

Inzwischen hatte das preussische Ministerium nicht gezögert, dem Vorschlage der medicinischen Facultät nachzukommen und dem überall als Physiologen und Physiker ersten Ranges anerkannten Helmholtz das Ordinariat für Physiologie zu übertragen; durch königliche Ordre vom 17. December 1851 wurde derselbe zum ordentlichen Professor ernannt.

Vier Wochen später schreibt die glückliche Mutter:

„Die Königsberger Briefe sind gar zu reizend durch Inhalt und durch die Art, wie der Inhalt mitgetheilt wird. Vater und ich lachen und weinen zugleich dabei und lesen immer wieder, bis kein Buchstabe mehr darin ist, der irgend noch eine besondere Geschichte erzählen könnte; es sind ordentliche Hauptfreuden.

Vater wird sehr oft von Generalärzten und andern geachteten Herren sehr viel Schmeichelhaftes über Dich gesagt; er selbst findet es höchst merkwürdig, dass ein so junger Mann, wie Du, so viel schon erreicht hat; er denkt dabei an seine Freunde Ritter und Fichte, wie lange der eine warten musste, trotz seiner Tüchtigkeit, ehe er im Auslande den Standpunkt erreichte, den der andere heute noch nicht hat. Vater kann gar die Worte nicht mehr wiederfinden, wenn er mir die Glückwünsche mittheilen will, und ist immer ganz voller Staunen über die Anerkennung, die Dir zu Theil wird, wir freuen uns sehr.“

Während sich nun Helmholtz mit der für die Uebernahme der ordentlichen Professur erforderlichen Habilitationsschrift beschäftigte, zu deren Gegenstand er sich ein Thema aus der physiologischen Farbenlehre wählte, erschien in Müller's Archiv der zweite Theil seiner grossen Untersuchungen aus der Physiologie der Muskeln und Nerven unter dem Titel: „Messungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“. Wenn er auch bereits in dem ersten, früher veröffentlichten Theile mit Hülfe der elektromagnetischen Zeitmessungsmethode nachgewiesen hatte, dass

die mechanischen Wirkungen der Muskeln in Folge einer Nervenreizung später eintreten, wenn die Reizung ein längeres Stück des Nerven zu durchlaufen hat, ehe sie zum Muskel hingelangt, so erforderte doch die Anwendung dieser Methode mühsame Versuchsreihen und eine wegen der langen Dauer besonders günstige Beschaffenheit der Froschpräparate. Er war daher bestrebt, durch Anwendung einer schon in dem ersten Theile der Arbeit erwähnten graphischen Zeitmessungsmethode, bei welcher der Muskel während der Zuckung die Grössen seiner Verkürzung auf einer bewegten Fläche aufschreibt, einen einfacheren Nachweis für die von ihm gefundene Grösse der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Nerven zu führen. Nachdem Ludwig schon durch sein Kymographion den Blutdruck in den Gefässen eines lebenden Thieres seine Schwankungen hatte verzeichnen lassen, construirte Helmholtz zur graphischen Darstellung der Verkürzung eines Muskels sein Myographion, dessen Princip darin bestand, dass ein Stift, der durch den zuckenden Muskel gehoben wird, auf einer mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegten Fläche eine Curve zeichnet, deren verticale Coordinaten den Verkürzungen des Muskels, deren horizontale der Zeit proportional sind; lässt man nun zwei Curven nach einander zeichnen, und zwar so, dass zur Zeit der Reizung der Zeichenstift immer genau dieselbe Stelle auf der Fläche einnimmt, so werden beide Curven denselben Anfangspunkt haben, und es wird sich aus der Congruenz oder Nichtcongruenz ihrer einzelnen Theile beobachten lassen, ob die verschiedenen Stadien der mechanischen Wirkung des Muskels in beiden Fällen gleich oder ungleich spät nach der Reizung eintreten. Wesentliche Ergänzungen dieser, immer noch am Frosch, mittelst des Myographions angestellten Versuche führte er zwei Jahre später aus.

Zugleich erschien im April in der Kieler Monatsschrift für Wissenschaft und Litteratur der du Bois schon früher in Aussicht gestellte Aufsatz: „Die Resultate der neueren

Forschungen über thierische Elektrizität“. In meisterhafter Weise liefert er einen historischen Abriss von der Entwicklung der Nervenphysiologie, und erörtert das Interesse, das sich an die Beantwortung der Frage knüpft, „was das geheimnissvolle Agens sei, welches in unscheinbaren Fäden hin und her wirkend die zartesten Abstufungen, die mächtigsten Energieen und mannigfaltigsten Wechsel der Empfindung und Bewegung hervorruft, dieses Agens, das erste Glied in der Kette von Vorgängen, durch welche die empfindende und wollende Seele mit der materiellen Aussenwelt, Einwirkungen empfangend und wiedergebend, in Verbindung tritt“. Schon im Jahre 1743 war von dem Leipziger Mathematiker Hausen die Ansicht ausgesprochen worden, dass dieses Agens identisch ist mit der Elektrizität. Helmholtz entwickelt nun die Gegensätze von Galvani und Volta, von denen der erste in allen seinen Versuchen die thierische Elektrizität als die Quelle der Elektrizität angesehen wissen wollte, während der letztere durch seine Theorie der Contactelektrizität, die ihn zu den glänzendsten Entdeckungen geführt hat, die der thierischen Elektrizität wirklich angehörenden Versuche ganz in den Hintergrund drängte; er hebt weiter die grosse Zahl mühevoller Versuche von Matteucci hervor — auf die er mehrere Jahre später bei anderer Gelegenheit zurückzukommen genöthigt war — und geht endlich auf eine ausführliche Besprechung der Entdeckungen von du Bois ein: „Früchte des angestrengten Studiums und der unablässig auf ein Ziel gerichteten Consequenz von zehn Jahren, in denen der Frosch und die Multiplicatortheilung seine Welt waren, ein seltenes Beispiel methodischer Beobachtung, reicher Kenntnisse und derjenigen Schärfe und Klarheit der Begriffe, deren Schule die Mathematik ist.“ Nachdem er die wesentlichsten Resultate der Untersuchungen von du Bois zusammengestellt, dessen Versuche er selbst seinen Zuhörern zuerst durch das jetzt so üblich gewordene Verfahren vorführte, einen mit dem asta-

tischen Systeme verbundenen Spiegel einen Lichtstrahl auf eine weithin sichtbare Theilung werfen zu lassen, hebt er hervor, dass einige Physiologen annehmen, was sich bei der Reizung durch die Nerven hin fortpflanze, sei irgend eine bestimmte Bewegungsform ähnlich den Wellen, wie sie sich als Schallwellen in der Luft, als Lichtwellen im Aether fortpflanzen; er fügt hinzu, dass nun auch die elektrischen Erscheinungen auf die Vorstellung einer solchen Bewegung führen, indem die Erwägung der ungemein schnellen Wechsel, welche Richtung und Stärke der elektromotorischen Kräfte darbieten, es wahrscheinlich machen, dass diese Kräfte sehr beweglichen kleinen Theilen des Inhaltes zukommen, und dass durch die Reizung die Richtung dieser Theilchen vorübergehend von der gereizten Stelle des Nerven ab bis zum Muskel und in diesem selbst geändert werde. Den unerwartet niedrigen Werth, der sich ihm selbst für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung ergab, findet er unvereinbar mit der älteren Ansicht vom Nervenagens als einem immateriellen oder imponderabeln Princip, wohl aber vereinbar mit der Annahme von der Bewegung der materiellen Theile des Nerveninhaltes.

Mit dieser Arbeit schloss sich zunächst der Kreis der innerlich eng zusammenhängenden physiologischen Untersuchungen, die er unmittelbar nach Veröffentlichung seiner Dissertation begonnen, und er wandte sich nunmehr der physiologischen Optik zu, für die er neue physikalische Grundlagen schuf, auf denen er als Physiker, Physiologe, Philosoph und Aesthetiker einen Bau aufrichtete von einem Umfange und einer Sicherheit, wie er vor ihm nicht geahnt wurde, und der bis heute Staunen und Bewunderung erregt.

Schon früher hatte er umfangreiche Versuche, das Mischungsgesetz der Farben betreffend, angestellt, um einen bei Newton vorkommenden Irrthum aufzuklären, der sich durch alle folgenden Jahrhunderte hindurchgezogen hatte, und war auch schon seit seinem Besuche in Wien mit

Brücke, der sich gerade mit hierher gehörigen Untersuchungen viel beschäftigte, darüber in schriftlichen Gedankenaustausch getreten. So schrieb Brücke am 22. December 1851 an Helmholtz:

„Bekanntlich erklärt Goethe in seiner Farbenlehre peinlichen Andenkens alle Farben aus der Ueberschiebung des Hellen und Dunkeln, und stützt sich hierbei auf die bekannte Thatsache, dass durchscheinende Medien vor einem dunkeln Grunde violettgrau, blaugrau und blau erscheinen können, während sie im durchfallenden Lichte braun, gelb oder roth erscheinen. Ich bin bei meinen Untersuchungen über die Chamäleone aufmerksam darauf geworden, wie oft namentlich im Thierreiche auf diesem Wege sehr lebhaft Farben hervorgebracht werden, und finde die Erscheinung vom Standpunkte der Undulationstheorie aus nirgends erklärt, obgleich mir doch der Weg der Erklärung sehr nahe zu liegen scheint . . . Ich bitte Dich, mir zu sagen, ob überhaupt schon in der Optik die verschiedene Färbung des reflectirten und gebrochenen Strahles berücksichtigt ist.“

Brücke ahnte nicht, dass Helmholtz nach dieser Richtung hin gerade damals ganz fundamentale Entdeckungen gemacht hatte, mit denen er sehr bald die Physiker und Physiologen in seiner zu veröffentlichenden Habilitationsschrift überraschen sollte. Der glückliche Vater, dem Helmholtz von dem Inhalte dieser Schrift eine kurze Mittheilung macht, schreibt ihm am 5. April:

„Wie immer Deine Briefe, so hat auch der vom 21. viele Freude uns allen gebracht, und es war wieder ein allgemeines Murren der Ungeduld, bis ihn jeder gelesen hatte. Möge Gott Dich immer mehr zu einem reichen Propheten der Wahrheit und einem Mehrer der Erkenntniss machen, damit Du nicht vergebens für die ewige Menschheit gelebt habest, sondern als einer ihrer Eckpfeiler für ewig auch auf Erden lebest, dann tröste ich mich gern, dass mein Leben so resultatlos vorübergegangen ist. Gott erhalte

Dir und den Deinen Gesundheit, und gönne Dir fort und fort eine äussere Lage, die Dein geistiges Leben immer mehr fördert nach seiner Weisheit . . . . Auf die interessante Arbeit, die Du zu Deiner Habilitirung gewählt hast, bin ich sehr begierig: da wirst Du Dich wohl mit Goethe begegnen? Vergiss nicht, dass Du mir ausserdem Deine zwei letzten Abhandlungen über du Bois und die Geschwindigkeitsmessung versprochen hast . . . .“

Er ist hocheufreut, als Helmholtz ihm andeutet, dass der kommende Sommer möglicher Weise grosse Veränderungen in seinen äusseren Verhältnissen bringen kann:

„Es stehen drei Vacanzen physiologischer Stellen in Aussicht. Wagner von Göttingen ist nach München berufen, in Heidelberg ist zu der alten Geschichte noch hinzugekommen, dass Prof. Henle, der bisher Physiologie und Anatomie versehen hat, jetzt selbst weggehen will, wie es scheint auch nach München als Anatom, und endlich deutete Siebold, der Physiolog in Breslau, unserm hiesigen Dr. v. Wittich, der bei ihm zum Besuch war, an, dass er einen Ruf nach Berlin zu einer neu zu bildenden zoologischen Stelle erwarte. Dazu kommt noch, dass der Prosector Peters in Berlin Aussichten zu einer zweiten Reise hat, wobei seine Stelle auf du Bois übergehen, und dieser an Berlin gefesselt werden würde. Es kann also zu einer physiologischen Völkerwanderung kommen, bei der jeder die beste neue Stelle zu erwerben suchen muss. Uebrigens sind nicht viel Kandidaten da, du Bois, Eduard Weber in Leipzig und ich, wir rechnen uns zu den fast einzigen.“

Während nun Helmholtz mit der Ausarbeitung seiner Habilitationsschrift beschäftigt ist, die sich in der Form immer mehr erweitert, dem Inhalt nach mehr und mehr vertieft, und sich schliesslich zu einer strengen Kritik der optischen Arbeiten von Brewster ausgestaltet, schreibt du Bois — der kurz zuvor so vollauf befriedigt aus England zurückgekehrt war, dass er Helmholtz zuruft „gehe nicht

nach England, es verdirbt den Geschmack an Deutschland“ — seinem Freunde am 15. Juni, er habe Sir David Brewster von dem Augenspiegel berichtet, und dieser wolle, wenn er ein Exemplar der Arbeit erhält, dafür sorgen, dass dieselbe ins Englische übersetzt werde. Aber Helmholtz musste ihm schon nach wenigen Tagen antworten:

„Dass es Dir in England unter den Verhältnissen, wo Du warst, gefallen hat, kann ich mir denken. Brewster's Gefälligkeit für Anfertigung einer englischen Uebersetzung des Augenspiegels in Anspruch zu nehmen, scheue ich mich, da der zweite Theil der zu meiner Habilitation bestimmten physiologisch-optischen Arbeit, den ich zum mündlichen Vortrag gebrauchen und dann an Poggendorff schicken will, zur Widerlegung von Brewster's Analyse des Sonnenlichts bestimmt ist, eine Theorie, welche ihm sehr am Herzen liegt, und die er bisher mit vieler Gereiztheit vertheidigt hat. Seine Beobachtungen über diesen Gegenstand sind vollkommen richtig, aber die Veränderungen der Farben des Spectrums durch absorbirende Medien beruhen meist auf subjectiven Erscheinungen, Contrast und dergl., wie sich ganz schlagend nachweisen lässt. Meine Abhandlung ist natürlich mit der äussersten Rücksicht geschrieben, aber ich fürchte dennoch, dass Brewster sie übel aufnehmen wird.“

Am 28. Juni 1852 hielt nun Helmholtz seinen Habilitationsvortrag „Ueber die Natur der menschlichen Sinnesempfindungen“; er bewies durch denselben nicht nur die unvergleichliche Gabe, an sich schwierigere wissenschaftliche Probleme durch eine klare, lichtvolle und von ungewöhnlicher Schönheit getragene Darstellung verständlich zu machen, sondern eröffnete wiederum völlig neue Gebiete der Forschung, welche „den Grenzen menschlichen Wissens näher kommen“, und welche erst weit später nach der Veröffentlichung seiner physiologischen Optik einen Ueberblick über die Fülle und Tiefe der physikalischen, physiologischen und erkenntnistheoretischen Forschungen gestatteten, die er schon da-

mals angestellt und zum Theil bereits abgeschlossen hatte. Durch diesen Vortrag erlangte er endlich auch den vollen Beifall seines väterlichen Kritikers:

„Ich danke Dir für Deine mir durch Herrn Dr. Friedländer übersandte Ordinariatsvorlesung, die mir sehr durch ihre Klarheit und ihren ungesuchten populären Styl gefallen hat, der die Resultate der Wissenschaft auch dem Laien zugänglich zu machen sucht, und zugleich ihm zeigt, wohin das Einzelne führt, und welches der Weg und das Ziel ist. Es will mir fast scheinen, als sei mit dieser mathematisch-experimentirenden Untersuchungsweise, sobald sie zur sicheren Kunst erhoben, und nicht mehr von der einzelnen Genialität abhängen wird, ein neuer langsamer, aber sicherer Weg zur Philosophie begonnen, der so wenigstens das objective Substrat aller Erkenntniss genau begrenzen, in seinem Wesen unzweifelhaft klar hinstellen, und so die Ich-lehre Fichte's dereinst als die einzig mögliche Weise des Philosophirens begründen und verdeutlichen wird. Die Wichtigkeit Deiner fünf Grundfarben sowie ihre Richtigkeit kann ich natürlich nicht beurtheilen, und habe auch noch kein anderes Urtheil darüber vernommen, denn Meyer ist zu wenig Physiker und auch überhaupt zu sehr aus der fortschreitenden Wissenschaft heraus, um darüber urtheilen zu können; Dr. Friedländer meinte indessen, dass die Sache unter den Gelehrten für neu und wichtig gelte, wusste aber, als ich ihn über die Wirkung Deiner Rede auf Deine Collegen befragte, nichts darüber zu sagen, weil er selbst einer Vorlesung wegen nicht gegenwärtig gewesen war; und versicherte er, es sei dies die erste Abhandlung derart, die er ganz verstanden habe, ja die selbst denjenigen, welchen er sie mit Deiner Bewilligung vorgelesen, klar geworden sei; er bestätigte übrigens die allgemeine Achtung, in der Du bei Deinen Collegen stehst, die Dich stets ungern verlieren würden, wengleich er es Dir nicht verdenken kann, dass Du eine südlichere oder westlichere Universität Königsberg vorziehen würdest.“

Helmholtz bestätigt in einem Briefe vom September, in welchem er voll Freude die Geburt seines Sohnes Richard anzeigt, zu seines Vaters Genugthuung, dass es bei der Abfassung seines Vortrages allerdings seine Absicht gewesen, wie sein Vater es auch herausgelesen, die Grundansicht von Fichte über die sinnliche Wahrnehmung empirisch darzustellen, und äussert sich glücklich darüber, dass sein Vater mit der Form seines Aufsatzes wirklich zufrieden ist und seine philosophischen Anschauungen billigt.

Aber diese allgemeinen philosophischen und erkenntnistheoretischen Anschauungen waren, ganz anders als bei Fichte, lediglich auf dem Boden streng exacter Forschung erwachsen, deren Resultate er in der schon vorher eingereichten Habilitationsschrift: „Ueber die Theorie der zusammengesetzten Farben“ und in der in Poggendorff's Annalen erschienenen, schon früher du Bois angekündigten Arbeit: „Ueber Herrn D. Brewster's neue Analyse des Sonnenlichtes“ entwickelt hatte und welche die Grundlage der ganzen modernen Farbenlehre bilden. Newton hatte nach seiner Entdeckung der Zusammensetzung des weissen Lichtes aus farbigem sieben Hauptfarben im Spectrum unterschieden und diese Zahl wahrscheinlich der Analogie entnommen, die er zwischen den Farben und den musikalischen Intervallen der Durtonleiter suchte. Während nun aber zwei Töne verschiedener Schwingungsdauer und musikalischer Höhe durch ihr Zusammenwirken zwar die Empfindung der Harmonie und Disharmonie erzeugen, trotzdem aber vom Ohre stets einzeln empfunden werden, bringen Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge und Farbe Eindrücke hervor, welche sich zu einem einzigen neuen Farbeneindruck vereinigen; diese Vereinigung stellt somit ein rein physiologisches Phänomen dar, welches an die specifische Reactionsweise des Sehnerven gebunden ist. Nachdem man schon vor der Entdeckung der Zusammensetzung des weissen Lichtes aus farbigem durch die Mischung der Farbstoffe zu der

Lehre von den drei Grundfarben Roth, Gelb, Blau gelangt war, aus denen alle anderen Farben combinirt sein sollten, nahm Newton ohne Prüfung an ausgedehnten Versuchsreihen an, dass sich dieselben Resultate auch für die Zusammensetzung des gefärbten Lichtes selbst ergeben, und Thomas Young erbaute auf der Annahme von drei Grundfarben seine Hypothese, dass die an der Oberfläche der Retina gelegenen Theilchen eigenthümlicher Schwingungen fähig wären, dass an jeder Stelle Theilchen von dreierlei verschiedener Schwingungsdauer sich neben einander vorfinden, entsprechend den Oscillationsgeschwindigkeiten der drei Grundfarben, und dass endlich durch die Anregung der verschieden empfindenden Nervenenden die gemischten Empfindungen hervorgebracht werden. Helmholtz fand nun, dass die Mischung der Farbstoffe durchaus andere Resultate giebt als die Zusammensetzung des farbigen Lichtes. Nur wenn wir es mit zwei im Spectrum wenig von einander abstehenden Farben zu thun haben, liefert die Zusammensetzung des farbigen Lichtes fast dieselben Resultate wie die Mischung der Pigmente, weil hier die zusammengesetzte Farbe den zwischenliegenden Farbentönen des Spectrums ähnlich ist, während sich der Unterschied am auffallendsten findet bei der Vereinigung von Blau und Gelb, welche, wenn Farbstoffe gemischt werden, Grün, wenn entsprechendes farbiges Licht gemischt wird, Weiss geben. Da nun Grün zu den Farben gehört, welche am unvollkommensten durch Zusammensetzung andersfarbigen Lichtes hervorgebracht werden können, durfte Helmholtz, wenn überhaupt die Hypothese von der Zusammensetzung aller Farben aus drei einfachen Farben aufrecht erhalten werden sollte, für diese drei Grundfarben nicht Roth, Gelb, Blau, sondern musste Roth, Grün, Violett wählen, durch deren Mischung man wenigstens die matteren zusammengesetzten Farben erhalten kann, während, wenn die gesättigten Farben des Spectrums nachgeahmt werden sollen, mindestens fünf einfache Farben Roth, Gelb, Grün, Blau und

Violett gebraucht werden. Um nun zunächst festzustellen, ob es drei Grundfarben giebt, aus denen alle möglichen Farben zusammengesetzt sind oder sich wenigstens zusammensetzen lassen, musste diese Hypothese an prismatischen Farben als den reinsten und gesättigtsten geprüft werden. Indem Helmholtz nun durch eine Winkelspalte die durch ein Flintglasprisma erzeugten Spectra der beiden Schenkel sich theilweise decken und in dem einen die Farbenstreifen von oben links nach unten rechts, im anderen von oben rechts nach unten links verlaufen liess, so dass jeder Farbenstreifen des einen in dem den beiden Spectren gemeinsamen Felde jeden des anderen durchschnitt, erhielt er sämtliche Combinationen, welche aus zwei einfachen Farben gebildet werden können. Aendert man nun noch die relative Intensität der gemischten Farben; indem man das Prisma aus seiner verticalen Stellung in eine mehr oder weniger schiefe bringt, und sorgt dafür, die Stellen, über deren Farbe man urtheilen will, getrennt von den übrigen zu betrachten — da man die Färbung des Feldes zu beurtheilen unfähig ist, so lange man gleichzeitig gesättigte Farben daneben hat — so kann man sämtliche Combinationen in allen Abstufungen ihrer relativen Stärke mittelst eines Fernrohres untersuchen, für welches die Fäden des Fadenkreuzes parallel den Farbenstreifen gestellt werden. Als die auffallendste und von den bisherigen Ansichten abweichendste Thatsache fand Helmholtz, dass unter den Farben des Spectrums nur zwei vorkommen, nämlich Gelb und Indigo, welche zusammen reines Weiss geben, also Complementärfarben sind, während man bisher aus deren Verbindung immer Grün entspringen liess. Durch die Weiss gebenden Strahlen wird die ganze Breite des Spectrums in drei Abtheilungen getheilt; Farben der ersten und zweiten verbinden sich zu gelben Tönen mit Uebergängen in Roth, Fleischfarbe, Weiss und Grün, Farben der zweiten und dritten zu blauen Tönen mit Uebergängen in Grün, Weiss, Violett, Farben der ersten und dritten zu purpurrothen mit Uebergängen in Fleisch-

farbe, Rosa und Violett. Da nun Gelb und Blau gemischt nicht Grün, sondern höchstens ein schwach grünliches Weiss gaben, musste Helmholtz, wie schon hervorgehoben, die Hypothese von der Zusammensetzung aller Farben aus Roth, Gelb, Blau als irrig zurückweisen. Aber er untersucht auch die Zusammensetzung von Farbstoffen und ist im Stande, die früher stets gewonnenen Resultate zu erklären; mischt man ein gelbes und ein blaues Pulver, so werden die oberflächlich gelegenen blauen Theilchen blaues und die gelben Theilchen gelbes Licht geben, welche sich zu einem grünlichen Weiss vereinigen. Aus der Tiefe wird jedoch nur solches Licht zurückkehren, welches sowohl von den blauen als auch von den gelben Theilchen durchgelassen wird; da aber blaue Körper nur grünes, blaues und violettes Licht, gelbe Körper nur rothes, gelbes und grünes Licht durchzulassen pflegen, so kann aus der Tiefe nur grünes Licht zurückkehren, so dass in der Vereinigung mit dem von der Oberfläche zurückgeworfenen weisslichen Lichte das Grün überwiegen wird. Damit hatte er nun die Zusammensetzung der Farbstoffe auf rein physikalischer Grundlage aufgebaut. Würde man die Annahme von drei Grundfarben fallen lassen — Young hatte Roth, Grün und Violett vorgeschlagen — so müsste man auch Young's Lehre von den drei Grundfarben als den drei Grundqualitäten der Empfindung aufgeben; denn, wenn z. B. die Empfindung des Gelb durch die gelben Strahlen des Spectrums nur deshalb entstände, weil dadurch gleichzeitig die Empfindung des Roth und Grün angeregt würde, die beide zusammenwirkend Gelb gäben, so müsste genau dieselbe Empfindung durch eine gleichzeitige Einwirkung der rothen und grünen Strahlen erregt werden, welche jedoch niemals ein so glänzendes und lebhaftes Gelb erzeugen, wie es die gelben Strahlen liefern.

Veranlasst waren diese Untersuchungen von Helmholtz dadurch, dass er den von Brewster beschriebenen Erscheinungen nachging, welche mit Newton's Theorie in Wider-

spruch zu stehen schienen und ihn zwangen, eine noch sorgfältigere Reinigung des farbigen Lichtes zu bewerkstelligen, als sie Newton, Goethe und Brewster gekannt hatten. Ebenso wie Goethe hatte Brewster behauptet — und darauf seine ganze Farbentheorie aufgebaut — dass nicht die verschiedene Brechbarkeit der Strahlen die Farben des prismatischen Bildes bestimme, sondern dass es drei verschiedene Arten von Licht gäbe, rothes, gelbes, blaues, deren jedes mit allen Graden der Brechbarkeit vorkäme, jedoch so, dass das rothe Licht mehr Strahlen von geringer Brechbarkeit, das gelbe mehr von mittlerer, das blaue mehr von grösserer liefert, daher das erste am weniger brechbaren Ende, das zweite in der Mitte, das dritte am brechbarsten Ende überwiegt, während die übrigen Farbentöne des Spectrums durch Mischung der drei Grundfarben entstehen. Den Beweis, dass diese Annahme unstatthaft sei, hatte sich Helmholtz zum Gegenstand seiner Habilitationsschrift gewählt; doch er ging weiter. Brewster hatte wohl erkannt, dass, wenn es verschiedenfarbige Strahlen von gleicher Brechbarkeit giebt, sich das aus ihnen zusammengesetzte Licht für die prismatische Analyse wie einfaches verhalten müsse; zugleich aber hatte er behauptet, dass sich solche Strahlen durch ihre verschiedene Absorption in gefärbten Mitteln von einander trennen lassen, und dass somit in allen Theilen des Sonnenspectrums Licht von allen drei Farben, also auch aus diesen drei Farben zusammengesetztes weisses Licht vorkomme, was direct gegen die Newton'sche Theorie verstossen würde, nach welcher homogenes Licht, wenn es durch gefärbte Media geht, zwar geschwächt oder ausgelöscht, aber nie in seiner Farbe verändert werden könne. Sollte nun die Brewster'sche Theorie widerlegt werden oder sollte die Frage beantwortet werden, ob die Farbe homogenen Lichtes durch gefärbte Mittel verändert wird oder nicht, so musste zunächst die Zuverlässigkeit der Brewster'schen Experimente geprüft werden. Helmholtz fand nun, dass Brewster, getäuscht durch die

in der That nie fehlende Trübung der durchsichtigen Körper, das durch diese Trübung über das Gesichtsfeld des Beobachters ausgegossene falsche Licht übersehen hatte. Er zeigte, dass die Farbenveränderungen, die Brewster bemerkt hatte, theils eine Folge der Unreinigkeiten der Substanz und Unvollkommenheiten der Politur des Prismas, theils der mehrfachen Reflexionen an den Flächen des Prismas und den Grenzflächen des farbigen Mediums und ferner der Lichtzerstreuung im Auge selbst sind, zeigte ferner, dass die Farbenveränderungen auf Contrastwirkungen beruhen, welche bei der Lebhaftigkeit der Spectralfarben erregt werden, dass endlich die Spectralfarben bei veränderter Lichtstärke auch einen veränderten Eindruck machen, und widerlegte so durch eine grosse Reihe entscheidender Versuche die Lehre von Brewster.

Diese Untersuchungen waren sämmtlich beendet, als er seinen Habilitationsvortrag hielt, dessen Gegenstand er sich in der Besprechung viel allgemeinerer, aber mit den früheren Arbeiten im engsten Zusammenhang stehender Fragen wählte, in welcher Weise unsere Sinnesempfindungen den empfundenen Gegenständen überhaupt entsprechen; Fragen, die ihn allmählich immer tiefer in die Probleme der Erkenntnistheorie führten, ihm aber auch wiederum für seine weiteren physikalischen und physiologischen Forschungen die leitenden Gesichtspunkte lieferten.

Nachdem er in seinem Vortrage die Wellentheorie des Schalles und Lichtes in klarer und fesselnder Weise entwickelt und die Newton'sche Farbentheorie gegen die Brewster'sche aus den bereits dargelegten Gründen vertheidigt hatte, hebt er die Unauflöslichkeit und scheinbare Einfachheit eines zusammengesetzten Farbeneindruckes hervor; die Gründe dafür, dass Goethe und nach ihm die ganze Hegel'sche Schule sich gegen die Annahme der Zusammensetzung des weissen Lichtes gesträubt haben, sucht er aus dem eigenthümlichen Wesen des dichterischen Genius zu erklären, der

es als seine höchste Kraft fühlt, die volle Energie der sinnlichen Erscheinung festzuhalten, und der auch auf das Geistige die ganze Lebendigkeit unmittelbarer Anschauung überträgt. Aber um die optischen Erscheinungen tiefer zu erfassen, ist es nöthig, das Verhältniss zu erkennen, in dem die Lichtempfindungen zu dem empfundenen Objecte stehen; hier erörtert er die beiden für die Entwicklung der Erkenntnistheorie so wichtig gewordenen Sätze, dass einerseits nicht alles Licht ist, was als Licht empfunden wird — ein Satz, den Johannes Müller schon längst scharf hervorgehoben — dass es andererseits aber Licht giebt, welches wir nicht empfinden, also unsichtbares Licht, wie die chemischen Strahlen, die über das sichtbare Spectrum hinaus chemische Wirkungen ausüben. Ebenso findet man, dass innerhalb des leuchtenden Theiles des Spectrums höchst wahrscheinlich leuchtende und wärmende Strahlen identisch sind, wobei aber die stärksten Wärmewirkungen ausserhalb des rothen Endes liegen, dass also strahlende Wärme und Licht dem Wesen nach als identisch zu betrachten sind; und man findet den Grund dafür, dass das Leuchten auf eine so kleine Gruppe aus der langen Reihe der Vibrationen beschränkt ist, nach der kurz zuvor von Brücke gegebenen Erklärung darin, dass die durchsichtigen Medien des Auges gerade nur diese zur Netzhaut zulassen, alle anderen abhalten. Da sich nun Lichtempfindung und Licht ihren Grenzen nach durchaus nicht genau entsprechen, hatte Johannes Müller bereits gefolgert, dass das Eigenthümliche der Lichtempfindung nur von der besonderen Thätigkeit des Sehnerven herrührt, der, wie er auch angeregt sein mag, immer nur eine Lichtempfindung hervorbringt. Die Strahlung, welche wir bald Licht, bald strahlende Wärme nennen, wird von zwei Nervenapparaten, dem Auge und der Haut, empfunden, und die Verschiedenartigkeit der Qualität der Empfindung wird nicht durch das empfundene Object bestimmt, sondern hängt von dem Nervenapparate ab, der in Thätigkeit versetzt worden ist.

Von diesen einfachen, unmittelbar einleuchtenden Wahrheiten ausgehend, baut nun Helmholtz seine ganze Erkenntnistheorie auf. Welche Farbencombinationen gleich aussehen, hängt nur von dem physiologischen Gesetze ihres Zusammenwirkens ab; die Gleichheit der Farbe verschieden zusammengesetzten Lichtes hat nur subjectiven Werth, und die Gruppen gleichfarbiger Farbencombinationen entsprechen keinerlei objectivem, von der Natur des sehenden Auges unabhängigem Verhältnisse. Wenn es sich aber mit der Farbe als Eigenschaft des Lichtes so verhält, so verhält es sich nothwendig ebenso mit der Farbe als Eigenschaft von Körpern. Ein Körper, welcher nur orangefarbiges Licht zurückwirft, wird eine andere innere Structur haben müssen, als ein Körper, welcher nur rothes und gelbes, oder ein dritter, welcher rothes, orangefarbenes und gelbes zurückwirft. Doch wird die Farbe der drei Körper bei weisser Beleuchtung dieselbe sein können; die Aehnlichkeit hat keinen objectiven, sondern nur subjectiven Werth. Und nun fasst er diese Ueberlegungen schon in diesem Vortrage in einer Form zusammen, welche die späteren Folgerungen bereits voraussehen lässt: „Licht und Farbenempfindungen sind nur Symbole für Verhältnisse der Wirklichkeit, sie haben mit den letzteren eben so wenig und eben so viel Aehnlichkeit oder Beziehung, als der Name eines Menschen oder der Schriftzug des Namens für den Menschen selbst. Sie benachrichtigen uns durch die Gleichheit oder Ungleichheit ihrer Erscheinung davon, ob wir es mit denselben oder anderen Gegenständen und Eigenschaften der Gegenstände zu thun haben, weiter leisten sie nichts; über die wirkliche Natur der durch sie bezeichneten äusseren Verhältnisse erfahren wir nichts, so wenig wie aus dem Namen über den Menschen.“

„Alles Vorgehen  
ist nur ein  
Bildnis“

Der Physiker und Physiologe zog durch diesen Vortrag von Neuem die Aufmerksamkeit der Philosophen auf sich, ohne sich jedoch ihres Beifalles zu erfreuen.

Unmittelbar nach Erfüllung seiner Habilitationspflichten ging er an die Ausarbeitung der schon früher du Bois mitgetheilten Theoreme über die Stromverzweigung, deren Tragweite er sich wohl bewusst war. Ende April schrieb er an Ludwig: „Ich hatte das Glück, ein mathematisches Theorem über Strömungsvorgänge in Körpern zu finden, mit denen du Bois so viel Noth gehabt hat, und welches die Sache so sehr vereinfacht, aber auch einige kleine Aenderungen in den von ihm gemachten Hypothesen bedingt“; und schon in der Mitte des Juli 1852 sandte er du Bois eine Notiz für die Akademie: „Ein Theorem über die Vertheilung elektrischer Ströme in körperlichen Leitern“, während er die ausführlichere Behandlung dieses Gegenstandes erst am Anfange des folgenden Jahres 1853 unter dem Titel: „Ueber einige Gesetze der Vertheilung elektrischer Ströme in körperlichen Leitern mit Anwendung auf die thierisch-elektrischen Versuche“, an Poggendorff für dessen Journal überschickte. In dieser Arbeit tritt Helmholtz zum ersten Male mit dem ganzen Rüstzeug der höheren mathematischen Analysis versehen in die Untersuchungen der mathematischen Physik und mittelbar in die der Physiologie ein, in der letzteren Wissenschaft der einzige die Mathematik beherrschende Forscher. Man fühlt schon hier und noch weit mehr bei seinen späteren Arbeiten, wie, nach seiner eigenen Meinung, seine Jugendanlage der geometrischen Anschauung sich zu einer Art mechanischer Anschauung entwickelt hatte, „vermöge deren ich gleichsam fühlte, wie sich die Drucke und Züge in einer mechanischen Vorrichtung vertheilen“; aber man erkennt auch deutlich, wie er umgekehrt verwickelte und besonders wichtige mechanische und physikalische Verhältnisse doch immer wieder durch theoretische Analyse sich und Anderen durchsichtig zu machen bestrebt war. Du Bois legt am 22. Juli die kurze Angabe des schon früher erwähnten Theorems der Akademie vor und schreibt am 3. August an Helmholtz:

„Welch' ein Füllhorn von Abhandlungen hast Du doch auszuschütten, eine solche Fruchtbarkeit ist ja noch gar nicht dagewesen. Dein Vergleich mit dem Gauss'schen Satze über die Ersetzung innerer magnetischer Kräfte durch eine Vertheilung an der Oberfläche gefällt mir aber nicht, warum sollte Dein Theorem nicht eines sui generis sein. Tröstlich für mich ist übrigens, dass Kirchhoff, mit dem ich so viel über die Probleme gesprochen, die mit Hülfe des Theorems nun so leicht zu behandeln sind, nicht darauf gekommen ist. Die Lehre vom Muskel- und Nervenstrom wird nun erst darstellbar, das grässliche dritte Kapitel meines Buches zieht sich in eine kurze elegante Auseinandersetzung zusammen.“

Aber die Ausarbeitung des für Poggendorff bestimmten Aufsatzes war mit vielen Schwierigkeiten verbunden, da es sich dabei nicht nur um den von du Bois so bewunderten Satz handelte, der auch ohne tiefere mathematische Kenntnisse wenigstens verständlich war, sondern um die Herleitung und Anwendung äusserst schwieriger Sätze der Potentialtheorie, der mit Ausnahme von Neumann, Weber und Kirchhoff fast alle damaligen deutschen Physiker noch fremd gegenüberstanden.

In der Mitte des November schreibt Helmholtz an Kirchhoff:

„Ich bin noch immer nicht mit der Ausarbeitung der Stromvertheilungstheorie bei thierisch-elektrischen Versuchen zu Ende, weil mir noch mancherlei neue Probleme in die Quere kommen. Unangenehm ist mir der Mangel des Werkes von Green dabei, auch dass Neumann seine Bearbeitung dieser Sachen noch nicht herausgegeben hat. Ich kann mich nicht frei mit ihm darüber besprechen, weil die Sätze, welche ich finde und brauche, entweder schon direct in seinen Heften vorkommen, oder doch in sehr ähnlicher Gestalt, so dass ich nach jeder Besprechung mit ihm in Verlegenheit gerathe, ob ich dies oder jenes veröffentlichen soll. Deshalb

muss ich es vermeiden, Green's Theoreme aus den Heften von Neumann's Schülern kennen zu lernen.“

Noch am Ende des Januar 1853 sind nicht alle Schwierigkeiten beseitigt. Er theilt du Bois mit, dass alle seine Mühe vergeblich ist, einen wichtigen, für Leiter von gleichem Widerstande aller Theile leicht herleitbaren Satz allgemein zu beweisen, nach welchem eine elektromotorische Kraft, in einem beliebig gelegenen Flächenelemente  $\alpha$  eines Leiters angebracht, in einem gleichen beliebig gelegenen Flächenelemente  $\beta$  senkrecht gegen dieses dieselbe Stromescomponente hervorbringt, wie dieselbe Kraft, in  $\beta$  angebracht, in  $\alpha$  hervorbringen würde; er fürchtet, dass ihm vorläufig nichts übrig bleiben werde, als den Beweis dieses Satzes der Zukunft zu überlassen, welcher jede thierisch-elektrische Aufgabe, worin man nur das Flächenelement  $\alpha$  als einen Querschnitt des Multiplicatordrahtes anzusehen hat, auf die Aufgabe zurückführen würde, die Stromvertheilung im Muskel zu finden, welche eine elektromotorische Kraft erregt, die im Multiplicatordrahte angebracht ist. Aber endlich überwindet er auch diese Schwierigkeit, und schon in den ersten Tagen des März 1853 kann er Ludwig melden:

„Inzwischen habe ich über die Vertheilung galvanischer Ströme in körperlichen Leitern einige neue Theoreme gefunden und ausgearbeitet, welche die Theorie der thierisch-elektrischen Ströme nun ziemlich vollständig streng und dabei sehr einfach durchzuführen erlauben, wo du Bois sich mit allerlei complicirten Näherungsmethoden hat begnügen müssen. Die Folgerungen daraus stimmen natürlich in den wichtigeren Punkten mit denen von du Bois überein. Die wesentlichste Abweichung ist die, dass die schwachen Ströme des Querschnitts für sich und des Längsschnitts für sich durch die peripolaren Molekeln nicht erklärt werden, wie überhaupt durch keine gleichmässige Vertheilung constanter elektromotorischer Gebilde in allen Theilen des Muskels.“

Du Bois gesteht später selbst, dass er den grossen Schwierigkeiten völlig rathlos gegenüber gestanden, bis ihm Helmholtz' überlegene Zergliederung zu Hülfe kam durch das Princip der elektromotorischen Oberfläche und das Theorem von der gleichen gegenseitigen Wirkung zweier elektromotorischer Flächenelemente, mittelst welcher die früher unüberwindlichen Aufgaben fast zu elementaren wurden.

Diese überaus interessante und gedankentiefe Arbeit über die Vertheilung elektrischer Ströme in körperlichen Leitern stellt sich durch die Art der Beweise der ausgesprochenen Sätze, welche an sich im physikalischen Gewande leicht verständlich sind, als eine Arbeit rein mathematischer Natur dar. Sie knüpft in ihrem wesentlichsten Theile an seine Arbeit „Ueber die Erhaltung der Kraft“ an, in der er nur für den dort eingeführten Begriff der „freien Spannung“ den völlig damit identischen des Potentials von Gauss oder der Potentialfunction von Green zu substituiren braucht; bei dieser Gelegenheit macht er seinen alten Freund Clausius, der ihm einen Irrthum in seiner fundamentalen Arbeit vom Jahre 1847 nachweisen wollte, darauf aufmerksam, dass er nur den Ausdruck des „Potentials einer Masse auf sich selbst“ anders als Neumann und zwar die Variation der Massenelemente statt der Combinationen gebraucht hat, so dass sich die Resultate alle nur um denselben Factor zwei unterscheiden.

Indem er seiner Untersuchung die drei Gleichungen zu Grunde legt, welche Kirchhoff bei der Stromvertheilung in Systemen körperlicher Leiter für das dynamische Gleichgewicht entwickelt und für den Ausdruck der Spannung als Function der Coordinaten als nothwendig und hinreichend ermittelt hatte, ist es ihm nicht schwer, zunächst das schon früher in einzelnen Fällen als richtig erkannte Princip der Superposition der elektrischen Ströme ganz allgemein zu erweisen. Er spricht es in der leicht verständlichen Form aus, dass, wenn in einem beliebigen Systeme von Leitern

constante elektromotorische Kräfte an verschiedenen Stellen vorkommen, die elektrische Spannung in jedem Punkte des durchströmten Systems gleich ist der algebraischen Summe derjenigen Spannungen, welche jede einzelne der elektromotorischen Kräfte unabhängig von den anderen hervorbringen würde. Es schliesst sich hieran das Princip von der elektromotorischen Oberfläche, nach welchem für jeden Leiter, in dessen Innerem elektromotorische Kräfte beliebig vertheilt sind, sich eine bestimmte Vertheilung elektromotorischer Kräfte in seiner Oberfläche angeben lässt, welche in jedem angelegten Leiter dieselben abgeleiteten Ströme wie jene inneren Kräfte hervorbringen würde; er findet die Vertheilung dadurch, dass er sich den Leiter isolirt denkt, die elektrische Spannung bestimmt, welche ein jeder Punkt seiner Oberfläche bei den durch seine inneren Kräfte erregten Strömen annimmt und die gesuchte elektromotorische Kraft der Oberfläche, in der Richtung von innen nach aussen genommen, gleich dieser elektrischen Spannung setzt, wobei die elektromotorischen Kräfte durch die Spannungsunterschiede gemessen werden. Indem er die so elektromotorisch wirksam gedachte Oberfläche die positiv wirksame Oberfläche nennt, findet er aus diesen beiden mit Hülfe streng mathematischer Betrachtungen hergeleiteten Sätzen durch die elementarsten Ueberlegungen eine Reihe wichtiger Beziehungen; diese liefern ihm das Theorem, dass die Spannungen im Inneren eines abgeleiteten Leiters während der Ableitung gleich sind der Summe der ohne Ableitung in ihm stattfindenden Spannungen und derer, welche die positiv wirksame Oberfläche hervorbringt. Dass verschiedene Vertheilungsweisen elektromotorischer Kräfte in der Oberfläche eines Leiters, wenn sie dieselben abgeleiteten Ströme wie seine inneren Kräfte geben sollen, sich nur um eine für alle Punkte der Oberfläche constante Differenz unterscheiden können, ist danach unmittelbar ersichtlich, und durch ebenso einfache, nur auf Ohm's Principien beruhende Betrachtungen

tungen folgt der ganz allgemeine und weittragende Satz, dass, wenn ein körperlicher Leiter mit constanten elektromotorischen Kräften in zwei Punkten seiner Oberfläche mit beliebigen linearen Leitern verbunden wird, man an seiner Stelle immer einen linearen Leiter von bestimmter elektromotorischer Kraft und bestimmtem Widerstande substituiren kann, welcher in allen angelegten linearen Leitern genau dieselben Ströme erregen würde, wie jener körperliche. Nachdem er noch die Poisson-Gauss'sche Unstetigkeitsgleichung, die Kirchhoff seinen Gleichgewichtsbedingungen zu Grunde gelegt hat, durch Einführung der sogenannten elektrischen Doppelschicht — welche an den entgegengesetzten Seiten einer Fläche in unendlich kleiner Entfernung von derselben an der einen Seite ebensoviel positive Elektrizität enthält als auf der anderen Seite negative — so umgeformt hat, dass nicht wie dort das Potential stetig, die Kraftcomponenten aber zu beiden Seiten der Fläche unstetig sind, sondern dass umgekehrt bei Stetigkeit der letzteren der Unterschied der Potentialfunction eine von Null verschiedene Grösse ist, welche er das elektrische Moment der Fläche genannt hat, gewinnt er den Vortheil, die Lösung von Aufgaben über Stromvertheilung auf die Behandlung der Potentialfunctionen elektrischer Flächen und Körper zu reduciren. Endlich entwickelt er noch das du Bois im Januar mitgetheilte Theorem von der gleichen gegenseitigen Wirkung zweier elektromotorischer Flächenelemente mit Hülfe der Sätze von Green, und jetzt erst ist alles für die experimentelle Prüfung der Sätze und die weittragendsten Anwendungen derselben vorbereitet. Da nämlich jedes einzelne Element einer elektromotorischen Fläche so viel Elektrizität durch den Galvanometerdraht fließen lässt, als durch dieses selbst fließen würde, wenn seine elektromotorische Kraft in diesem Draht angebracht wäre, so erhält man durch Summation der Wirkungen sämtlicher elektromotorischer Flächenelemente den ganzen Strom

im Galvanometer. Durch Zusammensetzung mit dem elektromotorischen Oberflächenprincip konnten nunmehr für alle thierisch-elektrischen Versuche, bei denen die Muskel und Nerven körperlich ausgedehnte Leiter darstellen, in deren Inneren überall elektromotorische Kräfte verbreitet sind, die Folgerungen aus den theoretischen Vorstellungen, welche sich du Bois und andere Physiologen über die Anordnung elektromotorischer Theile im Inneren des Muskels oder der Nerven gebildet hatten, mit den nun empirisch auffindbaren Gesetzen verglichen und berichtigt werden.

Noch im Jahre 1852 lieferte Helmholtz unter den Referaten für „die Fortschritte der Physik im Jahre 1848“ einen „Bericht über die theoretische Akustik betreffende Arbeiten vom Jahre 1848 und 1849“. Derselbe ist dadurch interessant, dass er die Arbeiten von Challis als mathematisch fehlerhaft nachwies, welcher den Unterschied zwischen der nach hydrodynamischen Principien berechneten Schallgeschwindigkeit und der wirklich beobachteten nicht aus der Erwärmung und Erkältung der Luft bei ihrer Verdichtung und Verdünnung herzuleiten, sondern eine neue hydrodynamische Theorie der Schallbewegung zu entwickeln suchte. Vor allem aber lässt in diesem Referat die Behandlung der hydrodynamischen Gleichungen, sowie die Auffassung der akustischen Probleme uns schon die tiefen akustischen Studien ahnen, welche Helmholtz einige Jahre später zu den auch in diesem Zweige der Physik und Physiologie bahnbrechenden Arbeiten führten.

Inzwischen hatte sich durch das Aufsehen, welches die farbenphysiologischen Arbeiten in der ganzen naturwissenschaftlichen Welt machten, auch das Interesse der weiteren medicinischen, sowie der anderen hochgebildeten Kreise Königsbergs jenen Fragen zugewendet, und Helmholtz glaubte diesem Interesse am besten durch einen Vortrag „Ueber Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten“ entgegen-

kommen zu können, den er am 18. Januar, dem Krönungstage, in der deutschen Gesellschaft hielt. Seinem Vater, dem gerade dieses Thema besonders sympathisch sein musste, gab er von demselben Kenntniss, zugleich mit der Meldung von dem Vollzug der Taufe seines Sohnes Richard Wilhelm Ferdinand und mit der Bitte, seinen Vater als abwesenden Taufzeugen in das Kirchenbuch eintragen lassen zu dürfen.

Helmholtz war in der letzten Zeit bei mannigfachen Gelegenheiten genöthigt gewesen, den Angriffen Goethe's auf Newton's optische Arbeiten entgegenzutreten; es war ihm daher, um nicht Missdeutungen ausgesetzt zu sein, ein Bedürfniss, nachzuweisen, dass Goethe, wenn er auch in seinen physikalischen Untersuchungen vielfach fehl gegangen, sich doch in seinen botanischen und osteologischen Arbeiten so unbestrittene Verdienste erworben habe, dass man ihn unbedenklich auch zu den grossen Naturforschern zählen dürfe. In seinem Entwurf einer allgemeinen Einleitung in die vergleichende Anatomie spricht Goethe die nirgends besser und klarer und in der Folgezeit nur unwesentlich veränderte Idee aus, dass alle Unterschiede im Baue der Thierarten nur als Veränderungen eines Grundtypus aufgefasst werden müssen, welche durch Verschmelzung, Umformung, Vergrösserung, Verkleinerung oder gänzliche Beseitigung einzelner Theile hervorgebracht seien. Eine ähnliche Analogie zwischen den verschiedenen Theilen ein und desselben organischen Wesens, wie er sie für die entsprechenden Theile verschiedener Arten erkannt hat, sieht er zunächst bei den Pflanzen in der vielfältigen Wiederholung einzelner Theile, dann in den Uebergängen der Blätter des Stengels in die des Kelches und der Blüthe, und gelangt so zu seinen in der „Metamorphose der Pflanzen“ niedergelegten, wenigstens in den wesentlichsten Grundlagen von den Botanikern angenommenen Anschauungen. Die Wiederholung gleichartiger Theile bei den Thieren, auf welche

Goethe durch zufällige einzelne Beobachtungen geführt wurde, liess ihn auch auf diese seinen Grundgedanken übertragen, doch scheinen sich, wie Helmholtz meinte, diese osteologischen Ansichten weniger in der Wissenschaft eingebürgert zu haben.

Goethe hat nach der Ansicht von Helmholtz Grosses geleistet, indem er ahnte, dass ein Gesetz vorhanden sei, und dessen Spuren scharfsichtig verfolgte, wenn er auch das Gesetz selbst weder erkannte noch suchte, da er stets die Ansicht festhielt, „dass die Natur ihre Geheimnisse selbst darlegen müsse, dass sie die durchsichtige Darstellung ihres idealen Inhaltes sei“.

Mit der Hervorhebung der grossen Verdienste Goethe's um die Naturwissenschaften glaubte er sich aber auch das Recht gesichert zu haben, eine Kritik der physikalischen Arbeiten dieses gewaltigen Geistes ausüben zu dürfen, und den Irrthümern nachzugehen, welchen Goethe, der sich die ästhetischen Grundsätze des Colorits in der Malerei nicht klar machen konnte, verfiel, als er mit Hülfe eines Prismas die Versuche von Newton nachmachen wollte und, weil ihm selbst die Grundsätze der Optik unbekannt waren, alle Schlüsse und Thatsachen Newton's für Absurditäten erklärte. Und nun wirft Helmholtz die so überaus interessante Frage auf, woher es kommt, dass dieser Geistesheros mit einer Schärfe ohne Gleichen gegen Newton, gegen die Physiker überhaupt vorgeht, seinen Gegnern nur bösen Willen vorwirft, und dass dieser grösste aller Dichter seine Leistungen in der Farbenlehre für viel werthvoller hält, als alles das, was er in der Dichtkunst gethan habe. Mit der höchsten Schärfe des Verstandes, mit der grössten Tiefe ästhetischen Gefühls, mit der nur einem grossen, ruhig blickenden Geiste möglichen Abwägung der dichterischen und naturwissenschaftlichen Anlagen der Menschen, der deductiven und inductiven Methode des Denkens und Schliessens erfasst Helmholtz seine Aufgabe und führt sie in jener un-

vergleichlichen Sprache voll Geist und Anmuth durch, wie sie charakteristisch geworden ist für alle seine Vorträge und einzig dasteht für die allgemein verständliche Behandlung wissenschaftlicher Probleme. Er erblickt das Wesentliche der dichterischen wie jeder künstlerischen Thätigkeit darin, die Idee nicht als Resultat einer Begriffsentwicklung hervortreten zu lassen, sondern das künstlerische Material zum unmittelbaren Ausdruck der Idee zu machen. So findet Goethe auch in der Wirklichkeit den unmittelbaren Ausdruck der Idee, ist darin der eigentliche Vorläufer der Hegel'schen Naturphilosophie, und preist die Versuche, die man in klarem Sonnenschein unter freiem Himmel anstellen könne, im Gegensatz zu den Spalten und Gläsern von Newton. Goethe konnte und wollte es nicht fassen, dass die reine Farbe des Weiss aus farbigem Licht zusammengesetzt sein solle; er suchte durch eine folgerichtige Anordnung der beobachteten Thatsachen eine Einsicht in den Zusammenhang zu gewinnen, um die Ursachen der Naturerscheinungen zu ermitteln, ohne in das Reich der Begriffe zu schreiten, während dem Physiker der sinnliche Eindruck keine Autorität ist, und derselbe sich immer mehr dessen bewusst wird, dass die Art und Weise der sinnlichen Wahrnehmung weniger von den Eigenthümlichkeiten des wahrgenommenen Gegenstandes als von denen des Sinnenorgans abhängt, durch welches wir die Nachricht bekommen. Daher auch alle Schlüsse und Erklärungen Goethe's trügerisch; dass die Farben stets dunkler als das Weiss erscheinen, dass sie etwas Schattiges haben, dass sie durch eine gewisse Art der Zusammenwirkung von Licht und Schatten entstehen, dafür sucht er den Grund in den Erscheinungen schwach getrübler Medien, verwickelt sich aber dabei in unauflösbare Widersprüche; so muss er, um gegen Newton anzukämpfen, annehmen, dass das Prisma dem beobachteten Bilde von seiner Trübung, die er jedem durchsichtigen Körper zuschreibt, etwas mittheile, und muss schliesslich

bei den zusammengesetzten Erscheinungen völlig auf eine Analyse verzichten.

„Goethe kann nur da behaglich verweilen, wo er die Wirklichkeit selbst vollständig poetisch gestempelt hat. Darin liegt die eigenthümliche Schönheit seiner Dichtungen und darin liegt auch gleichzeitig der Grund, warum er gegen den Mechanismus, der ihn jeden Augenblick in seinem poetischen Behagen zu stören droht, kämpfend auftreten muss und den Feind in seinem eigenen Lager anzugreifen sucht. Wir können aber den Mechanismus der Materie nicht dadurch besiegen, dass wir ihn weglegen, sondern dadurch, dass wir ihn den Zwecken des sittlichen Geistes unterwerfen. Wir müssen seine Hebel und Stricke kennen lernen, um sie nach unserem eigenen Willen regieren zu können, und darin liegt die grosse Bedeutung der physikalischen Forschung für die Cultur des Menschengeschlechtes und ihre volle Berechtigung begründet.“

Vierzig Jahre später ergreift Helmholtz in einem in der Goethe-Gesellschaft zu Weimar gehaltenen Vortrage: „Goethe's Vorahnungen kommender naturwissenschaftlicher Ideen“, wiederum die Gelegenheit, um die Bedeutung Goethe's für die allgemeine Entwicklung der Naturwissenschaften in das glänzendste Licht zu stellen; während sein Urtheil über dessen optische Arbeiten unverändert geblieben, sucht er die Irrthümer und Vorurtheile Goethe's nunmehr auch noch aus dessen Abneigung gegen die Abstractionen anschauungsloser Begriffe zu erklären, mit denen die theoretische Physik damals zu rechnen gewohnt war; er hält Goethe's Widerspruch gegen die Abstractionen von Materie und Kraft nicht für unberechtigt, welche, „wenn sie auch von den grossen theoretischen Physikern des 17. und 18. Jahrhunderts durchaus widerspruchslos und sinngemäss gebraucht wurden, doch den Keim zu den wütesten Missverständnissen enthielten, die auch gelegentlich bei verwirrten und abergläubischen Köpfen sich laut machten“. Helmholtz sieht

die Gedankenkeime, welche Goethe im Gebiete der Naturwissenschaften ausgesät hat, zu voller und reicher Entwicklung gelangt, indem sich Darwin's Theorie von der Umbildung der organischen Formen vorzugsweise auf dieselben Analogien und Homologien im Bau der Thiere und Pflanzen stützt, welche Goethe als erster Entdecker nur in der Form ahnender Anschauungen seinen Zeitgenossen darzulegen suchte, während Darwin die dichterische Ahnung zur Reife des klaren Begriffes entwickelte; er findet das, was Goethe suchte, das Gesetzliche in den Phänomenen, ohne sich durch metaphysische Gedankengebilde verwirren zu lassen, am klarsten und entschiedensten in Kirchhoff's Vorlesungen über mathematische Physik ausgedrückt, in welchen dieser die Mechanik geradezu unter die beschreibenden Naturwissenschaften einreihet. Helmholtz betrachtet Wissenschaft und Kunst als innerlich verwandt, beide sollen Wahrheit darstellen und überliefern. Dem Künstler kann sein Werk nur gelingen, wenn er eine subtile Kenntniss des gesetzlichen Verhaltens der dargestellten Erscheinungen und ihrer Wirkung auf den Hörer oder Beschauer in sich trägt. „Wo es sich um Aufgaben handelt, die durch die in Anschauungsbildern sich ergebenden dichterischen Divinationen gelöst werden können, hat sich der Dichter der höchsten Leistungen fähig gezeigt; wo nur die bewusst durchgeführte inductive Methode hätte helfen können, ist er gescheitert. Aber wiederum, wo es sich um die höchsten Fragen über das Verhältniss der Vernunft zur Wirklichkeit handelt, schützt ihn sein gesundes Festhalten an der Wirklichkeit vor Irrgängen und leitet ihn sicher zu Einsichten, die bis an die Grenzen menschlicher Vernunft reichen.“

Bei dem Uebergange in das neue Jahr finden wir Helmholtz in gedrückter Stimmung; schon das Weihnachtsfest hatte sich für seine Familie trübe gestaltet, da seine Frau an einem gastrisch-nervösen Fieber erkrankt war, von dem sie sich jedoch nach wenigen Wochen unter der aufopfernden

Liebe und Pflege ihrer Mutter und Schwester wieder erholte; auch seine Mutter konnte erst nach einer nicht unbedeutenden Operation wieder ihren Pflichten nachkommen; er selbst litt an wiederholten Migräneanfällen, die ihn ziemlich häufig für einige Tage an das Bett fesselten. So theilte er seinem Vater die Absicht mit, im Sommer zur Herstellung seiner und seiner Frau Gesundheit nach Marienbad zu gehen, dann in England die Physiker aufzusuchen, die seinen Untersuchungen ein so warmes Interesse entgegen gebracht haben, und auf dem Rückwege seine Schwester Julie für ein halbes Jahr mit nach Königsberg zu nehmen; aber sein jetzt häufig kränkender Vater, den auch materielle Sorgen zu drücken anfangen, ist damit gar nicht einverstanden.

„Auch Du, Hermann, möchtest es schwerlich lange in solchem Badeorte, noch dazu in dem vornehmen Marienbad ertragen, denn ich erinnere mich sehr wohl, mit welchem Entsetzen lebhaft und geistreiche Leute, deren Beutel nicht unerschöpflich war, um alle die vornehmen langweiligen Thorheiten mitzumachen, von der Langeweile ihres Aufenthalts in den berühmtesten rheinischen Bädern sprachen. Ich glaube, dass Olga, wenn sie in dem Königsberger Klima bleibt auf Eurem Landsitze, und vielleicht in der günstigsten Jahreszeit einige Wochen an der See zubringt, ihre Constitution am leichtesten an Euer Klima gewöhnen wird; und dass Du, wenn Du einige Zeit lang weniger durch Arbeit Deine Nerven angreifst, einen zweckmässigen Brunnen in sorgenloser Zeit und bei streng geregelter Diät trinkst, dann vielleicht zur See nach London gehst (denn ich muss gestehen, ich halte die See für das Nerven stärkendste Mittel, und selbst die zu befürchtende Seekrankheit könnte Dir heilsam sein . . .), dies meiner Meinung nach das Vernünftigste für Deine Gesundheit sein möchte. Ausserdem bedarf die Reise nach London eines sehr straffen Beutels, und Marienbad ist sehr theuer. Zurück kämst Du dann zu

Lande, wenn der Beutel reicht, über Holland, Belgien u. s. w. nach Potsdam zur Freude für uns.“

Helmholtz giebt in der That diesem Rathe folgend die Badereise auf und erfreut zugleich seinen alten Vater durch die Mittheilung, dass ihm in Folge eines Berichtes des Curators der Universität, wonach Helmholtz vom dänischen Ministerium eine Berufung nach Kiel mit ansehnlichem Gehalt bevorstehe, vom 1. April 1853 an eine Gehaltserhöhung auf 1000 Thlr. bewilligt worden sei.

Vom Beginn des Jahres 1853 bis zu den Sommerferien beschäftigten ihn nun zum Theil noch die fortgesetzten Messungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in Muskeln und Nerven, welche die Herstellung eines geeigneten Messinstrumentes für Ströme von der Stärke der du Bois'schen Muskelströme erforderten; ausserdem arbeitete er an ausgedehnten Untersuchungen über Adaptation, die jedoch sehr bald durch die Entdeckungen eines jungen holländischen Physiologen eine längere Unterbrechung erfuhren. Schon am 23. Januar überschickte er du Bois für die Akademie einen ganz kurzen, nur zur Wahrung der Priorität abgefassten Bericht: „Ueber eine bisher unbekannte Veränderung am menschlichen Auge bei veränderter Accommodation“; in demselben beschreibt er die schon im Winter 1852 gemachte Beobachtung, dass bei der Accommodation für die Nähe sich die von der vorderen Fläche der Linse entworfenen Spiegelbilder fast auf ihre halbe Grösse verkleinern, und dass diese beträchtliche Veränderung nicht durch eine Verrückung der Linse, sondern nur durch eine Veränderung ihrer Form und zwar durch eine stärkere Krümmung ihrer vorderen Fläche erklärt werden kann; eine Verschiebung des Pupillarrandes nach vorn beim Sehen in der Nähe hätte er bereits durch viele genaue Beobachtungen festgestellt. Noch im März theilt er voller Freude Ludwig seinen „kleinen Fund betreffs der Accommodation des Auges“ mit, den er in den Monatsberichten bekannt gemacht. Aber schon am 3. Juli schreibt er ihm:

„Mir ist, wie mir Donders schreibt, ein Dr. Cramer zugekommen, dessen Abhandlung im Jahre 1851 von der Harlemer Gesellschaft gekrönt und jetzt erst gedruckt ist; ich soll in Kurzem einen Abdruck erhalten. Ueberhaupt habe ich kürzlich viele Kreuzungen meiner Arbeiten durch Andere erhalten: 1) Ueber Brewster's Theorie; ein Theil meiner Resultate war von einem jungen Physiker, Felix Bernard, auch gefunden und in den Annales de Phys. et Chim. in demselben Monat veröffentlicht, wo meine im Poggend. erschienen; aber er hatte die Arbeit schon viel früher der französischen Facultät übergeben; 2) Gaugain macht im Januar eine Tangentenboussole bekannt, nach deren Princip ich schon 1849 eine solche habe erbauen lassen, um du Bois' Versuche damit anzustellen. Hier ist meine aber jedenfalls bequemer und besser; 3) Foucault beschreibt eine Methode, grössere Flächen mit homogenem oder gemischtem Licht gleichförmig zu erleuchten; ich bekomme den Aufsatz, nachdem ich mir selbst den Apparat ersonnen und aufgebaut habe; 4) Cramer mit der Accommodation; ich bin auf dessen Abhandlung sehr neugierig. . . . Dein Lehrbuch ist, so weit es bis jetzt reicht, mein getreuer Rathgeber, wenn ich mich zu Vorlesungen präparire.“

Der erwartete Abdruck der Cramer'schen Abhandlung blieb indessen so lange aus, dass Helmholtz noch nach der Rückkehr von seiner Herbstreise am 9. October 1853 an Donders schrieb:

„Die Dissertation des Herrn Dr. von Prigt, welche Sie mir zu übersenden die Güte hatten, war höchst interessant für mich, und ich muss gestehen, dass ich zu der Zeit, wo ich mein Schriftchen über den Augenspiegel veröffentlichte, nimmermehr geglaubt hätte, dass seine Anwendung so ausgedehnt sein würde, wie sie hier erscheint. Ich selbst habe wenig Gelegenheit gehabt, Beobachtungen an Kranken zu machen, doch höre ich, dass Dr. v. Graefe in Berlin und Professor Burow hier in Königsberg im Wesentlichen zu

denselben Resultaten betreffs der pathologischen Anwendbarkeit gekommen sind. . . . Die Schrift des Herrn Dr. Cramer über die Accommodationsbewegungen des Auges habe ich noch nicht erhalten, und ich muss gestehen, dass ich sehr begierig bin zu erfahren, wie viel Raum für eigene Arbeiten er mir noch übrig gelassen hat. Ihr Brief gab mir die erste Nachricht von seinen Untersuchungen, und obgleich ich bedauern musste, schon ziemlich viel Zeit mit Untersuchungen verloren zu haben, welche nun doch das Eigenthum eines Anderen bleiben, so bin ich natürlich gern bereit, einem jungen Mann, der mit einer so bedeutenden Erstlingsarbeit in die Wissenschaft eintritt, so viel ich kann, den Weg zu bahnen, um Anerkennung zu gewinnen. Zu der theoretischen Annahme einer gleichzeitigen Spannung der radialen und circularen Fasern der Iris war ich allerdings auch gekommen, doch bin ich geneigt, auch dem Tensor Chorioideae eine wesentliche Rolle dabei zuzuschreiben.“

Er setzt deshalb während der unfreiwilligen Musse in den Sommermonaten zunächst seine Versuche über Mischung homogener Farben nach anderen Methoden als der bisher angewandten von Foucault fort. Er fand, dass, wie Grassmann behauptet hatte, ausser Gelb und Indigblau noch einige andere Paare von Complementärfarben im Spectrum existiren, die früher von ihm nicht als solche nachgewiesen werden konnten, dass sogar alle Farben ausser Grün einfache Complementärfarben geben, wobei, um die Breite der Farben zu bestimmen, Weiss als der Inbegriff des sämmtlichen gleichzeitig vom Auge angeschauten, mit Berücksichtigung auch des kurz vorher angeschauten, noch in lebhafter Erinnerung stehenden Lichtes definirt wird. Aber auch die Zeitmessungsversuche über Reizungen bei Menschen führte er während des Sommers ununterbrochen fort und war bereits zu dem höchst wahrscheinlichen Resultat gelangt, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung bei Menschen etwa dreimal so gross ist als beim Frosche;

für die Eintrittszeit der elektrischen Vorgänge bei der Nerven- und Muskelreizung konnte er feststellen, „dass der elektrotonische Zustand des Nerven gleichzeitig mit dem primären Strom eintritt, die negative Stromschwankung des Muskels dagegen merklich später als die Reizung, aber früher als der erste Anfang der Zusammenziehung“.

In den ersten Tagen des August verliess er nun mit seiner Familie Königsberg und brachte seine Frau mit den beiden Kindern zu seiner Schwiegermutter und Schwägerin nach Dahlem. In Berlin traf er seinen Freund du Bois nicht mehr an, war aber sehr erfreut, Johannes Müller noch sprechen zu können, der eben nach Sicilien abzureisen im Begriff stand. Er besuchte seine Eltern in Potsdam, von denen er seinen Vater wohl und heiter, seine Mutter jedoch in Gesichtszügen und Stimme sehr verändert fand. Ein Diner bei Magnus, bei dem auch H. Rose zugegen war, gab ihm Gelegenheit, mit Dr. Tyndall bekannt zu werden, dem englischen Uebersetzer seiner Aufsätze: „letzterer, ein sehr talentvoller junger Mann, war für mich von denen, die ich noch nicht kannte, der interessanteste, leider wird er nicht in England sein, wenn ich dort bin“; er besuchte auch Dr. Graefe, „der noch mit seiner Klinik beschäftigt, mir einige Fälle mit dem Augenspiegel und eine grosse Sammlung von Zeichnungen zeigte, welche mit dem Instrumente gemacht waren, und mir viele Schmeicheleien über diese einflussreichste aller Erfindungen sagte“. Nachdem Helmholtz bei dem Minister von Raumer seine Aufwartung gemacht, von Johannes Schulze äusserst gnädig aufgenommen worden, und sich endlich noch von Magnus, Dove und H. Rose Empfehlungsbriefe an englische Gelehrte und an den Chemiker Hofmann hatte geben lassen, besuchte er Volkmann in Halle und reiste sodann über Frankfurt und Mainz nach Bonn, wo er zu seiner grossen Freude einige Stunden mit Plücker zusammen sein konnte. „Derselbe kam mir zuerst etwas vornehm vor, wie es die Bonner Professoren

meistens sein sollen, nachher aber wurde er ganz gemüthlich, als er auf den Einfall kam, meine Anwesenheit durch eine ganz besonders gute Flasche Wein zu verherrlichen.“ Ueber Aachen, Lüttich, Gent, Ostende, Dover gelangte er nach London, wo er in einem Gasthofs abstieg, den ihm Tyndall empfohlen hatte. Nun liess er das englische Leben voll und ganz auf sich wirken und entwarf seiner Frau in täglichen Aufzeichnungen mit fesselnder Lebendigkeit seine vielseitigen, immer eigenartigen Beobachtungen. Nur wenig und hauptsächlich das die englischen Naturforscher betreffende, mit denen Helmholtz dort zuerst in Berührung kam und lebenslange Beziehungen anknüpfte, möge hier hervorgehoben werden:

„Du sollst nun hören vom grossen Babylon. Berlin ist an Umfang wie an Kulturmitteln ein Dorf gegen London. Hier ist alles in so riesenmässigem Massstabe, dass man sich bald über nichts mehr wundert, was man sieht. Dabei werden die Nachtheile der grossen Stadt durch die wundervollen Parks in der Stadt und die grünen Landpartien in deren Umgebung äusserst angenehm aufgewogen. Ich werde aber am besten meiner Lebensgeschichte folgen, um Dich von allem zu unterrichten . . . . Zuerst machte ich mich nun auf, um Bence Jones, Arzt, Physiologe und Chemiker aufzusuchen, von dem ich Nachricht über du Bois und den Chemiker Hofmann einzuziehen hoffte. Er war aber zu du Bois' Hochzeit gereist. Die Gesandtschaft lag in der Nähe, ich ging dorthin, um meine Briefe an Bunsen abzugeben. Bunsen war beschäftigt und liess mich gleich zum andern Tage zu Tische bitten. Bei dieser Gelegenheit hatte ich schon etwas in die Parks hineingeblickt, die sich vom Westende bis fast zur Mitte der Stadt in einem Striche hinziehen. Den Nachmittag benutzte ich, sie noch weiter zu betrachten. Denke Dir, ungeheuer grosse Rasenplätze mit ganz kurzem, schönem Grase, stellenweise besetzt mit grossen alten Bäumen oder Baumgruppen, wenige ausgestochene Wege

hindurch, die eigentlich nur für Regenwetter berechnet sind, während bei trockener Witterung jederman beliebig durch das Gras geht, so hast Du das Ideal, das Du aus unserem Garten machen wolltest. Auf dem Rasen weiden überall Riesenhammel, fett wie ausgestopfte Wollsäcke, und halten das Gras gleichmässig kurz . . . . Das Frühstück bei Bunsen war eigentlich nur eine Art, eine Visite zu einer geschäftsfreien Zeit zu empfangen. Milady und zwei Töchter, ein Prof. Larso aus Berlin und Privatdocent Böttiger aus Halle, beides Kenner der orientalischen Sprachen, waren mit dort. Das Essen war ausgezeichnet, ohne luxuriös zu sein, wurde aber mit Dampf hineingejagt. Jeder einzelne bekam nach einander seine verschiedenen Gänge, ohne dass auf die anderen gewartet wurde. Ich war der letzte, weil ich viel sprechen musste. Bunsen scheint in Character viel Aehnlichkeit mit S. zu haben, für alles interessirt, beweglich, dabei etwas eitel. Er war übrigens sehr willfährig und zuvorkommend gegen mich, und schrieb mir gleich einen Empfehlungsbrief an den Zoologen Richard Owen, welchen ich eigentlich gar nicht haben wollte. Uebrigens war im Hause alles auf höchst vornehmen Fusse . . . . British Museum. Hier waren nun Layard's Monumente, Elgin's Marmorsachen vom Parthenon, die von den Lycischen Grabdenkmälern u. a. in natura selbst zu sehen. Die assyrischen Stiere mit Menschenköpfen sind furchtbar grosse Burschen. Die Reliefs sind noch viel lebendiger als in den Zeichnungen, sie sind sehr bestimmt und kräftig gearbeitet und zum Theil noch wie neu. In England erregen sie nun noch deshalb ein grösseres Interesse als sonst wo, weil sie als Bestätigungen einiger Stellen des Alten Testaments dienen. Was ihren Kunststyl betrifft, so übertreffen sie die egyptische Kunst unendlich und stehen den besseren Sachen der alterthümlichen griechischen Kunst parallel. In der Entzifferung der Inschriften ist man auch schon vorgeschritten, wie mir Bunsen erzählte.

. . . Meine Versuche, Herrn Owen zu sehen, scheiterten, dagegen gelang es mir, den gegenwärtig ersten Physiker Englands und Europas, Faraday, zu sehen, leider vielleicht zum ersten und letzten Male, da er am Montag die Stadt verlassen wollte, und nicht wusste, ob er nach Hull kommen würde. Das waren für mich grosse und angenehme Augenblicke. Er ist einfach, liebenswürdig und anspruchslos wie ein Kind; ein so herzugewinnendes Wesen habe ich in einem Manne noch nie gesehen. Uebrigens war er äusserst zuvorkommend, zeigte mir selbst alles, was zu sehen war. Das war aber wenig, denn einige alte Stücke Holz, Draht und Eisen schienen ihm zu den grössten Entdeckungen zu genügen.

. . . . Von da ging ich zur hiesigen Nationalgalerie. Sie enthält schöne Rembrandt's, mässige Rubens' und Italiener, aber zwei wunderbar schöne Murillo's. Das eine, ganz einfache Bild, ein Johannes der Täufer als Knabe, an den sich ein Lamm anschmiegt, macht einen wunderbar mächtigen und rührenden Eindruck, obgleich eigentlich gar kein Grund da ist, gerührt zu werden. Es ist nichts als der braune, kräftige, fröhlich blickende Knabe im Walde, freilich mit einem wunderbar sinnigen und liebevollen Ausdrücke. Das andere grössere Bild ist eher etwas sentimental, wenn man will, hat aber auch den tiefsten Gemüthsausdruck. Maria und Joseph zu beiden Seiten knieend, halten den etwa 12jährigen Christusknaben zwischen sich auf einem Steine stehend, oben in den Wolken Gott Vater mit Engeln. Der Ausdruck der Eltern und des Kindes ist der, dass sie das Kind gern dem Willen Gottes hingeben wollen, und das Kind selbst freudig und verklärt nach oben sieht . . . .

Nachmittags fuhr ich im Omnibus nach Hammersmith, einem Dorf mit Villen an der Themse, um Prof. Wheatstone, Physiker, Erfinder der ersten brauchbaren elektrischen Telegraphen, aufzusuchen. Er war verreist, doch macht man mir Hoffnung, dass ich ihn in Hull finden

werde . . . . Abends um 7 Dinner bei Dr. Bence Jones, wo nur er, du Bois nebst Frau und ich waren. Bence Jones ist ein äusserst liebenswürdiger Mensch. Einfach, harmlos und herzlich, wie ein Kind, dabei ausserordentlich zuvorkommend gegen mich. Er verabredete zum anderen Tage gleich eine zweite Zusammenkunft, um den Augenspiegel zu sehen, und mich zu einem Mechanicus zu führen, wo Faraday's Instrumente gegen das Tischrücken zu sehen sind.

Donnerstag Vormittag, denke ich, habe ich an dem Vortrag gearbeitet, den ich halten will (On the mixture of Homogeneous Colours). Mittags, als ich zum Essen ging, begegnete ich Prof. Plücker aus Bonn auf der Strasse, der sich mir anschloss und erzählte, dass auch Prof. Sommer aus Königsberg in seinem Hause wohne. Nachher ging ich zu Bence Jones, wo wir das Verabredete vornahmen.

Zum Freitag hatte mich Airy aufgefordert, nach Greenwich zu kommen und bei ihm zu speisen. Er war das erste Mal etwas steif, er soll sehr unangenehm sein können, diesmal war er aber äusserst liebenswürdig, und da ich auf seine Expositionen einging, und viel lobte, einigem widersprach, konnte er gar kein Ende finden mit Herumführen, so dass ich die Sternwarte genauer gesehen habe, als vielleicht sonst jemand. Es sind hier ausser der eigentlichen Sternwarte, wovon ich weniger verstehe, ausserordentlich schöne Einrichtungen, für magnetische und meteorologische Beobachtungen, wobei der Stand der Instrumente sich fortdauernd selbst daguerrotypirt, so dass man schliesslich die Beobachtungsreihe genauer und vollständiger hat, als sie der fleissigste Beobachter geben kann. Dann waren elektromagnetische Zeitmessungsapparate da, um die Sterndurchgänge zu notiren, und elektrische Uhren, die gleichzeitig in London und an der Mündung der Themse und an allen Londoner Eisenbahnstationen die Zeit angeben müssen. Airy's Wohnung und Familienleben war, was man bei uns auf grossem Fuss nennen würde, eingerichtet, aber so ist

es bei den englischen Professoren meist. Seine Frau war etwas förmlich, wohl conservirt, angenehm in der Unterhaltung. Die englischen Damen sind stets sehr interessirt bei der Beschäftigung des Mannes, so wusste auch sie über alles Bescheid. Er hat eine bevorzugte Stellung, was er schreibt, geht nicht unter seinem Namen, sondern als vom Astronomer Royal in die Welt, und er ist den Anderen überlegen durch methodische Ausbildung, während die meisten englischen Physiker nicht wie die Franzosen durch Einübung in ausgebildeten Methoden, sondern durch reinen Instinct Grosses leisten, was freilich auch oft genug durch Unkenntniss der allergewöhnlichsten Dinge verdorben wird. Der Nachmittag in Greenwich gehörte zu den interessantesten und angenehmsten meiner Reise . . . .

. . . . Am Dienstag suchte ich Wittich auf und trieb mich mit ihm umher. Vormittag besuchten wir die Westminster Abtei; ihre Formen sind bei Weitem nicht so schön, wie die der besseren deutschen Dome. Sie ist zu schmal, und die Gewölbrrippen nicht sehr entwickelt, aber die Reihe von Denkmälern berühmter Todten ist in der That imponirend und muss, glaube ich, den Stolz der Engländer in hohem Grade erregen; solche Männer gehabt zu haben, und sie so geehrt zu sehen, ist etwas Grosses. Da liegen die Professoren der Physik und Chemie zwischen den Königen, Feldherren, Künstlern, und auch Schauspieler ersten Ranges haben hier ihre Stätte und ihre Denkmäler gefunden: Newton, James Watt, Humphry Davy, Thomas Young, Shakespeare, Milton, Garrik, Mrs. Siddons, Heinrich V., Richard II., die Söhne Eduard's, Warren Hastings, beide Pitt's, Maria Stuart und Elisabeth . . . .

. . . . Mittwoch aufgesattelt und nach Hull abgesegelt, natürlich mit Eisenbahn, nicht mit Dampfboot. Ich traf auf dem Bahnhofe Prof. Plücker, mit dem ich zusammen fuhr. Die Reise ist wenig interessant. Weiter nördlich ist das Land nicht so exquisit grün, wie in London, meist

hügelig. Hier in Hull wurden wir einquartirt, ich bei einem Arzte Dr. Cooper, wo ich sehr fashionable wohne und gepflegt werde. Wir Fremde (ausser mir und Plücker ist nur ein Russe du Hamel da) werden mit der ausgesuchtesten Courtoisie behandelt. Gestern Abend 8 Uhr war erste allgemeine Zusammenkunft, wo der Präsident mit leiser Stimme eine Uebersicht der wichtigsten Fortschritte des letzten Jahres gab. Anwesend waren 600 Personen, von denen jede mindestens 1 £ bezahlt hatte, darunter 175 Damen. Bei der Uebersicht, welche zuletzt der Secretär gab, wurden wir Ausländer namentlich aufgeführt, ich kam vor als Prof. H. from Königsberg, welcher einen der wichtigsten Fortschritte of continental Science gemacht hat. Meine Erhaltung der Kraft ist hier mehr bekannt als in Deutschland und mehr als meine anderen Arbeiten.

Heute, Donnerstag früh, zuerst eingeladen zum Frühstück bei Mr. Frost, einem wohlhabenden Privatmann, Geologen. Dort traf ich Prof. Stokes von Cambridge, einen jungen Mann, aber von höchst ausgezeichneten Fähigkeiten, den ich zu sehen ganz aufgegeben hatte, weil er vorher in der Schweiz war.

..... Die British Association in Hull war, wie ich Dir schon schrieb, äusserst zahlreich besucht; die Zahl der Theilnehmer stieg allmählich auf 850, darunter 236 Damen. Letztere scheinen hier in England häufig unterrichtet zu sein in den Naturwissenschaften, zum grossen Theil kommen sie natürlich auch, um sich zu zeigen, oder aus Neugier, um die Discussionen mit anzuhören und sich daran zu amüsiren. Sie erschienen aber im Allgemeinen aufmerksam und schliefen nicht ein, selbst wenn die Versuchung dazu da war. Die sechs Sectionen der Gesellschaft hielten täglich von 11 bis 3 Uhr ihre Sitzungen. Vorher von 10 bis 11 waren die Comitésitzungen; ich wurde mit in das Comité der physikalischen Section genommen. Im Allgemeinen zog nun das Publicum von einer Section zur anderen, um die

berühmtesten Redner zu hören. Die Vorlesungen waren natürlich von sehr verschiedener Art; theils bedeutende wissenschaftliche Arbeiten, theils närrisches Zeug von Querköpfen, die sich einbildeten, bedeutende Entdeckungen gemacht zu haben. Doch wussten die Vorsitzenden solche Leute meist bald zu beseitigen. Am interessantesten waren die Berichte und Aufforderungen für gemeinschaftliche grössere Arbeiten, und die Art, wie die Engländer dergleichen anzugreifen wissen. So sind sie z. B. jetzt beschäftigt, mit ihren mächtigen Fernröhren die Oberfläche des Mondes zum Zwecke einer geologischen Vergleichung mit der der Erde zu untersuchen, wozu sich eine grosse Zahl von Astronomen und Dilettanten vereinigt haben. Ferner gehen sie damit um, ein Riesentelescop nach der südlichen Halbinsel zu spediren auf Staatskosten, um den südlichen Himmel zu untersuchen. Die Lieblingssectionen des Publicums waren die für Geologie, für Geographie und Ethnologie. In diesen Fächern waren auch die berühmtesten Gelehrten versammelt; für diese Fächer ist es wichtig, eine grosse Zahl von Leuten zu gemeinschaftlichen Arbeiten anzuleiten, und dazu ist die Association sehr geeignet. Von den Chemikern, Physikern, Astronomen fehlten dagegen viele von den bedeutendsten, z. B. Airy, Faraday, Wheatstone. Dagegen fand ich einige, deren Bekanntschaft mir sehr erwünscht war. Grove, einen Juristen und bedeutenden Physiker aus London, Andrews, Professor der Chemie aus Belfast, Stokes, Physiker aus Cambridge; von Leuten, die man allenfalls Physiologen nennen könnte, war keiner da. Von den Vorträgen waren ausgezeichnet in Bezug auf Klarheit und Popularität und doch wissenschaftlich bedeutend z. B. mehrere von den Geologen Phillipps, Hopkins, dem Ethnographen Dr. Latham, aber es waren auch viele schwerfällig, und viele, was mich überraschte, wurden gemurmelt und so schlecht gesprochen, dass sie nicht zu verstehen waren . . . . .

Ich habe einmal *ex tempore* mich in die Discussion gemengt, und einen Punkt aus der Optik des Auges, der in Deutschland durchgearbeitet war, auseinandergesetzt. Ich kam auch ohne Stocken durch, habe natürlich Fehler genug gemacht, indessen lobten mich die Engländer doch, und sagten, es sei vollständig klar und verständlich gewesen, obgleich ich einigen englischen Worten eine andere Bedeutung gegeben hätte, als sie gemeiniglich hätten. Meinen Vortrag über Farbenmischung las ich Dr. Francis vor, der die Fehler corrigirte, und wurde über diesen sehr gelobt. Der Styl war nun natürlich nicht ganz mein, aber auch mit der Aussprache waren sie sehr zufrieden, und ich bekam viele Complimente auf Kosten von Prof. Plücker, der für seine häufigen Besuche in England allerdings schlecht ausspricht. . . . . Edinburg ist wirklich in malerischer Beziehung ganz ausserordentlich schön. Es liegt auf einer Zahl sehr steiler Hügel, an deren Abhängen die Häuser so gebaut sind, dass sie auf der einen Seite zwei oder drei, auf der anderen Seite acht oder neun Stockwerke haben, und das Parterre der einen Reihe oft über das Dach der anderen hinaussieht. Die hohen langen Häuser bauen sich an den Hügeln hinauf so steil über einander, wie die kleinen Seitenthürmchen einer gothischen Kathedrale, so dass die Stadt als Ganzes gleichsam einen gothischen Eindruck macht, wenn auch die einzelnen Häuser nicht gothisch gebaut sind. Ein an dem einen Rande gelegener Hügel (Carlton Hill) giebt einen wunderschönen Ueberblick über die Stadt und die reiche, theils bergige, theils ebene Umgebung derselben. Der Hügel selbst trägt die römisch gebaute Sternwarte; einige andere Monumente daselbst sind Copieen atheniensischer Gebäude, und ein angefangener Säulentempel scheint sogar eine Copie des Parthenon werden zu sollen. Man hat deshalb diesen Hügel nicht mit Unrecht mit der Acropolis von Athen verglichen, er sieht ähnlich aus, wie die Abbildungen von jener. . . . . Von Edinburg fuhr ich nachmittags 2 Uhr durch eine

reich angebaute hügelige Gegend mit verschiedenen Ruinen nach Glasgow. Dies ist eine sehr grosse Geschäftsstadt, ungeheuer geräuschvoll und geschäftig, wimmelt von rothhaarigen, ungesunden, schmutzigen, armen Arbeitern und macht daher keinen erfreulichen Eindruck. Ich besuchte einen Physiker Prof. Thomson, der viel in Sachen der Erhaltung der Kraft gearbeitet hat; er war aber nach einem Seebade ausgeflogen.“

Helmholtz hatte noch beabsichtigt, auf der Rückreise von England Utrecht zu besuchen, um die persönliche Bekanntschaft von Donders zu machen, musste aber in Folge einer Erkrankung seiner Frau schneller heimkehren, als er gerechnet hatte; seine Frau überwand jedoch das immer häufiger wiederkehrende Leiden diesmal schnell, und er konnte nun in körperlicher und geistiger Frische mit ihr in seinen Reiseerinnerungen schwelgen. Diese Reise nach England hatte auf ihn einen grossen und nachhaltigen Eindruck ausgeübt, so dass er später gern jede Gelegenheit benutzte, um jenes Land und seine wissenschaftlichen Freunde wiederzusehen.

„England ist ein grosses Land“, schreibt er an Ludwig, „und man fühlt hier, was für ein grossartiges und herrliches Ding die Civilisation ist, wenn sie in alle kleinsten Beziehungen des Lebens eindringt. Gegen London sind Berlin und Wien doch nur Dörfer. London lässt sich gar nicht beschreiben, man muss das dortige Treiben mit eigenen Augen gesehen haben, es ist ein Lebensereigniss, es zu sehen, man lernt dort das menschliche Treiben nach anderem Massstabe zu beurtheilen.“

In der Mitte des October 1853 erhielt Helmholtz endlich die Arbeit von Cramer, auf die er Monate lang gewartet, und nun erst ging er wieder an die Fortsetzung der durch die schriftlichen Mittheilungen von Donders unterbrochenen Untersuchungen über Accommodation. Nachdem er die Aufforderung von Vieweg, ein Lehrbuch der physiologischen

Physik zu schreiben, abgelehnt und Fick dafür vorgeschlagen, dagegen sich entschlossen hatte, auf Drängen von Karsten in dessen grosser Encyclopädie der Physik die Bearbeitung der physiologischen Optik zu übernehmen, die — was Helmholtz nicht vermuthet hatte — zu ihrer Vollendung ein Jahrzehnt erfordern sollte, beschäftigte er sich zunächst damit, nach einer neuen Methode die Formen und Entfernungen der brechenden Flächen des Auges, der Hornhaut, der vorderen und hinteren Linsenfläche an lebenden Augen zu bestimmen, um dadurch sichere Grundlagen für die Bestimmung des Ganges der Lichtstrahlen im Auge zu erhalten. Schon im April des Jahres 1854 war er so weit darin vorgerückt, dass er nach dem Studium der Cramer'schen Arbeit Donders gegenüber die Hoffnung aussprechen konnte, nunmehr die bei der Adaption in Betracht kommende Wölbung der Iris und Verschiebung ihres Pupillenrandes nach vorn sicher bestimmen zu können:

„Ich bekam die Abhandlung des Herrn Dr. Cramer unmittelbar, nachdem ich meinen ersten Brief an Sie abgesendet hatte. Ich habe das Buch, für dessen Mittheilung ich Ihnen noch besten Dank sage, sogleich durchstudirt, was mir einige Mühe machte, da ich dabei erst das Holländische verstehen lernen musste. Glücklicher Weise ist Ihre Sprache der unseren so verwandt, dass ihr Verständniss uns nicht viel Mühe macht. Die Arbeit des Herrn Dr. Cramer ist sehr gediegen und interessant. Die Versuche an ausgeschnittenen Augen frisch getödteter Thiere waren mir noch nicht gelungen, weil ich Kaninchen gewählt hatte. Cramer's Versuche an solchen Augen beweisen, dass die Iris nothwendig sei, um die Adaption für die Nähe zu bewerkstelligen, wie ich es auch schon vorausgesetzt hatte. Aber es scheint mir noch zweifelhaft, ob es die Iris allein sei. Wenn die Accommodation für die Nähe ausgeführt wird, tritt auch der Rand der Pupille selbst nach vorn, während eine Zusammenziehung der Iris allein, ihrer radialen und

circularen Fasern, wie sie Cramer gewiss mit Recht annimmt, eher das Gegentheil bewirken sollte.“

Diese schwierigen optischen Untersuchungen wurden zunächst durch eine andere unaufschiebbare Arbeit zurückgedrängt, zu der sich ihm eine recht unerfreuliche Veranlassung bot. Am Ende des Jahres 1853 hatten Helmholtz die in den Annalen erschienenen, der Form und dem Inhalte nach ungerechtfertigten Angriffe von Clausius gegen seine Schrift über die Erhaltung der Kraft viel Aerger und Missstimmung verursacht, zumal da sie von einem Altersgenossen und angesehenen Mitgliede der physikalischen Gesellschaft ausgingen, mit dem er seit dem Jahre 1848 genau bekannt gewesen und eine längere Zeit hindurch sogar täglich zusammengekommen war; am Anfange des Jahres 1854 wehrte er diese Angriffe in derselben Zeitschrift unter dem Titel „Erwiderung auf die Bemerkung von Herrn Clausius“ so siegreich ab, dass ein Zweifel über die Richtigkeit dessen, was er als erwiesen hingestellt, nicht mehr möglich war.

Aber er brauchte zwei Monate, um der Antwort eine möglichst bündige und ruhige Form zu geben. „Von seinen Aussetzungen“, schreibt er am 2. Februar 1854 an Ludwig, „bleibt glücklicher Weise nur eine auf mir sitzen, und eine, die ich am Ende tragen kann, nämlich mein Missverständniss der Schrift von Holtzmann.“ Und weil Helmholtz es gewesen ist, welcher wie kein anderer die späteren Arbeiten von Clausius der wissenschaftlichen Welt pries, und weil gerade sein Bemühen Clausius der höchsten wissenschaftlichen Ehren theilhaftig machte, darf man es heute gerechtfertigt finden, wenn es Helmholtz verdross, dass Clausius in seinen früheren Aufsätzen die Schrift über die Erhaltung der Kraft nie genannt hat, ehe er glaubte, Fehler in derselben aufdecken zu können. Helmholtz durfte nicht ohne Grund schreiben: „weil die nicht mathematischen Physiker wissen, dass ich nicht studirter Mathematiker bin, werden sie dem Clausius glauben,

wenn er mir in solcher Weise die grössten Eseleien vorwirft“. Nur um Clausius für die künftige Zeit etwas mehr Nachsicht gegen andere anzuempfehlen, berichtet er im Jahresbericht der physikalischen Gesellschaft einen mathematischen Fehler desselben, während er sich in seiner Antwort an Clausius gegen die Angriffe auf seine grosse Arbeit nur abwehrend verhält.

Man muss sich zunächst erinnern, dass Helmholtz zur Zeit, als er „die Erhaltung der Kraft“ veröffentlichte, bereits viel über eine mechanische Theorie der Wärme gearbeitet hatte, nachher aber aus der gedruckten Abhandlung alles wegliess, was nach Hypothesen aussah, „um dadurch nicht die Aufnahme des Aufsatzes bei den Physikern zu erschweren“. Er hatte später die Sache ganz liegen lassen, weil er glaubte, dass die mechanische Wärmetheorie nur dann mit Nutzen gefördert werden könne, wenn man jede besondere Voraussetzung über die Constitution der Moleküle möglichst vermeidet und nur so allgemein wie möglich untersucht, wie Bewegungen innerhalb der zusammengesetzten Molekülen auf die Stellung der Nachbarmolekülen einwirken können. Aber er hatte sich noch viel weiter greifende Fragen vor Abfassung seiner Schrift „Ueber die Erhaltung der Kraft“ vorgelegt. Als Carnot noch unter der Vorstellung, dass Wärme ein Stoff und als solcher unzerstörbar und unvermehrbar sei, diejenigen Vorgänge untersuchte, bei welchen Wärme mechanische Arbeit leisten kann, fand er, dass dies nur der Fall sei, wenn Wärme von heissen zu kalten Körpern übergeht; so ergab sich leicht, dass ein Perpetuum mobile nur dann unmöglich sein würde, wenn die Rückführung der Wärme aus kälteren in wärmere Körper einen entsprechenden Arbeitsaufwand erforderte, wie ihn der entgegengesetzte Uebergang vorher geleistet hatte, und dass ausserdem dieser Aufwand unabhängig von der Natur des übertragenden Körpers sein müsse. Durch die Arbeiten über die Erhaltung der Kraft war es aber unmöglich geworden,

die stoffliche Natur der Wärme noch weiter aufrecht zu erhalten, welche eine wesentliche Voraussetzung der Carnot'schen Deduction war. Helmholtz machte schon damals Versuche, um Beweise für einige der Folgerungen Carnot's, welche ihm thatsächlich richtig erschienen, mit Hülfe mechanischer Principien für die Theorie der Wärme zu ersinnen, musste es aber der Zukunft überlassen, über die Wahrheit jener Sätze eine Entscheidung zu treffen. Er war also in seinen Überlegungen schon viel weiter vorgeschritten, als es Clausius aus seiner Schrift über die Erhaltung der Kraft entnehmen konnte und als es dieser noch einige Jahre später thatsächlich selbst gewesen.

Clausius greift nun zunächst die von Helmholtz gegebene Ableitung des Gesetzes der Wärmeentwicklung bei elektrischen Entladungen aus dem Princip der Erhaltung der Kraft an; wie schon in dem oben erwähnten Briefe an du Bois hervorgehoben wurde, hatte er die von Helmholtz gegebene Definition des Potentials einer Masse auf sich selbst, welche von der gewöhnlichen abweichend war, nicht beachtet. Noch mehrere Jahre später präcisirt Helmholtz in einem Briefe an Tait vom 19. März 1867 eben diese Differenz mit Clausius dahin:

„Was meinen Streit mit Clausius betrifft, so war über das mechanische Aequivalent keine wesentliche Abweichung zwischen uns, als dass Clausius die Wärme des Funkens berücksichtigte, die ich vernachlässigen zu dürfen geglaubt hatte, und dass ich unter Potential eines Körpers auf sich selbst die Summe  $m_a m_b / r_{ab}$  verstand ohne Ausschluss der Wiederholungen der Indices  $(ab)$  und  $(ba)$ , während Clausius dem schon von anderen Mathematikern gefolgten Gebrauche gemäss die Wiederholungen ausschloss, und also was er Potential nannte, halb so gross war, als was ich so nannte. In der Sache war beides gleich richtig.“

Eben so leicht konnte Helmholtz den zweiten gegen ihn erhobenen Vorwurf zurückweisen, der sich gegen die

Folgerungen richtete, welche er aus dem Riess'schen Gesetze gezogen hatte, dass bei verschiedenen Ladungen und verschiedener Anzahl gleich construirter Flaschen die in jedem einzelnen Theile desselben Schliessungsdrahtes entwickelte Wärme proportional sei dem Quadrate der Quantität der Elektrizität und umgekehrt proportional der Oberfläche der Belegung der Flaschen; denn dieser Vorwurf traf gar nicht Helmholtz und seine aus der Annahme der Existenz jenes Gesetzes gezogenen Schlüsse, da Clausius die Richtigkeit des Riess'schen Gesetzes selbst angriff und vor allem die Verallgemeinerungen dieses Gesetzes anzweifelte, deren Richtigkeit Helmholtz selbst in seiner Schrift erst durch Beobachtungen bestätigt wissen wollte. Was ferner das Missverständniss einer Stelle in dem Buche von Holtzmann betrifft, so giebt dies Helmholtz, wie schon in dem letzten Briefe an Ludwig hervorgehoben, unumwunden zu. Der Angriff von Clausius, welcher wohl den Hauptstoss gegen die Arbeit von Helmholtz bilden sollte, war gegen den Beweis des Satzes gerichtet, dass das Princip von der Erhaltung der lebendigen Kraft nur da gilt, wo die wirkenden Kräfte sich auflösen lassen in Kräfte materieller Punkte, welche in der Richtung der Verbindungslinie wirken, und deren Intensität nur von der Entfernung abhängt; derselbe giebt Helmholtz Gelegenheit zu einer längeren und wichtigen Auseinandersetzung, auf welche die fundamentalen thermodynamischen Arbeiten, die grossartigsten Leistungen des letzten Jahrzehntes seines Lebens, wenn auch in völlig veränderter Auffassung, wieder zurückgreifen.

Helmholtz erkennt sehr wohl die Bedeutung eines Angriffs gerade gegen diesen Theil seiner Schrift über die Erhaltung der Kraft, weil derselbe den Hauptfortschritt gegen die Untersuchungen von Robert Mayer darstellte, und auf diesen Betrachtungen die grosse principielle Bedeutung seiner eigenen Arbeit basirte. Techniker und Physiker hatten seit alter Zeit das Product aus der Grösse

eines gehobenen Gewichtes und seiner Hebungshöhe als Maass der Arbeit bezeichnet; dieser Begriff der Arbeitsgrösse, des Productes aus der Kraftcomponente, die längs eines Weges wirkt, und der Weglänge, musste von der mit constanter Intensität und in constant bleibender Richtung wirkenden Schwerkraft übertragen werden auf die Fälle, wo viele oder unendlich viele in Wechselwirkung stehende Massen oder Massenelemente sich gegen einander verschieben, und wobei längs der Wege, die jedes einzelne Massenelement beschreibt, die von den anderen Massenelementen ausgeübten Kräfte Arbeit leisten. Für anziehende und abstossende Kräfte, deren Intensität dem Quadrat der Entfernung der auf einander wirkenden Massen proportional ist, hatte Green die Arbeitsgrösse das Potential genannt und dessen mathematische Eigenschaften für die elektrischen und magnetischen Phänomene verwerthet. Die Einführung dieser negativ genommenen Grösse als potentielle Energie für alle Probleme der Mechanik und Physik, die hinzugenommen zu der halben Summe der Producte der Massen in die Quadrate der Geschwindigkeiten, welche die lebendige Kraft oder die actuelle Energie genannt wurde, hatte Helmholtz von dem schon früher bekannten Princip von der „Erhaltung der lebendigen Kraft“, welches für die Mechanik wägbarer Massen entwickelt war, zu dem grossen Princip von „der Erhaltung der Kraft“ geführt, welches neben die Ueberzeugung von der Unzerstörbarkeit und Unvermehrbarkeit der Materie auch die Constanz der Energie, als Summe der actuellen und potentiellen Energie, hinstellte; in der alten Formulirung des Naturgesetzes, in dem sogenannten Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft, verglich man dagegen nur Fälle mit einander, in denen jene Arbeitsgrösse denselben Werth hatte und sich somit aus der Differenz der verglichenen Werthe forthob.

Gegen die Herleitung eben dieses Princips der „Erhaltung der lebendigen Kraft“, wie sie Helmholtz in seiner

Schrift für dieses Gesetz lieferte, welches für ihn den Ausgangspunkt für die Herleitung seines eigenen grossen Naturgesetzes bildete, richtete Clausius seine Einwände. Er behauptete, Helmholtz habe schon für den einfachen Fall, dass zwei einzelne materielle Punkte gegen einander wirken, ausser der Annahme des Principis von der Erhaltung der lebendigen Kraft, noch angenommen, dass die Grösse der Kraft eine Function der Entfernung sei, und habe daraus geschlossen, dass die Richtung der Kraft in der Verbindungslinie der Punkte liege. Helmholtz zeigt, dass auch dieser Vorwurf unbegründet ist und geht bei dieser Gelegenheit auf eine nochmalige und ausführlichere Discussion dieses Punktes ein, die für die Behandlung der Frage wieder neue und interessante Gesichtspunkte liefert. Von der Definition ausgehend, dass bewegliche Punkte gleiche relative Lage zu einander haben, so oft ein Coordinatensystem zu construiren ist, in welchem alle ihre Coordinaten beziehungsweise dieselben Werthe wiederbekommen, spricht Helmholtz den Satz von der Erhaltung der lebendigen Kraft in der Form aus: Wenn in beliebiger Zahl bewegliche Massenpunkte sich nur unter dem Einfluss solcher Kräfte bewegen, die sie selbst gegen einander ausüben, so ist die Summe der lebendigen Kräfte aller zusammengenommen zu allen Zeitpunkten dieselbe, in welchen alle Punkte dieselben relativen Lagen gegen einander einnehmen, wie auch ihre Bahnen und Geschwindigkeiten in der Zwischenzeit gewesen sein mögen, und auf Grund dieses Satzes widerlegt er von Neuem den Einwand von Clausius, dass in gewissen Fällen die lebendige Kraft eine ganz beliebige Function der Coordinaten des Systems sein könne. Er hebt aber noch ausdrücklich hervor, dass er freilich in seiner Arbeit die Annahme gemacht habe, die Kraft, welche ein Punkt auf einen anderen ausübt, sei unabhängig von der Anwesenheit noch anderer auf diesen Punkt wirkender Kräfte, aber dies sei ein in der Mechanik stets als richtig angenommenes

Princip gewesen. Am Schlusse seiner Arbeit sagt Helmholtz, dass er in der Theorie des Galvanismus die Einwürfe von Clausius erwarten müsse:

„Das Kapitel der Elektrodynamik ist in meiner Schrift nur unter einer sehr beschränkenden Voraussetzung durchgeführt, weil ich damals von aller mathematisch-physikalischen Literatur entblösst, fast auf das beschränkt war, was ich selbst zu erfinden wusste. . . . Ich kann es nur für einen Gewinn halten, wenn die Ideenverbindungen, welche ich in meiner Schrift damals zu einer Zeit, wo sie noch wenig Anklang unter den Physikern fanden, darzulegen suchte, jetzt von einem Anderen in anderer Form wieder aufgenommen und in so vollständiger und kritischer Weise durchgearbeitet werden, wie es bisher bei anderen Kapiteln der Theorie von der Erhaltung der Kraft durch Herrn Clausius geschehen ist.“

Nun gibt er noch eine Reihe von Resultaten, welche er mit erweiterten Hilfsmitteln später gewonnen hat, und spricht unter anderem den Satz aus, dass, wenn man einen Magnet aus unendlicher Entfernung einem durch Vertheilung magnetisirten Körper nähert, dabei mechanische Arbeit gewonnen wird, deren Werth am Ende des Weges gleich der Hälfte des Potentials des vertheilten Körpers gegen den vertheilenden ist. Aber „um Clausius nicht vorzugreifen“, gab er nicht alle Resultate, zu denen er bereits damals gelangt war. Es ist aus einem Bruchstücke seiner Aufzeichnungen zu ersehen, dass, während er zur Zeit der Ausarbeitung seiner „Erhaltung der Kraft“ nur einzelne aus dem Zusammenhange gerissene Sätze der Arbeiten von Poisson, Green und Gauss benutzen konnte und sich deshalb auf den Fall beschränkte, wo das durch Vertheilung magnetische Eisen vollkommen weich war und somit der Magnetisirung gar keinen Widerstand entgensetzte — die Vertheilung des Magnetismus also dieselbe war, wie die der Elektrizität in Leitern, welche durch Vertheilung

elektrisiert sind — er nunmehr die mathematische Behandlung der hierher gehörigen Probleme durchgeführt hatte, von der Annahme ausgehend, dass die Magnetisirung eines körperlichen Elementes proportional sei der magnetisirenden Kraft.

Die Arbeit von Helmholtz, welche die Angriffe von Clausius zurückweisen sollte, ist deshalb von so grossem Interesse, weil einerseits erst hier die Fülle und Tiefe der mathematischen und physikalischen Untersuchungen sich klar übersehen lässt, die Helmholtz wahrscheinlich schon in seinem 24. Lebensjahre im Princip durchgeführt hatte, andererseits aber auch ähnliche Deductionen den grossen und bewundernswerthen Arbeiten seiner letzten Lebensjahre zu Grunde liegen.

Die durch die Clausius'sche Arbeit hervorgerufene erneute Beschäftigung mit dem Princip von der Erhaltung der Kraft und die von allen Seiten in Königsberg an ihn herantretende Aufforderung, über dieses immer mehr in das wissenschaftliche Publicum eindringende Fundament der gesamten naturwissenschaftlichen Forschung der Zukunft einen für einen grösseren Kreis gebildeter Zuhörer verständlichen Vortrag zu halten, waren die unmittelbare Veranlassung zu einem seiner glänzendsten und am weitesten verbreiteten populär-wissenschaftlichen Vorträge „Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte und die darauf bezüglichen neuesten Ermittlungen der Physik“. Interessant und charakteristisch zugleich ist die Beurtheilung des streng censirenden Vaters:

„Mich selbst hat sie sehr erfreut, theils durch ihre Klarheit und ihren reichen factischen Inhalt, durch die nicht gesuchte und doch geistreiche Herbeiziehung manches witzigen Schmuckes; das Festhalten wissenschaftlichen Ernstes bei allem Bestreben, ein nicht wissenschaftliches Auditorium zu fesseln und zu erregen, theils aber besonders durch die höhere ideelle Beziehung, in welche die scheinbar ganz ihren besonderen Gang für sich gehenden Untersuchungen

gesetzt sind. Die Einsicht, dass jede sinnliche Erscheinung, sei es ein unendlich kleines Infusionsthier, sei es ein unendlich grosses Sonnensystem, vergänglich sei, ergibt sich freilich dem philosophischen Denken des Räumlichen und Zeitlichen und einer unendlich schaffenden Idee von selbst; aber das ist eben meine Freude, die mir schon bei Müller's Physiologie aufging, dass gerade die angegriffene Naturwissenschaft auf dem Wege ist, durch das sinnliche Experiment zu demselben Ziele zu gelangen, zu welchem die geistige Entwicklung der Idee gelangt ist, und so dem, der einmal für die Realität des Geistigen keinen Sinn hat, die äussere Schöpfung ebenso als Offenbarung der ewigen Idee zu eröffnen. Erst wenn man überzeugt werden wird, dass Natur und Geschichte die Aeusserungen des göttlichen Lebens sind, die objectiv unverrückbar, von keiner Subjectivität eines Individuum oder einer Zeitentwicklungsstufe abhängig, für jeden zu jeder Zeit als die heiligen Offenbarungstafeln in unvergängliche Erze niedergelegt sind, und dass jede historische und persönliche Offenbarung erst an ihr geprüft und verstanden werden muss, erst dann werden wir den sichern und nie wieder zu verlassenden Weg der Erkenntniss Gottes betreten haben. Das einzige, was mir an Deiner Vorlesung nicht gefallen hat, obgleich ich Deinen Zweck dabei sehr wohl begreife, ist das Herbeiziehen der mosaischen Schöpfungsgeschichte; das ist doch im Grund und Boden unwahr und eine schwächliche Nachgiebigkeit der Wissenschaft, die man ihren Gegnern, den in ihrer Faulheit auf den Kinderstufen des Geistes beharrenden Buchstabengläubigen, nicht zeigen muss. Ich habe Fichte bei Uebersendung seines letzten grösseren philosophischen Werkes darüber getadelt; er hat es zugegeben und versprochen, es nicht wieder zu thun. Gewonnen und versöhnt wird dadurch kein Gegner, sondern für den Schwachen entweder das Verständniss der Bibel oder das des wissenschaftlichen Resultats verwirrt.“

Selbst der unvergleichlich sprachgewandte du Bois

schreibt ihm über diese Rede: „ich finde sie einzig, namentlich Anfang und Ende, und bewundere, wie Du Dich in stylistischer Hinsicht entwickelt hast. Ueberall ist sie mit grosser Wärme aufgenommen worden.“ Helmholtz genügt in diesem Vortrage vollauf den Bedingungen, deren Erfüllung er für eine populäre Darstellung wissenschaftlicher Resultate als nothwendig erachtet:

„Für eine allgemein fassliche Darlegung der gewonnenen Einsichten“, sagt er bei anderer Gelegenheit, „ist ein gewisses künstlerisches Talent der Darstellung nöthig, eine gewisse Art von Beredsamkeit; der Vortragende oder Schreibende muss allgemein zugängliche Anschauungen finden, mittelst derer er seine Vorstellungen in möglichst sinnlicher Lebendigkeit hervorrufft und an diesen dann auch die abstracten Sätze, die er verständlich machen will, concretes Leben gewinnen lässt.“

Die Rede enthält nicht allein eine meisterhafte und allgemein verständliche Darlegung des Princip der Erhaltung der Kraft, in welcher eine historische Entwicklung der hierher gehörigen mechanischen Principien gegeben und bei dieser zuerst sich bietenden Gelegenheit hervorgehoben wird, dass „der Erste, welcher das allgemeine Naturgesetz, um welches es sich hier handelt, richtig auffasste und aussprach, ein deutscher Arzt, J. R. Mayer, in Heilbronn 1842“ gewesen. Helmholtz geht vielmehr, sich stützend auf dieses allgemeine Naturgesetz, zu dessen Verständniss er die Zuhörer geführt, indem er die Kraftentwicklung durch Naturprocesse in ihrem Verhältnisse zum Nutzen der Menschen, als Arbeitskraft in Maschinen dargelegt hat, zu der Frage über, ob die Menge der Arbeitskraft, wenn sie ohne entsprechenden Verbrauch nicht vermehrt werden kann, vermindert werden oder verloren gehen könne, und findet die präzise Antwort: „für die Zwecke unserer Maschinen allerdings, aber nicht für das Naturganze“. Und nun entwickelt er den Carnot-Clausius'schen Satz, dass Wärme nur dann, wenn sie von einem wärmeren zu einem kälteren

Körper übergeht, und auch dann nur theilweise, in mechanische Arbeit verwandelt werden kann, dass wir also die Wärme eines Körpers, den wir nicht weiter abkühlen können, auch nicht in eine andere Wirkungsform, in mechanische, elektrische oder chemische Kräfte zurückführen können, erörtert die Consequenzen dieses Naturgesetzes für das Weltganze — „physikalisch-mechanische Gesetze sind wie Teleskope unseres geistigen Auges, welche in die fernste Nacht der Vergangenheit und Zukunft eindringen“ — und leitet Resultate her, welche du Bois treffend zu seinen „geistreichsten Funden“ rechnet.

Wenn sämtliche Körper der Natur dieselbe Temperatur hätten, würde es unmöglich sein, irgend einen Theil ihrer Wärme wiederum in Arbeit umzusetzen. Also kann der ganze Kraftvorrath des Weltganzen in zwei Theile getheilt werden, von denen der eine Wärme ist und bleibt, der andere, zu dem ein Theil der Wärme der heisseren Körper und der ganze Vorrath chemischer, elektrischer und magnetischer Kräfte gehört, den ganzen Reichthum wechselnder Veränderung in der Natur unterhält. Da nun die Wärme heisser Körper fortwährend auf weniger warme überzugehen und Temperaturgleichgewicht hervorzubringen strebt, und bei jeder Bewegung irdischer Körper durch Reibung oder Stoss, ebenso bei jedem chemischen oder elektrischen Prozesse ein Theil mechanischer Kraft in Wärme übergeht, von welcher aber nur ein Theil zurückverwandelt werden kann, so folgt, dass der erste Theil des Kraftvorrathes, die unveränderte Wärme, bei jedem Naturprocesse fortdauernd zunimmt, der zweite, der der mechanischen, chemischen, elektrischen Kräfte fortdauernd abnimmt. Es muss somit, da endlich aller Kraftvorrath in Wärme übergeht, und alle Wärme in das Gleichgewicht der Temperatur kommt, wie schon W. Thomson gefolgert, vollständiger Stillstand aller Naturprocesse eintreten, und das Weltall ist von da an zu ewiger Ruhe verurtheilt.