern bald auch der ganzen civilisirten Menschheit zuflüsse. Die sämmtlichen Nationen, die an der Arbeit der Wissenschaft Theil nehmen, hätten ein gemeinsames Arbeitsfeld und unterstützten sich nothwendig gegenseitig. Diese Erkenntniss werde am Ende doch durchdringen und ein befreundetes Verhältniss darstellen müssen.“ Riesiger Beifallsturm. „Ich hatte den Eindruck, dass ich die innersten Empfindungen der Zuhörer besser getroffen hatte, als ich selbst geahnt. . . . Ich schloss dann mit dem Hinweis, dass die Medicin es namentlich sei, die diesen friedentiftenden Beruf der Wissenschaft schon längst ausübe und vor die Augen der Welt bringe, selbst in den Augenblicken hoherregter Leidenschaft im Kriege, und schloss mit einem Hoch auf die einigende Kraft der Wissenschaft.“

Die Arbeiten an der Reichsanstalt nehmen nun Helmholtz in hohem Grade in Anspruch; am 13. December 1890 gab er eine „Denkschrift über die bisherige Thätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt“ heraus, die, zur Kenntnissnahme durch den Reichstag bestimmt, Zeugniss davon ablegt, mit welchem Eifer und welcher Thatkraft er auch in dieser Stellung allen Anforderungen zu genügen vermochte. Die physikalische Abtheilung der Denkschrift umfasst thermometrische Fundamentalarbeiten, Capillarabweichungen, barometrische Untersuchungen, Ausdehnungsbestimmungen und grundlegende elektrische Arbeiten; die technische Abtheilung beschäftigte sich mit der Prüfung ärztlicher Thermometer, deren nahezu 25 000 in den drei Jahren des Bestehens der Reichsanstalt von dieser unter-

sucht und gestempelt worden waren, Thermometer für wissenschaftliche Arbeiten, auf Herstellung einer unveränderlichen Einheit gerichteten photometrischen Arbeiten, Erzeugung von Normal-Stimmgabeln und einer endlosen Reihe anderer technischer Aufgaben.

„Bedarf es mehr“, sagt du Bois, „um das Irrthümliche der Meinung ins Licht zu stellen, dass er durch die ruhige und gleichmässige Natur seiner Berufsarbeiten in seiner productiven Thätigkeit begünstigt gewesen sei?“

Zu gleicher Zeit betheiligte er sich als Mitglied der von dem preussischen Unterrichtsminister einberufenen Commission an den Verhandlungen über Fragen des höheren Unterrichts, und im folgenden Jahre wurden seine „Bemerkungen über die Vorbildung zum akademischen Studium“ veröffentlicht. Als ich ihn schon im October 1888 auf Wunsch eines Collegen anfragte, ob er die damals in Gelehrtenkreisen circulirende Erklärung zu Gunsten der Gymnasien unterschreiben wolle, antwortete er mir:

„Ich beabsichtige die Erklärung nicht zu unterschreiben. Erstens liebe ich überhaupt nicht solche öffentliche Erklärungen von Privatleuten, die, soweit ich gesehen, immer vollkommen fruchtlos verlaufen, zweitens glaube ich allerdings, dass unsere Gymnasien sich in eine falsche Richtung verlaufen haben, wenn ich auch das Griechische in unseren Schulen ersten Ranges nicht gestrichen zu sehen wünsche. Aber ich finde mich nicht veranlasst, durch eine freiwillig und spontan abgegebene Erklärung, ohne berufsmässige Veranlassung für die jetzige Richtung der Gymnasial-Philologie in die Schranken zu treten, ohne dabei gleichzeitig zu sagen, was ich gegen sie auf dem Herzen habe.“

Er kennzeichnet seinen Standpunkt in diesen Fragen, übereinstimmend mit den in seiner Heidelberger Rectoratsrede vertretenen Anschauungen, mit den schönen, für den grossen Forscher charakteristischen Worten:

„Der bisherige Bildungsgang der civilisirten Nationen

hat seinen Mittelpunkt im Studium der Sprache gehabt. Die Sprache ist das grosse Werkzeug, durch dessen Besitz sich der Mensch von den Thieren am Wesentlichsten unterscheidet, durch dessen Gebrauch es ihm möglich wird, die Erfahrungen und Kenntnisse der gleichzeitig lebenden Individuen, wie die der vergangenen Generationen, jedem Einzelnen zur Verfügung zu stellen, ohne welches ein Jeder, wie das Thier, auf seinen Instinct und seine eigene einzelne Erfahrung beschränkt bleiben würde. Dass Ausbildung der Sprache einst die erste und nothwendigste Arbeit der heranwachsenden Volksstämme war, so wie noch jetzt die möglichst verfeinerte Ausbildung ihres Verständnisses und ihres Gebrauchs die Hauptaufgabe der Erziehung jedes einzelnen Individuums ist und immer bleiben wird, versteht sich von selbst. Ganz besonders eng knüpft sich die Cultur der modernen europäischen Nationen geschichtlich an das Studium der classischen Überlieferungen, und dadurch unmittelbar an das Sprachstudium an. Mit dem Sprachstudium hing zusammen das Studium der Denkformen, die sich in der Sprache ausprägen. Logik und Grammatik, das heisst nach der ursprünglichen Bedeutung dieser Worte, die Kunst zu sprechen und die Kunst zu schreiben, beide im höchsten Sinne genommen, waren daher die natürlichen Angelpunkte der bisherigen geistigen Bildung.

Wenn nun auch die Sprache das Mittel ist, die einmal erkannte Wahrheit zu überliefern und zu bewahren, so dürfen wir doch nicht vergessen, dass ihr Studium Nichts davon lehrt, wie neue Wahrheit zu finden sei. Dem entsprechend zeigt die Logik wohl, wie aus dem allgemeinen Satze, der den Major eines Schlusses bildet, Folgerungen zu ziehen seien; wo aber ein solcher Satz herkomme, darüber weiss sie nichts zu berichten. Wer sich von seiner Wahrheit selbständig überzeugen will, der muss umgekehrt mit der Kenntniss der Einzelfälle beginnen, die unter das Gesetz gehören, und die später, wenn dieses festgestellt ist, freilich

auch als Folgerungen aus dem Gesetze aufgefasst werden können. Nur wenn die Kenntniss des Gesetzes eine überlieferte ist, geht sie wirklich der Kenntniss der Folgerungen voraus, und in solchem Falle gewinnen dann die Vorschriften der alten formalen Logik ihre unverkennbare praktische Bedeutung.

Alle diese Studien führen uns also nicht selbst an die eigentliche Quelle des Wissens, stellen uns nicht der Wirklichkeit gegenüber, von der wir zu wissen verlangen. Es liegt sogar eine unverkennbare Gefahr darin, dass dem Einzelnen vorzugsweise solches Wissen überliefert wird, von dessen Ursprung er keine eigene Anschauung hat. Die vergleichende Mythologie und die Kritik der metaphysischen Systeme wissen viel davon zu erzählen, wie bildlicher Wortausdruck später in eigentlicher Bedeutung genommen und als uranfängliche geheimnissvolle Weisheit gepriesen worden ist.

Also bei aller Anerkennung der hohen Bedeutung, welche die fein durchgearbeitete Kunst, das erworbene Wissen Anderen zu überliefern, und wiederum von Anderen solche Ueberlieferung zu empfangen, für die geistige Entwicklung des Menschengeschlechts hat, und bei aller Anerkennung der Wichtigkeit, welche der Inhalt der classischen Schriften für die Ausbildung des sittlichen und ästhetischen Gefühls, für die Entwicklung einer anschaulichen Kenntniss menschlicher Empfindungen, Vorstellungskreise, Culturzustände hat, müssen wir doch hervorheben, dass ein wichtiges Moment dem ausschliesslich literarisch-logischen Bildungswege abgeht. Dies ist die methodische Schulung derjenigen Thätigkeit, durch welche wir das ungeordnete, vom wilden Zufall scheinbar mehr als von Vernunft beherrschte Material, das in der wirklichen Welt uns entgegentritt, dem ordnenden Begriffe unterwerfen und dadurch auch zum sprachlichen Ausdrücke fähig machen. Eine solche Kunst der Beobachtung und des Versuchs finden wir bis jetzt fast nur in den

Naturwissenschaften methodisch entwickelt; die Hoffnung, dass auch die Psychologie der Individuen und der Völker, nebst den auf sie zu basirenden praktischen Wissenschaften der Erziehung, der gesellschaftlichen und staatlichen Ordnung zum gleichen Ziele gelangen werde, scheint sich vorläufig nur auf eine ferne Zukunft richten zu dürfen.

Diese neue Aufgabe, von der naturwissenschaftlichen Forschung auf neuen Wegen verfolgt, hat schnell genug neue, in ihrer Art unerhörte Erfolge gehabt, ein Beweis dafür, welcher Leistungen das menschliche Denken fähig ist, wo dasselbe den ganzen Weg von den Thatsachen bis zur vollendeten Kenntniss des Gesetzes unter günstigen Bedingungen, seiner selbst bewusst und selbst alles prüfend zurücklegen kann. Die einfacheren Verhältnisse, namentlich der unorganischen Natur, erlauben eine so eindringende und genaue Kenntniss ihrer Gesetze zu erlangen, eine so weit reichende Deduction der aus diesen fließenden Folgerungen auszuführen, und diese wiederum durch so genaue Vergleichung mit der Wirklichkeit zu prüfen und zu bewahrheiten, dass mit der systematischen Entfaltung solcher Begriffsbildungen (z. B. mit der Herleitung der astronomischen Erscheinungen aus dem Gesetze der Gravitation) kaum ein anderes menschliches Gedankengebäude in Bezug auf Folgerichtigkeit, Sicherheit, Genauigkeit und Fruchtbarkeit zugleich möchte verglichen werden können.

Ich erinnere an diese Verhältnisse hier nur, um hervorzuheben, in welchem Sinne die Naturwissenschaften ein neues und wesentliches Element der menschlichen Bildung von unzerstörbarer Bedeutung auch für alle weitere Entwicklung derselben in der Zukunft sind, und dass eine volle Bildung des einzelnen Menschen, wie der Nationen, nicht mehr ohne eine Vereinigung der bisherigen literarisch-logischen und der neuen naturwissenschaftlichen Richtung möglich sein wird.

Nun ist die Mehrzahl der Gebildeten bisher nur auf

dem alten Wege unterrichtet worden und ist fast gar nicht in Berührung mit der naturwissenschaftlichen Gedankenarbeit gekommen, höchstens ein wenig mit der Mathematik. Männer von diesem Bildungsgange sind es vorzugsweise, die unsere Staaten lenken, unsere Kinder erziehen, Ehrfurcht vor der sittlichen Ordnung aufrecht halten, und die Schätze des Wissens und der Weisheit unserer Vorfahren aufbewahren. Dieselben sind es nun auch, welche die Aenderungen im Gange der Bildung der neu aufwachsenden Generationen organisiren müssen, wo solche Aenderungen nöthig sind. Sie müssen dazu ermuthigt oder gedrängt werden durch die öffentliche Meinung der urtheilsfähigen Classen des ganzen Volkes, der Männer wie der Frauen.“

Trotz all der ihm obliegenden Beschäftigungen arbeitete er an seinen schwierigen mathematisch-mechanischen Problemen weiter, veröffentlichte jedoch in dem folgenden Jahre nur einige Ergänzungen zu seinen früheren optischen Untersuchungen.

Die Herausgabe der neuen Auflage seiner physiologischen Optik hatte ihn zu einigen höchst interessanten Arbeiten geführt, von denen die erste unter dem Titel „Versuch einer erweiterten Anwendung des Fechner'schen Gesetzes im Farbensystem“ im Jahre 1891 in der Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane erschien. Er geht von der Ueberlegung aus, dass die Gesammtheit der von unserem Auge empfundenen Farben eine dreifache Mannigfaltigkeit sei gerade so wie der Ort im Raume, und dass darauf das Newton'sche Mischungsgesetz der Farben beruht, indem wir die der Anschauung weniger zugänglichen Verhältnisse der Farben auf Zusammenfügung von geometrischen Strecken und Schwerpunktsconstructionen übertragen. Wie man nun im Raume zur Bestimmung eines Ortes die verschiedenartigsten messbaren Raumgrößen benutzen kann, so kann man auch sehr verschiedenartige Größen benutzen, um eine Farbe zu definiren. Zum Zwecke

einer directen Ausmessung des Gebietes der Empfindungen hat Fechner sich auf die Aenderung der Lichtstärken bei ungeänderter Mischung des Lichtes beschränkt, während noch Untersuchungen hinzutreten müssen über die Grösse der unterscheidbaren Abstufungen in den Farbentönen und in der Sättigung der Farben ohne oder auch mit gleichzeitiger Aenderung der Helligkeit, sowie über die Abhängigkeit dieser Abstufungen von den physikalisch definirbaren Veränderungen des erregenden Lichtes. Helmholtz bezeichnet seine Mittheilungen selbst als Hypothesen, die erst genauer geprüft werden müssen, glaubt jedoch, dass ein solcher Versuch gemacht werden muss, um die erste Orientirung in einem neuen Gebiete zu gewinnen.

Wenn man zwei etwas verschieden gefärbte Lichter ihrer Helligkeit nach mit einander vergleicht, so gelangt man bei allmählicher Veränderung der Lichtstärke des einen von ihnen zu einer Einstellung, bei welcher der wahrnehmbare Farbenunterschied ein Minimum der Deutlichkeit erreicht; das Verhältniss der Lichtstärken, welches dieser Einstellung entspricht, wird dann als das Verhältniss gleicher Helligkeit betrachtet. Helmholtz stellt sich nun die Aufgabe, diese Einstellung auf das Minimum der Erkennbarkeit des Unterschiedes bei einer Reihe von Mischfarben, die aus denselben Farbelementen durch Mischung auf der Farbenscheibe erhalten werden, durchzuführen. Er fand zunächst, dass die Wirkung eines Zusatzes einer Farbe auf die Helligkeit wesentlich durch den schon vorhandenen Vorrath dieser selben Farbe in der Mischung geschwächt wird; es folgt aus den Versuchen, dass, wenn wir von einer sehr gesättigten Farbe ausgehend, eine Reihe gleich heller gemischter Farben suchen, indem wir immer nur zwei sehr nahe Glieder der Reihe mit einander vergleichen, das gesammte Quantum des gemischten Lichtes in der Reihe solcher Farben nicht unverändert bleiben kann; von möglichst gesättigtem Roth anfangend,

werden wir also durch Wegnahme eines kleinen Quantum Roth die Helligkeit viel weniger schwächen, als wir durch den Zusatz eines gleichen Quantum Blau sie verstärken. Die so vollzogene Vergleichung zweier nahehin gleicher, sehr gesättigter Farben unterscheidet sich wesentlich von dem Falle, wo die Helligkeit zweier sehr verschieden gefärbter Felder verglichen wird. Eine grosse Reihe von Versuchen führte zunächst zu dem Ergebniss, dass durch das gleichzeitige Vorhandensein einer zweiten stark abweichenden Farbe im Felde die Erkennbarkeit kleiner Abstufungen der Intensität farbigen Lichtes viel weniger beeinträchtigt wird, als durch das Vorhandensein eines gleich hellen Quantum derselben Farbe. Die weitere durch scharfsinnige mathematische Ueberlegungen unterstützte Untersuchung beschäftigt sich mit der Frage, ob man das Fechner'sche Gesetz den Erscheinungen gegenüber überall in dem Sinne durchführen könne, dass man die Grösse der Empfindungsstufe für jede Grundfarbe nur von der Menge der vorhandenen gleichartigen Farbe abhängig annimmt, sie dagegen als unabhängig betrachtet von den Mengen der gleichzeitig das Feld deckenden anderen Grundfarben.

Die Philosophie ist kein mathematischer Lehrsatz, sagte Fechner, der entweder wahr oder falsch sein müsse; von diesem Standpunkte aus muss man auch sein psychophysisches Gesetz betrachten, wenn er es den Uebergang von der äusseren in die innere Psychophysik vermitteln lässt; aber das Gesetz, auf die Erscheinungen der Optik angewandt, ist ein leitendes Princip in diesem Zweige der Physik geworden und auch von Helmholtz in seiner scharfen Umgrenzung stets angenommen worden.

„In der einfachen arithmetischen Reihe 1, 2, 3, . . .“, sagt Wundt in seiner ausgezeichneten Rede zum Gedächtniss von Fechner, „sah dieser zunächst ein anschauliches Bild für die intensiven, dem einfachen Fortschritt der mathe-

matischen Reihe parallel gehenden Aenderungen des Psychischen, und für die extensive, den grösseren Stufen der geometrischen entsprechende Mannigfaltigkeit des Physischen.“ Plötzlich eines Morgens am 20. October 1850 — in dem Jahre, in welchem Helmholtz seine Forschungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung veröffentlichte — erwachte in ihm die Idee, es möge wohl einem gleichen verhältnissmässigen Zuwachs an lebendiger Kraft körperlicher Bewegung ein gleicher absoluter Zuwachs geistiger Intensität entsprechen. So entstand die erste Aufstellung des sogenannten psychophysischen Grundgesetzes in der Form der logarithmischen Function, wie sie im Anschluss an jene Reihenbetrachtungen der zweite Band des Zendavesta als „Kurze Darlegung eines neuen Principis mathematischer Psychologie“ enthält. Fechner erörtert das Verhältniss der physischen Reizbewegung zu denjenigen Bewegungsvorgängen im Innern des Nervensystems, die der Empfindung unmittelbar parallel gehen, und für die er den Ausdruck psychophysische Bewegungen einführt. Er betrachtet es als erwiesen, dass das E. H. Weber'sche Gesetz, welches zuerst eine Gesetzmässigkeit zwischen Reiz und Empfindung festzustellen suchte, nicht der Ausdruck einer Beziehung zwischen der äusseren physischen Bewegung und der psychophysischen Bewegung, sondern vielmehr der Beziehung zwischen psychophysischer Bewegung und Empfindung ist. Und auf diesen Standpunkt hatte sich auch Helmholtz gestellt.

Die Erweiterung der Form des psychophysischen Gesetzes auf Mannigfaltigkeiten von mehr als einer Dimension hatten ihn, während das Fechner'sche Gesetz nur Aenderung in der Lichtstärke bei ungeänderter Mischung des Lichtes in Frage zog, auf die messende Bestimmung der Art einer Farbenempfindung bei dichromatischen Augen durch zwei unabhängige Variable, bei trichromatischen Augen durch drei Variable geführt. Helmholtz geht in

den beiden Arbeiten, von denen die eine unter dem Titel: „Versuch, das psychophysische Gesetz auf die Farbenunterschiede trichromatischer Augen anzuwenden“, in der Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane veröffentlicht, die andere: „Kürzeste Linien im Farbensystem“ am 17. December 1891 der Akademie vorgelegt wurde, auf seine und Riemann's Ergebnisse wieder zurück, nach welchen sich alle Eigenschaften der besonderen Art unseres Raumes daraus ableiten lassen, dass man den Werth der Entfernung zweier benachbarter Punkte durch die zugehörigen Incremente der Coordinaten ausdrücken kann, und somit von der Entfernung zweier Punkte eines festen Körpers verlangt, dass sie durch die Lage ihrer Endpunkte vollkommen gegeben sei und gleich bleibe bei allen möglichen Verschiebungen und Wendungen des festen Körpers. Indem er davon ausgeht, dass jede besondere Farbe sich herstellen lässt durch die Vereinigung der entsprechend abgemessenen Quanta dreier passend gewählter Grundfarben, welche die Stelle der Coordinaten vertreten, findet er in der Deutlichkeit der Unterscheidung zwischen zwei nahe stehenden Farben eine der Entfernung für Punkte des Raumes analoge Grösse und stellt einen analytisch sehr einfach zusammengesetzten Ausdruck auf, von dem er hofft, dass er für den Bereich der Farbenempfindungen dieselbe Rolle spielen wird, wie die Formel für die Länge des Linienelements in der Geometrie. Dieser Ausdruck lässt den Grad der Deutlichkeit im Unterschiede zweier Farben erkennen, die sich gleichzeitig in den Grundfarben, welche in ihre Zusammensetzung eingehen, von einander unterscheiden und also in Helligkeit und Qualität verschieden sind. Analog der kürzesten Linie zwischen zwei Punkten im Raume definirt er als kürzeste Farbenreihen diejenigen Reihen von Uebergangsfarben zwischen zwei gegebenen Endfarben von verschiedener Qualität und Quantität, für welche die Summe der wahrnehmbaren Unterschiede ein Minimum ist.

Und nun benutzt er diese Ergebnisse, um die Lösung einer wichtigen, aber äusserst schwierigen Frage anzubahnen. Das Newton'sche Farbenmischungsgesetz erlaubte zwar, die ganze Mannigfaltigkeit der möglichen Farbenempfindungen auf drei neben einander bestehende Erregungsweisen des Sehnervenapparates zurückzuführen, liess es aber unbestimmt, welche Farbenempfindungen diesen drei elementaren Erregungen entsprechen; Helmholtz greift nun wieder die Frage der Feststellung der wirklichen drei physiologisch einfachen Farbenempfindungen an. Die Untersuchung ergab mit einiger Wahrscheinlichkeit für die drei Grundfarben das folgende Resultat: Das spectrale Roth würde eine weissliche, ein wenig gelbliche Modification der einen Grundfarbe, diese also etwa ein höchst gesättigtes Carminroth darstellen; das spectrale Violett würde eine weissröthliche Abänderung der dritten Grundfarbe, diese also etwa mit dem Ultramarinblau im Farbenton zu vergleichen sein, während die zweite Grundfarbe etwa dem Grün der Vegetation entspricht. Mit diesen Ergebnissen würde die auch von Helmholtz früher gemachte Annahme in Widerspruch treten, wonach bei den Dichromaten einfach eine der Grunderregungen des trichromatischen Auges nicht zu Stande kommt. Helmholtz lässt nunmehr, wie er schon früher Lord Rayleigh mitgetheilt hatte, diese Annahme fallen und geht von der Voraussetzung aus, dass farbige Lichter, die den normalen Trichromaten gleich aussehen, es auch für die Dichromaten thun. Wenn nun Newton's Mischungsgesetz auch für die Farben des dichromatischen Systems anwendbar ist, so ergibt sich, wenn man jede Ebene, deren rechtwinkelige Coordinaten die Werthe der Grundfarben des trichromatischen Systems darstellen, als Farbentafel gelten lässt, dass alle in einem dichromatischen Farbensystem gleichfarbigen Ebenen durch eine gemeinsame Schnitlinie gehen; ferner folgt, dass in der nach Newton construirten Farbentafel sich alle gleichfarbigen Linien eines

dichromatischen Systems in einem Punkte ausserhalb oder an der Grenze des trichromatischen Farbendreiecks schneiden. Er schliesst die Untersuchung mit einer Vergleichung der Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede und der für Farbenunterschiede.

Die zweite Hälfte des Jahres 1891 brachte Helmholtz nach den schweren Schicksalsschlägen, die ihn und sein Haus getroffen, eine Reihe von Ovationen der naturwissenschaftlichen, überhaupt der ganzen gebildeten Welt, wie sie wohl kaum je einem Gelehrten zu Theil geworden.

Nachdem er noch am 15. Juli das Präsidium der Prüfungscommission bei der internationalen technischen Ausstellung in Frankfurt a. M. übernommen und den Sommer über wieder mit optischen Fragen beschäftigt gewesen, ging er, um den Aufregungen und Anstrengungen zu entgehen, welche die bevorstehende Feier seines 70. Geburtstages nothwendig mit sich bringen musste, in der Mitte des August mit seiner Familie nach Campiglio, um erst nach seinem Geburtstage wieder nach Berlin zurückzukehren. Am 15. September richtete er von Feldafing bei München ein Schreiben an den vorgesetzten Minister:

„Ew. Excellenz erlaube ich mir die gehorsame Bitte um Verlängerung meines Urlaubs, der am 20. d. Mts. zu Ende geht, bis eventuell zum 27. d. Mts. zu ersuchen. Meine Freunde, welche eine Feier meines 70. Geburtstages in Berlin vorbereiten, haben eine Portraitbüste von mir bei dem Bildhauer Adolf Hildebrand bestellt und mich ersucht, ihm dazu zu sitzen. Der Künstler ist zur Zeit durch Vorarbeiten für einen grossen Brunnen, den die Stadt München bei ihm bestellt hat, an München gefesselt. Das Thonmodell meiner Büste ist schon im Frühling dieses Jahres in Florenz angefertigt worden; es handelt sich jetzt nur noch um die feinere Ausführung der Marmorarbeit. Ich bin seit dem 7. d. Mts. hier und habe fast täglich Sitzungen gehabt. Aber es ist schon jetzt klar, dass die

Büste bis Sonntag den 20. d. Mts. nicht fertig werden kann, wesshalb ich nach Rücksprache mit dem Künstler die vorangestellte Bitte an Ew. Excellenz richte.“

Schon nach Campiglio und jetzt nach Feldafing werden ihm unzählige Glückwünsche aus der ganzen Welt zugeschickt. Am 21. September schreibt er an Ludwig:

„Habe Dank für die liebenswürdige — meines Erachtens viel zu liebenswürdige — Schätzung meiner Leistungen. Wenn zwei Freunde in etwas verschiedenen Richtungen arbeiten, kann natürlich Jeder dem Anderen gelegentlich helfen, und es freut mich, wenn ich Dir dies zuweilen gekonnt habe. Dafür habe ich aber auch viele Gegengabe von Dir empfangen, namentlich, so lange ich Physiologie vortrug, wo Du meine Hauptautorität warst. . . . Campiglio, wo ich mit den Meinigen war, erwies sich für diesen nasskalten Sommer als sehr geeignet; nur unser Fest dort in Stille und Verborgenheit zu feiern, misslang gänzlich. . . . Ich sitze jetzt hier seit 14 Tagen täglich drei Stunden Modell für Meister Hildebrand, der mich in Marmor nachbildet. Mit der Gesundheit geht es mir bisher ganz gut, und ich bin vorbereitet auf die Berliner Feier. Eigentlich ist der Gedanke an den 70. Geburtstag eine etwas gemischte Freude, kaum ein Fest zu nennen; schliesslich muss ich sagen, hatte die Menge von Beweisen der Theilnahme, der Dankbarkeit und Achtung, mit denen ich von allen Seiten überschüttet wurde, und deren grösster Theil doch schliesslich nur aufrichtig gemeint sein konnte, da er ganz ungerufen kam, doch etwas Festliches und Erhebendes. Abgesehen von allen Fragen der Eitelkeit ist es schliesslich für unser einen, der sein Leben lang schwer gearbeitet hat, doch eine berechtigte Frage: Ist das, was Du geleistet, nützlich und schätzenswerth? und diese können nur die Anderen beantworten, die davon Nutzen und Vortheil haben“

Noch vor der für den 2. November von der Gelehrten-

welt in Berlin projectirten Feier erhielt er eine Fülle der höchsten Auszeichnungen. Nachdem er schon im Februar das Grossofficierkreuz des Ordens der Ehrenlegion erhalten, wurde ihm das Grosskreuz des Nordstern-Ordens, das Grosskreuz des Ordens vom Zähringer Löwen, vom Kaiser Franz Joseph das Ehrenzeichen für Kunst und Wissenschaft, aus Italien das Grosskreuz des St. Mauritius- und Lazarus-Ordens verliehen.

Zum Geburtstage des Kaiser Friedrich wurde ihm durch das am 12. October 1891 vom Kaiser Wilhelm II. in Potsdam vollzogene Patent der Charakter als Wirklicher Geheimer Rath mit dem Prädicate „Excellenz“ zuerkannt. Noch sind die Worte, welche dieser Ernennung beigefügt waren, in aller Erinnerung:

„Sie haben, Ihr ganzes Leben zum Wohle der Menschheit einsetzend, eine reiche Anzahl von herrlichen Entdeckungen vollbracht. Ihr stets den reinsten und höchsten Idealen nachstrebender Geist liess in seinem hohen Fluge alles Getriebe von Politik und der damit verbundenen Parteiungen weit hinter sich zurück. Ich und mein Volk sind stolz darauf, einen solch bedeutenden Mann unser nennen zu können.“

Am 2. November fand nun in Berlin jene Ovation für Helmholtz statt, die ein Ehrendenkmal nicht nur für ihn, sondern auch für die Forscher aller Länder durch die neidlose Anerkennung seiner ungeheuren Verdienste um die Wissenschaft und der reinen und edlen Persönlichkeit geworden ist. Es mag genügen, aus der reichen Zahl von Ansprachen der Minister, Akademien, wissenschaftlicher Corporationen und einzelner Gelehrten den Worten du Bois' hier eine Stelle zu geben:

„. . . Wir erliessen einen Aufruf, international wie die Wissenschaft ist, über alle Grenzen des Chauvinismus und der Politik hinaus, an alle Gelehrten aller Kategorien, an Physiker, Mathematiker, Aerzte, Physiologen, welche



Büste von Adolf Hildebrand 1891