



Englischer Kupferstich 1867

Helmholtz als Professor der Physiologie
in Heidelberg
von Michaelis 1858 bis Ostern 1871.

Die Uebersiedelung nach Heidelberg zwang Helmholtz zunächst, seine grösseren experimentellen Arbeiten zu unterbrechen. Während er sehnsüchtig darauf wartete, noch vor Beginn des Semesters sein neues Local für die Aufstellung der Instrumente fertig zu sehen, suchte er möglichst bis zur Mitte des October die zweite Abtheilung seiner physiologischen Optik abzuschliessen; „er stecke aber noch in den Nachbildern fest“, schreibt er an Wittich, „und könne damit nicht recht zu Ende kommen“, während er nach Beginn der Vorlesungen „in unbesetzten Stunden und Sonntags etwas über Akustik experimentire“. Schnell lebt er sich mit seiner Familie in Heidelberg ein; schon am 9. December schreibt er seinem Vater:

„Bisher macht sich in meinen amtlichen Beziehungen hier in Heidelberg Alles recht gut. Zuhörer habe ich trotz der heruntergekommenen Zahl der Mediciner ebenso viele, als ich sie in Bonn für Physiologie hatte. Nur ist allerdings die Zahl der Laboranten zu gross für das Local, und wir sind deshalb etwas gedrängt; indessen soll es sogleich an die Ausarbeitung von Plänen für einen Neubau gehen, und kann dann für besseren Platz gesorgt werden.

Im November haben sie mich zum Mitgliede der Münchener Akademie der Wissenschaften gemacht, und heute

habe ich auch einen ersten Orden bekommen, und zwar einen holländischen, den niederländischen Löwen. Wie mir Professor Donders aus Utrecht schreibt, ist dort ein neues Hospital für Augenkranke unter seiner Leitung gebaut und feierlich eingeweiht worden, und bei dieser Veranlassung hat man es passend gefunden, der Erfindung des Augenspiegels in solcher Weise zu gedenken. Du siehst, dass mir Heidelberg Glück bringt in Bezug auf äussere Anerkennung.“

Die Antwort des Vaters spricht die grosse Freude über das Glück seiner Kinder aus; es war der letzte Brief des 67jährigen kränkelnden Greises an seinen Sohn; die Zeilen voll geistiger Frische enthalten noch eine Kritik des neuen Werkes zur Seelenfrage von seinem Freunde Fichte, und schliessen mit den Worten:

„Die Schwierigkeit der Wechselwirkung zwischen Geist und Leib glaube ich allerdings klarer lösen zu können, als es Fichte gelungen ist, wegen der vielen Seitenblicke, die er nach anderer Meinungen wirft, und die ihm ein ruhiges Vertiefen in die eigene Anschauung und ein consequentes Entwickeln aus ihr heraus stören; sollte Dich das interessiren, da es die Bedeutung des Leiblichen und das Verhältniss desselben zum Geistigen betrifft, so will ich es Dir, wenn ich es gründlicher und systematischer geformt haben werde, schicken. Denn wenn gleich Deine Aufgabe die scharfe Ermittlung des Körperlichen, seines Zusammenhangs und der Bedeutung des einzelnen im Körper und für den Körper ist, so scheint doch auch diese geleitet werden zu müssen von dem Begriff, was denn nun der Körper überhaupt für die Seele sei und bedeute, und was überhaupt das Leben in ihr entwickele; überhaupt würde auch die Anthropologie sowohl wie die Seelenfrage manches in Dir anregen, was Dich in Deiner materiellen Untersuchung leiten könnte.“

Nach Schluss der Wintervorlesungen reiste Helmholtz am 27. März 1859 zur Festfeier der bayerischen Akademie

nach München und berichtet am 30. von dort aus seiner Frau:

„..... Mir ist es bisher hier vortrefflich gegangen. Am Sonntag früh erschienen Eisenlohr und der hiesige Physiker Jolly, um mich abzuholen. Nachdem wir uns in der Akademie eingeschrieben hatten, brachte uns Jolly in Kaulbach's Atelier, der eben mit einem riesigen Carton der Schlacht von Salamis beschäftigt war, einem höchst gewaltigen und grossen Werke. Kaulbach selbst, den ich auch später beim ersten Festessen wiedergesehen habe, ist eine ausserordentlich liebenswürdige und feine Künstler-natur, mit regem Interesse für Alles, dem sich nur entfernt eine Beziehung auf die Kunst abgewinnen lässt. Er ist auch hier der Liebling Aller.

..... Nachher flanirten wir etwas durch die Strassen, machten dann Visiten bei einigen Akademikern; zum Mittag und Abend lud mich gleich Jolly ein, dessen Frau aus Heidelberg eine Schwägerin von Weber ist.

..... Der Montag verging en grande parure. Um 9 Uhr Gottesdienst mit einer ganz wackeren Predigt in der protestantischen Kirche; um 11 Uhr Sitzung, wo König Ludwig erschien und sich uns vorstellen liess In der Sitzung hielt ein katholischer Altbayer, ein Orientalist Müller, eine Rede über die Geschichte der Akademie, worin er sich in grösster Heftigkeit gegen die Jesuiten losliess, dass ich meinen Ohren nicht traute. Da das Essen spät war, frühstückte ich in grösserer Gesellschaft ein Glas Bier, welches hier in der That alle auswärtigen Nachahmungen des Bayrischen Bieres bei weitem übertrifft. Um 3 Uhr ein sehr grosses Festessen hier im Bayrischen Hofe. Ich sass zwischen Schönbein und Bischoff, gegenüber Liebig und Kaulbach, es war sehr amüsant. Abends ein Stück von Terenz im kleinen Theater.

Gestern früh war ich mit Eisenlohr in der optischen Werkstatt von Steinheil (Ministerialrath) ausserhalb der

Stadt, und sah viel Vortreffliches. Dann eine ziemlich langweilige Sitzung mit Reden, nachher wieder Bayrisch Bier und Mittagsruhe. Dann Essen bei Majestät, dem eine sehr lange und ausführliche Vorstellung vorausging. Der König ist sehr freundlich, spricht verständig, scheint aber die schlechte Ernährung von seinem Vater geerbt zu haben. Freute sich, mich persönlich kennen zu lernen, ich dankte für gnädige Bewilligung; er hoffte, dass ich für die Architectur von Sälen würde akustische Aufschlüsse erhalten, ich konnte ihm darauf wenig Aussicht machen. Sehr brillante Tafel im Barbarossa-Saal, sehr feines und wenig substantielles Essen, wie ich es liebe. Nachher im Theater Oedipus von Colonus mit Musik von Mendelssohn, die ihm aber nicht mehr so gut geflossen ist, wie die der Antigone. Heute sind uns die Säle des Schlosses geöffnet, am Abend grosses Maifest im Rathhause, wobei feierlich der Bock angezapft werden soll

. Ich muss schliessen, da R. Wagner gleich kommen wird mich abzuholen.“

Bei Gelegenheit dieser akademischen Feier hielt nun Helmholtz am 2. April einen Vortrag „Ueber die Klangfarbe der Vocale“; den wesentlichen Inhalt desselben theilte er in Poggendorff's Annalen mit, nachdem er schon früher Donders mündlich seine Theorie der Vocale dargelegt und später schriftlich ergänzt hatte.

Wie er am 13. Juni 1859 an Ludwig schrieb, war er schon durch die nothwendige Vorstudie über die Bewegung der Luft in Röhren zu einer festen Theorie der Klangfarbe gelangt. Hier giebt er eine ausführlichere Entwicklung derselben, nach welcher Klänge von verschiedener Klangfarbe und gleicher Höhe des Grundtones für das Ohr verschieden sind durch die verschiedene Zahl und Stärke der harmonischen Obertöne, oder die Klangfarbe bedingt ist durch Zusammensetzung des Grundtones mit verschieden starken Obertönen. Er bezeichnet als musi-

kalische Klangfarbe des Tones den Theil der Klangfarbe, welcher unabhängig ist von den unregelmässigen Geräuschen, die nicht eigentlich zu dem musikalischen Theile des Tones zu rechnen sind — wie das Kratzen des Violinbogens, das Pfeifen des über die Flöte geblasenen Luftstromes, das verschiedene Intermittiren des ausgestossenen Athems beim Aussprechen von Consonanten — und wirft nun die Frage auf, ob die Unterscheidung der musikalischen Klangfarbe nur in der Empfindung von Obertönen verschiedener Stärke beruht oder ob das Ohr auch deren Phasenunterschiede aus einander hält; gelangt man doch zu ganz verschiedenen Wellenformen bei Zusammensetzung der Welle eines Grundtones und seiner ersten höheren Octave, je nachdem man das Verdichtungs-Maximum des Grundtones mit dem der Octave zusammenfallen lässt oder nicht. Und die Entscheidung dieser Frage suchte Helmholtz dadurch zu gewinnen, dass er Töne verschiedener Klangfarbe durch directe Zusammensetzung einfacher Töne erzeugte, wie er sie früher durch Stimmgabeln hervorzubringen gelehrt hatte; als passendes Object der Nachahmung wählte er die verschiedenen Vocale der menschlichen Sprache, weil diese als gleichmässig anhaltende musikalische Töne hervorgebracht werden können. Die Charakterisirung der Vocale giebt er ungefähr in der Donders brieflich mitgetheilten Art an, wonach bei diesen nicht der Grundton, sondern einer der Obertöne der stärkste ist; nur fügt er jetzt die genauere Bestimmung hinzu, dass o entsteht, wenn der Grundton kräftig von der höheren Octave begleitet wird, wobei eine ganz schwache Begleitung durch den dritten und vierten Ton vortheilhaft ist, während e charakterisirt wird durch den dritten Ton bei mässiger Stärke des zweiten, und der Uebergang von o zu e dadurch geschieht, dass man den zweiten Ton abnehmen, den dritten anschwellen lässt, so dass, wenn man beide genannte Nebentöne stark angiebt, ö entsteht. So zeigt er, dass die für Stimmgabeln gefundenen

Resultate auch durch die Untersuchung der menschlichen Stimmtöne bestätigt werden, zunächst wenigstens, wenn die Vocale auf einer bestimmten Note gesungen werden. Da nun der vom Menschen ausgesprochene Vocal ein durch Schwingung der Stimmbänder erzeugter Klang ist, die Mundhöhle aber nach seiner Theorie den Resonator bildet, welcher einen bestimmten Oberton besonders hervortreten lässt, damit ein bestimmter Vocal entstehe, so wird durch die veränderte Mundstellung derselbe Klang zu verschiedenen Vocalen. Zur Begründung seiner Vocalehre construirt nun Helmholtz als Resonatoren kleine Glaskugeln, die mit zwei Oeffnungen versehen sind, von denen die eine in einen kurzen trichterförmigen Hals ausläuft, dessen Ende in den Gehörgang einpasst, und deren Luftmasse, wenn ihr Eigenton ausserhalb ertönt, mitzuschwingen anfängt und so auf das Ohr wirkt. Mit Hülfe dieser Resonatoren waren nicht nur die meisten akustischen Phänomene, wie die objectiven Combinationstöne, die Obertöne und ihre Schwebungen, leicht zugänglich, sondern es ergab sich evident die Richtigkeit seiner Theorie der Vocale, und es zeigte sich, dass die musikalische Klangfarbe nur abhängt von der Anwesenheit und Stärke der Nebentöne, die in dem Klange enthalten sind, aber nicht von ihren Phasenunterschieden — zunächst jedoch mit Sicherheit nur, wenn man die Untersuchung bis zum sechsten oder achten Nebenton erstreckt. Zugleich aber gestattete die Bestätigung dieses letzteren Satzes, dass die Phasenunterschiede nicht in Betracht kommen, die von Helmholtz gemachte Annahme aufrecht zu erhalten, nach welcher sich die Empfindung verschiedener Klangfarben darauf reducirt, dass gleichzeitig mit der Faser, welche den Grundton empfindet, andere Nervenfasern in Erregung gesetzt werden, welche den Nebentönen entsprechen; eine so einfache Erklärung würde sich nicht geben lassen, wenn die Phasenunterschiede der tieferen Nebentöne in Betracht kämen. Eine Ergänzung dieser Untersuchung

gab Helmholtz noch im folgenden Jahre im naturhistorisch-medicinischen Verein in Heidelberg durch einen Vortrag „Ueber Klangfarben“; er dehnte die oben erwähnte Beschränkung, dass die Vocalklänge auf einer bestimmten Note — und zwar von einer Männerstimme auf B — gesungen werden, auf die Untersuchung für alle Tonhöhen des gesungenen Vocals aus, wobei sich ergab, dass für gewisse Vocale noch höher liegende Obertöne charakteristisch sind.

Schon in seiner der bayerischen Akademie vorgelegten Arbeit weist Helmholtz auf die von ihm als Vorstudie bezeichnete grosse, noch in demselben Jahre im Journal für reine und angewandte Mathematik erschienene Arbeit hin „Theorie der Luftschwingungen in Röhren mit offenen Enden“, deren Inhalt er bereits am 15. März dem naturhistorisch-medicinischen Verein in Heidelberg mitgeteilt hatte. Diese Arbeit, sowie die früher besprochene Untersuchung über Wirbelbewegung, gehören zu den glänzendsten mathematischen Leistungen von Helmholtz, die nur noch von den Arbeiten in dem letzten Jahrzehnt seines Lebens erreicht, vielleicht übertroffen werden:

„Auch bin ich im Stande gewesen“, sagt er im Jahre 1891, „einige mathematisch physikalische Probleme zu lösen, und darunter sogar solche, an welchen die grossen Mathematiker seit Euler sich vergebens bemüht hatten, z. B. die Fragen wegen der Wirbelbewegungen und der Discontinuität der Bewegung in Flüssigkeiten, die Frage über die Schallbewegung an den offenen Enden der Orgelpfeifen u. s. w. Aber der Stolz, den ich über das Endresultat in diesen Fällen hätte empfinden können, wurde beträchtlich herabgesetzt dadurch, dass ich wohl wusste, wie mir die Lösungen solcher Probleme fast immer nur durch allmählich wachsende Generalisationen von günstigen Beispielen, durch eine Reihe glücklicher Einfälle nach mancherlei Irrfahrten gelungen waren. Ich musste mich vergleichen einem Bergsteiger, der, ohne den Weg zu kennen,

langsam und mühselig hinaufklimmt, oft umkehren muss, weil er nicht weiter kann, bald durch Ueberlegung, bald durch Zufall neue Wegspuren entdeckt, die ihn wieder ein Stück vorwärts leiten, und endlich, wenn er sein Ziel erreicht, zu seiner Beschämung einen königlichen Weg findet, auf dem er hätte herauffahren können, wenn er gescheidt genug gewesen wäre, den richtigen Anfang zu finden. In meinen Abhandlungen habe ich natürlich den Leser dann nicht von meinen Irrfahrten unterhalten, sondern ihm nur den gebahnten Weg beschrieben, auf dem er jetzt ohne Mühe die Höhe erreichen mag.“

Die Theorie der Orgelpfeifen war bisher zunächst unter der Voraussetzung behandelt worden, dass die Bewegung der Lufttheilchen im Innern der Röhre überall ihrer Axe parallel gerichtet und sowohl die Geschwindigkeit wie der Druck in allen Punkten desselben Querschnittes der Röhre gleich gross sei, eine Annahme, welche für die vom offenen Ende entfernten Theile einer cylindrischen oder prismatischen Röhre statthaft, jedoch in der Nähe offener Enden, wo die ebenen Wellen der Röhre sich in Form kugelliger Wellen ausbreiten, unzulässig war, da ein solcher Uebergang nicht sprungweise geschehen kann. Ferner war die von Bernouilli, Euler, Lagrange gemachte Annahme, dass die Verdichtung der Luft am offenen Ende der Röhre Null ist, ebenfalls unstreng, da die Dichtigkeit derselben nicht gleichgesetzt werden darf der constanten Dichtigkeit der ruhenden Luft, sondern der veränderten Dichtigkeit der anstossenden selbst in Vibration gerathenen Luft im freien Raume. Poisson suchte nun diese irrthümliche Annahme durch eine, wie die Helmholtz'sche Theorie erwies, nicht gerechtfertigte Hypothese über die Verdichtung der Luft am Ende der Röhre zu ersetzen, und so traten beständig Differenzen zwischen der Theorie und der Erfahrung ein. Helmholtz brauchte aber zur Erledigung seiner schon früher angedeuteten akustischen Untersuchungen eine genaue, der Erfahrung ent-

sprechende, streng theoretische Beantwortung der Frage, in welcher Weise sich ebene Schallwellen, die in der Tiefe einer cylindrischen Röhre erzeugt worden sind, bei ihrem Uebergange in den freien Raum verhalten. Er löste dieses überaus schwierige Problem ohne jede Hypothese mit den höchsten Hilfsmitteln der Analysis, indem er sich die Aufgabe stellte, die Schwingungsform zu ermitteln, welche sich schliesslich dauernd herstellt, wenn die die Schwingungen erregende Ursache dauernd und gleichmässig fortwirkt; seiner früher aufgestellten Theorie gemäss durfte er die Voraussetzung machen, dass die Vibrationen denen eines einfachen Tones entsprechen, da die Willkürlichkeit der Schwingungsform sich aus einer grösseren Anzahl von solchen einfachen Tönen zusammensetzen lässt.

Er formt zunächst die Bewegungsgesetze der Luft unter der Voraussetzung, dass die auf die gasige Masse wirkenden Kräfte eine Potentialfunction besitzen, mit Hülfe des für die Schallbewegung gültigen Geschwindigkeitspotentials in zwei Gleichungen um, die sich von der Laplace'schen Gleichung für das Newton'sche Potential durch einen von den Coordinaten abhängigen und einen anderen Posten unterscheiden, der dem Geschwindigkeitspotential proportional ist, und zeigt, dass für einen von Erregungspunkten des Schalles freien Raum nur der letztere Posten hinzukommt. Für diesen letzteren Fall untersucht er nun die allgemeinen Formen des Geschwindigkeitspotentials und die Beziehungen desselben zu der Dichtigkeit continuirlich verbreiteter Erregungspunkte. Sind diese continuirlich auf einer Fläche verbreitet, so lässt sich, wie er findet, das Theorem von Green auf die Schallbewegung in der Form übertragen, dass jede stetige und eindeutige Function, welche in allen Theilen eines Raumes der oben bezeichneten, für den von Erregungsstellen freien Raum gültigen Differentialgleichung des Geschwindigkeitspotentials genügt, sich als Geschwindigkeitspotential von Erregungspunkten ausdrücken

lässt, die nur längs der Oberfläche jenes Raumes ausgebreitet sind. Endlich werden noch die Grenzbedingungen für weit von den Erregungspunkten entfernte Flächen aufgestellt, durch welche Schallwellen in den unendlichen Raum hinauslaufen, und jenseits welcher es keine Erregungspunkte mehr giebt. Die so gewonnene Uebertragung des Green'schen Theorems auf die Akustik liefert aber nun sogleich den wichtigen Satz, dass, wenn in einem mit Luft gefüllten Raume, der theils von endlich ausgedehnten festen Körpern begrenzt, theils unbegrenzt ist, in einem Punkte Schallwellen erregt werden, das Geschwindigkeitspotential derselben in einem zweiten Punkte ebenso gross ist, als es in dem ersten sein würde, wenn nicht in dem ersten, sondern in dem zweiten Wellen von derselben Intensität erregt wurden, wobei der Phasenunterschied in dem erregenden und erregten Punkte in beiden Fällen gleich ist — und dieser Satz bleibt bestehen, wenn der Raum von einer unendlichen Ebene theilweise begrenzt wird.

So waren die wichtigsten allgemeinen Gesetze der elektrischen Potentialfunctionen für die Lehre von den Schallwellen anwendbar gemacht, und Helmholtz geht nun zu seiner eigentlichen Aufgabe über, die Bewegung der Luft am offenen Ende einer cylindrischen Röhre zu bestimmen, wenn im Innern der Röhre durch irgend welche Ursachen ebene Wellen, die einem einfachen Tone entsprechen, zu Stande gekommen sind, und sich die Bewegung durch die Mündung der Röhre der äusseren, durch keine anderen Schall erregenden Kräfte afficirten Luft mittheilt. Er nimmt dabei an, dass die cylindrischen Röhren in einer so kleinen Entfernung von ihrer Mündung, dass deren Grösse gegen die Wellenlänge vernachlässigt werden kann, in beliebiger Weise von der cylindrischen Form abweichen dürfen, die Dimensionen der Oeffnung ebenfalls sehr klein gegen die Wellenlänge sein sollen, und der äussere Luftraum einseitig begrenzt ist durch eine gegen die Axe der Röhre senkrechte

Ebene, mit welcher auch die Ebene der Mündung zusammenfällt. Mit Hülfe wiederholter Anwendung des Green'schen Satzes auf vier verschiedene Theilräume lassen sich, ohne die specielle Form der Mündung und der Luftbewegung in der Mündung zu kennen, gewisse Beziehungen herleiten zwischen den ebenen und den sich halbkugelförmig in den entfernteren Theilen des Raumes ausbreitenden Wellen, und es werden dadurch die bisher ungelöst gebliebenen Fragen über den Einfluss des offenen Endes auf die ebenen Wellen beantwortet.

Zunächst ergibt sich für die Form der Wellen in der Röhre, dass die Maxima und Minima der Schwingungen oder die Bäuche und Knoten derselben in der Röhre um Viertelwellenlängen von einander entfernt liegen, und dass die Phasen der Bewegung am Orte der Maxima und Minima um eine Viertelschwingungsdauer verschieden sind. Helmholtz nennt nun die Entfernung der Querschnitte von einem in bestimmt angegebener Entfernung von der Oeffnung gelegenen Punkte der Axe die reducirte Länge des Röhrenstückes, wobei, wenn Mündung und Querschnitt der Röhre zu einander ein endliches Verhältniss haben, die Differenz der wahren und reducirten Länge ein endliches Verhältniss zu den linearen Dimensionen der Mündung besitzt. Er findet, dass die Maxima der Schwingung überall da liegen, wo die reducirte Länge gleich einem geraden Vielfachen der Viertelwellenlänge, Flächen kleinster Bewegung oder Knotenflächen dagegen da, wo die reducirte Länge der Röhre einem ungeraden Vielfachen der Viertelwellenlänge gleich ist. Die gewonnenen Resultate benutzt nun Helmholtz, um die Stärke der Resonanz und die Phasen der in der Luft erregten Schwingungen bei verschiedenen Erregungsweisen des Schalles zu bestimmen. Ist die Röhre in irgend einem Querschnitt durch eine feste Platte begrenzt, welche durch eine äussere Kraft, z. B. eine aufgesetzte Stimmgabel, in eine schwingende Bewegung versetzt wird, so wird die Resonanz

am stärksten — als Töne stärkster Resonanz definirt er die von der Lage der Schwingungs-Minima und Maxima abhängende Höhe der natürlichen Töne der Röhre — wenn die reducirte Länge der Röhre ein ungerades Vielfaches der Viertelwellenlänge ist, am schwächsten, wenn sie ein gerades Vielfaches ist; diese Eigenschaft bleibt auch erhalten für einerseits geschlossene Röhren, wenn der Schall in der Röhre von einem in den entfernteren Theilen des freien Raumes befindlichen tönenden Punkte erregt wird. Nach Herleitung dieser ganz allgemeinen Sätze, durch welche das Problem auf die Bestimmung der reducirten Länge verschiedener Röhrenformen zurückgeführt wird, stellt sich nun Helmholtz die Aufgabe, solche Röhrenformen aufzusuchen, für welche sich die Luftbewegung in der Mündung und die reducirte Länge vollständig bestimmen lässt für Schallwellen von so grosser Wellenlänge, dass gegen diese die Dimensionen der Röhrenöffnung, ihres Querschnittes und des von der Cylindergestalt abweichenden Theiles der Mündung verschwinden; er sucht unter der Annahme, dass die Wand der Röhre eine Rotationsfläche ist, welche in kleiner Entfernung von der kreisförmigen Mündung mit einem bestimmten Radius in einen Cylinder von kreisförmigem Querschnitt mit einem anderen Radius übergeht, solche Potentialfunctionen auf, welche Röhren bestimmen, die in kleiner Entfernung von der Mündung in einen Cylinder übergehen, um daraus die zugehörige Röhrenform bestimmen und sodann die Bewegung der Luft vollständig angeben zu können. Es gelingt ihm aber auch, für die gegebenen einfachsten Formen der Potentialfunction die Gestalt der Röhren zu berechnen, und er findet durch Anwendung der zur Zeit höchsten Mittel der Analysis, dass sich — für eine Form, bei welcher die Differenz zwischen reducirter und wahrer Länge verschwindet, wobei sich ihre Mündung schwach trompetenförmig erweitert, so dass die Fläche der Mündung doppelt so gross ist als der Querschnitt des Cylinders, und für eine

andere Form, bei welcher die Weite der Oeffnung gleich der des Cylinders ist, und die so ausserordentlich wenig von einem vollständigen Cylinder abweicht, dass die Differenz meistens vernachlässigt werden darf — die Bewegungsweise der Luft vollständig bestimmen lässt. Endlich wird noch die Behandlung der äusserst schwierigen Aufgabe skizzirt, die Luftschwingungen in solchen Hohlräumen zu bestimmen, deren drei Dimensionen gleichmässig als verschwindend klein gegen die Wellenlänge betrachtet werden können, und die durch eine oder mehrere Oeffnungen, deren Flächen selbst gegen die Oberfläche des Hohlraumes verschwindend klein sind, mit der äusseren Luft communiciren; er findet wiederum durch Anwendung des verallgemeinerten Green'schen Theorems das Gesetz, durch welches die Höhe der Töne stärkster Resonanz bestimmt wird; für eine oder zwei, und zwar kreisförmige oder elliptische Oeffnungen ergeben sich Zahlen, die durch die Versuche bestätigt werden.

Zu dieser Arbeit lieferte Helmholtz noch einen Nachtrag in einem am 27. Februar 1863 im naturhistorisch-medizinischen Verein zu Heidelberg gehaltenen Vortrage „Ueber den Einfluss der Reibung in der Luft auf die Schallbewegung“; hier kam er nochmals auf den für einzelne Gestalten der Röhrenmündungen durch die Theorie gegebenen Unterschied zwischen der wahren und reducirten Länge zurück, weil die Theorie für enge Röhren merklich kleinere Unterschiede lieferte als die Versuche, und es ergab sich eine weit grössere Uebereinstimmung, wenn man die Reibung der Luft in Rechnung zog, was er auf Grund der Untersuchungen von Stokes, ähnlich wie es durch ihn für Flüssigkeiten geschehen, durchführen konnte. Er findet in dem ersten Theile seiner Untersuchung, welcher sich auf die Fortpflanzung kugelig oder ebener Wellen in unendlich ausgedehnten, mit Luft gefüllten Räumen bezog, dass in Folge der Reibung die Schallwellen an Intensität abnehmen, und dass die Abnahme desto bedeutender wird,

je höher der Ton ist. Weiter ergab sich für die Fortpflanzung ebener Wellen in cylindrischen Röhren, dass die Abnahme der Intensität sowie die Verzögerung der Fortpflanzung in solchen Röhren wegen der Reibung an den Wänden viel bedeutender ist als bei der Fortpflanzung im freien Raume, und er findet einen von der Schwingungszahl und dem Radius der Röhre abhängigen Abnahmekoeffizienten der Intensität, so dass bei engeren Röhren die wegen der verminderten Fortpflanzungsgeschwindigkeit nothwendige Verkürzung zum Theil über ein Procent der ganzen Länge beträgt. Was endlich die Stärke der Resonanz betrifft, so stimmte der früher entwickelte Satz, dass dieselbe für eine an beiden Seiten offene Röhre am stärksten ist, wenn ihre reducirte Länge einer geraden Anzahl von Viertelwellenlängen gleich ist, für enge Röhren mit der Erfahrung nicht überein. Nach der Theorie muss die Resonanz desto stärker sein, je enger die Röhre, weil die Reflexion der Wellen an den offenen Enden desto vollständiger ist, je enger diese sind; die Erfahrung aber zeigt, dass enge Röhren namentlich für tiefe Töne schlecht resoniren. Bei Berücksichtigung der Reibung liefert die Theorie wieder gut mit der Erfahrung übereinstimmende Resultate, und es lässt sich die mittlere Weite der Röhren für die stärkste Resonanz ziemlich genau auswerthen.

Die grosse Anerkennung, welche seine akustischen Arbeiten in der wissenschaftlichen Welt fanden, die Ernennung zum correspondirenden Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Wien und der Societät zu Erlangen hatten eben noch seinen alten Vater mit Freude und Stolz erfüllt, als völlig unerwartet, da derselbe „sich in der letzten Zeit körperlich wohler gefühlt und die Andeutungen eines Gehirnleidens nur sehr undeutlich hervorgetreten waren“, am 4. Juni Helmholtz die Nachricht traf, dass sein Vater vom Schlage getroffen, gefährlich erkrankt daniederliege. Er reiste sogleich nach Potsdam, seine kranke Frau mit schwerem Herzen verlassend, traf aber seinen Vater nicht mehr lebend an.

„Sein Zustand“, schreibt er von dort seiner Frau, „ist wohl ähnlich dem der Mutter gewesen, nur dass die schlagartigen Zufälle weniger schnell tödtlich waren. Er ist am Mittwoch Nachmittag noch spazieren gegangen und sehr munter gewesen, wie er es überhaupt in der letzten Zeit meist gewesen sein soll. In der Nacht vernahm Julie ein Geräusch und fand ihn bewusstlos im Bette aufrecht sitzend. Von da ab hat er nur noch unterbrochene Zeichen des Bewusstseins gegeben; in der zweiten Nacht ist er sehr unruhig gewesen, und gestern früh hat der Todeskampf angefangen.“

Nachdem Helmholtz durch den unersetzlichen Verlust tief niedergebeugt noch die Verwandten seiner Frau in Dahlem besucht, reiste er nach Heidelberg zurück und fand dort das folgende Schreiben Fichte's vor:

„Hochgeehrter Herr College! Soeben empfangen ich die tief mich erschütternde Nachricht von dem Tode Ihres trefflichen, innigst von mir geliebten Vaters. Wie sehr mich dies ergreift und betrübt, vermag ich Ihnen nicht zu sagen; denn das Gefühl der Reue mischt sich hinzu, dass ich immer es verschob, ihn noch einmal persönlich zu begrüßen, ihn unter seinen herangewachsenen Kindern wiederzusehen und vor Allem ihm Aug' in Auge, Hand in Hand zu sagen, mit wie unverwelklicher, ja gesteigerter Liebe ich ihm zugehan sei. Gerade 50 Jahre (1809) ist es her, dass er mich, den jüngeren Schulgenossen, an sich zog und durch eine Freundschaft und Liebe fesselte, welche auf unser beiderseitiges Leben von den wichtigsten Folgen geblieben ist und trotz unserer ganz verschiedenen äusseren Lebensschicksale uns innerlich verbunden erhalten hat. Wir haben uns verstanden und waren gleichgesinnt bis ans Ende, wofür ich seine köstlichen Briefe noch aus den letzten Jahren als theueres Denkmal bewahre. Und so lebe ich auch der zuversichtlichen Hoffnung, dass unser auf ewige Geistesgüter gegründetes Verhältniss mit dem Tode nicht dahin sei, dass ich ihn wiedersehen werde in der Gemein-

schaft mit den vorangegangenen Guten und Edlen, denen er schon hier ebenbürtig war, wenn seine Umgebung dies auch nicht immer erkennen mochte. Rührend und bedeutungsvoll war es mir, dass er in einem seiner letzten Briefe mir schrieb, wie er die jetzt ihm gewordene Musse benutze, um sich durch Betrachtung der ewigen Gesetze der Dinge auf den Eingang vorzubereiten, der unser Aller wartet.

Nun habe ich aber noch eine ernste Bitte und Mahnung Ihnen, dem glücklichen Sohne eines weniger glücklichen Vaters, vorzutragen. Es ist Ihre Sohnespflicht, ihm ein Denkmal zu stiften durch Herausgabe seiner Abhandlungen und durch einen vorangestellten biographischen Abriss. Ihr eigener berühmter Name macht Ihnen dies leicht, und das Gefühl, dass Sie glänzend erreicht haben, was Ihrem Vater bei tiefer Gelehrsamkeit und nicht geringen Geistesanlagen, gehindert durch einen kränklichen Körper und eine aufreibende Berufsbeschäftigung, nicht vollständig gelang, wird Ihnen, neben Ihrer Sohnespietät, dies als eine heilige Pflicht erscheinen lassen. Was ich Ihnen beitragen kann zur Ausführung dieses Werkes, werde ich gern beisteuern.

Mit Hochachtung und theilnahmenvollster Ergebenheit der Ihrige.

Tübingen, den 7. Juni 1859.

Fichte.“

Es kam nicht zu der von Fichte gewünschten Herausgabe der Werke seines Freundes, und deshalb mag hier einer der letzten Briefe von Ferdinand Helmholtz eine Stelle finden, von dessen philosophischen Anschauungen Helmholtz stets nicht nur mit Interesse und Pietät, sondern auch mit hoher Achtung vor deren wissenschaftlichem Werthe, zum Theil auch, wie aus vielen späteren Aeusserungen hervorgeht, mit freudiger Zustimmung Kenntniss genommen; derselbe schreibt am 8. Mai 1858 seinem Sohne:

„Zuvörderst danke ich Dir für die Uebersendung des

Heyne'schen Werkes über Hegel und seine Zeit durch den alten Weber, das ist ein sehr tüchtiges und geistreiches Werk, dem ich allerdings mehr Einsicht über Hegel, den Werth seines Systems und seinen Einfluss verdanke, als allem bisher darüber Gelesenen, weil es historisch und psychologisch das System entstehen und sich entwickeln lässt und Hegel immer im Zusammenhange mit seiner Zeit und seiner Umgebung betrachtet. Ueber die Auffassung des Einzelnen und deren Richtigkeit habe ich kein Urtheil, da ich dazu das System zu wenig kenne; aus dem Ganzen geht mir aber überzeugend hervor, dass Hegel durchaus kein Seher, kein Genie, kein über seine Zeit hinausblickender Prophet, sondern nur ein grosses Denktalent war, welches die vielfachen geistigen Errungenschaften und Ansichten seiner Zeit scharfsinnig zu combiniren und mit einander zu einem Begriffssystem zu vereinigen verstand; und weil er sich allseitig und mit gründlichem Fleisse der Resultate der zeitgemässen und treibenden Ideen über Kunst und Wissenschaft und Leben der so höchst erregten und vorschreitenden Zeit zu bemächtigen wusste, und in sie einging, zugleich auch durch die sogenannte durch Schiller und Goethe angehobene, durch die Schlegel, Tieck und Schelling zu ihrer höchsten Glorie ausgebildete göttliche Grobheit und Unverschämtheit der Genialitätsperiode zu imponiren wusste, so gewann er trotz der mangelhaften Sprachgewandtheit, und der Unschönheit seines Styls und seines Vortrages durch Accommodation an den Zeitgeist einen grossen gewaltigen Ruf und Einfluss. Der Hauptirrthum jener ganzen naturphilosophischen Schule besteht in der von ihr behaupteten Identität des Geistes und der Natur. Es ist durchaus unwahr, dass das Geistige nur eine andere Form desselben Gehaltes als der der Materie sei. Wer wird die Abhängigkeit und Wechselwirkung beider von einander leugnen? aber sich bestimmend ist nicht das Identische, sondern gerade das Entgegengesetzte. Der Geist

ist in seiner Verwirklichung, in seinem Zeitlichlebendigwerden allerdings davon abhängig, dass ihm die Natur seinen Körper erbaut, der Körper gehört zu seinem Leben, ist aber nicht eher, weder nach seinem Inhalte, noch nach seiner Form. Der kräftige Geist beherrscht nach seinen individuellen Zwecken den schwächlichsten Körper ganz anders als der schwächliche Geist den gesundesten und harmonischsten; und könnte man verschiedenen Individuen dieselben Leiber geben, man würde sich bald überzeugen, wie verschieden trotzdem das Leben sich nach der geistigen Individualität gestaltet. Ebenso üben Klima, Bodenverhältnisse und Naturproducte ihren nicht zu leugnenden Einfluss auf die Entwicklung des Lebens und der Bestrebungen der Völker, aber in denselben Ländern haben sich ja nach ihrer ursprünglichen Anlage die verschiedenartigsten Völker entwickelt. Man denke an Griechenland, Vorderasien, Syrien, Nordafrika u. s. w.; die Natur bietet dem erwachenden Geist zwar Stoff, Werkzeug und Form; was er aber daraus macht, und wie weit er es benutzt, das hängt allein von ihm ab, wenn er gleich ohne jene Gaben nicht wirklich leben kann. Schafft doch jeder individuelle Organismus aus demselben Stoffe ganz etwas anderes, als der andere. Ebenso wenig wie der Geist die Entwicklung der Natur aus sich, z. B. der Weltkörper und Kräfte beherrscht, ebenso wenig beherrscht die Natur den Geist oder fällt auch nur mit ihm zusammen; es besteht vielmehr die ganze Entwicklung des Lebens in der Loslösung des Geistes, in dem Erwachen desselben, in der Vollziehung der Möglichkeit des eigenen, immer selbständigeren Lebens, welche ihm durch seinen natürlichen Leib geboten ist. Der Leib bedingt das Leben des Geistes als eines ganz anderen, der, sowie er seine Bedingung zum Leben benutzt hat, nun wieder umgekehrt den Leib bestimmt und innerhalb einer gewissen Grenze bedingt; ja, mit dem Aufgeben dieser Bestimmung hört auch sein Leib auf, ein selbständiges und individuelles Le-

bendiges zu sein, obgleich er auch nach seinem eigenen natürlichen Gesetze durch sich selbst seinen Kreislauf vollendet, und damit dies zeitliche Leben des Geistes in dieser Körperlichkeit aufhebt, weil er aufhört, Werkzeug und Stoff desselben zu sein; so weit reicht die natürliche Beobachtung, dies ist das Phänomen, aus welchem das Gesetz des Irdischen, d. h. des durch diese Körperlichkeit bedingten Lebens zu erforschen ist. Das weitere kann nur der Geist durch Erforschung seiner selbst, seines von aller irdischen Erscheinung unabhängigen Wesens erfahren und erkennen. Diese Erkenntniss des Geistes an sich und durch sich muss daher eine ganz andere sein als die sinnliche Beobachtung und die auf ihr beruhende Erkenntniss der Sinnlichkeit und ihrer Welt. Hier hat sich der Geist selbst in seinem nicht natürlichen, sondern geistigen Wesen, in seinem nicht zeitlichen und räumlichen, sondern in seinem Ansichleben zu beobachten und zu erkennen, indem er sich lebendig in sich versenkt, und sich aus sich genetisch erzeugend, also *a priori*, seinen inneren geistigen Organismus, seine Kräfte, seine Ideale anschaut und erfrischt, ihren Ursprung und ihren Anfang suchend, und so seines göttlichen Wesens sich vergewissernd; und dies hat nach Kant am schärfsten und vollständigsten der ältere Fichte versucht, der noch immer nicht gehörig gewürdigt wird, weil er die höchste Energie des Sich selbst Anschauens, die grösste Schärfe des Durchschauens, Grund und Wesen der Erscheinung im Schauen verlangt, und erst in seiner letzten Zeit es zu einiger Selbstzufriedenheit mit der Klarheit seiner Darstellungsform gebracht hat, während die Meinungen über ihn aus seinen älteren Schriften geschöpft sind und traditionsweise sich fortgepflanzt haben. Er hatte mit dieser Erforschung des reinen Geistes so viel zu thun, und das Interesse der staatlichen, sittlichen und religiösen Ideen beherrschte ihn so ganz, dass er, so oft er sich vornahm, auch das Gebiet der Natur in seine Speculation zu ziehen,

wenigstens insofern es im Verhältnisse zum Geiste steht, er wohl das Fremdartige fühlte, und einsah, dass er hier mit seinem Forschen von ganz anderem Wissen und Forschen abhängig sei, und es nur zu ganz allgemeinen Postulaten, die der Geist aus sich an die Natur stellte, brachte, übrigens aber die a priorische Construction einer bestimmten wirklichen Natur vom Wesen aus für unmöglich erklärte, weil es für die Entwicklung des Geistes zum Selbstbewusstsein, zur Familie, zum Staate und zur sittlichen Gemeinde ganz gleichgültig sei, ob eine so oder anders bestimmte Natur das Erwachen des geistigen Lebens bedinge, wenn nur überhaupt eine zum Werkzeuge des Geistes geeignete Natur vorhanden ist, ebenso wie der rechte Mensch jedes äussere Schicksal, mag's beschaffen sein wie es wolle, für eine göttliche Aufgabe nimmt, an deren Lösung und Bewältigung er in geistiger Kraft und Einsicht sich fördern soll. Auf diesen Standpunkt der Beobachtung des Geistes als eines sich durch sich, aus sich bestimmenden gründet sich nun der Vorwurf geistigen Stolzes, dass Fichte das Ich zum Schöpfer der Welt, ja zum Absoluten mache, obgleich er an die Spitze der Wissenschaftslehre den Satz stellt: Das Wesen mit seinem ganzen Inhalte ist Erscheinung, Bild eines in ihm in der Form des Selbstbewusstseins dargestellten absoluten Seins; aber dieses Sein, dessen Bild es seinem Inhalte nach ist, ist nicht das sinnlich wahrnehmbare der objectiven Welt, diese ist selbst nur eine andere Seite der Erscheinung des absoluten Seins, und die Bedingung, dass es zu jener ersten Erscheinung komme. Uebrigens leitet er die Ichform, das Selbstbewusstsein selbst ab aus dem Begriffe der Erscheinung, hinzufügend, dass alles in der Form der Erscheinung liegende, also durch sie begründete und aus ihr stammende von dem absoluten weg zu denken sei, von dem wir in formeller Hinsicht also nur Negatives, nichts Positives wissen können, während sein Inhalt, sein Wesen, die ganze unendliche Herrlichkeit der

Ideale in der sich selbst erkennenden Erscheinung zum Bewusstsein und Leben kommen; damit sie das können, dazu gehört ein strenges Erkennen des rein formellen in der Erscheinung, und nicht in Gott gegründeten, also alles Relativen, Zeitlichen, Räumlichen und Ichlichen. Durch sie allein kann es zu einem reinen Gott-Schauen und Gott-Leben kommen; denn ein Gott-Begreifen ist nicht möglich, weil jedes Begreifen das Begriffene als in einem anderen enthalten und durch dasselbe bedingt setzt, also die Absolutheit negirt. In dieser Ueberzeugung, dass in jedem Menschen das göttliche Wesen lebendig werden solle und könne, so bald er sich nur zur sittlichen Freiheit entwickele, zu einem reinen, nicht mehr von der unverstandenen, ihm fremdartigen Natur beherrschten Leben in sich und aus sich, wurzelt die moralische Grösse und Energie Fichte's, seine zermalmende Consequenz, sein prophetischer Blick (denn wenn man seine frühesten historischen Werke liest, so kann man es kaum glauben, dass sie so lange vor den darin vorher verkündeten Erscheinungen geschrieben sind), seine Consequenz, und dass er sich durchaus durch keine noch so drohende Lebenslage in seiner Grundansicht von Recht, Pflicht, Sittlichkeit und Religion bestimmen lässt. Wie erhaben und gross steht er in dieser Beziehung Hegel gegenüber, der in allen seinen historischen Voraussagungen sich getäuscht, und seine Ansicht von Staat und Kirche so vielfach nach den Umständen gemodelt hat, dessen unglücklicher Satz: alles Wirkliche ist vernünftig und alles Vernünftige ist wirklich, zwar von der Einheit der ganzen unendlichen geistigen und materiellen Welt aus es für einen göttlichen Standpunkt halten mag, der die Unendlichkeit in ihrem Totalbilde erblickt, gewiss aber die schädlichsten Folgen haben muss, wenn er für irgend ein einzelnes zeitliches Individuum oder System der Zeit gelten soll, für welches der Satz nur heissen kann: alles Wirkliche soll vernünftig werden, und alles Vernünftige ist noch nicht

wirklich, soll es aber werden. Das letztere ist die Ansicht des lebendigen, göttlichen Werdens und unendlichen Strebens, das erstere dagegen die des mit aller Unvollkommenheit Sichbefriedigens. Eben so unheilvoll ist seine Auffassung des privaten und öffentlichen, socialen, künstlerischen und religiösen Lebens der Griechen, zu der er sich wahrscheinlich durch Goethe verführen liess, dem der Kant'sche Imperativ zu wenig die individuelle Freiheit zu beachten schien. Wie war ein solcher Rückschritt nach den gerade hierin so grossen Leistungen Kant's und Fichte's für den ernsteren und tieferen Wahrheitsforscher möglich! Daher kann man sich nicht verwundern über das begeisterungslose, genussstüchtige, sophistische Leben so mancher seiner Schüler, die, weil sie alle positiven Ideale verloren hatten, zuletzt in den krassesten Materialismus verfielen.

Gegenüber dieser Erkenntniss des Geistes in und durch sich, welche durch Kant und Fichte einen so grossen, die übrige Einsicht überholenden Fortschritt gewonnen hat, und die gewissermaassen als der Schlussstein des christlichen Mittelalters zu betrachten ist, welches eben nur das Leben in und aus dem Geiste anstrebt, und das Leben in und aus dem Fleische als das böse, teuflische und zu vernichtende ansah, dem darum die ganze Natur und alle Erkenntniss derselben Teufelswerk war, und der Körper nach indischer Ansicht eine Fessel der Seele, die ihr zur Strafe angelegt und zur Prüfung, scheint mir die nächste Forderung der Zeit, wie sie auch der Trieb der Gegenwart ausspricht, ebenso die Natur fürs erste aus sich, in sich und durch sich zu erkennen, indem man sich selbst als Geistiges fürs erste liegen lässt und aus sich herauschaut, wie das Nicht-Ich beschaffen sei. Das giebt fürs erste den Standpunkt des Materialismus, der berechtigt ist zu der Aufgabe, das Gesetz und Leben der Natur in uns aus sich zu erforschen, und diese so weit selbständig zu lösen versuchen.

mag, als er's vermag: nur bedenke er seine Aufgabe und die Grenzen seines Gebietes und greife nicht in das rein Geistige des Staates, der Moral und Religion hinüber, denn dies sind keine Producte und Erscheinungen der Natur, sondern des Geistes, und wer sie aus der materiellen Welt ableiten wollte, der zerstörte ihr höheres Wesen, der zerstörte den menschlichen Stolz und profanirte unsere heiligsten Güter, welches eben die ewigen, rein geistigen sind. Freilich verlangt Erkenntniss rücksichtslose Hingabe an ihr Object; und wie schwer es sei, bei diesem Gerechtworden der Natur als einer Macht und einem Leben aus und für sich das Bewusstsein seiner Geistigkeit und ihrer Wahrheit und seines Werthes nicht zu verlieren, das zeigt leider zu sehr die Gegenwart mit ihrem Versinken in die Sinnlichkeit, im Erkennen, Wissen, Leben und Kunst: selbst das Erkenntnissvermögen des Geistigen, weil nicht geübt, scheint verloren, während das des Materiellen so gewaltig an Kunst und Ausbildung zunimmt. Wohin aber ein solches Aufgeben der geistigen Güter und ein solches sich versenken in die Sinnlichkeit führt, davon ist ein entsetzliches Beispiel die römische Kaiserzeit, beginnend mit den Triumviraten, die freilich auch zeigt, welche ungeheure Verschleuderung aller sinnlichen Kräfte dazu gehörte, um römische Geisteskraft endlich zu überwinden und zu vernichten: unsere schwächlichen Charaktere würden der Vernichtung viel leichter anheimfallen. Deshalb ist es vielleicht historisch nothwendig, selbst wenn die Erkenntniss der Natur dazu noch nicht ausreicht, und die Lösung der Aufgabe darum eine mangelhafte bleiben muss, doch immer vorläufig zu versuchen, das Verhältniss von Natur und Geist, die Einheit der Pole, den Indifferenzpunkt des Allgemeinen wie des Individuellen, des geistigen wie des natürlichen Lebens zu erkennen, also in den Quell und Mittelpunkt beider Welten sich zu versetzen, und zu versuchen, ob man sich seiner noch nicht bemächtigen kann, wenn man auch das Bewusst-

sein hat, noch nicht vollkommen dazu ausgerüstet zu sein; denn der Fortschritt des Geistes in sich darf und soll nicht stille stehen, weder in den Individuen noch in den Völkern, wenn sie nicht zu Grunde gehen sollen. Ein Schutzmittel gegen das Verlieren der höheren Geistigkeit ist freilich das Gefühl für die Schönheit der sinnlichen Form, weil sie eben das unbewusste Durchdringen des Natürlichen mit dem Geiste ist (denn an sich ist das Materielle nicht schön, erst durch den beseelenden Gedanken wird es dazu, und gerade das Ergriffenwerden des Geistes von der Schönheit der materiellen Form zeigt, wie durchaus die letztere in ihrer höheren Bedeutung und Qualität von dem geistigen durchdrungen erst ihre Bedeutung und Bestimmung erhält). Möchten darum wenigstens Poesie und Kunst überhaupt das Bewusstsein des höheren Geistigen für den natürlichen Menschen immer mehr beleben, in denen die Harmonie und Einheit zwischen Geist und Natur wenigstens für das Gefühl dargestellt ist, was auch für die Erkenntniss und das ganze Leben zu erreichen, das höchste Ziel, das ewige Soll des individuellen Lebens ist. Das war es am Ende, was Goethe fühlte; der kategorische Imperativ soll mit dem Gesetze des Schönen, welches freilich ein individuelles ist, ja erst in der vollkommensten Individualisirung der allgemeinen Idee erreicht wird, sich aussöhnen; die Sittlichkeit soll keine einseitig überspannt geistige, für alle gleiche, sondern zugleich in natürlich schöner Form eine individuelle sein Kurz die höchste dermaleinstige Aufgabe ist die Versöhnung des christlichen mit dem griechischen Ideale des Menschen, aber nicht die Aufopferung des einen für das andere, wie bei Hegel. Daher stammt denn auch jene unsinnige Wuth der Hegelianer gegen den christlichen Staat, christliche Kunst und Wissenschaft, weil sie immer in ihrer religiösen Blindheit christlich und kirchlich verwechseln. In dieser Versenkung der Zeit in den Materialismus gründet sich denn auch der Irrthum, dass sie nicht bloss die Natur, sondern auch

den Geist als ein Seiendes, und nicht als ein ins Unendliche Werdendes betrachten. Selbst die Natur ist ein Werdendes, sich Entwickelndes, denn auch sie ist ein Lebendiges, wenn auch kein Beseeltes, das zeigt ja vor allem die Geologie; und sie muss es sein, wenn sie fortwährend die lebendige und lebensfähige Materie und Form des Geisteslebens bleiben soll, und sie muss es aus sich sein, nicht bloss durch den fortwährenden Einfluss des Menschengestes gemodelt. Hier ist das Feld der Wunder, d. h. nach der ewigen Vorherbestimmung Gottes fallen gewisse Naturbegebenheiten mit gewissen geistigen Revolutionen und Begebnissen, die durch jene erst ermöglicht werden, zusammen. Dass aber der Geist ein ins Unendliche Werdendes ist, das zeigt die mit jeder errungenen Stufe ins Unendliche sich erweiternde Aufgabe der Erkenntniss, das nie erreichte Ideal.

So viel ich nun auch noch im Einzelnen über das Buch zu sagen hätte, so würde mein Brief ein Buch werden, und Deine Zeit, die durch Deine bestimmte Aufgabe so sehr in Anspruch genommen ist, zu sehr beanspruchen, weshalb ich hiermit diese Betrachtungen schliesse“

Von der Beerdigung zurückgekehrt, fand Helmholtz auch nicht Trost im eigenen Hause; die Gesundheit seiner Frau verfiel unrettbar, anfangs kaum bemerkbar, schliesslich unaufhaltsam. „Keine Abwehr half“, schreibt ihre Schwester, „und endlich erlosch jede Hoffnung; Heidelberg hat nur noch den Schatten ihres eigenen Selbst gesehen.“ Helmholtz selbst litt sehr unter all' diesen Aufregungen; auf ärztlichen Rath musste er, da seine Migräneanfälle häufiger und stärker eintraten, und zu ernststen Bedenken Anlass gaben, mit Beginn der Herbstferien die Schweiz aufsuchen, wo er in den letzten Jahren stets Linderung und Erholung gefunden. Aber er wurde durch beängstigende Nachrichten über das Befinden seiner Frau schon nach kurzer Zeit nach Heidelberg zurückgerufen, und hatte nun schwere und traurige Monate zu durchleben, während deren

er nur in der angestrengtesten geistigen Arbeit Muth und Vergessen fand.

Zunächst setzte er seine im Sommer begonnenen Arbeiten über Flüssigkeitsreibung fort, von denen er schon Ludwig unmittelbar nach dem Tode seines Vaters, am 13. Juni, Kenntniss gegeben:

„Mit Piotrowski habe ich jetzt eine Arbeit über Flüssigkeitsreibung vorgenommen, wo er den experimentellen Theil ausführt. Daraus werden, wie ich hoffe, die hydrodynamischen Fundamentalgleichungen mit Berücksichtigung der Reibung hervorgehen. Dann wäre nachher jede specielle Aufgabe von Flüssigkeitsbewegung auf eine mathematische Aufgabe reducirt, aber freilich wird sich diese in den wenigsten Fällen lösen lassen.“

Und als er in der Arbeit schon weiter vorgerückt war, schreibt er am 30. August W. Thomson:

„Gegenwärtig bin ich mit Versuchen über die Reibung der Flüssigkeiten beschäftigt, die den Zweck haben, zu prüfen, ob eine gewisse Form der hydrodynamischen Gleichungen, welche ich mir mit Berücksichtigung der Reibung zusammengesetzt habe, richtig sei.“

Indem er ihm diese Gleichungen mittheilt, fügt er hinzu:

„Ich höre, dass Professor Stokes eine Arbeit über die Bewegung der Flüssigkeiten unter dem Einfluss der Reibung veröffentlicht habe in den Cambridge Transactions, kann diese aber hier in Deutschland nicht auftreiben. Können Sie mir vielleicht gelegentlich melden, ob Ihnen diese Arbeit bekannt ist, in welchem Bande sie steht und ob darin dieselben oder andere hydrodynamische Gleichungen aufgestellt sind.“

Aber die Ausführung dieser äusserst schwierigen mathematischen Arbeit, welche die grösste Concentration des Geistes verlangte, wird durch die stete Angst und Sorge um das Leben seiner Frau hingehalten, und er sucht sich

zunächst mit leichteren experimentellen, optischen und akustischen Fragen zu beschäftigen, welche Ergänzungen seiner früheren Untersuchungen bilden.

An seinen auf der Naturforscherversammlung in Karlsruhe im September 1858 gehaltenen Vortrag „Ueber Nachbilder“ anknüpfend, dessen Inhalt er zum Theil schon in demselben Jahre in den Niederrheinischen Sitzungsberichten niedergelegt hatte, hielt er in Heidelberg am 11. November 1859 im naturhistorisch-medicinischen Verein einen Vortrag über „Farbenblindheit“. Zunächst hob er hier hervor, man dürfe die Lehre von den drei Grundfarben nicht in dem Sinne festhalten, dass aus drei objectiv existirenden Farben alle anderen objectiv existirenden Farben zusammengesetzt werden können, da aus den Spectralfarben, als den gesättigtsten Farben, welche wir kennen, wie immer man auch drei derselben auswählen mag, nicht alle anderen Spectralfarben sich zusammensetzen lassen wegen der immer mehr oder weniger weisslichen Färbung der Mischung. Davon unabhängig ist aber die Annahme von Young, dass es drei Hauptfarbenempfindungen giebt, und diese drei Fasersysteme vertheilt sind, welche sämmtlich von allem objectiven Lichte erregt werden können, aber in verschiedener Stärke, so dass sie qualitativ verschiedene Empfindungen hervorbringen, wobei die Wahl der Grundfarben noch bis zu einem gewissen Grade willkürlich bleibt; jedenfalls würden die Spectralfarben die einzelnen Grundempfindungen noch nicht rein und von den beiden anderen getrennt erregen, und dies würde sich mit dem vereinigen lassen, was Helmholtz in seiner Theorie der Nachbilder entwickelt, dass es noch gesättigtere Farbenempfindungen als die durch die Spectralfarben hervorgebrachten giebt. Um die Aufrechterhaltung der Young'schen Hypothese zu stützen, untersuchte Helmholtz einen Farbenblinden mit Hülfe des Maxwell'schen Farbenkreisels, welcher gestattet, für gesunde Augen mit Hinzunahme von Weiss durch Mischung

von drei passend gewählten Grundfarben, welche auf Sektoren mit veränderlicher Breite aufgetragen sind, eine beliebig gegebene Farbe herzustellen, und fand eine Bestätigung der Maxwell'schen Untersuchungen darin, dass für dessen Augen alle Farben durch Mischungen von Gelb und Blau wiedergegeben werden können, dass diesen farbenblinden Augen somit eine der Grundempfindungen fehlte. Indem er nun nach solchen Farben suchte, welche der Farbenblinde mit neutralem Grau verwechselt, wurden als solche Roth und Grünblau gefunden, von denen das Roth demselben als ein dunkles Grau, das complementäre Grünblau als ein sehr helles Grau erschien, während sich das farbenblinde Auge nur sehr wenig empfindlich gegen Roth erwies. So war festgestellt, dass Roth eine der Grundfarben ist; Helmholtz nannte Farbenblinde dieser Art die Rothblinden, bei denen somit nach der Young'schen Theorie eine Lähmung der rothempfindenden Nerven anzunehmen ist. Er hielt es für wahrscheinlich, dass die andere Klasse der bisher als farbenblind Bezeichneten die Grünblinden sind, obwohl die Untersuchung damals noch nicht durchgeführt war, welche mit Hülfe des Maxwell'schen Kreisels für Farben, die dem Farbenblinden nahehin gleich erscheinen, feststellt, ob der noch vorhandene Unterschied den Farbenton oder den Grad der Sättigung betrifft.

Doch seine Arbeitsfähigkeit erschöpfte sich allmählich, der Zustand der von ihm so innig geliebten Frau wurde immer trauriger; ihre Verwandten übernahmen den Haushalt und sorgten in unermüdlicher Ausdauer und Liebe für die Pflege der Kranken und das Gedeihen der Kinder.

„Es war mir vergönnt“, schreibt ihre Schwester, „bis zum letzten Hauch um sie zu sein; sie starb klar, stark, schlicht wie sie gelebt — den Freund zur Seite und ohne Zagen, wie immer schon im Leben, dem Höchsten zugewendet — am 28. December 1859.“

Er selbst schreibt nach der Bestattung an Binz, damals Arzt in Neapel:

„Bester Herr Doctor! Das letzte kleine Fest, welches meine liebe arme Frau gegeben hat, war jener Tag, den Sie mit Junge bei uns waren. Ich trat bald darauf meine Schweizertour an. Während der Zeit brach in Heidelberg eine Epidemie catarrhalischer Fieber aus, welche von jeher die grössten Feinde meiner Frau gewesen sind. Sie wurde befallen, und das Fieber ging unmittelbar in hektisches über. Die Nachricht erreichte mich spät; als ich 14 Tage nach ihrer Erkrankung zurückkam, fand ich sie furchtbar verändert. Bis Ende October stand sie noch täglich einige Stunden auf, von da ab lag sie, oder sass in Betten gepackt auf dem Sopha. October und November waren furchtbar quälend, das Fieber sehr energisch, fast täglich hysterische Brustkrämpfe, grosse Unruhe, Delirien. Anfangs December musste ich sie auf die Wahrscheinlichkeit ihres Endes vorbereiten. Sie hatte das oft verlangt, und sie wurde von da ab wunderbar ruhig, ordnete alles mit der grössten Ausführlichkeit. Das Fieber wurde mässiger, die hysterischen Zufälle hörten auf, ich glaubte, die neu gebildete grosse Caverne würde sich eine Wand mit schwacher Absonderung organisiren, und ein Stillstand wenigstens bis zum Frühling eintreten. Aber am 23. December trat Abends ein furchtbarer Erstickungsanfall ein, Friedreich vermuthete eine Embolie der Art. pulm. Sie verlor die Besinnung und wurde kalt und pulslos gleich einer Sterbenden, und blieb auch so während des 24. Noch zweimal am 24. schien die Respiration zu erlöschen. Sie nahm Abschied von uns, tröstete uns in der friedlichsten und erhabensten Weise, so dass mir von diesem furchtbaren Tage ein so hohes Bild ihrer Seele zurückgeblieben ist, dass es mir über das Grässliche des körperlichen Sterbens hinweggeholfen hat.

Vom 24. Abends hob sich ihr Puls wieder, sie wurde wieder warm, bekam den Gebrauch ihrer Sinne wieder, nur

war sie furchtbar matt und kurzathmig. Deshalb jammerte sie, dass es noch nicht vorüber sei. Sie hatte noch ziemlich gute Nächte, liess sich vorlesen. Endlich am 28. früh, als sie sich eben wollte nach dem Sopha hinüberbringen lassen, trat ihr eine übermässige Menge von Sputis in die Luftröhre, und in weniger als 5 Minuten war sie erlöst.

Ich habe das reinste und höchste Glück genossen, welches die Ehe bieten kann; es war für diese Erde zu schön.

Am Sylvesterabend haben wir sie bestattet. Meine Schwiegermutter bleibt bei mir und den Kindern. — Für Ihre freundlichen Anerbietungen, für meine Frau in Neapel zu sorgen, noch den besten Dank. Ich weiss, dass sie aufrichtig gemeint waren und treu erfüllt worden wären, aber es war zu spät.“

Ein einfacher Stein schmückt das schön gelegene Grab auf dem Heidelberger Kirchhof, und trägt die Inschrift:

„Gesegnet sei die reiche Saat der Liebe, die sie hienieden ausgestreut.“

Mehrere Monate hindurch war Helmholtz durch den schweren Schicksalsschlag, der ihn getroffen, zu jeder geistigen Anstrengung unfähig; er schreibt am 9. April 1860 an Donders:

„Ich sage Ihnen und den Ihrigen meinen herzlichsten Dank für die Theilnahme, die Sie mir bei meinem schweren Verluste gewidmet haben. Ich konnte nicht eher dazu kommen, Ihnen zu antworten, weil ich lange körperlich leidend war. Ich war durch die vielen nächtlichen Störungen und die Gemüthsbewegungen in den letzten Monaten des vorigen Jahres in einen Zustand nervöser Irritation versetzt, dass ich keine Stunde hinter einander schreiben konnte, ohne heftige Kopfschmerzen oder fieberartige Aufregungen zu bekommen. Es war eine schwere Zeit. Da ich nicht arbeiten konnte, hatte ich auch das Hauptwiderstandsmittel gegen das Gefühl der Vereinsamung und

Interesselosigkeit an der Welt eingebüsst. So habe ich zwei Monate langer Tage und endloser Nächte hingebracht. Seit Anfang März konnte ich mir wieder durch Arbeit aufhelfen.“

Der erste Brief, in dem wieder eine wissenschaftliche Frage erörtert wird, ist in der That der erst am 16. März an Wittich gerichtete, welcher die folgende in akustischer Beziehung interessante Stelle enthält:

„.... Es thut mir sehr leid, dass Sie auf eine für Sie selbst so unangenehme Weise für die Physiologie interessant werden. Ihr Doppelhören ist allerdings ein seltsames Phänomen. Uebrigens ist so viel sicher, dass ein Ton von bestimmter Schwingungsdauer die Theile des Gehörapparates immer nur in Schwingungen von derselben Schwingungsdauer versetzen kann. Es kann durch Veränderungen des Trommelfelles, der Paukenhöhle u. s. w. wohl die Stärke der Zuleitung verändert werden, aber niemals die objective Tonhöhe. Es muss also in Ihrem Falle die Empfindung der Tonhöhe verändert sein. Ich weiss dies mit meiner Ansicht über die Leistungen des Hörnerven nur dadurch zu vereinigen, dass ich annehme, die Corti'schen Organe seien selbst durch veränderten Druck der Flüssigkeit, der Membranen oder wohl noch eher durch veränderte Quellung im Labyrinthwasser, dessen Dichtigkeit durch die Entzündung etwas verändert sein kann, etwas verstimmt, so dass der elastische Anhang der für a bestimmten Nervenfasern, welcher sonst für a mitschwingt, jetzt auf b mittönt, so dass, wenn b angegeben wird, die a-Faser in Regung versetzt wird und Sie demnach auf dem kranken Ohr a zu hören glauben. Uebrigens wäre es doch wünschenswerth, dass Sie auch den Gegenversuch machen, ob Sie zwei verschiedene Stimmgabeln gleich hören können, wenn die höhere vor das kranke, die tiefere vor das gesunde Ohr gehalten wird.“

In Folge der durchlebten Aufregungen und Anstrengungen stellten sich Ohnmachtsanfälle, die schon in den

letzten Jahren öfters auftraten, jetzt häufiger ein; „vor Pfingsten“, schreibt er am 27. Juni, „mitunter täglich zweimal, später sind die Anfälle seltener und leichter geworden, so dass ich mich während derselben aufrecht halten kann, wenn es sein muss“. Dennoch zwingt er sich zur Arbeit, die allein ihm Widerstandskraft geben kann; noch im Laufe des März beendet er die im vorangegangenen Sommer Ludwig und Thomson angekündigte, in Gemeinschaft mit Piotrowski unternommene Arbeit, von welcher letzterer den experimentellen Theil nach seiner Anleitung ausgeführt hatte, und legte dieselbe am 12. April 1860 unter dem Titel „Ueber Reibung tropfbarer Flüssigkeiten“ der Wiener Akademie vor.

Die Bewegungsgleichungen für das Innere einer tropfbar flüssigen Masse, welche der Reibung unterworfen ist, waren schon früher von Poisson, Navier und Stokes entwickelt, und auch für die Bewegung einer Flüssigkeit in sehr engen und sehr langen Röhren durch das Experiment Resultate ermittelt worden, welche mit der Theorie in Uebereinstimmung standen; aber es erwies sich unausführbar, ähnliche mit der Theorie vergleichbare Versuche an anderen Röhren als an capillaren anzustellen. Helmholtz unternahm es nun, einen zweiten Fall von Flüssigkeitsbewegungen zu untersuchen, dessen Theorie vollständig aus den hydrodynamischen Gleichungen für reibende Flüssigkeiten hergeleitet werden kann, um daraus von Neuem die bisher nur aus den Poiseuille'schen Beobachtungen abgeleitete Constante für die innere Reibung des Wassers zu ermitteln und dieselbe mit den Beobachtungen zu vergleichen. Es gelang ihm dies für die Bewegung des Wassers in einer innen polirten und vergoldeten Hohlkugel, indem das kugelförmige Gefäss mittelst eines besonderen Apparates in reine Schwingungen um seine senkrechte Aufhängungsaxe versetzt und die durch die Flüssigkeit bewirkte Verzögerung der mit Spiegel und Fernrohr beobachteten Schwingungen gemessen wurde. In diesem Falle

konnte aus den Beobachtungen die Kraft, welche die in dem Gefäss enthaltene Flüssigkeit auf die Wände des Gefässes ausübt, experimentell bestimmt und mit dem aus der mathematischen Theorie der Flüssigkeitsbewegung hergeleiteten Kraftausdrucke verglichen werden. Er vereinfacht die hydrodynamischen Gleichungen dadurch, dass er die Schwingungen der Kugel so klein macht, dass die Quadrate der Geschwindigkeit gegen die erste Dimension derselben verschwinden, und so gelingt es ihm unter der Annahme, dass als äussere Kraft nur die Schwere wirkt, particuläre Integralgleichungen zu finden, welche die Geschwindigkeitscomponenten des in einem bestimmten Punkte zu einer bestimmten Zeit befindlichen Wassers als Product der Coordinaten in eine Function der Zeit und der Entfernung des Punktes vom Anfangspunkt der Coordinaten ausdrücken. Diese Function genügt einer der bekannten Potentialgleichung der Kugel analogen Differentialgleichung, die hier nur noch ein Glied besitzt, welches die Reibungsconstante für das Innere der Flüssigkeit als Factor enthält, und man kann die Form der diesen Integralgleichungen entsprechenden Bewegung dadurch beschreiben, dass die Wassermasse in concentrische Kugelschalen zerfällt, deren jede gleichsam wie eine feste Kugelschale drehende Bewegungen um die Richtung der Schwere ausführt. Durch Zerlegung jener Function, welche die Winkelgeschwindigkeit der Drehung charakterisirt, in eine von der Zeit linear abhängige Exponentialfunction und einen nur von der Entfernung abhängigen, von der Zeit unabhängigen Factor kann er das allgemeine Integral der gewöhnlichen Differentialgleichung aufstellen, welche diesen zweiten Factor charakterisirt, und daraus ergeben sich in einfacher Weise die Integrale der Bewegungsgleichungen für die im Innern einer Hohlkugel befindliche tropfbar flüssige und der Reibung unterworfenen Masse. Da nun vorausgesetzt war, dass keine Kräfte ausser der Schwere auf das Innere der Wassermasse ausgeübt werden, so können die Kräfte, welche sie in Bewegung setzen,

nur auf die äusserste Schicht wirken, und zwar wird diese von dem Gefäss, mit dem sie in Berührung ist, durch Reibung bewegt; sie haftet also an der inneren Gefässwand nicht fest, sondern gleitet an ihr hin. Benutzte man die bekannten analytischen Ausdrücke für die Componenten der Kraft, mit welcher eine bewegte Flüssigkeit auf eine oberflächliche Schicht wirkt, und bemerkte, dass in dem behandelten Falle dieser Kraft, welche das bewegte Wasser auf seine äusserste Schicht ausübt, das Gleichgewicht gehalten werden muss durch die Kraft, welche die Gefässwand auf die äusserste Wasserschicht ausübt, so liess sich zunächst nachweisen, dass die durch die gefundenen Integrale vorgeschriebene Bewegung des Gefässes den Bedingungen von Piotrowski's Versuchen genügt. Helmholtz war nun im Stande, mit Hülfe der Vergleichung der Versuche und der theoretisch gefundenen Ausdrücke die Constanten für die innere Reibung verschiedener Flüssigkeiten zu berechnen, deren Werth nach der Natur der Flüssigkeit und ihrer Temperatur verschieden ist. Doch traten den Versuchen grosse Schwierigkeiten entgegen, indem dieselben zu bestätigen schienen, dass die chemische Beschaffenheit der Wand auf die Bewegung der Flüssigkeiten nicht in allen Fällen einflusslos ist.

Unmittelbar darauf hielt er am 27. April im naturhistorisch-medizinischen Verein einen Vortrag „Ueber die Contrasterscheinungen im Auge“, in welchem er anschliessend an seine Theorie der Nachbilder bestrebt war, diese beiden Erscheinungen zu trennen und für die wirklichen simultanen Contrasterscheinungen besondere Untersuchungsmethoden zur Vermeidung der Nachbilder zu liefern. Indem er das bekannte Phänomen des Contrastes in Bezug auf die günstigsten Bedingungen für das Zustandekommen desselben prüft, findet er, dass diese Bedingungen im Phänomen der farbigen Schatten vereinigt sind. Bei deren Beobachtung durch eine geschwärzte Röhre erhält sich die Vorstellung der Farbe wie sie sich zuvor gebildet hatte, auch wenn ihre Bedingung wegfällt, so

lange man nicht andere Stellen des Gesichtsfeldes vergleichen kann; in homogen rother Beleuchtung zeigen sich die lichtarmen Partien complementär grün gefärbt in Folge der Ermüdung der Netzhaut. Helmholtz vermuthet, dass das Zustandekommen der wirklichen Contrasterscheinungen auf einer Täuschung des Urtheils beruht; wir können richtig vergleichen, wenn die zu vergleichenden Stellen im Gesichtsfelde unmittelbar an einander liegen, räumliche Trennung dagegen und Aufeinanderfolge in der Zeit schwächen die Sicherheit der Empfindung; er stellt diese Erklärungsweise der älteren Annahme einer wirklich veränderten Nervenerrregung entgegen.

Von der Fechner'schen Theorie der Nachbilder ausgehend, welche nur in denjenigen Fällen keine sichere Erklärung der Erscheinungen liefert, wo die Complication der zusammenwirkenden Umstände den Mangel motivirt, macht nun Helmholtz den Versuch einer theoretischen Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Gesichtseindrücke. Da Fechner zwei Erklärungsgründe aufstellt, auf welche er die Mannigfaltigkeit der hierher gehörigen Erscheinungen zurückführt, nämlich die Nachdauer der Reizung und die durch vorausgegangene Reizung herbeigeführte Ermüdung der Nervenapparate des Auges, so wird bei den Farbenerscheinungen der Nachbilder jeder dieser Vorgänge in jeder der von der Young'schen Farbentheorie angenommenen drei Arten von Nervenfasern in Betracht kommen. Es ergeben sich somit sechs Grössen von veränderlichem Werthe, von denen die Helligkeit und Farbe eines unter gewissen äusseren Bedingungen der Erleuchtung beobachteten Nachbildes abhängt. Da ein Nachbild positiv ist, wenn die nachwirkende Reizung über die Ermüdung den Sieg davonträgt, negativ im entgegengesetzten Falle, so ist eine Erklärung der complicirten Vorgänge bei mehreren Farben erst dann möglich, wenn bestimmte quantitative Annahmen über die zeitlichen Veränderungen gemacht sind, welche die Erregung und die

Ermüdung der Nervenapparate durchmachen. Da zur Zeit seiner Untersuchung nur wenig wirkliche Grössenbestimmungen vorlagen, beschränkte sich Helmholtz darauf, mathematische Functionen zu suchen, deren Verlauf bei Aenderung der veränderlichen Zeit im Ganzen dem Gange der Erscheinungen wenigstens dem Sinne nach entspricht, wenn auch noch keine genaue Uebereinstimmung wirklich gemessener Grössen nachzuweisen war.

„Wir finden“, sagt er in einer schriftlichen Aufzeichnung über diesen Gegenstand, „dass im lebenden Auge zweierlei verschiedene Veränderungen durch das Licht hervorgebracht werden, wenn wir zunächst von der Verschiedenheit der Farben absehen, nämlich Erregung und Ermüdung. Keine von beiden ist in ihrem Verlaufe der Zeit nach direct an die Einwirkung des Lichtes gebunden. Denn wenn dieses aufhört zu wirken, bleibt im dunkeln Felde erkennbar noch eine Zeit lang Erregung der früher von Licht getroffenen Stellen der Netzhaut zurück, und bei Prüfung mit neuer gleichmässiger Beleuchtung des Feldes finden wir noch lange die Spuren der Ermüdung als negative Nachbilder sichtbar. Wir sehen aber auch, wie allmählich während der Ruhe des Auges im Dunkeln diese Zustände schwinden, wobei sie anfangs sehr schnell und deutlich an Stärke abnehmen, während später ihre letzten Reste langsam schwinden, und zwar schwindet die Erregung im Allgemeinen schneller als die Ermüdung. Ich schliesse, dass fortdauernd im lebenden Auge Vorgänge thätig sind, auch schon selbst während der Einwirkung des Lichtes, welche die vorhandene Erregung sowohl, als Ermüdung auf Null zurückzuführen streben, und nehme als den einfachsten mathematischen Ausdruck dieser Thatsache zunächst an, dass die Geschwindigkeit mit der Erregung s schwindet, oder wenn wir mit t die Zeit bezeichnen, der negative nach der Zeit genommene Differentialquotient von s proportional sei der gesammten zur Zeit vorhandenen Stärke der Erregung,

vorausgesetzt, dass nicht gleichzeitig eine Lichtwirkung stattfindet. In ähnlichem Sinne nehme ich für die Veränderung der Ermüdung f an, dass, so lange keine Steigerung durch gleichzeitig vorhandene Erregung stattfindet, wir zwischen f und t eine Differentialgleichung derselben Form haben. Andererseits kann aber auch die Empfindung gesteigert werden durch einen neuen Lichteindruck. Diese Steigerung ist im Allgemeinen keine plötzliche, da sich in jedem Augenblicke zu den vorhandenen Resten der Erregung der neue erregende Eindruck addirt. Wir werden die davon abhängige Steigerung der Erregung der Lichtstärke des Eindrucks proportional setzen dürfen. Dabei ist aber weiter zu berücksichtigen, dass diese Steigerung der Erregung von der gleichzeitig noch vorhandenen Ermüdung abhängig ist, und zwar so, dass die Steigerung desto geringer, je stärker die Ermüdung. Setzen wir für den stärksten Grad, den die Ermüdung erreichen kann, wobei der neue Eindruck gar keine Wirkung mehr macht, $f = 1$, so können wir den Theil des nach t genommenen Differentialquotienten von s , der von dem neuen Eindruck von der Lichtstärke i abhängt, gleich setzen $mi(1 - f)$, so dass dieser Differentialquotient gleich ist $-as + mi(1 - f)$. Aehnlich wird die Ermüdung gesteigert durch vorhandene Erregung, und desto mehr, je grösser diese ist, und wir wollen deshalb diese Steigerung der vorhandenen Erregung proportional setzen, und erhalten demgemäss als vollständigen Ausdruck für die Aenderung der Ermüdung den nach t genommenen Differentialquotienten von f gleich $-bf + ns$. Die beiden Gleichungen bestimmen dann den Gang beider Veränderungen vollständig. Da die vier Constanten a , b , m und n nur aus den Erfolgen der Versuche zu bestimmen sind, und jedenfalls die Werthe von f und s sich continuirlich ändern, so ist es nicht zweifelhaft, dass innerhalb enger Grenzen der Werthe von f und s die obigen Gleichungen richtig sind. Ob sie innerhalb ausgedehnter Grenzen richtig sind, oder also, ob die vier hier

constant gesetzten Grössen wirklich von s und f unabhängig sind, kann vorläufig nur der Erfolg lehren, die Vergleichung der Consequenzen unserer Gleichungen mit der Wirklichkeit.“

Indem nun Helmholtz die Intensität i des in das Auge fallenden Lichtes während der beobachteten Zeit als constant betrachtet und die allgemeinen Integrale der beiden linearen Differentialgleichungen für f und s mit constanten Coefficienten aufstellt, findet er zunächst den Werth, dem sich die Grösse der Erregung bei längerer Andauer der Beleuchtung i immer mehr nähert, und daraus als Maximalwerth der dauernden Erregung des Auges die Grösse $\frac{b}{n}$. Bezeichnet man nun mit F und S die Grenzen, denen sich die Grösse der Ermüdung resp. der Erregung bei längerer Andauer der Beleuchtung i allmählich nähert, so ergibt sich leicht aus den gefundenen Integralfunctionen, dass, wenn s und f beide im Anfang grösser oder beide kleiner sind als die Werthe S und F , die sie schliesslich erlangen, s zuerst fallend oder wachsend über den Werth S hinausgeht, ein Minimum oder Maximum erreicht und dann wiederum wachsend oder fallend sich dem Werthe S unendlich nähert, während f fortdauernd sinkend oder steigend sich dem Werthe F nähert, und ähnlich, wenn im Anfange $s > S$, $f < F$ oder $s < S$, $f > F$ ist. Der erste dieser Fälle ergibt nun direct:

„Den Wechsel der positiven und negativen Nachbilder, wenn das Auge dauernd ein constant beleuchtetes Feld oder auch nur das vom Eigenlicht scheinbar beleuchtete Feld der Netzhaut betrachtet, auf welchem vorübergehend ein helleres oder dunkleres Object sichtbar geworden und wieder verschwunden ist. Auf der vom Bilde dieses Objectes getroffenen Stelle der Netzhaut ist im ersteren Falle Erregung und Ermüdung gleichzeitig gesteigert, im letzteren gleichzeitig vermindert. Nach dem Verschwinden des Objectes gehen Erregung und Ermüdung der getroffenen Stelle allmählich

wieder zu dem Endwerthe zurück, auf dem die übrigen Theile der Netzhaut dauernd geblieben sind. Das positive Nachbild entspricht der Periode, wo die Erregung diesen Endwerth noch nicht erreicht hat, das negative der Periode, wo sie darüber hinausgegangen ist, was in diesem Falle immer geschieht. Der Zeitpunkt des Wechsels zwischen negativem und positivem Bilde wird gefunden, wenn wir den Werth von t suchen, für welchen s die Grösse S erreicht. Je mehr die Erregung, je weniger die Ermüdung von ihrem Endwerthe abweicht, desto länger dauert das positive Bild. Hierzu ist eine sehr kurze Dauer des Eindruckes günstig. Ferner ist unter übrigens gleichen Umständen vortheilhaft für die Dauer t des positiven Bildes, dass die Grösse der Intensität der dauernden Beleuchtung gering sei, was in der That bei den Versuchen sich zeigt, bei denen das positive Bild am längsten im ganz dunkeln Felde zu sehen ist. Je länger die Zeit t ist, desto kleiner wird“ — wie sich aus den Exponentialgrössen der Integrale ergibt — „die Intensität des negativen Bildes werden. Im ganz verdunkelten Gesichtsfelde, wo nur die inneren Ursachen noch erregend auf die Netzhaut wirken, wird das negative Bild überhaupt nur sichtbar, wenn das Verhältniss des End- und Anfangswerthes von f zu dem Endwerth durch sehr starkes Licht oder längeres Einwirken desselben ziemlich gross geworden ist. Vernachlässigen wir das schwache Eigenlicht der Netzhaut, so ist der Verlauf der Erregung ganz unabhängig von der gleichzeitig stattfindenden Ermüdung.“

Die „Ansteigung der Empfindung im ausgeruhten Auge“ hat Helmholtz aus den Integralformeln nur zu entwickeln angefangen. Die Anwendung der gefundenen Beziehungen auf das Problem der intermittirenden Beleuchtung führt auf einen Ausdruck für die Erregungsstärke bei dauernder Einwirkung der Beleuchtung von einer bestimmten Intensität, aus dem Helmholtz schliesst, dass die zur Aufstellung der Differentialgleichungen gemachte Hypothese im Einklange

ist mit dem bekannten Gesetze, „wonach die scheinbar gleichförmige Helligkeit periodisch wechselnden Lichtes dieselbe ist, welche erhalten würde, wenn die ganze Lichtmenge jeder Periode gleichmässig über die ganze Periode vertheilt wäre.“

Im Laufe des Sommers erschien die zweite Lieferung seines Handbuches der physiologischen Optik, die er noch vor dem Tode seiner Frau fertig gestellt hatte, und von der er sogleich am 6. August ein Exemplar an Fechner mit den Begleitzeilen übersandte:

„Sie finden in jener zweiten Abtheilung die Gegenstände, welche in Ihren eigenen letzten Arbeiten behandelt sind. Das Capitel über Lichtstärke hatte ich schon wesentlich ebenso niedergeschrieben, wie es ist, ehe ich Ihre Abhandlung darüber bekam. Ich habe nachträglich die entsprechenden Modificationen erst hineingebracht. In den Nachbildern, werden Sie sehen, habe ich durchaus auf Sie gebaut; der Contrast hat mir am meisten Mühe gemacht; ich habe versucht, in diesem Capitel aufzuräumen, aber noch genügt es mir nicht recht.“

Diese zweite Abtheilung seiner physiologischen Optik, welche die Lehre von den Gesichtsempfindungen behandelt, bespricht zunächst die verschiedenen Arten der Reizung des Sehnervenapparates und geht sodann zu der Reizung desselben durch Licht über, um weiter die in den früher veröffentlichten Arbeiten von ihm und anderen aufgestellten Theorien der einfachen und zusammengesetzten Farben im Zusammenhange zu entwickeln. Ueber die Intensität und Dauer der Lichtempfindung liefert er eine Reihe von Untersuchungsmethoden und Resultaten, zu denen noch einzelne seiner späteren Arbeiten, insbesondere zu dem psychophysischen Gesetze von Fechner, mannigfache und wesentliche Ergänzungen liefern, und behandelt endlich die Theorie der Nachbilder und Contrasterscheinungen auf Grund der oben besprochenen Anschauungen und mit Hülfe neuer und interessanter Versuche.

Aus der reichen Fülle wesentlich neuer Resultate, die noch nicht in seinen früheren Arbeiten enthalten waren und auch nicht mit der grossen Reihe tiefer theoretischer Deductionen und feinsten Versuche, die sich an die Durcharbeitung der Forschungen anderer knüpfte, im Zusammenhang stehen, mögen zwei Punkte besonders hervorgehoben werden.

Da die physiologischen Untersuchungen eine viel genauere Scheidung des einfachen Lichtes von einander nothwendig machten, als es bei physikalischen Untersuchungen im Allgemeinen erfordert wird, so musste zunächst die Theorie der Brechung in Prismen besprochen werden, soweit sie zur Herstellung reiner Spectra nöthig ist. Während man früher nur die Brechung einzelner Lichtstrahlen in den Prismen, aber nicht die Lage und Beschaffenheit der prismatischen Bilder untersucht hatte, kam es Helmholtz wesentlich darauf an, für den Fall, dass man mit dem Auge durch ein Prisma sieht oder das aus dem Prisma tretende Licht durch Linsen und Fernröhre gehen lässt, die prismatischen Bilder für jede Art homogenen Lichtes zu kennen, da diese dann als Objecte für die weiteren optischen Bilder zu betrachten sind, welche die Augenmedien und Linsen entwerfen.

Wenn ein Strahl durch verschiedene brechende Mittel hindurchgeht, und wenn man die Länge seines Weges in jedem einzelnen Mittel mit dem Brechungsverhältniss dieses Mittels multiplicirt und die Summe aller dieser Einzelgrössen die optische Länge des Strahles nennt, so ist die optische Länge proportional der Zeit, in der das Licht die Länge des Strahles durchläuft, und ist gleich dem Wege, welchen das Licht in derselben Zeit im leeren Raume zurückgelegt haben würde. Es lässt sich demgemäss zunächst das Brechungsgesetz der Lichtstrahlen durch die Bedingung ausdrücken, dass die optische Länge des Strahles zwischen einem ihm angehörigen Punkte im ersten und einem im letzten Mittel

ein Grenzwert (Maximum oder Minimum) ist, wenn die brechenden Mittel durch Flächen von continuirlicher Krümmung begrenzt sind. Indem Helmholtz nun den Analogien mit der Potentialfunction nachgeht, findet er, dass, wenn Lichtstrahlen von einem Punkte ausgehen und durch beliebig viele Flächen von continuirlicher Krümmung gebrochen worden, sie nach der letzten Brechung senkrecht auf jeder krummen Fläche stehen, für deren sämtliche Punkte die optische Länge des Strahles einen constanten Werth hat. Diese Fläche geht also durch alle diejenigen Punkte, in denen die gleiche Phase der Aetherschwingung stattfindet, und ist somit eine Wellenfläche; nach Aufstellung dieser Sätze kann er die bekannten Eigenschaften der Normalen und der Krümmung einer Fläche anwenden zur Bestimmung des Verlaufes der Strahlen in einem unendlich dünnen Strahlenbündel. Damit sind aber die Grundlagen gewonnen, um die Brechungsgesetze von Strahlenbündeln in Prismen zu entwickeln. Helmholtz findet, dass ein unendlich dünnes Bündel homocentrischer Strahlen, welches von einem endlich entfernten Punkte ausgeht, nach dem Durchtritt durch ein Prisma nur dann homocentrisch bleibt, wenn es im Minimum der Ablenkung durchgetreten ist, d. h. wenn es in einer zur brechenden Kante senkrechten Ebene verläuft und gegen beide Prismenflächen unter gleichen Winkeln geneigt ist. Indem nun ein Lichtpunkt nur unter der Bedingung ein deutliches Bild haben kann, dass das gebrochene Licht homocentrisch ist, schaden offenbar bei einer Lichtlinie Abweichungen der Strahlen, welche in Richtung des Bildes dieser Linie liegen, nicht der Genauigkeit des Bildes. Hiervon ausgehend kann er die Bilder leuchtender Gegenstände entwickeln, wenn diese verticale helle Linien von verschiedenem einfarbigem Lichte sind; er gelangt so zu Helligkeitsbestimmungen des Spectrums und findet, dass die Helligkeit desselben, abgesehen von dem Verluste durch Reflexion und Absorption, direct proportional der Helligkeit

der betreffenden Farben im Spectrum, der scheinbaren Breite des Spaltes und umgekehrt proportional der scheinbaren Länge des betreffenden Theiles des Spectrums ist.

Es mag ferner noch eines Zusatzes Erwähnung geschehen, der sich in diesem Hefte zu seinen früher besprochenen Farbenuntersuchungen und der eingehenden Darstellung der Grassmann'schen Theorien findet und der durch eine merkwürdige Parallele von Interesse ist. Während er Schwarz als eine wirkliche Empfindung bezeichnet, d. h. als eine Wahrnehmung eines bestimmten Zustandes unseres Organs, wenn es auch durch Abwesenheit alles Lichtes hervorgebracht wird, und somit die Empfindung des Schwarz als deutlich unterschieden betrachtet von dem Mangel aller Empfindung, hebt er hervor, dass, wenn wir von der Beschaffenheit der objectiven Lichtquellen absehen, bis jetzt noch kein einziges Kennzeichen aufgefunden worden ist, wodurch unter den verschiedenen Abstufungen weisslicher Farbentöne ein solcher als das normale Weiss eine besonders ausgezeichnete Rolle spielte. „Da übrigens“, fügte er hinzu, „die thierischen Organe in der Reihe der Generationen sich ihren am häufigsten eintretenden Aufgaben anpassen, so ist es allerdings nicht auffallend, dass die Farbe des Sonnenlichtes eine centrale, wenn auch nicht gerade bestimmt zu definirende Stellung im Farbensysteme einnimmt.“

Gleichzeitig mit der Fortführung der physiologischen Optik war in Folge der fundamentalen Entdeckungen, die er in der physiologischen Akustik gemacht hatte, sein Plan entstanden, ein ähnliches umfassendes Werk über die Tonempfindungen zu bearbeiten. Im Jahre 1860 schrieb er Donders:

„Ich habe mich daran gemacht, meine akustischen Arbeiten zusammenzuschreiben; es soll daraus ein kleines Buch von möglichst populärer Haltung werden, um es auch den Musikliebhabern zugänglich zu erhalten, weil ich meine, auch die physikalisch-physiologische Begründung der Harmonielehre darin niederlegen zu können.“

Helmholtz suchte Trost und Zerstreuung in der intensivsten geistigen Arbeit; in seinem Hause selbst sah es trotz der liebevollsten und aufopferndsten Anhänglichkeit, mit der sich seine Schwiegermutter der Erziehung der beiden kleinen Kinder annahm, öde und traurig aus. Alle äusseren Ehren, die ihm erwiesen wurden, die Ernennung zum correspondirenden Mitglied der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, die Ertheilung des Sömmering'schen Preises der Senkenbergischen naturforschenden Gesellschaft in Frankfurt a. M., machten wenig Eindruck auf ihn, hatten ihm doch früher all' die vielen Auszeichnungen hauptsächlich nur dadurch Freude bereitet, dass er wusste, wie alles dies seinen alten Vater und seine geliebte Frau mit Stolz und Genugthuung erfüllte. So flüchtete er sich, in seinem Herzen verwaist, von den Arbeiten des Semesters und dem unausgesetzten Nachdenken über die schwierigsten Probleme menschlichen Erkennens fast aufgerieben, im Sommer 1860 nach Schottland zu seinem Freunde W. Thomson, den er auf der Insel Arran zu finden wusste, und kehrte erst nach einigen Wochen innerlich ruhiger und körperlich erfrischt über Edingburgh und Hamburg nach Heidelberg zurück.

Zunächst nehmen ihn nun seine akustischen Untersuchungen fast ausschliesslich in Anspruch; er schreibt seinem Bruder Otto:

„Der physiologische Grund der Consonanz und Dissonanz lässt sich einfach dahin aussprechen: Consonanz ist continuirliche Tonempfindung, Dissonanz discontinuirliche. Zwei Töne, die einander nahe sind, geben zusammenklingende Schwebungen, d. h. intermittirende Erregung des Nerven. Wenn man nun die Schwebungen der harmonischen Obertöne, Combinationstöne u. s. w. studirt, ergiebt sich die ganze Harmonielehre und unser modernes Tonsystem ganz einfach.“

Am 23. November hält er im naturwissenschaftlich-medizinischen Verein einen Vortrag „Ueber musikalische

Temperatur“, in dem er sich mit den Nachtheilen der temperirten Stimmung für die verschiedenen Instrumente beschäftigt, und aus dem schon seine umfassenden historischen Studien erkennbar sind, die seine spätere Lehre von den Tonempfindungen selbst hierdurch allein zu einer so staunenswerthen Leistung machten. Innerhalb einer bestimmten Durtonleiter können, damit die drei in ihr enthaltenen Accorde rein klingen, die grossen Terzen und die Quinten stets so gestimmt werden, dass sich ihre Schwingungszahlen wie 4:5 und 2:3 verhalten. Bei dem Uebergange in eine andere Tonart jedoch giebt der neu hinzutretende Accord des Endtones eine Quinte, welche nicht mehr gleich der Terz des ersten Anfangstones ist; man wurde daher bei den Tastaturinstrumenten dazu geführt, für diese beiden etwas differirenden Töne, von denen der eine die Terz des ersten Ausgangstones ist, einen einzigen Ton einzusetzen, weil eine unreine Quinte stärker empfunden wird als eine unreine Terz. Bei dem weiteren Fortschreiten in Quinten wird man auch wieder nicht zum Ausgangstone zurückgeführt; man muss deshalb, um den Fehler gleichmässig zu vertheilen, alle Quinten ein wenig ändern, wobei die Abweichung der Quinten in diesem jetzt allgemein herrschenden Stimmungssystem ausserordentlich klein ist, indem die reine zur temperirten Quinte sich wie 886:885 verhält. Da aber dadurch Fehler in den Terzen entstehen, und die neuere Musik durchaus harmonisch ist, so macht sich das Widrige falsch gestimmter Intervalle durch die Schwebungen ihrer Combinationstöne und harmonischen Obertöne sehr unangenehm geltend. Bei den zu künstlerischer Musik am besten geeigneten Instrumenten empfindet man den Nachtheil der temperirten Musik am wenigsten, weil Singstimmen nicht davon abhängig sind, weil man auf dem Streichinstrument den Härten ausweichen kann und das Clavier, weil seine Töne kurz verhallen, wenig geeignet zu Dissonanzen ist. Dagegen treten die Mängel der Stimmung bei allen

langsam aushaltenden Tönen, besonders auffallend bei der Physharmonika, hervor, wo die Stösse bei langsamem Spielen zu deutlich hörbar sind, und die Unterschiede rein gestimmter und temperirter Accorde so gross sind, dass letztere nach ersteren wie Dissonanzen klingen. Helmholtz will nun, um reine Harmonien herzustellen, jedem Tone der Scala zwei verschiedene Werthe geben, je nachdem er Terz oder Quint, beziehlich Grundton eines Duraccordes ist, und stellt die den Bedingungen genügende Reihe von Duraccorden auf; für die praktische Ausführung sollen entweder zwei Tastaturen eingeführt oder das Instrument für jede Tonart, welche im Laufe des Musikstückes eintritt, dadurch in richtige Stimmung gebracht werden, dass man die Töne in acht Gruppen sondert und alle Töne jeder dieser Gruppen durch einen besonderen Windcanal speist, wodurch man fast reine Intervalle erhalten kann.

Im Anschluss hieran mag schon an dieser Stelle einer späteren Arbeit von Helmholtz Erwähnung geschehen; von der Anschauung ausgehend, dass die Tonleiter in erster Linie ihre Gestaltung dem Bedürfniss der Menschen verdankt, die einzelnen Töne klar und wahrnehmbar von einander zu trennen — weshalb auch jetzt noch das ungeübtere Ohr uncivilisirter Völker nur die ganzen Töne kennt — und dass erst mit der feineren Ausbildung des Ohres auch die halben Töne in der Musik Eingang gefunden haben, war es für Helmholtz interessant und wichtig zugleich, historische Studien über die Entwicklung der Tonleiter bei den verschiedenen Völkern anzustellen, indem unsere Dur- und Molltonleitern sich erst sehr spät entwickelt haben. Aus diesen Studien war die Arbeit hervorgegangen, welche er am 2. Juli 1862 unter dem Titel „Ueber die arabisch-persische Tonleiter“ dem naturhistorisch-medicinischen Verein zu Heidelberg vorlegte. In dem von ihm angegebenen System der Construction und Stimmung musikalischer Instrumente, bei welchem man durch alle Tonarten in reinen consonanten

Accorden spielen kann, waren doppelt so viele Tonstufen nöthig, als sie sonst üblich gewesen. Seine historischen Studien führten ihn zu dem Ergebniss, dass in der griechischen Stimmung die fünfte Quinte von C vorwärts als Terz von C benutzt wird, welcher sie bis auf das kleine Intervall $\frac{81}{80}$ nahe kommt, während, wenn man von C um acht Quinten abwärts geht, man auf den Ton Fes kommt, der von der Terz von C sich nur etwa noch um den zehnten Theil des Intervalles $\frac{81}{80}$ unterscheidet und also jedenfalls für diese gesetzt werden kann. Dieselben Vertauschungen benutzten die arabisch-persischen Musiker, um reine natürliche Scalen zu erhalten; ihre Tonleiter war nach einer Reihe von 17 Quinten gestimmt, woraus Scalen mit Pythagoräischen oder mit natürlichen Terzen und Sexten gebildet wurden. Ein gemeinsames physikalisches Princip konnte Helmholtz jedoch durchweg verfolgen, nämlich das der Klangverwandtschaften. Der von Helmholtz gewählten Bezeichnung gemäss, nach welcher zwei Klänge verwandt sind, wenn sie einige gemeinsame Obertöne haben, gehört zu dem Grundton zunächst die Octave, dann auch die Quinte und Quarte; diese verwandten Klänge finden sich in allen „Tongeschlechtern“.

Die Frage der Tonleiter beschäftigte ihn noch längere Zeit vom physikalischen, historischen und ästhetischen Gesichtspunkte aus, und es mögen hier einige darauf bezügliche sehr interessante Mittheilungen von Blaserna in Rom eine Stelle finden, der wenige Jahre später in einen regen freundschaftlichen und wissenschaftlichen Verkehr mit Helmholtz getreten und dessen gütigst ertheilten, wichtigen und interessanten Aufschlüssen über Helmholtz als Menschen und Gelehrten wir auch sonst noch zu begegnen Gelegenheit haben werden. Blaserna schreibt im Mai 1902:

„ Unsere wissenschaftlichen Gespräche fanden ihre Veranlassung in den vielen Schriften, die er und andere veröffentlichten, und waren gewissermassen ein Commentar

derselben. Aber es giebt viele andere Punkte, über die er sich gern mit mir ausliess, und die vielleicht weniger bekannt sind, da er sich darüber gar nicht oder nur wenig öffentlich ausgesprochen hat. Wir hatten viele gemeinsame Gesichtspunkte und sprachen sehr gern darüber.

„Ich glaube daher, der grossen Erinnerung an den tiefen Denker einen kleinen Beitrag zu liefern, und betrachte dies als eine der angenehmsten Aufgaben, die mir in meinem nun auch schon langen Leben zugefallen sind, wenn ich einige Hauptpunkte unseres Zusammenwirkens etwas mehr hervorhebe.

„Die bahnbrechenden Untersuchungen von Helmholtz über die Theorie des Schalles sind allgemein bekannt; wir verdanken ihnen eine sehr genaue und eingehende Kenntniss der Klangfarbe. Aber sein klassisches Buch über die Lehre von den Tonempfindungen enthält nicht nur die Resultate seiner eigenen wissenschaftlichen Forschungen, sondern auch eine überraschend schöne Ausführung der historischen Entwicklung der theoretischen Musik. In musikalischer Beziehung wie in so vielen anderen Rücksichten sind wir wirklich echte Söhne Griechenlands; aber wie brave Söhne haben wir das väterliche Erbe übernommen und grossartig weitergeführt.

„In dieser grossen Frage habe ich mich stets als Helmholtz' Schüler angesehen. Ich veröffentlichte ein populäres Buch in dieser Beziehung, welches gewissermassen als Eingang in das schwierigere Werk von Helmholtz anzusehen ist, und hielt es für eine grosse Ehre, als der französischen Uebersetzung auch eine Conferenz Helmholtz' hinzugefügt wurde, so dass unsere beiden Namen zusammen erschienen. Es bestand in dieser Beziehung eine vollkommene Uebereinstimmung zwischen uns; obwohl durch die Alpen getrennt, kämpften wir beide für dieselbe Sache und freuten uns, wenn sie da oder dort einen Erfolg hatte.

„Es ist bekannt, dass wir seit Joh. Seb. Bach in der ausübenden Musik aus rein praktischen Gründen eine Ton-

leiter eingeführt haben, die von der mathematischen empfindlich abweicht. Die Scala, die seit Zerlino eine streng mathematische Form erhielt, verwickelte sich immer mehr und mehr durch die Bedürfnisse der Modulation, die im 17. und 18. Jahrhundert sich regelmässig entwickelte. Der grosse Unterschied zwischen der griechischen Musik und unserer modernen besteht darin, dass die Griechen zwar von einem beliebigen Tone ihrer Scala ausgingen, aber alle anderen Töne derselben unverändert beibehielten, während wir auch von einem beliebigen Tone ausgehen, aber dabei alle nachfolgenden modificiren, um immer in allen Tonarten dieselben Verhältnisse aufrecht zu erhalten und auf diese Weise stets den Gesetzen der Harmonie zu gehorchen. Das beständige Moduliren, worin wir ja den Reiz und die Kraft unserer Musik suchen und finden, bringt als nothwendige Folge mit sich eine grosse Zahl von Tönen, von denen sich viele zwar nahe stehen, aber nicht vollständig zusammenfallen. Die ausübende Musik war nicht in der Lage, allen diesen Anforderungen zu genügen. Dadurch entwickelte sich gegen Ende des 17. und Anfang des 18. Jahrhunderts das Bedürfniss, von den strengen mathematischen Consequenzen etwas zu opfern, Töne, die beinahe gleich sind, für ganz gleich anzusehen, und auf diese Weise an die Stelle der vollkommen reinen Musik eine ungefähre zu stellen, um nur die Ausführung wesentlich zu erleichtern. So entstanden die verschiedenen temperirten Tonsysteme, von denen das von Joh. Seb. Bach ausgedachte, gleichmässig temperirte das einfachste und entschieden das beste war. In seinem wohltemperirten Clavier hat Bach durch eine Reihe herrlicher Praeludien und Fugen gezeigt, dass sein System sich an alle Tonarten gleichmässig anpasst, und hat sich dadurch den Erfolg gesichert. Seit der Mitte des 18. Jahrhunderts wird beinahe ausschliesslich nur temperirte Musik gemacht, obwohl die Composition sich auf einer viel strengeren Basis erhalten hat.

„Es lässt sich nicht leugnen, dass die wohltemperirte Tonleiter zur Entwicklung der Blasinstrumente und ihrer Musik, sowie zur grossen Ueberhandnahme der Claviermusik wesentlich beigetragen hat. Aber es lässt sich auch nicht leugnen, dass die ausübende Musik eine ziemlich grobkörnige ist. Wir machen eigentlich eine schlechtere Musik, als sie unser Ohr verlangt. Dadurch, dass wir schon von Jugend an unser Ohr an die temperirte Scala gewöhnen, fällt es uns nicht so auf, dass die Musik eigentlich falsch klingt; aber wenn wir Gelegenheit haben, rein gestimmte Accorde zu hören, merken wir den Unterschied schnell. Gewisse Streichquartette, wo es eigentlich keine fixen Töne giebt, und alles nur vom Gehör abhängt, gebrauchen die reine Scala, vielleicht auch unbewusst. Und im a-capella-Gesang tritt dies auch ganz auffallend hervor.

„Helmholtz war meines Wissens der erste, der sich diese grosse Frage stellte, ob es nicht passend wäre, wieder zur reinen Scala zurückzukehren, und er beantwortete diese Frage mit einem entschiedenen Ja. Mit mir, als seinem Glaubensgenossen, beklagte er sich häufig und bitter, dass die Fuge so wenig weiter gehe. Ich theilte seine Unzufriedenheit; auch ich habe mich oft herumgeschlagen; aber die grosse Schwierigkeit liegt darin, dass diese Reform nicht von Seiten der wissenschaftlichen Denker, sondern auch von Seite der ausübenden Musiker ausgehen muss. Die Wissenschaft kann nur eines thun: die Aufmerksamkeit der Musiker auf diese Frage zu lenken und alles theoretisch vorzubereiten für den Fall, dass die ausübende Musik mit einer ähnlichen Aufforderung an sie herantritt. Aber die Reform muss von einem Compositeur ausgehen. Ich muss gestehen, dass ich einen Moment die Hoffnung hatte, R. Wagner dazu zu bereden. Er war in dieser, wie in so vielen anderen Fragen, sehr bewandert, wollte aber darauf nicht eingehen. Und jetzt muss ich ihm auch von seinem Standpunkte aus Recht geben. Ich glaube bestimmt, dass die Einführung der reinen

Stimmung einen ungeheuren Einfluss auf die Composition ausüben würde. Die Freude am reinen Wohlklang würde eine so grosse sein, dass die Composition wieder zur einfachen Melodie und Harmonie grossentheils zurückkehren würde. Welche Formen sie dabei annehmen würde, lässt sich nicht absehen, aber sie würde jedenfalls den Charakter einer Rückkehr annehmen von der allzu grossen Complication, die die moderne Musik angenommen hat.

„Als R. Wagner starb, sagte ich zu Helmholtz: wenn jetzt ein Compositeur käme mit einer inspirirten, aber einfacheren Musik, er risse die ganze Welt mit sich. Dieses Gefühl scheint sehr verbreitet gewesen zu sein. Denn als Mascagni mit seiner *Cavalleria rusticana* kam, feierte er einen nie dagewesenen Erfolg, der ihm leider den Kopf verdrehte und ihn unfähig machte, auf seiner Bahn weiter fortzuschreiten.

„Helmholtz war ein grosser Musikfreund und hatte für Beethoven und namentlich für R. Wagner eine grosse Bewunderung. Auch in dieser Beziehung gingen unsere Ansichten vollständig zusammen. Ich erzählte ihm meine persönlichen Beziehungen mit Wagner, und waren wir genau derselben Meinung über den hohen Werth seiner Tondichtungen. Für die Nibelungen-Trilogie hatte er die grösste Bewunderung und er betrachtete sie als das höchste, was das musikalische Genie je geschaffen hatte. Weniger bewunderte er Tristan und Isolde, welche ihm etwas gar zu stark mit Schopenhauer'scher Philosophie versetzt schienen. Ich muss gestehen, dass ich ihm auch hierin vollkommen beistimme.“

Nachdem Helmholtz durch seine experimentellen Untersuchungen über die Klangfarbe zu dem sicheren Ergebniss gelangt war, dass die Unterschiede in den Qualitäten des Klanges hauptsächlich von der Zahl und Stärke der harmonischen, den Grundton begleitenden Obertöne abhängen, wurde er mit Nothwendigkeit darauf geführt, die Formen

der elastischen Schwingungen zu untersuchen, die von verschiedenen tönenden Körpern ausgeführt werden. Er veröffentlichte die Resultate seiner Forschungen über die durch einen Geigenbogen hervorgebrachten Schwingungen der Saiten in den „Proceedings of the Glasgow Philosophical Society“ am 19. December 1860 unter dem Titel „On the motion of the strings of a violin“. Zunächst liess sich unmittelbar sehen, dass die durch den Bogen bewegte Saite nur in der Ebene schwingt, in welcher die Saite und die Haare des Bogens sich befinden. Indem er eine Saite eines schönen Instrumentes mit Amylum bepuderte und stark beleuchtete, ferner an einer durch einen Elektromagnet bewegten Stimmgabel, welche während vier Schwingungen der Saite eine Schwingung vollzog, das Objectivglas eines senkrecht gegen die Saite gerichteten, von ihm zur Feststellung der Schwingungsform der Violinsaiten construirten Vibrationsmikroskop befestigte, konnte er das Stärkekörnchen eine leuchtende Curve beschreiben sehen, deren horizontale Abscissen den Elongationen der Stimmgabel und deren verticale den Elongationen der Saite entsprachen. Man kann sich nun die Bewegung als aus zwei verschiedenen Schwingungsarten zusammengesetzt denken, deren erste in Bezug auf Grösse der Amplitude bei weitem überwiegt, und deren Periode der Periode des Grundtones der Saite entspricht, unabhängig von der Stelle, an der der Bogen angesetzt wird; die zweite schwächere Bewegung dagegen bringt nur ganz kleine Einschnitte in der Curve hervor, während ihre Schwingungsperiode einem der höheren Obertöne der Saite entspricht, wobei in allen Knotenpunkten des Obertones die Hauptbewegung allein erscheint. Die Versuche ergaben für die Hauptbewegung, dass jeder Punkt derselben erst mit einer constanten Geschwindigkeit in der einen Richtung vorwärts geht und dann mit einer anderen constanten Geschwindigkeit in die erste Lage zurückkehrt, woraus sich mit Beachtung des Umstandes, dass die Schwingungen einer

Saite in einer Ebene vor sich gehen, mit Hülfe der Fourierschen Reihe der analytische Ausdruck der Elongation eines jeden Punktes als Function der Entfernung des Punktes von einem Ende der Saite und der Zeit angeben lässt. Mit dieser Hauptschwingungsform setzen sich nun kleinere Schwingungsformen zusammen, deren Art sich in genau derselben Weise ausdrücken lässt, wenn der Bogen einen Punkt berührt, dessen Entfernung vom nächsten Ende der Saite der reciproke Werth einer ganzen Zahl von der Gesamtlänge der Saite ist; in diesem Falle werden, den Untersuchungen von Young für die Saite einer Harfe analog, die Obertöne, welche Multiplen jener ganzen Zahl entsprechen, nicht gehört, obgleich das Ohr sehr wohl alle anderen Obertöne unterscheidet. Aus der Zusammensetzung jener Ausdrücke folgert Helmholtz durch einfache analytische Betrachtungen, dass bei der Bewegung der Saite der Fusspunkt der Abscisse ihres Gipfels mit constanter Geschwindigkeit auf der Linie der Gleichgewichtslage hin und her eilt, während der Gipfelpunkt selbst zwei durch die Endpunkte der Saite gehende, oberhalb und unterhalb der Gleichgewichtslage verlaufende parabolische Bögen beschreibt, und die Saite selbst in den beiden geraden Linien ausgespannt ist, welche je einen Punkt der parabolischen Bögen mit den Enden der Saite verbinden.

Ein arbeitsvolles und mit den reichsten wissenschaftlichen Funden gesegnetes Jahr lag hinter ihm; trotzdem war der Rückblick auf diese Zeit ein trauriger. Die Weihnachtstage des Jahres 1859 waren die Tage des Todeskampfes der von ihm so geliebten Frau gewesen, die ihn von dem einfachen Assistenzarzt in Potsdam zu dem berühmtesten Physiologen und Physiker seiner Zeit hatte emporsteigen sehen, und die mit der aufopferndsten Liebe und der sinnigsten Anmuth sein Haus zu verschönern und sein Gemüthsleben immer inniger zu gestalten wusste. Und nun fanden ihn die Weihnachtstage des Jahres 1860 körper-

lich matt, geistig überarbeitet, sein inneres Seelenleben verödet. Trotz aller Liebe und Aufopferung seiner Schwiegermutter musste er sich sagen, dass den beiden noch jungen Kindern die Erziehung nicht zu Theil werden könne, wie er und seine Frau sie einst geplant, dass vor allem sein von den weitesten Interessen für Wissenschaft und Kunst erfüllter Geist, welcher selbst bei seinen Schöpfungen abstractester Natur der Anmuth und Aesthetik nicht ent-rathen konnte, in Gefahr komme zu vertrocknen und damit auch jene so bewunderte Fruchtbarkeit und Productivität zu verlieren, die ihn über alle Naturforscher jener Zeit erhob.

Am 13. Februar 1861 schreibt Helmholtz an W. Thomson:

„.... Ich musste deshalb ernstlich daran denken, eine andere Ordnung der Dinge herbeizuführen, und sollte dies einmal geschehen, so war es für alle Betheiligten am besten, es bald zu thun. Schliesslich ist es schneller gekommen, als ich selbst vermuthet hatte, denn wenn die Liebe erst einmal Erlaubniss erhalten hat, aufzukeimen, fragt sie nachher die Vernunft nicht mehr, wie schnell sie wachsen darf. Meine Braut ist ein reich begabtes, gegen mich verhältnissmässig junges Mädchen, und wird, denke ich, zu den Heidelberger Schönheiten gerechnet. Sie hat sehr schnellen Verstand und Witz, ist sehr gewandt in der Gesellschaft, da sie einen grossen Theil ihrer Erziehung in Paris und London unter Leitung einer englischen Dame, der Gemahlin ihres Onkels Mohl, der Professor der Persischen Sprache am Collège de France in Paris ist, erhalten hat. Sie spricht deshalb geläufig französisch, und ist in der englischen Sprache mir entschieden überlegen. Uebrigens hat ihre fashionable Erziehung ihrem ruhigen, guten und reinen Wesen keinen Eintrag gethan.“

Herzlich sind die Glückwünsche der alten Freunde:

„Möge das Glück an Dir nachholen, was es Dir schuldig geworden ist, und mögest Du das herzkränkende Leid ver-

gessen lernen, mit dem Du vor uns Allen heimgesucht worden bist“, schreibt ihm du Bois am 26. Februar 1861.

Sein treuer Freund Brücke am 9. März:

„Möge es Dir gelingen, empirisch nachzuweisen, dass nicht nur die körperlichen, sondern auch die geistigen Eigenschaften der Menschen sich von Geschlecht zu Geschlecht fortpflanzen, dann wird aus der Vermischung des Blutes Helmholtz mit dem Blute Mohl eine Nachkommenschaft erwachsen, welche die Welt mit Staunen und Bewunderung erfüllt.“

Aber du Bois begehrt Näheres zu wissen, das Schicksal Helmholtz' liegt ihm sehr am Herzen.

„Meine Braut“, antwortet ihm Helmholtz am 2. März 1861, „ist die Tochter Robert v. Mohl's; sie war mir von Anfang an in Heidelberg als ein sehr aufgewecktes Mädchen aufgefallen, ich war aber wenig mit ihr zusammengekommen. Sie war auch lange abwesend in Paris, im Hause ihres Onkels Julius v. Mohl, des Professors der persischen Sprache am Collège de France. Dessen Frau ist eine Engländerin und hat meine Braut mehrere Male auf längere Zeit bei sich gehabt in Paris und in England, und hat ihr ein gut Theil von den besseren Seiten der englischen und französischen Sitte und Bildung beigebracht. Ich muss sagen, dass ich im vorigen Sommer Anna v. Mohl noch mehr vermieden als gesucht habe, weil ich fühlte, dass ein Mädchen ihrer Art für mich gefährlich sein würde, und ich mir eigentlich nicht einbildete, als Wittwer mit zwei Kindern, und über das Jünglingsalter weit hinaus, noch um die Hand einer viel jüngeren Dame werben zu dürfen, die alle Eigenschaften hatte, um in der Gesellschaft eine hervorragende Rolle zu spielen. Nachher hat sich's schnell gemacht, und ich sehe jetzt mit neuen glücklichen Aussichten der Zukunft entgegen. Zu Pfingsten soll Hochzeit sein.“

In den Osterferien ging Helmholtz nach England, um zwei Vorlesungen über die physiologische Theorie der Musik

zu halten, musste jedoch noch ohne jegliche Vorbereitung einen dritten Vortrag übernehmen, da B. Jones und Faraday darauf bestanden, dass er sich noch zu einer Abendvorlesung über Erhaltung der Kraft entschliesse. In diesem am 12. April 1861 gehaltenen Vortrage „On the Application of the Law of the Conservation of Force to Organic Nature“ giebt er, ähnlich wie in seinen früheren Vorlesungen, zunächst eine Darstellung des Principes der Erhaltung der Kraft, welches er, weil dasselbe keine Beziehungen zu der Intensität der Kraft hat, mit Rankine lieber das Princip von der Erhaltung der Energie genannt wissen will, und das er als den wichtigsten Fortschritt der Naturphilosophie im vorigen Jahrhundert bezeichnet, weil es alle Gesetze der Physik und Chemie umschliesst. Nun aber geht er zu der Anwendung dieses Principes auf organische Wesen über; er weist, darauf hin, dass die Fortdauer des Lebens an die fortdauernde Aufnahme von Nahrungsmitteln gebunden ist, welche, nachdem sie nach vollendeter Verdauung in die Blutmasse übergegangen sind, in den Lungen einer langsamen Verbrennung unterworfen werden und schliesslich fast ganz in dieselben Verbindungen mit dem Sauerstoff der Luft übergehen, welche bei einer Verbrennung in offenem Feuer entstehen würden. Da nun die Quantität der durch Verbrennung erzeugten Wärme unabhängig ist von der Dauer der Verbrennung und den Zwischenstufen, in denen sie erfolgt, so kann man auch aus der Masse des verbrauchten Materials berechnen, wie viel Wärme oder dieser äquivalente Arbeit von einem Thierkörper erzeugt werden kann, Versuche, die jedoch mit grossen Schwierigkeiten verbunden sind. Bei Gelegenheit der später von ihm erbetenen Beurtheilung einer wissenschaftlichen Arbeit hebt er hervor, dass die Schwierigkeiten, die sich dem praktisch sehr schwer zu behandelnden physiologischen Problem von fundamentaler Bedeutung entgegenstellen, nämlich der Frage nach der Wärmeproduction im thierischen Körper und ihrem Zusammenhange mit dem

Stoffwechsel, hauptsächlich dadurch bedingt sind, dass die zu messende Wärme nicht plötzlich, sondern nur im Laufe von Stunden zur Entwicklung kommt, also auch nicht annähernd in einem Apparat zusammengehalten werden kann, dass ausserdem ein grosses Luftquantum durch einen solchen Apparat geleitet werden muss, welches einen guten Theil der erzeugten Wärme mit sich fortnimmt, abgesehen von der durch die nothwendige Grösse des Apparates bedingten Vermehrung der Arbeit. Aber innerhalb der erreichbaren Grenzen zeigen die Versuche, dass die im Thierkörper wirklich erzeugte Wärme der durch die chemischen Prozesse zu liefernden entspricht. So weiss er es verständlich zu machen, dass der Thierkörper sich durch die Art, wie er Wärme und Kraft gewinnt, nicht von der Dampfmaschine unterscheidet, wohl aber durch die Zwecke und die Art und Weise, zu welchen und in welchen er die gewonnene Kraft weiter benutzt. Er hebt zum Schlusse seiner Vorlesung hervor, wie durch alle diese Untersuchungen die Hypothese von der Lebenskraft allmählich ganz verdrängt worden sei, und endet mit der Betrachtung, dass die jetzige wissenschaftliche Jugend, welche die wahren Gründe für alle diese Prozesse zu ermitteln sucht, einen Unterschied chemischer und mechanischer Arbeit in dem lebenden Körper und ausserhalb desselben gar nicht mehr kennt. Das Gesetz von der Erhaltung der Energie zeigt den Weg, auf welchem diese fundamentalen Fragen, welche so viele theoretische Speculationen verursacht haben, durch Versuche wirklich und vollständig gelöst werden können.

Am 16. Mai 1861 fand die Hochzeit von Helmholtz mit Fräulein Anna von Mohl statt.

„Es haben sich gerade die nächsten Freunde von Helmholtz“, schreibt die Schwester seiner verstorbenen Frau, „damals nicht darein finden können, dass er schon nach einem Jahre eine neue Ehe schloss. Nach dem idealen Glück der ersten erschien ein solcher Schritt so bald nahezu

unfassbar. Es geschah ihm Unrecht. Er hatte seine Frau nicht erst mit ihrem leiblichen Tode verloren — sie war neben ihm erloschen, dem furchtbaren Charakter ihrer Krankheit gemäss. Während des letzten Jahres derselben schon starb ihr inneres Leben Schritt für Schritt, ihre Interessen, ihre Antheilnahme erlahmten. Nur im Tode war sie wieder auf ihrer alten geistigen und moralischen Höhe. So war Helmholtz lange schon ein einsamer Mann, als sie schied, und der Blick in die Zukunft, mit zwei kleinen Kindern und deren Grossmutter, die trotz aller Hingabe und Opferfreudigkeit doch eben eine ältere Frau war, sehr trübe. Für ihn, der an die regste geistige Gemeinschaft gewöhnt war, ganz unmöglich. Er wählte die Frau, die ganz seinem Bedürfniss entsprach. Sehr bedeutend, talentvoll, mit weitem Blick und hohen Aspirationen, weltgewandt und erzogen in einer Sphäre, welche Intelligenz und Charakter gleichwerthig entwickelt hatte, war Anna von Mohl ihm bis an seinen Tod eine bewundernswerthe Genossin, war ihr Urtheil ihm stets eine Autorität.“
