

In der oben erwähnten Arbeit, die auch im folgenden Jahre im Philosophical Magazine unter dem Titel „On the Regelation of Ice“ erschien, bestätigte Helmholtz durch Versuche die von James Thomson gegebene Erklärung für das Phänomen der [Regelation des Eises von Null Grad, wonach zwei Eisstücke beim Aneinanderpressen zusammenfriren und sich fest vereinigen. Er weist nach, dass bei gesteigertem Druck eine Erniedrigung des Gefrierpunktes eintritt, und hebt Faraday gegenüber hervor, dass bei dieser Erscheinung die Zeit wesentlich zu berücksichtigen ist; er zeigt durch zahlreiche Versuche, dass unter starkem Drucke zwei Eisstücke durch das an ihrer Berührungsfläche gefrierende Wasser unter Umständen in ein zusammenhängendes Stück Eis vereinigt werden können, während man bei schwächerem Drucke länger warten muss, und die Stücke nachher desto leichter wieder zu lösen sind. Er findet die Plasticität des Eises am ausgezeichnetsten in Eis, welches durch hohen Druck aus Schnee zusammengepresst ist, während regelmässig krystallinisches Eis zwar auch durch Regelation vereinigt werden kann, dann aber nur eine Zusammensetzung unregelmässiger Stücke bildet.

Indem er nun die Anwendung dieser Beobachtungen auf die Gletscher macht, kann er auf Grund seiner Versuche die bekannte und nie genügend begründete Erscheinung erklären, dass das Eis im Gletscher gleich einer zähflüssigen Masse fliesst. Die Eismasse des Gletschers ist nämlich überall von Wasseräderchen durchrieselt und hat deshalb in ihrem Inneren überall die Temperatur des Gefrierpunktes, da bei niedrigerer Temperatur das Wasser erstarren, bei höherer das Eis schmelzen müsste. Nun wird aber ein Gemisch von Eis und Wasser kälter und kälter, je grösser der Druck ist, der auf demselben lastet; da keine Wärme entzogen wird, muss daher freie Wärme latent werden und es muss Eis in dem Gemische schmelzen. Bei dem Druck, den die Gletschermassen ausüben und bei

dem das Wasser durch die Spalten entweicht, wird somit, wie Helmholtz meinte, das gepresste Eis, entsprechend der Erniedrigung seines Gefrierpunktes durch den Druck — indem der Gefrierpunkt des nicht zusammengepressten Wassers nicht erniedrigt wird — Eis geben, welches kälter als 0° in Berührung mit Wasser von der Temperatur von 0° ist. Es wird daher fortdauernd ringsum das gepresste Eiswasser frieren und neues Eis bilden, während dafür ein Theil des gepressten Eises fortschmilzt und das Eis selbst somit wie eine zäh-flüssige Masse sich bewegt.

Bemerkenswerth ist noch die in seinem öffentlichen Vortrage „Eis und Gletscher“ gegebene Erklärung der bis dahin vollkommen dunkeln und missverstandenen Föhnerscheinungen, welche jetzt die Grundlage der gesammten Lehre von den Niederschlägen bildet. Wird die warme Luft des Mittelmeeres durch den Südwind nach Norden getrieben, so wird ein Theil derselben gezwungen, zur Höhe des grossen Gebirgswalles der Alpen hinaufzusteigen. Sie wird sich hierbei entsprechend dem geringeren Luftdruck etwa um die Hälfte ihres Volumens ausdehnen; sehr beträchtlich abkühlen und gleichzeitig den grösseren Theil ihrer Feuchtigkeit als Regen oder Schnee absetzen. Kommt nun dieselbe Luft nachher auf der Nordseite des Gebirges als Föhnwind wieder in die Thäler und Ebenen hinab, so wird sie wieder verdichtet und erwärmt sich auch wieder; derselbe Luftstrom also, der in den Ebenen diesseits und jenseits des Gebirges warm ist, kann auf der Höhe schneidend kalt sein und dort Schnee absetzen, während wir ihn in der Ebene unerträglich heiss finden.

Das Jahr 1865 führte in den häuslichen Verhältnissen von Helmholtz dadurch eine Veränderung herbei, dass seine Schwiegermutter, Frau von Velten, dauernd nach Dahlem übersiedelte, von wo aus sie in der langen Zeit bis zu ihrem Tode im Jahre 1881 nur noch einmal 1874 zum Besuche

ihrer damals schon verheiratheten Enkelin Käthe nach Heidelberg kam.

In den Herbstferien besuchte Helmholtz wie gewöhnlich wieder die Schweiz, wo lange und schwierige Touren ihn körperlich und geistig kräftigten — aber sehr bald riefen trübe und schmerzliche Nachrichten über das Befinden seines Sohnes Robert ihn nach Heidelberg zurück. Freilich suchte ihn seine Frau wieder so lange als möglich von Hause fern zu halten:

„. . . Geniesse nur Deine Reise so recht von Grund aus und kurire Dein armes Haupt, lieber Hermann, damit wir Beide wenigstens frisch und kräftig sind, wenn wieder neue Krankheit uns bedrohen sollte. Den Muth müssen wir uns ja erhalten, wie sollte man sonst durchkommen. . . . Glaube nicht, dass ich mich im Jammer verzehre, ich suche mich aufrecht und heiter zu halten und meine Muthlosigkeit vertreibe ich mir stets, wenn ich an Dich und Deine Abneigung gegen alle Uebertreibungen denke . . .“

Aber Helmholtz macht sich nach den Diagnosen der Aerzte nicht länger Illusionen über das Leiden seines Kindes und kehrt von Genf aus direct nach Hause zurück, indem er sich nur einige Stunden in Freiburg aufhält, um sich wieder an den Klängen der schon vor vielen Jahren von ihm so bewunderten Orgel zu erfreuen:

„Die Orgel ist nun wirklich merkwürdig, für einen Akustiker wohl noch mehr als für einen Musiker. Ich muss sagen, dass ich bisher noch keine Ahnung von den Effecten eines solchen Instrumentes gehabt habe, in Bezug auf die Masse und Gewalt sowohl wie auf die Mannigfaltigkeit der Klangfarbe.“

Die dritte Abtheilung der physiologischen Optik sollte nun im nächsten Jahre 1866 erscheinen, und Helmholtz war Eile in der Publicirung dieses letzten Theiles derselben aufgezwungen, damit nicht wieder eine grosse Fülle neuer Resultate anderer Forscher, welche sich seinen

Arbeiten anschlossen, wie in den beiden ersten, gesondert ausgegebenen Abtheilungen, unberücksichtigt bliebe, wie denn überhaupt sich grosse Misstände daraus ergaben, dass das Werk als ein Theil der von Karsten herausgegebenen „Allgemeinen Encyclopädie der Physik“ erschien.

„Ich öffne“, schreibt ihm du Bois, „nie Deine Optik, ohne mich zu ärgern, dass Du Dich damals von dem todtgeborenen Karsten'schen Unternehmen bemuttern liessest, wodurch {das Buch erstlich so sehr {an Verbreitung eingebüsst hat, zweitens Dir eine Form aufgedrungen worden ist, die das Verständniss und die Uebersichtlichkeit nicht gerade erleichtert. Die colossalen Seiten des engsten Druckes, auf denen die schwersten Sachen stehen, geben gar keinen Ruhepunkt, und wenn Du etwas schreibst, ist ja gar kein Grund, es klein zu drucken.“

Und erst, als dann das Werk als Handbuch der physiologischen Optik selbständig herausgegeben wurde, schreibt ihm du Bois am 25. April 1867:

„Das Buch wird jetzt erst den grösseren Theil seiner Wirkung entfalten, nun es frei und ungetheilt in den Buchhandel kommen wird. In meinem Laboratorium z. B. kannten es die jungen Leute, wie Rosenthal und Hermann, fast nicht, da es eben auch kein Buch ist, welches man in der Zeit durcharbeiten kann, für die man mit Anstand Bücher leiht.“

Es war für Helmholtz eine schwere Aufgabe, das sich inzwischen neu aufhäufende Material durcharbeiten und wenigstens noch für die dritte Abtheilung und die bis ins Einzelne gehende Literaturübersicht seines Werkes zu verwerthen.

„Wie schön muss doch der Zustand eines gelehrten Theologen, Juristen oder Historikers sein, der sein Leben lang immer neue Auflagen von demselben Buche mit kleinen Aenderungen machen kann, während wir armen Naturforscher eins nicht fertig schreiben können, ehe der Anfang

schon wieder veraltet ist“, klagt er Donders gegenüber; aber er erlahmt nicht. Die meisten bekannt gewordenen Thatsachen und Theorien werden einer kritischen Untersuchung unterzogen; er richtet dabei hauptsächlich auf die Punkte sein Augenmerk, welche für seine in der dritten Abtheilung zu bearbeitende Theorie der Gesichtswahrnehmungen und der Ausgestaltung seiner erkenntnistheoretischen Principien von Wichtigkeit werden, wobei ihm besonders die Erscheinungen von hohem Interesse sind, welche auf optischen Täuschungen beruhen. Für diese sowie für die Sinnestäuschungen überhaupt wollte Helmholtz nur die eine einfache Regel gelten lassen, dass wir stets solche Objecte vor uns zu sehen glauben, wie sie vorhanden sein müssten, um bei normaler Beobachtungsweise dieselben Netzhautbilder hervorzubringen — falsche Inductionsschlüsse, die Helmholtz unbewusste Schlüsse nennt.

In einem an Recklinghausen am 16. Mai 1865 gerichteten Briefe schreibt er:

„Ich muss gestehen, dass mir Ihre Erklärung der Erscheinungen, wenn ich sie richtig verstehe, einige bedenkliche Punkte zu enthalten scheint. Erstens nämlich scheint es mir überhaupt eine unwahrscheinliche — obgleich, wie ich zugebe, nicht widerlegbare — Annahme zu sein, dass wir unmittelbar die wirkliche Form des Netzhautbildes wahrnehmen sollten, so dass wir dessen etwaige Verzerrungen auf die Objecte übertrügen. Diese Annahme führt namentlich auch zu Widersprüchen gegen die scheinbaren Ausmessungen des Gesichtsfeldes, über die ich eine Reihe neuer Versuche angestellt habe. Dann sieht man die von Zöllner, Hering, Kundt beschriebenen Täuschungen auch, wenn man die Zeichnungen so weit vom Auge entfernt, dass ihr Netzhautbild kaum noch eine messbare Flächenkrümmung haben kann. Ich finde nicht einmal, dass die Täuschung durch Verkleinerung schwächer, durch Annäherung und dadurch bedingte Vergrößerung grösser werde, so lange man

nur überhaupt noch alle Linien der Zeichnung erkennen kann. Bei der Zöllner'schen Figur und einigen entsprechenden Mustern von Hering finde ich aber einen merkwürdigen Einfluss der Bewegung des Auges. Fest fixirt verlieren sie für mich ihr täuschendes Aussehen oft gänzlich, während es durch Bewegung verstärkt wird, am meisten, wenn man horizontal quer über die Zöllner'sche Figur mit mässiger Geschwindigkeit eine Nadelspitze führt und dieser mit dem Blicke genau folgt. Dann treten sonderbare Scheinbewegungen der Streifen auf, die einen nach aufwärts, die anderen nach abwärts. Diese scheinen mir zur Erklärung der durch Bewegung bedingten Verstärkung der Täuschung zu führen. Die vollständige Erklärung lässt sich freilich erst im Zusammenhange des Ganzen geben.“

So verwendet er nun das ganze Jahr 1865 auf die Fertigstellung der dritten Abtheilung seiner physiologischen Optik, eine riesengrosse Arbeit, die seine Gesundheit arg erschüttert. Fortwährende Migräneanfälle zwingen ihn, in den Herbstferien drei Wochen in Engelberg Molken zu trinken; eine scharfe Fusstour um den Montblanc herum lässt freilich die Anfälle etwas schwächer und seltener als früher wiederkehren, aber die Fortsetzung jener Arbeit, besonders in ihrem erkenntnisstheoretischen Theile, greift seine Gesundheit von Neuem bedenklich an, „die Anfälle machen immer noch jede Beschäftigung unmöglich, jeder Anfall raubt mir 24 Stunden Arbeitszeit“.

Sein Befinden zwang ihn, sich auch noch in den folgenden Osterferien eine vierzehntägige Erholung zu gönnen, und er reiste nach Paris, wo er bei dem Onkel seiner Frau, dem berühmten Orientalisten Julius von Mohl gastliche und liebevolle Aufnahme fand. Eine kurze Unterbrechung der Reise dorthin war wieder der Besichtigung von Strassburg gewidmet, wo er die Galerie des Thurmes der Cathedrale bestieg und sich an den kühnen Steinconstructions erfreute, „ich habe auch des alten Ulrich's

Räthsel wegen des Vierecks und Achtecks mir angesehen, die Lösung ist äusserst einfach“. Es verging in Paris der erste Abend im Mohl'schen Hause „in Frieden und hoffentlich gegenseitigem Wohlgefallen“. Sehr interessante und ausführliche Berichte über die Erlebnisse eines jeden Tages bringen die an seine Frau gerichteten Briefe, welche Paris und alle hervorragenden Persönlichkeiten durch den längeren Aufenthalt bei ihrer Tante genau kannte.

„... Um 11 Uhr musste ich zurück sein für ein Frühstück mit Mr. Hermite und dem Mathematiker Professor Smith aus Oxford. Dabei kam zur Sprache, dass man mich habe nach Oxford berufen wollen als Professor der Physik. Sie haben aber nicht mehr Gehalt zusammenbringen können als 700 £, was zwar mehr ist, als wir in Heidelberg haben, aber kaum genug, um in England mit derselben Behaglichkeit zu leben... Ich finde es also ganz in der Ordnung, dass Herr Professor Max Müller erklärt hat, er könne ihnen bestimmt sagen, ich würde daraufhin nicht kommen... Mr. Hermite war gegen mich sehr schmeichelhaft und introducirte auch noch Mr. Grandeau, um mich zu begrüßen und nach der Ecole normale zu führen, wo mich auch der dortige Chemiker St. Claire Deville, eine heranwachsende Grösse ersten Ranges, sehr herzlich empfing. Dieser führte mich herum im physikalischen Cabinet, wobei wir durch eine Classe passiren mussten, in der eine Lehrstunde (Physik) war, ich wurde den Schülern vorgestellt und mit Beifallklatschen entlassen, weil sie — angeblich wenigstens — in meinen akustischen Theorien alle sehr wohl unterrichtet sein sollten...“

Grandeau und Laugel führten mich zu dem ersten Orgelbauer Cavallié-Col, dessen Atelier wir erst besahen und mit dem wir dann in die Kirche St. Sulpice gingen, um die grösste von ihm gebaute Orgel Europas zu besichtigen, was aber wegen des Gottesdienstes nur sehr unvollkommen geschehen konnte; heute Nachmittag soll es genauer ge-

schehen. Es interessirte mich sehr, was ich sah; Herr Cavallié, der sich vom Arbeiter zum ersten Meister heraufgearbeitet hat, ist ein sehr intelligenter und erfinderischer Kopf . . . Im Concert des Conservatoire hatten wir eine Symphonie von Haydn, ein Stück aus Beethoven's Ballet Prometheus und die ganze Musik zum Sommernachtstraum, ausserdem ein Chor von Bach und Allelujah von Händel. Die Chöre hört man in Deutschland besser, aber die Vollendung des Orchesters ist allerdings einzig in ihrer Art. Die Oboen tändelten in der Haydn'schen Symphonie wie ein leichter Zephyrhauch; alles so rein im Accord, namentlich die ersten hochliegenden Accorde von Mendelssohn's Ouvèrtüre, mit denen es nachher wieder schliesst, die immer so falsch zu klingen pflegen, waren goldrein. Das Stück Prometheus war der wunderbarste harmonische Wohlklang mit vorwiegenden Hörnern. Dieses Concert war neben der Venus von Milo der zweite Genuss reinster Schönheit, der ein Lebensereigniss bildet . . . Ich fuhr mit Herrn Cavallié und Bussy in die Wohnung eines Harmoniumfabrikanten Mustel, welcher mir seine neuesten Erfindungen, namentlich auch ein Stimmgabelclavier mit aushaltenden Tönen vorzeigen wollte. Dasselbe bestätigte meine theoretische Voraussetzung und machte keinen besonderen Effect, welches Factum aber für meine Theorie von Wichtigkeit ist. Die Fortschritte in der Construction des Harmoniums waren sehr bedeutend, namentlich hatte er ein sehr vollkommenes und leicht ansprechendes Piano erreicht und allerlei zweckmässige Aenderungen im Mechanismus, um die Oberstimmen hervorzuheben u. s. w. Ich habe diese Gelegenheit benutzt, um für die reine Stimmung der Orgeln zu predigen, und Herr Cavallié schien auch geneigt, den Versuch zu machen . . . Am Mittwoch war ich zuerst in der Vorlesung von Mr. Regnault am Collège de France. Ich hoffte ihn experimentiren zu sehen, er ist einer der berühmtesten Experimentatoren, das that er aber nicht; er zeigte mir

seine Instrumente, eine in der Geschichte der Physik sehr berühmte Sammlung . . .

Ich begab mich nach der Ecole normale, wo mich Herr Grandeau und Deville hinbestellt hatten, um Versuche des letzteren und Instrumente von Herrn König zu sehen. Zu meinem Erstaunen erschien auch noch der Minister des Unterrichts Mr. Duruy mit einem seiner Rätthe, und es wurde von mir verlangt, dass ich ihm einen Vortrag über die Analyse der Vocaltöne halten sollte, was ich auch that . . .“

Aus Paris zurückgekehrt, ging er sogleich wieder an die Fertigstellung seiner physiologischen Optik, wurde aber durch die Wirren in Süddeutschland, welche der Krieg zwischen Preussen und Oesterreich mit sich brachte, in der stetigen und so überaus schwierigen Arbeit vielfach gestört und gehindert. Als Preusse von Geburt und mit ganzer Seele seinem engeren Vaterlande zugethan, musste ihm die Lage, in die gerade Baden durch die eigenthümliche Verwickelung der Verhältnisse gerathen war, sehr zu Herzen gehen. Er huldigte nie Extremen in religiösen und politischen Dingen; wie er durch Erziehung und Ueberzeugung stets im edelsten Sinne religiös, nie im orthodoxen Sinne kirchlich gewesen, so war er, wenn er sich auch nie in seinem Leben activ an der Politik betheiligt hat, doch schon von Jugend auf durch die Tradition im elterlichen Hause und durch ruhige und klare Wägung der Verhältnisse ein im besten Sinne liberal denkender Mann, der sich von reactionären Gelüsten und radicalen Strömungen fern hielt. Ueber die politischen Anschauungen, welche den jugendlichen Helmholtz in der grossen und sturmbewegten Zeit der Jahre 1848 und 1849 beherrschten, liegen uns briefliche Andeutungen nicht vor; die Nähe seines Vaters gestattete einen mündlichen Gedankenaustausch über die Fragen der Politik mit dem alten Freiheitskämpfer, und seine Stellung als Militärarzt musste ihm selbstverständlich die grösste

Zurückhaltung in den Briefen an seine Freunde auferlegen. Aber sein jugendlicher Sinn, begeistert für alles Edle und Gute, war doch damals tief ergriffen von dem Ringen der Nation um politische Freiheit und Einheit.

„Ich weiss in unverwischlicher Deutlichkeit“, schreibt seine Schwägerin, „dass ihn damals eine für das Gleichmaass seiner Natur geradezu leidenschaftliche Antheilnahme beherrschte. Die Tage nach dem 18. März fanden ihn in einer fast stürmischen Begeisterung, und ein kleiner Zug illustriert das Gesagte sprechend. Er kam an einem jener Tage direct von Berlin zu uns, und als ich ihm meinen vierzehn Tage alten Jungen zum ersten Male zeigte, zog er strahlend aus der Westentasche eine schwarz-roth-goldene Cocarde, heftete sie dem Kinde an die kleine Mütze und gratulirte der „Bürgerin Mutter zu ihrem in Freiheit Erstgeborenen“. Der hübsche Scherz war ein beredtes Symptom für die in ihm arbeitende, leidenschaftliche Theilnahme an dem erwachenden Bewusstsein der Nation. Er verfolgte später die Debatten in der Paulskirche, die traurige Ausartung der Bewegung und endlich ihr Versumpfen und Versanden mit dem Antheil des Herzens und Charakters.“

So stand er nun auch in den Wirren des Jahres 1866 begeistert für die Einheit und Freiheit Deutschlands ganz auf Seiten Preussens, denn er sah dort das Kräftecentrum, nach dem alles gravitiren musste, um sich nach aussen im Gleichgewicht zu halten — und er hat sich auch darin nicht getäuscht.

Aber auch seine Frau, die von Geburt Süddeutsche, tritt mit Begeisterung auf die Seite Preussens:

„. . . Hier ist jeder anständige Mensch“, schreibt sie am 12. Juli ihrer Mutter, „preussisch seit diesem französischen Bündniss Oesterreichs. Ich habe Häusser heute gesehen und gesprochen, leider sehr verändert äusserlich, aber so lebhaft als je und Gottlob ganz unserer Meinung.“

Wäre er nicht krank, so wäre manches klare gute Wort auf unsere wirren Geister gefallen . . .“

Als sich nun alles rascher, als man vermuthet, den Herzenswünschen von Helmholtz gemäss gestaltete, da ging er mit frischem Muth und rüstiger Kraft an die begonnene grosse Arbeit über die Gesichtswahrnehmungen in seinen physiologisch-optischen Untersuchungen.

„Es musste am Ende der Versuch gemacht werden, Ordnung und Zusammenhang in dieses Gebiet hineinzubringen und es von den auffälligen Widersprüchen zu befreien, die sich bis jetzt durch dasselbe hinzogen. Ich habe dies gethan in der Ueberzeugung, dass Ordnung und Zusammenhang, selbst wenn sie auf ein unhaltbares Princip gegründet sein sollten, besser sind als Widersprüche und Zusammenhanglosigkeit. Ich habe deshalb das Princip der empiristischen Theorie, von dem ich mich immer mehr überzeugt habe, je länger ich arbeitete, dass es das einzige ist, welches ohne Widersprüche durch das Labyrinth der gegenwärtig bekannten Thatsachen hindurchführt, zum Leitfaden genommen.“ So schloss er mit der dritten Abtheilung im Jahre 1866 das Handbuch der physiologischen Optik ab, von dem du Bois sagt:

„Jenes umfangreiche, einheitliche, doch auf das Feinste gegliederte Werk, in dem er diesen Zweig der Physiologie systematisch und literargeschichtlich in grösster Vollständigkeit darstellt, von den mathematischen Anfangsgründen der theoretischen Optik bis zu den letzten erkenntnistheoretischen und ästhetischen Gesichtspunkten; keine wissenschaftliche Literatur irgend einer Nation besitzt ein Buch, welches diesem an die Seite gestellt werden kann, nur ein zweites Werk von Helmholtz selber kann daneben genannt werden, die Lehre von den Tonempfindungen.“

Der Weg, auf welchem Helmholtz zu seinem Systeme der Erkenntnistheorie gelangte, führte hin auf dem Unterbau seiner psycho-physiologischen und geometrischen For-

schaften, von denen die letzteren jedoch erst einen methodischen Gang annahmen, als er seine physiologisch-optischen und akustischen Studien beendet und die tiefen Untersuchungen über die Axiome der Geometrie und Mechanik begonnen hatte. Ein in sich abgeschlossenes System seiner Philosophie gab er erst in seiner berühmten Rede zur Stiftungsfeier der Berliner Universität „Ueber die Thatsachen der Wahrnehmung“.

Wir haben es hier also zunächst nur mit der Begründung seiner erkenntnistheoretischen Anschauungen zu thun, wie sie sich in ihm schon unmittelbar nach der Veröffentlichung seiner Schrift über die Erhaltung der Kraft entwickelt hatten, und zu denen ihn alle seine Untersuchungen über Sinnesempfindungen und Sinneswahrnehmungen hindehrängten, welche er stets als die Basis für den Aufbau seiner Philosophie betrachtet hat. In der dritten Abtheilung seiner physiologischen Optik schlägt er zum Zwecke der Darstellung den umgekehrten Weg ein. Nachdem er zunächst seine philosophischen Anschauungen entwickelt, suchte er bei der genauen Darlegung der Theorie der Gesichtswahrnehmungen für alle seine Untersuchungen und Erklärungsweisen über die Augenbewegungen, die Richtung des Sehens, die Wahrnehmung der Tiefendimensionen und das binoculare Doppelsehen — welche in den früher angeführten Einzelarbeiten bereits veröffentlicht, jetzt nur systematisch zusammengestellt und durch neue Versuche und tiefere theoretische Behandlung erweitert wurden — die Bestätigung und Uebereinstimmung mit der von ihm aufgestellten, consequent durchgeführten und bis an sein Ende aufrecht erhaltenen empiristischen Hypothese nachzuweisen. Die hier niedergelegten erkenntnistheoretischen Anschauungen, so weit sie auf physiologischer Basis entstanden sind, entwickelte er auch in leicht verständlicher Weise und in geradezu vollendeter Form in den für die Preussischen Jahrbücher im Jahre 1868 ausgearbeiteten, in Frankfurt und Heidelberg

gehaltenen Vorträgen „Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens“, während er die rein ästhetischen Folgerungen seiner optischen Untersuchungen, wie er es in dem Capitel über die Verwandtschaft der Klänge in seinen Tonempfindungen gethan, in meisterhafter Weise in den in Berlin, Düsseldorf und Cöln 1871 bis 1873 gehaltenen und unter dem Titel „Optisches über Malerei“ veröffentlichten Vorträgen ausführte.

Helmholtz sieht in einer richtigen Kritik der Erkenntnisquellen eine praktische und höchst wichtige Aufgabe der Philosophie, aber er ist weit davon entfernt, materialistischen Anschauungen zu huldigen und zu glauben, dass eine solche Kritik uns dazu führen wird, in das Wesen der Dinge an sich einzudringen; „der Beobachter mit taubem Ohr kennt die Schallschwingung nur, so lange sie sichtbar und fühlbar am schweren Stoffe haftet, sind unsere Sinne dem Leben gegenüber hierin dem tauben Ohre ähnlich?“

Nicht einmal in dem Widerstreit der realistischen und idealistischen Hypothese tritt er rückhaltlos auf die Seite der ersteren. Freilich ist die realistische Hypothese, da sie für die einer Handlung folgenden Veränderungen der Wahrnehmungen gar keinen psychischen Zusammenhang mit dem vorausgegangenen Willensimpuls voraussetzt, die einfachste und fruchtbarste als Grundlage für das Handeln; es kann selbst eine idealistische Anschauung das Gesetzliche in unserer Empfindung nicht anders ausdrücken, als dass die mit dem Charakter der Wahrnehmung auftretenden Bewusstseinsacte so verlaufen, als ob die Welt der stofflichen Dinge wirklich bestände — aber er spricht es doch unumwunden aus, dass neben der realistischen doch immer noch andere unwiderlegbare idealistische Hypothesen möglich bleiben; „ich sehe nicht ein, wie man ein System selbst des extremsten subjectiven Idealismus widerlegen könnte, welches das Leben als Traum betrachten wollte.“

Schon seine ersten optischen und akustischen Unter-

suchungen hatten ihn gelehrt, dass für unsere sinnlichen Wahrnehmungen ausser den Empfindungen des Nervenapparates noch eine eigenthümliche Seelenthätigkeit in Betracht kommt, um zu der Vorstellung des äusseren Objects zu gelangen, welches unsere Empfindung erregt hat. In seiner Kant-Rede hatte er bereits im Anschluss an Lotze die Empfindung unserer Sinnesnerven nur als Zeichen für gewisse äussere Objecte betrachtet und sah die richtigen Schlüsse von den Empfindungen auf die entsprechenden Objecte als durch Einübung entstanden an. Als wesentlich neues Moment trat aber aus seinen Untersuchungen über den blinden Fleck im Auge, die Obertöne u. s. w. die Erkenntniss des für alle unsere Sinneswahrnehmungen geltenden Gesetzes hinzu, dass wir auf unsere Sinnesempfindungen nur so weit achten, als sie uns die äusseren Objecte erkennen lassen, und dass wir erst bei der wissenschaftlichen Untersuchung unserer Sinnesthätigkeit diejenigen Empfindungen analysiren, welche nicht directen Bezug auf äussere Objecte haben. Und nun greift Helmholtz die schwierige Frage an, welche Art der Uebereinstimmung zwischen der Vorstellung und ihrem Objecte vorhanden sei, oder welche Art von Wahrheit wir unseren Vorstellungen und Perceptionen zuschreiben dürfen.

Wie die Empfindungen des Auges, Ohres, Tastgefühls unter einander so gänzlich verschieden sind, dass man zwischen denen verschiedener Sinne gar keine Vergleichung in Bezug auf Qualität oder Intensität anstellen kann, — man nennt diesen Unterschied den des Modus der Empfindung, während der Unterschied zwischen gleichartigen Empfindungen als der der Qualität bezeichnet wird —, so verhält es sich auch, wenn man Wahrnehmungen von Seelenzuständen, welche Kant einem besonderen Sinne, dem inneren Sinne oder der inneren Anschauung, zuschreibt, mit solchen des Auges und Ohres vergleichen wollte. Trotz noch mannigfacher anderer Unterschiede haben sie aber doch ein Gemeinsames darin, dass die Wahrnehmungen des inneren sowie der

äusseren Sinne sich durch eine fortdauernde Thätigkeit des Gedächtnisses der Zeitreihe einordnen, wodurch die Möglichkeit gegeben ist, regelmässige Wiederholungen solcher Zeitfolgen von gleichartigen Wahrnehmungen als solche zu beobachten und wiederzuerkennen. Wenn also auch die Qualitäten der Empfindung nur als blosser Form der Anschauung erkannt werden müssen, und die Empfindungen selbst nur Zeichen sind, deren besondere Art ganz von unserer Organisation abhängt, so sind sie doch Zeichen von etwas Bestehendem oder Geschehendem und bilden uns daher das Gesetz dieses Geschehens ab. Das Gesetzliche in der Erscheinung können wir also unzweideutig und als Thatsache finden. Nennt man daher Substanz das, was ohne Abhängigkeit von anderem gleich bleibt in allem Wechsel der Zeit, und nennt man dagegen das gleich bleibende Verhältniss zwischen veränderlichen Grössen das sie verbindende Gesetz, so können wir nur dieses direct wahrnehmen, während der Begriff der Substanz immer problematisch bleibt.

„Nur die Beziehungen der Zeit, des Raumes, der Gleichheit und die davon abgeleiteten der Zahl, der Grösse, der Gesetzlichkeit, kurz das Mathematische, sind der äusseren und inneren Welt gemeinsam, und in diesen kann in der That eine volle Uebereinstimmung der Vorstellungen mit den abgebildeten Dingen erstrebt werden.“

Von dieser philosophischen Grundlage aus geht er zur Entwicklung einer Theorie der Raumanschauung über, welche sich auf seinen physiologisch-optischen Grundanschauungen aufbaut. Der nativistischen Theorie der Raumanschauung von Johannes Müller stellt er seine empiristische Theorie des Sehens gegenüber; während sich nach ersterer die Netzhaut selbst in ihrer räumlichen Ausdehnung empfindet, diese Raumanschauung angeboren ist, und die von aussen her erregten Eindrücke nur an entsprechender Stelle in das räumliche Anschauungsbild des Organs von sich selbst eingetragen werden, geben nach Helmholtz's Ansicht unsere Sinnesempfin-

dungen uns überhaupt nichts weiter als Zeichen für die äusseren Dinge und Vorgänge, welche zu deuten wir durch Erfahrung und Uebung erst lernen müssen. Die Bedeutung der Localzeichen der Empfindung, welche dieselbe Farbe an verschiedenen Netzhautstellen erregt, für die Aussenwelt muss nach der empiristischen Theorie erst erlernt werden, während für die nativistische Theorie die Localzeichen nur eine unmittelbare Anschauung der Raumunterschiede ihrer Art und Grösse nach sind; die Theorie des Stereoskops, das Einfachsehen mit zwei Augen und eine grosse Reihe anderer optischer Erscheinungen geben eine „merkwürdige Bestätigung für die Voraussetzung der empiristischen Theorie, dass als örtlich getrennt im Allgemeinen nur solche Empfindungen angeschaut werden, die sich durch wirkliche Bewegung von einander trennen lassen“. Wir lernen die Bedeutung der Zeichen lesen, indem wir sie mit dem Erfolge unserer Bewegungen und den Veränderungen, die wir selbst durch diese in der Aussenwelt hervorbringen, vergleichen. Einen Unterschied zwischen den Schlüssen der Logiker und den Inductionsschlüssen, deren Resultat in den durch die Sinnesempfindungen gewonnenen Anschauungen der Aussenwelt zu Tage kommt, sieht Helmholtz nur darin, dass jene ersteren des Ausdrucks in Worten fähig sind, während letztere statt der Worte die Erinnerungsbilder der Empfindungen substituieren. Dieses Gebiet der Vorstellungsfähigkeit combinirt nur sinnliche Eindrücke, die des unmittelbaren Ausdrucks durch Worte nicht fähig sind, „wir nennen es im Deutschen das Kennen“.

Sein oben erwähnter Vortrag „Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens“ bietet zu dem Inhalte seiner physiologischen Optik dadurch noch mancherlei Ergänzungen, dass er einzelne allgemeine und interessante Bemerkungen, welche in dem grossen Werke unbemerkt geblieben wären, hier in übersichtlicher und geistvoller Form zusammenstellt.

Bei der Besprechung der Mängel des optischen Appa-

rates des Auges hebt er in Uebereinstimmung mit seiner empiristischen Auffassung hervor, „dass es nicht die mechanische Vollkommenheit der Sinneswerkzeuge ist, welche uns diese wunderbar treuen und genauen Eindrücke verschafft“, und nachdem er die Gesichtsempfindungen erörtert, die Theorie der Farben, Nachbilder und Contraste besprochen, sagt er:

„Was wir in dem optischen Apparate und dem Netzhautbilde an Ungenauigkeiten und Unvollkommenheiten gefunden haben, erscheint als durchaus unerheblich neben den Incongruenzen, denen wir hier im Gebiete der Empfindungen begegnen. Fast könnte man glauben, die Natur habe sich hier absichtlich in den kühnsten Widersprüchen gefallen, sie habe mit Entschiedenheit jeden Traum von einer prästabilierten Harmonie der äusseren und inneren Welt zerstören wollen.“

Auch in diesem Vortrage entwickelt Helmholtz wieder die Grundzüge seiner empiristischen Theorie.

„Wie in dem Vorigen“, sagt du Bois in seiner Gedächtnissrede auf Helmholtz, „das Princip der Erhaltung der Energie uns stets als sicherer Leitfaden durch Helmholtz's Gedankenwege diente, so fehlt es auch in diesem Abschnitte nicht an einem ähnlichen Führer. Der diese Untersuchungen beherrschende Gedanke ist die empiristische Weltanschauung, welcher Helmholtz huldigt, im Gegensatze zu der von ihm verworfenen nativistischen. Es ist dies derselbe Gegensatz, der schon im siebzehnten Jahrhundert zwischen der Leibniz'schen prästabilierten Harmonie und dem Locke'schen Sensualismus bestand, dem aber dann Kant eine entschiedene Wendung zu Gunsten der ersteren Lehrmeinungen gab.“

Schon hier, aber noch viel schärfer später, tritt Helmholtz in Gegensatz zu Kant, welcher behauptete, dass sowohl das Causalgesetz als auch die Anschauung der Zeit und des dreidimensionalen Raumes mit seinen geometrischen

Axiomen transcendentalen Ursprungs, uns a priori eingeborene Einsichten seien. Trotzdem bleibt Helmholtz sich dessen bewusst, dass seine empiristische Theorie doch nur eine Hypothese ist und bleiben wird. Aber Hypothesen sind nach ihm nothwendig für das Handeln, und man muss sich nach dem moralischen oder ästhetischen Gefühl entscheiden; nur das Experiment, bei welchem „die Kette der Ursachen durch unser Selbstbewusstsein hindurchläuft“, kann kritisch angesehen werden, während die Beobachtung, ein ohne unser Zuthun ablaufender Vorgang, durch physische und psychische Ursachen modificirt wird. Er wusste wohl, dass seine Hypothese vielem Widerspruch begegnen würde, und war nicht erstaunt, als ihm du Bois am 25. April 1868 schrieb:

„Deine Aufsätze aus den Preussischen Jahrbüchern habe ich kürzlich auf einer Eisenbahnfahrt zu und von Ludwig mit grossem Genuss gelesen. Gegen die streng empiristische Anschauung scheint mir immer zu sprechen, dass sie eben durchaus consequent müsste durchführbar sein, was, wie Du selbst zugiebst, der Fall nicht ist; denn wenn dem Kälbchen angeboren ist, dem Euter des Geruchs halber nachzugehen, was kann ihm dann nicht noch alles angeboren sein? Mir scheint immer noch so viel Nativismus übrig zu bleiben, den man nicht los werden kann, dass es auf eine Hand voll mehr oder weniger nicht ankommt. In der Bewegungssphäre z. B. sind doch zahllose Fälle der schwierigsten Art, wo er nicht hinwegzubringen ist. Du wirst sagen, dass man wenigstens versuchen solle, ihn nach Möglichkeit einzuschränken, und das will ich nicht verkennen. Uebrigens haben wir über diesen Gegenstand schon vor 20 Jahren verhandelt, als ich behauptete, das Gefühl für die Schönheit sei uns angeboren, und Du meintest, wir nannten schön nur das Zweckmässige, die weibliche Brust z. B. nur, weil wir ihr ansähen, dass sie gut zum Säugen sei. Ich muss gestehen, dass in diesem Punkte mein Causalitätsbedürfniss einer grösseren Resignation fähig ist als das Deinige.“

Helmholtz beantwortete alle diese Einwände später in seiner Rede „Ueber die Thatsachen der Wahrnehmung“ mit den Worten:

„Für eine grosse Zahl von Physiologen, deren Ansicht wir als die nativistische bezeichnen können, im Gegensatz zur empiristischen, die ich selbst zu vertheidigen gesucht habe, erscheint die Vorstellung einer erworbenen Kenntniss des Gesichtsfeldes unannehmbar, weil sie sich nicht klar gemacht haben, was doch am Beispiel der Sprache so klar vorliegt, wie viel die gehäuften Gedächtnisseindrücke zu leisten vermögen. Es sind deshalb eine Menge verschiedener Versuche gemacht worden, wenigstens einen gewissen Theil der Gesichtswahrnehmungen auf einen angeborenen Mechanismus zurückzuführen in dem Sinne, dass bestimmte Empfindungseindrücke bestimmte fertige Raumvorstellungen auslösen sollten. Aber die nativistischen Hypothesen erklären erstens nichts, sondern nehmen nur an, dass das zu erklärende Factum bestehe, zweitens erscheint die Annahme sämtlicher nativistischer Theorien, dass fertige Vorstellungen von Objecten durch den organischen Mechanismus hervorgebracht werden, viel bedenklicher, als die Annahme der empiristischen Theorie, dass nur das unverstandene Material von Empfindungen von den äusseren Einwirkungen herrühre, alle Vorstellungen aber daraus nach den Gesetzen des Denkens gebildet werden. Drittens sind die nativistischen Annahmen unnöthig.“

Für Helmholtz war es bei Aufstellung seiner empiristischen Hypothese um eine Reihe thatsächlicher Fragen zu thun, auf die bestimmte Antworten zu geben waren, und er war bei der Untersuchung des gesetzlichen Verhaltens objectiver Thatsachen zu dem Ergebniss gelangt, dass die Sinnesempfindungen nur Zeichen für die Beschaffenheit der Aussenwelt sind, deren Deutung durch Erfahrung gelernt werden muss. Es gab ihm für die unentwegte Verfechtung seiner Hypothese die Thatsache eine grosse Zuversicht, dass

sich dieselbe mit Müller's Theorie der specifischen Energien durchaus vereinbar erwies. Wenn auch das Signal der irgendwie afficirten Sehnerven immer dasselbe bleibt, so ist das Gehirn doch gewohnt, von dem durch Aetherschwingungen gegebenen Signal auf Licht zu schliessen, und wird, auch wenn die Affection durch einen Stoss vor sich ging, sich erst nach der Empfindung von Licht des Irrthums bewusst werden. Aber den oben hervorgehobenen Charakter einer Hypothese hat Helmholtz stets betont, indem er wiederholt ausgesprochen, dass ihm bisher keine Thatsache bekannt geworden sei, welche mit derselben unvereinbar wäre, und dass für dieselbe nichts weiter anzunehmen ist, als die durch tägliche Erfahrung ihren Gesetzen nach bekannten Associationen der Anschauung und Vorstellung. Er kann auch den Einwand nicht als berechtigt anerkennen, dass seine Hypothese bisher noch nicht eine vollständige Erklärung der psychischen Thätigkeiten zu geben im Stande war, da auch keine Form der nativistischen Theorien es vermeiden konnte, auf die Wirksamkeit derselben zurückzugreifen. Er konnte sich in seinem weiteren Leben nie mehr von der Erforschung dieser erkenntnisstheoretischen Probleme lossagen.

„Das Interesse für die erkenntnisstheoretischen Fragen war mir schon in der Jugend eingepägt, wo ich oft meinen Vater, der einen tiefen Eindruck von Fichte's Idealismus behalten hatte, mit Collegen, die Hegel und Kant verehrten, habe streiten hören.“

Aber er blieb sich auch stets dessen bewusst, dass er den Widerspruch der Philosophen immer von Neuem hervorrufen würde.

„Auf diese Untersuchungen stolz zu werden, habe ich bisher wenig Veranlassung gehabt. Denn auf je einen Freund habe ich dabei etwa zehn Gegner gefunden; namentlich habe ich immer alle Metaphysiker, auch die materialistischen, und alle Leute von verborgenen metaphysischen Neigungen dadurch aufgebracht.“

Aber er fand auch unter den besten und ihm befreundeten Physiologen bisweilen eine nur sehr bedingte Zustimmung, indem diese nicht nur, wie du Bois, durch ein gewisses nativistisches Gefühl geleitet, der consequenten Durchführung der empiristischen Hypothese unsympathisch gegenüberstanden, sondern Einwendungen deshalb gegen dieselbe machten, weil sie ihnen mit der Existenz der Sinnes-täuschungen nicht vereinbar erschien. Von diesem Standpunkte aus erhob auch Donders Bedenken gegen die Helmholtz'sche Hypothese, auf welche dieser am 26. Mai 1868 erwidert:

„Ich halte die Veröffentlichung sorgfältig beobachteter Studien über die Projection von Schielenden mit Berücksichtigung der Eventualität, dass dieselbe vielleicht der Natur der Sache nach gar nicht fest ist, für sehr wichtig und wünschenswerth. Die bisherigen Angaben darüber scheinen mir durchaus von vorgefassten Meinungen beeinflusst zu sein. Und obgleich Sie vorläufig noch selbst in den Klauen der nativistischen Theorie stecken, so habe ich zu Ihnen doch das Vertrauen — wie auch Ihre Versuche über Stereoskopie bei elektrischer Beleuchtung zeigen — dass Ihnen die Thatsachen höher stehen, als die Theorie. Ich weiss übrigens sehr wohl, dass meine empiristische Theorie vorläufig nur eine der möglichen Ansichten der Sache ist, und vielleicht findet man bald Thatsachen, die sie zu einer unmöglichen machen; wenn das geschieht, so hat sie ihren Nutzen gehabt und kann abtreten. Für sehr wahrscheinlich halte ich das freilich nicht, was die Vorstellungen und das Wahrnehmen betrifft. Was die Bewegungstribe betrifft, so ist es mit denen etwas anderes. Deren sind wirklich und unleugbar beim Neugeborenen wie beim Erwachsenen welche da, und die Möglichkeit, dass gewisse Gruppenbewegungen von vornherein leichter eintreten, als andere, ist denkbar; das mag auch bei den Augenbewegungen der Fall sein. Aber bei diesen von Zwang zu reden, geht doch nicht an

Was ich wünschte, wäre nur der Beweis, dass eine natürliche Begünstigung dieser Bewegungen besteht. Der heillosen Hypothesenwirthschaft gegenüber über nie gesehene Nervenverbindungen mit allen möglichen undenkbaren Eigenschaften, die seit einer langen Reihe von Jahren die Fortschritte in der Physiologie der Centraltheile hemmt, glaubte ich aber, sei es wichtig, den Leuten vor Augen zu stellen, wie viel Hypothesen sie gemacht hätten unnöthiger Weise, und lieber die entgegengesetzte Ansicht eventualiter zu übertreiben, als in dem bisherigen faulen Schlendrian zu bleiben. Reflexbewegung, so kann man jetzt definiren, ist alles in der Physiologie, was man nicht erklären kann. Es sind die Nachtheile übertriebener materialistischer Metaphysik, von der die Leute zu den Thatsachen zurückgerufen werden müssen.“

Gerade, weil Helmholtz die aus der Existenz der Sinnes-täuschungen hergenommenen Einwände gegen seine Hypothese entkräften wollte, hatte er für alle Täuschungen eine Regel darin aufgestellt, dass wir stets solche Objecte vor uns zu sehen glauben, wie sie vorhanden sein müssten, um bei normaler Beobachtungsweise dieselben Netzhautbilder hervorzubringen; und er hatte für diese Vorgänge die Bezeichnung der unbewussten Schlüsse gewählt, bei welchen nur statt der Worte die Empfindungen und die Erinnerungsbilder derselben treten, die aber dieselbe geistige Thätigkeit bedingen, wie die gewöhnlichen Schlüsse. Selbst die Anhänger der nativistischen Theorie müssen, wie er besonders hervorhebt, eingestehen, dass die eigentliche Vollendung und Verfeinerung der sinnlichen Anschauung auf der Erfahrung beruht.

Durch den Nachweis, dass sinnliche Wahrnehmung unmittelbar oder mittelbar den Stoff zu allem menschlichen Wissen liefert oder wenigstens die Veranlassung bildet zur Entfaltung jeder etwa angeborenen Thätigkeit des menschlichen Geistes, war die Grundlage gelegt für die gegen die

Aussenwelt zur Erscheinung kommenden psychischen Thätigkeiten des Menschen; es hatten seine naturwissenschaftlichen Methoden und Versuche in das bisher unzugängliche Gebiet der Seelenthätigkeit eingreifen können, ohne dass er den Versuch machte, etwa tiefer in die Psychologie selbst einzudringen. Er hatte früher die Resultate seiner akustischen Forschungen nach der ästhetischen Seite der Tonempfindungen weiter ausgebaut und nachgewiesen, dass die Formen der musikalischen Gestaltung am reinsten von allen Künsten von dem Wesen und den Eigenthümlichkeiten unserer Empfindungen abhängen. Ebenso gelang es ihm nun auch, in den 1871 bis 1873 in Berlin, Düsseldorf und Cöln gehaltenen Vorträgen „Optisches über Malerei“ für die Malerei — in welcher sich die Art des zu verwendenden Materials und der darzustellenden Gegenstände viel einflussreicher geltend macht, für welche aber auch die besondere Empfindungsweise des Sehorgans nicht ohne Bedeutung ist — die Ueberzeugung zu erbringen, dass nicht bloss die aufmerksame Betrachtung der Werke grosser Meister für die physiologische Optik förderlich, sondern auch die Aufsuchung der Gesetze der Sinnesempfindungen und Wahrnehmungen der Theorie der Kunst und dem Verständniss ihrer Wirkung nützlich ist.

Helmholtz ist auf dem Umwege der Physiologie der Sinne zu seinen Kunststudien gelangt und glaubt sich deshalb „mit einem Wanderer vergleichen zu dürfen, der seinen Eintritt in das schöne Land der Kunst über ein steriles und steiniges Grenzgebirge gemacht, dabei aber auch manchen Aussichtspunkt erreicht hat, von dem herab sich eine gute Ueberschau darbot“. Er sieht es nicht als seine Aufgabe an, Vorschriften zu finden, nach denen der Künstler handeln soll, aber er will die Aufgaben verstehen, welche der Künstler zu lösen hat, und die Wege kennen lernen, auf denen er sein Ziel zu erreichen sucht; „der Künstler kann die Natur nicht abschreiben, er muss sie übersetzen“. Aber diese Uebersetzung führt er nicht aus auf Grund bewusster

logischer Thätigkeit des Geistes, sondern mit Hilfe besonders feiner und genauer Beobachtung sinnlicher Eindrücke und eines für die Bewahrung der Erinnerungsbilder solcher Eindrücke besonders treuen Gedächtnisses, welches — da doch das nur dürftig ist, was er im Moment durch flüchtige Skizzen festhalten kann — namentlich in Bezug auf die Einzelheiten der Erscheinung wohl treuer ist als bei der Mehrzahl anderer Menschen. Schon in seinen Tonempfindungen hat Helmholtz das staunenswerthe Gedächtniss der Musiker hervorgehoben, welche, ohne Noten vor sich zu haben, zahllose Compositionen auf ihrem Instrumente vorzutragen wissen; und gerade in der Wichtigkeit, welche das Gedächtniss hat, sieht er, wie er in seiner herrlichen Goethe-Rede in Weimar ausführt, die Wege des Forschers und des Künstlers sich trennen:

„Was wir in Worte fassen können, das können wir auch durch die Schrift fixiren; nur der erste erfinderische Gedanke wird bei beiden Arten der Thätigkeit immer in derselben Weise sich bilden und auftauchen müssen, und zwar kann das zunächst immer nur in einer der künstlerischen Anschauung analogen Weise als Ahnung neuer Gesetzmässigkeit geschehen.“

Die erste und grösste Schwierigkeit für den Maler ist, den Beschauer die Tiefe der dargestellten Gegenstände im Gemälde beurtheilen zu lassen, da das zweiäugige Sehen körperlicher Gegenstände hier wegfällt. Er muss zu diesem Zwecke die perspectivische Anordnung seiner Gegenstände, ihre Lage und Wendung, die Beleuchtung und Beschattung geschickt wählen; vor allem wird ihm aber die Luftperspective oder die künstlerische Darstellung der Lufttrübung ein wirksames Hilfsmittel bieten, um durch das stärkere oder geringere Hervortreten der Luftfarbe über der Farbe der Gegenstände deren verschiedene Entfernung sehr bestimmt anzudeuten. Ausser den Formen der Gegenstände kommen aber noch wesentlich die Helligkeitsstufen in Betracht. Da es für den Maler unmöglich ist, auf einem Bilde dieselbe

Helligkeit und Dunkelheit zu verwenden, wie die Natur sie bietet, kann er nur danach streben, durch seine Farben einen gleichen Eindruck auf das Auge des Beschauers hervorzu- bringen; er thut dies unbewusst auf Grund der Existenz des Fechner'schen psycho-physischen Gesetzes, wonach Unterschiede der Lichtstärke innerhalb sehr breiter Grenzen der Helligkeit gleich deutlich sind, also in der Empfindung gleich gross erscheinen, wenn sie den gleichen Bruchtheil der gesammten verglichenen Lichtstärke ausmachen. Nur das Verhältniss der Helligkeiten ist für uns das sinnliche Zeichen für die dunklere und hellere Färbung der Körper; der Maler wird daher in seinen Farben nur das gleiche Verhältniss der Helligkeit zu wählen haben, welches die Wirklichkeit zeigt. Sind aber die mittleren Grenzen des Fechner'schen Gesetzes überschritten, so werden bei geringerer Helligkeit die dunkleren Objecte den dunkelsten, bei grosser Helligkeit die helleren den hellsten ähnlicher, und es werden hiernach die Maler bei Darstellung glühenden Sonnenscheins alle Objecte fast gleich hell, bei Mondschein nur die allerhellsten Objecte hell, die anderen unerkennbar dunkel, zu machen haben.

Aber es treten zu den Helligkeitsunterschieden auch Abweichungen in der Färbung, da die Scala der Empfindungsstärken auch für die verschiedenen Farben verschieden ist. Die Erscheinungen der Blendung treten bei gesteigerter Helligkeit im Roth schwächer auf als im Blau, und Helmholtz hat beobachtet, dass sich dies schon bei geringer Steigerung der Intensität um den gleichen Bruchtheil besonders auffallend an rothen und violetten Spectralfarben zeigt, so dass bei Mischfarben sehr helles Weiss gelblich, lichtschwaches bläulich gefärbt erscheint. Der Maler wird daher, um den Eindruck von sonnenbeleuchtetem Weiss mit lichtschwächeren Farben nachzuahmen, in seinem Weiss durch Einmischung von Gelb diese Farbe ebenso vorwiegen machen müssen, wie sie in wirklich hellerem Weiss in der That vorwiegen würde.

Endlich kommen aber auch noch die Erscheinungen des Contrastes in Frage, welche sich auf den Gemälden nicht ebenso wie an den wirklichen Objecten erzeugen lassen, da die Farben auf den Gemälden nicht ebenso glänzend und lichtstark sind wie bei diesen; es wird der Maler daher eine ebene gleichmässig erleuchtete Fläche da heller machen müssen, wo sie an Dunkel, dunkler, wo sie an Hell anstösst. Auch die subjectiven Erscheinungen des Auges, wie die von den durchsichtigen, nicht ganz klaren Medien desselben erzeugte Irradiation wird der Künstler objectiv nachahmen; vor allem aber wird die Farbenharmonie in Frage kommen, indem die Beziehungen der Farben eines Bildes zu einander einen grossen Einfluss auf das ästhetische Wohlgefallen an einem Bilde ausüben, und selbst starke Farben für die zarteste Aenderung oder Beleuchtung ausdrucksvoll im male-
rischen Sinne sein können.

„Was soll ein Kunstwerk in des Wortes höchstem Sinne wirken? Es soll unsere Aufmerksamkeit fesseln und beleben, es soll eine reiche Fülle von schlummernden Vorstellungsverbindungen und damit verknüpften Gefühlen in mühelosem Spiel wachrufen und sie zu einem gemeinsamen Ziele hinlenken, um uns die sämmtlichen Züge eines idealen Typus, die in vereinzelt Bruchstücken und von wildem Gestrüpp des Zufalles überwuchert in unserer Erinnerung zerstreut daliegen, zu lebensfrischer Anschauung zu verbinden. Nur dadurch scheint sich die der Wirklichkeit so oft überlegene Macht der Kunst über das menschliche Gemüth zu erklären, dass die erstere immer Störendes, Zerstreues und Verletzendes in ihre Eindrücke mengt, die Kunst alle Elemente für den beabsichtigten Eindruck sammeln und ungehemmt wirken lassen kann. Die Macht des Eindruckes wird aber unzweifelhaft desto grösser sein, je eindringlicher, je feiner, je reicher die Naturwahrheit des sinnlichen Eindruckes ist, der die Vorstellungsreihen und die mit ihnen verbundenen Affecte wachrufen soll. Er muss

sicher, schnell, unzweideutig und genau bestimmt wirken, wenn er einen lebendigen und kräftigen Eindruck machen soll.“

Nach Veröffentlichung der Lehre von den Tonempfindungen und der physiologischen Optik wandten sich die Gedanken von Helmholtz immer mehr und mehr mathematisch-physikalischen und rein mathematischen Problemen zu; die wenigen physiologischen Arbeiten, die er noch veröffentlichte, knüpften an seine frühesten nervenphysiologischen Untersuchungen an, welche durch den ungeheuren Reichthum seiner neuen Schöpfungen in den letzten Jahren in den Hintergrund gedrängt waren.

Von den physiologisch-optischen Arbeiten geistig übermüdet, war er zu seinem Bedauern gezwungen, die dringende Einladung von Roscoe zum Meeting der British Association abzulehnen, und reiste in den Herbstferien 1866 mit seiner Frau in die Schweiz, wo er mit der Kirchhoff'schen Familie und Bunsen zusammentraf; nach einem kurzen Besuche Norditaliens kehrte er einige Wochen später wieder nach Heidelberg zurück, um seine Nervenarbeiten von Neuem aufzunehmen und wenn möglich zu einem Abschluss zu bringen, da schon Probleme ganz anderer Natur seinen Geist beschäftigten. Am 6. Februar 1867 schrieb er an Wittich:

„Was die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Nerven betrifft, so habe ich selbst mit einem meiner russischen Laboranten in diesem Winter Versuche gemacht, deren letzte Berechnung noch nicht ganz beendet ist, und die etwa 34 m ergeben; sie beziehen sich aber auf die motorischen Nerven des Menschen, indem ich Zuckungen der Muskeln des Daumenballens am Myographion aufschreiben lasse, die bald vom Handgelenk, bald von der Achselhöhle aus hervorgerufen werden. Wir haben lange an der Methode herumgedüffelt, zuletzt aber sehr schöne und übereinstimmende Resultate erhalten, die an Regelmässigkeit des Erfolges denen meiner alten Methode unendlich überlegen sind. Ich

denke, man wird noch allerlei andere Fragen, z. B. über die angeblich verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeit in verschiedenen Abschnitten des Nerven damit herausbringen können.“

Er übersandte du Bois am 25. April 1867 für die Akademie eine „Mittheilung, betreffend Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen, welche Herr N. Baxt aus Petersburg im physiologischen Laboratorium in Heidelberg ausgeführt hat“, deren Empfang ihm du Bois dankend bestätigt, indem er zugleich auf die Klagen von Helmholtz über das Abnehmen seiner Schaffenskraft mit den Worten erwidert: „Ueber das Senesciren der Ganglienkugeln in Deinen grossen Hemisphären kannst Du vorläufig ruhig sein.“

Die ersten Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Nervenreizes hatte Helmholtz noch am Frosch angestellt, sich dann aber auch an Muskeln und Nerven des lebenden Menschen gewendet. Er basirte seine Versuche darauf, dass der Experimentirende auf eine augenblickliche elektrische Reizung einer mehr oder weniger vom Gehirn entfernten Hautstelle mit einer bestimmten Handlung zu antworten hatte, welche um so später eintrat, je länger die sensible Bahn zum Gehirn gewählt war. Dabei trat aber ein Uebelstand in den von ihm gemachten Messungen darin hervor, dass die Uebertragung der Reizung von den sensiblen auf die motorischen Nerven durch einen Willensact des Experimentirenden geschah, welcher eine willkürliche Bewegung eines Muskels eintreten lassen musste. Wenn dies auch im Allgemeinen im zehnten Theile einer Secunde geschieht, so ergaben sich doch bei verschiedenen Beobachtern und zu verschiedenen Zeiten Differenzen, welche ihn veranlassten, die Versuche an Menschen mittelst des Myographions nach der Methode wieder aufzunehmen, welche sich für die motorischen Nerven des Frosches als so sehr geeignet erwiesen hatte. Diesen Versuchen stellte sich aber

vor allem eine Schwierigkeit in dem Umstande entgegen, dass momentane Reizungen der motorischen Nerven des Menschen sich nicht in vollständig unveränderter Form durch längere Nervenstrecken fortpflanzen. Es musste deshalb dafür Sorge getragen werden, dass der elektrische Schlag für die obere Stelle des Nerven so weit abgeschwächt wurde, bis die von ihm erregte Zuckung dieselbe Stärke und Höhe erhielt, wie das Zuckungsmaximum von der unteren Stelle aus erregt; dann hatte man zwei momentane Erregungen des Nerven, welche gleiche mechanische Wirkungen nach aussen hervorbrachten, und es gehörte somit die Verzögerung der Wirkung bei Reizung der oberen Stelle nur der Leitung im Nerven an. Die durch das Myographion gezeichneten Curven schienen zunächst nachzuweisen, dass schwächere Reizungen sich im Nerven langsamer fortpflanzen als stärkere, und drei längere Versuchsreihen ergaben Fortpflanzungsgeschwindigkeiten von ungefähr 31, 33, 37 m in der Secunde.

Aeussere Umstände liessen eine Unterbrechung der Versuche eintreten, und Helmholtz nahm erst drei Jahre später dieselben wieder auf. Er wies in einer am 31. März 1870 der Berliner Akademie unter dem Titel „Neue Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen, ausgeführt von N. Baxt in Petersburg“ nach, dass nach den mit Hülfe des Pendelmyographions von Fick angestellten Versuchen in vollkommener Uebereinstimmung mit dem bei den Froschversuchen Wahrgenommenen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven bei höherer Temperatur, beispielsweise des Armes, über doppelt so gross ausfiel als bei niederer.

„Das sind ja höchst merkwürdige Dinge“, schreibt ihm du Bois am 4. April 1870, „eine solche Abhängigkeit von der Temperatur ist ja unerhört; man müsste meinen, im Fieber müsste dann das Verhältniss der Geschwindigkeiten ein ausserordentlich grosses werden. Für Dich ist es sehr

angenehm, und ich freue mich darüber, dass so Deine erste Angabe der 60 m-Geschwindigkeit ihre Erklärung erhält.“

Die Fortsetzung dieser Versuche, die er unter dem Titel „Ueber die Zeit, welche nöthig ist, damit ein Gesichtseindruck zum Bewusstsein kommt. Resultate einer von Herrn N. Baxt im Heidelberger Laboratorium ausgeführten Untersuchung“ am 8. Juni 1871 der Akademie vorlegte, ergab eine weitere Reihe sehr interessanter und für die Optik sehr wichtiger Resultate. Da die positiven Nachbilder unter günstigen Bedingungen bis zu 12 Secunden dauern, und während dieser Zeit die Formen der grösseren Gegenstände im Nachbilde noch erkennbar bleiben, so wird bei kürzester Dauer des Lichtreizes immer eine gewisse Zeit gegeben sein, während welcher der Beobachter mittelst des Nachbildes eine Reihe von Einzelheiten des gesehenen Objectes wahrnehmen kann, zu deren Beobachtung ihm der unmittelbare Lichtreiz keine Zeit gelassen haben würde. Will man also die Zeit ermitteln, die für das Bewusstwerden eines mehr oder minder zusammengesetzten Gesichtsbildes nöthig ist, so muss man das positive Nachbild durch einen neu eintretenden mächtigen Lichteindruck so übertäuben, dass es seinen Werth für die Wahrnehmung verliert.

Nun hatte Helmholtz schon früher das Tachistoskop construirt, in welchem der Beobachter durch einen Schlitz einer rotirenden Scheibe für eine sehr kurze Zeitdauer das Object erblickt, während unmittelbar nachher an Stelle des Schlitzes ein schwarzer, danach ein hell beleuchteter weisser Sector der Scheibe tritt, dessen Beleuchtung das Nachbild auslöschen soll. Mit Hülfe dieses Apparates ergab sich nun, in bestimmten Zahlenverhältnissen ausgedrückt, dass grosse räumliche Differenzen im Gesichtsfelde, sowie grosse Helligkeitsdifferenzen schneller wahrgenommen werden als kleine; es zeigte sich zugleich in auffallender Weise der Einfluss verschiedener als Objecte benutzter Figuren, je nachdem sie mehr oder weniger bekannt, einfacher oder verwickelter

waren. Helmholtz fügt endlich noch eine Beobachtung hinzu, die er schon viel früher gemacht hat; wenn er einen dauernd hellen Punkt im dunkeln Felde vor sich als Fixationspunkt benutzte, war es ihm möglich, ohne diesen Fixationspunkt zu verlassen, die Aufmerksamkeit schon vor der Beleuchtung durch einen Funken auf diesen oder jenen Theil des dunkeln Feldes hin zu richten und dann das zu sehen, was dort erschien.

„Es scheint mir dies eine Thatsache von grosser Wichtigkeit zu sein, weil sie zeigt, dass das, was wir das willkürliche Richten der Aufmerksamkeit nennen, eine von Bewegungen der äusseren beweglichen Theile des Körpers unabhängige Veränderung in unserem Nervensystem ist, wodurch Reizungszustände gewisser Fasern vorzugsweise zum Bewusstsein gelangen.“

Diese Untersuchungen wurden sehr bald der Ausgangspunkt für die wichtigsten Ermittlungen der späteren Psychophysik; mit ihnen schloss Helmholtz die Reihe seiner rein physiologischen Untersuchungen ab und wandte sich zunächst der Mechanik der Physiologie, dann jedoch fast ausschliesslich der Physik und Mathematik zu, um auch hier wieder Epochemachendes zu schaffen.

Von grösster Bedeutung für die Mechanik der physiologischen Akustik wurden die zunächst kurz in ihren wesentlichen Resultaten am 26. Juli und am 9. August 1867 in Heidelberg unter dem Titel „Ueber die Mechanik der Gehörknöchelchen“ mitgetheilten und dann im Jahre 1869 in Pflüger's Archiv für Physiologie unter der Bezeichnung „Die Mechanik der Gehörknöchelchen und des Trommelfelles“ ausführlich veröffentlichten Untersuchungen über die äusserst schwierige, feinere Anatomie des inneren Ohres, in denen Helmholtz den Mechanismus der Schwingungen des Trommelfelles und der Gehörknöchelchen behandelt. Riemann, „dieser mit so ungewöhnlicher Penetrationskraft ausgerüstete Geist“, hatte in einer nachgelassenen, in der

Zeitschrift für rationelle Medicin veröffentlichten Notiz als die Hauptaufgabe der Mechanik des Ohres bezeichnet, die Möglichkeit zu erklären, dass der Trommelhöhlenapparat so ausserordentlich fein abgestufte Bewegungen von der Luft auf das Labyrinthwasser übertrage. Er hatte zu dem Zwecke eine Theorie auf die Annahme gestützt, dass der Paukenhöhlenapparat völlig treu die Druckänderung der Luft in jedem Augenblick, in constantem Verhältniss vergrössert, auf das Labyrinthwasser überführe. Helmholtz dagegen, welcher schon unmittelbar nach Abschluss seiner physiologischen Optik diese Untersuchungen durchführte, ohne noch Riemann's Notizen zu kennen, findet es in seinen theoretischen Betrachtungen für die Genauigkeit der Wahrnehmung nur erforderlich, dass jeder Ton von constanter Höhe immer wieder, so oft er vorkommt, eine Empfindung von gleicher Art und Intensität auslöse.

„Riemann's akustisches Problem“, schreibt Helmholtz an Schering, „hatte mich ebenfalls schon eine Zeit lang beschäftigt; die empirische Lösung, wie sie im menschlichen Ohre ausgeführt ist, ist freilich eine andere, als er sich vorgestellt hatte.“

Der von Ed. Weber freilich nur angedeuteten Anschauung, dass die Gehörknöchelchen und das Felsenbein bei der Leitung der Schallschwingungen als feste, incompressible Körper, und dass das Labyrinthwasser als incompressible Flüssigkeit zu betrachten sind, legt Helmholtz zunächst die grösste Bedeutung bei. Er macht die Annahme, dass es sich nicht um Fortleitung von Verdichtungs- und Verdünnungswellen in diesen Körpern und Flüssigkeiten handle, sondern dass die Gehörknöchelchen als feste Hebel, das Labyrinthwasser als eine nur im Ganzen zu bewegende Flüssigkeitsmasse aufzufassen seien, zur Basis seiner Untersuchungen und sucht zunächst diese fest zu begründen. Wenn in einem unendlich ausgedehnten elastischen Medium ebene, einem einfachen Ton entsprechende Wellen erregt werden,

so wird zwischen den Grenzen äusserster Verschiebung, welche immer mindestens um eine halbe Wellenlänge aus einander liegen, der Unterschied in der Verschiebung zweier oscillirender Theilchen, deren Entfernung verschwindend klein gegen die Wellenlänge ist, selbst verschwindend klein sein gegen die ganze Amplitude der Verschiebung. Für einen kleinen Theil der schwingenden Masse, dessen Dimensionen gegen die Wellenlänge unendlich klein sind, werden also auch die relativen Verschiebungen der einzelnen Punkte gegen einander verschwindend klein sein müssen im Vergleich mit der Amplitude der ganzen Schwingung, welche selbst verschwindend klein gegen die Wellenlänge ist. Die relativen Verschiebungen der kleinen Masse gegen einander sind somit verschwindend kleine Grössen zweiter Ordnung im Vergleich zur Wellenlänge, und verschwindend kleine Grössen erster Ordnung im Vergleich zu den Amplituden der Schwingung und zu den linearen Dimensionen der kleinen Masse, und diese bewegt sich daher wie ein absolut fester Körper.

Helmholtz zeigt weiter mit Zugrundelegung der von Kirchhoff entwickelten Gleichgewichtsbedingungen eines unendlich dünnen elastischen Stabes durch Anwendung des d'Alembert'schen Princips, dass jener Satz bestehen bleibt, wenn die Masse nicht unendlich ausgedehnt ist nach allen Seiten, sondern Grenzen hat, an denen die Schallwellen in das Innere der Masse zurückgeworfen werden, vorausgesetzt, dass entweder keine einzelne Dimension der schwingenden Masse sehr klein im Vergleich zur Wellenlänge ist oder dass dies mit allen Dimensionen der schwingenden Masse gleichzeitig geschehe. Alle Dimensionen der elastischen festen und flüssigen Massen, welche den Gehörapparat zusammensetzen, sind nun sehr kleine Bruchtheile der Wellenlängen derjenigen Töne, die gewöhnlich vorkommen, und gegen die unser Ohr gut empfindlich ist. Deshalb darf er die Weber'sche Hypothese als erwiesen betrachten,

und von der Annahme ausgehen, dass die Geschwindigkeit, womit sich die Einwirkung jeder Kraft auf diese kleinen Massen durch diese hin verbreitet, so gross ist, dass die zur Verbreitung des Anstosses nöthige Zeit im Vergleich zur Dauer der Schallschwingungen als verschwindend klein und die Einwirkung daher als augenblicklich durch die ganze Masse verbreitet betrachtet werden kann. Diese Annahme trifft zu, wenn man die Wände des Felsenbeines als relativ fest für die geringen in Betracht kommenden Druckkräfte und das Labyrinthwasser, weil dessen Dimensionen verschwindend klein gegen die Wellenlänge sind, als incompressibel betrachtet. Da jedoch die Herleitung nur für Körper galt, an denen keine ihrer linearen Dimensionen gegen die übrigen verschwindend klein ist, so wird jene Annahme für das Trommelfell nicht erfüllt sein, und es müssen deshalb die Schwingungen des Trommelfelles besonders in Rücksicht gezogen werden.

Helmholtz erörtert nun zunächst die Anatomie des Trommelfelles und zeigt, dass dasselbe aus radialen und ringförmigen, aus Sehnensubstanz gebildeten Faserzügen besteht und nicht als elastisch nachgiebige, sondern als eine fast unausdehnsame Membran aufzufassen ist, die sich nicht wie ein Kautschukblatt ausdehnt, sondern einem seitlichen Zuge sehr kräftig widersteht. Er vergleicht weiter auf Grund einer genauen anatomischen Untersuchung von Hammer und Amboss das Gelenk zwischen beiden mit den Gelenken der mit Sperrzähnen versehenen Uhrschlüssel, welche in einer Richtung frei drehbar, in der anderen, wenn sich ihre Sperrzähne auf einander stemmen, nicht die kleinste Drehung erlauben, und folgert daraus, dass der Hammer, wenn er mit seinem Stiel nach innen gezogen wird, den Amboss fest packt und mitnimmt, während, wenn er nach aussen getrieben wird, der Amboss nicht mitzugehen braucht. Wie er durch eine genaue Untersuchung der Bewegung des Steigbügels zeigt, kann dieser nicht aus dem ovalen Fenster ge-

rissen werden, wenn die Luft im Gehörgang erheblich verdünnt wird, und es ist eine zu grosse Eintreibung des Hammers durch Verdichtung der Luft im Gehörgang verhindert, da sie durch die Spannung des trichterförmig eingezogenen Trommelfelles kräftig gehemmt wird. Somit bleibt für die Untersuchungen der Schwingungen im Ohre nur noch die Mechanik des Trommelfelles zu entwickeln übrig, wenn dasselbe als eine gespannte, aber gekrümmte Membran betrachtet wird, deren Spannung bedingt ist durch den Handgriff des Hammers, der es in der Mitte, dem Nabel, nach innen zieht und der selbst in dieser Lage durch seine Befestigungsbänder und durch die Elasticität des Trommelfellspanners erhalten wird. Dabei werden die radialen Faserzüge desselben nach aussen convex gewölbt sein, so dass sie gegen die Spitze des Hammergriffes in einer nahehin rechtwinkeligen Kegelspitze convergiren, und es wird am ruhenden Trommelfell keine andere Kraft als die Spannung der Ringfasern die Radialfasern in ihrer gekrümmten Form erhalten können.

Bei den Schallerschütterungen wirkt nun der Luftdruck bald gegen die convexe, bald gegen die concave Fläche des Trommelfelles, je nachdem er abwechselnd im Gehörgange grösser oder kleiner ist als in der Trommelhöhle. In jedem Falle wirkt er in einer Richtung, welche senkrecht ist zur Fläche der Membran, also auch senkrecht gegen die Wölbung der Radialfasern, die er bald zu vermindern, bald zu vermehren strebt. Nun ist aber, wenn ein gerader Faden in einen Bogen übergeführt wird, die Differenz aus der Länge des Fadens und der zu dem Bogen gehörigen Sehne oder die Verkürzung der Sehne des Bogens dem Quadrate der Verschiebung seiner Mitte proportional, und es ist bei sehr flachen Bögen, deren Wölbung zunimmt, die Verschiebung ihrer Endpunkte verschwindend klein gegen die Verschiebung ihrer Mitte. Weil nun der Luftdruck die unausdehnbaren Radialfasern des Trommelfelles zu verschieben strebt, während die Wirkung auf den Hammer-

griff nur von der geringen Verlängerung oder Verkürzung ihrer Sehne abhängt, folgt, dass der Luftdruck eine verhältnissmässig grosse Verschiebung der Mitte dieser Bögen bewirken muss, um eine sehr kleine Verschiebung des Hammergriffes und der Knöchelchen hervorzubringen. Andererseits ist aber bekannt, dass die Spannung der Faser unter Wirkung des Luftdruckes dem Drucke direct und der Krümmung umgekehrt proportional ist, so dass der Zug bei einem sehr flachen Bogen jede beliebige Höhe erreichen kann. Die Krümmung der Radialfasern wird nun aber nicht durch den Luftdruck, sondern durch die Spannung der Ringfasern unterhalten und durch den Luftdruck nur vermindert und vermehrt, während die Spannungsänderungen der Radialfasern des Trommelfells die Schallerschütterungen auf den Griff des Hammers übertragen. Es werden somit bei sehr flach gespannten Radialfasern der Membran die Spannungsänderungen sehr beträchtliche Grössen bei verhältnissmässig geringen Aenderungen des Luftdruckes erreichen, wobei wie beim Hebel bei gesteigerter Kraftwirkung die Excursionen des Hammerstiels geringer werden. Das Labyrinth bleibt jedenfalls vermöge der angegebenen anatomischen Beschaffenheit vor Extremen des Druckes geschützt, während doch die Wirkung kleiner Druckschwankungen durch die geschilderten Verhältnisse ausserordentlich kräftig gemacht werden kann. Da nun aber die Meridianbogen des Trommelfelles unter einander zusammenhängen, ihr gegenseitiger Abstand sich gegen den festgehefteten Rand der Membran hin vergrössert, und sie durch die Ringfasern mit einander verbunden sind, so legt Helmholtz, um ein mehr den wirklichen Verhältnissen entsprechendes Abbild zu haben, ein ideales Trommelfell zu Grunde, welches kreisrund, rings um die Mitte symmetrisch gestaltet und in seiner Mitte kegelförmig eingezogen ist, also eine Rotationsfläche bildet.

Um nun die Form einer durch den Luftdruck allein gespannten Membran mit unausdehnlichen Radialfasern zu

finden, geht er von einem allgemein gültigen Principe der Mechanik aus: wo das Gesetz von der Erhaltung der Kraft seine Anwendung findet, tritt stabiles Gleichgewicht nur dann ein, wenn unter allen benachbarten Lagen, in welche das System continuirlich übergehen kann, die Gleichgewichtslage diejenige ist, in welcher die von den es angreifenden inneren und äusseren Kräften geleistete Arbeit ein Maximum ist. In der Gleichgewichtslage der Membran muss also die Summe der durch die Zusammenziehung ihrer elastischen Ringfasern geleisteten Arbeit ein Maximum sein. Indem er nun den Ueberschuss des Luftdruckes auf der oberen und unteren Seite der Membran mit der Arbeit zusammensetzt, welche von einer das Centrum der Membran angreifenden und der Axe parallelen Kraft geleistet wird, kann er das Problem mit Hinzufügung der Bedingung der Unausdehnbarkeit der Radialfasern nach bekannten Methoden als eine Aufgabe der Variationsrechnung behandeln. Er findet mit Hülfe der Theorie der elliptischen Integrale als Lösung eine Rotationsfläche mit fest bestimmter Meridiancurve, der in der That das Trommelfell, wenn man von der durch den oberen Theil des Hammerstieles verursachten Asymmetrie absieht, ähnlich gestaltet ist.

Um nun die akustischen Wirkungen solcher gekrümmter Membranen zu untersuchen, spannte er ein nasses Stück Schweinsblase über einen senkrecht stehenden Glaszylinder, stellte auf deren Mitte einen mit Metallstücken belasteten Stab und hatte nach dem Trockenwerden der Blase dauernd eine ähnliche Form wie das Trommelfell mit eingezogenem Nabel und nach aussen convex gekrümmten Meridianlinien. Wurde dann das andere Ende des Stäbchens als Steg für eine Darmsaite benutzt, welche auf einem nicht resonirenden starken Brette ausgespannt war, so gab die Membran eine einer Violine ähnliche mächtige Resonanz, wenn sie nur 4 cm Durchmesser hatte. Die Analogie mit dem Trommelfell besteht nun darin, dass auch hier die gekrümmte Mem-

bran die Leitung herstellt zwischen der Luft und einem dichteren Körper von mässigem Gewicht und relativ geringer Schwingungsamplitude, dem Labyrinthwasser; es muss somit nach dem von ihm früher bewiesenen Reciprocitätsgesetze auch die Leitung des Schalles von der Luft zum Labyrinthwasser leicht von Statten gehen. Durch höchst sinnreiche Versuche bestimmte er endlich die Resonanztöne, welche bei bedecktem menschlichen Ohre der schwingungsfähige Apparat giebt, welchen das Trommelfell in seiner Verbindung mit den Gehörknöchelchen, dem Labyrinthwasser und der Luft in der Trommelhöhle bildet, und gelangt dabei zu der Ansicht, dass das Muskelgeräusch ein Resonanzton des Trommelfelles ist, hervorgebracht durch unregelmässige Erschütterungen der Muskeln.

Die Ausführung dieser Arbeit, welche ein Muster feinsten anatomischer Forschung, genialer physikalischer Methode und tiefer mathematischer Analyse ist, hatte ihn, nachdem er die Grundzüge der Untersuchung bereits im Sommer 1867 in Heidelberg kurz mitgeteilt, den ganzen folgenden Winter hindurch in Anspruch genommen. Im August 1867 besuchte er zur Zeit der Weltausstellung den ophthalmologischen Congress in Paris und hielt dort einen Vortrag „*Sur la production de la sensation du relief dans l'acte de la vision binoculaire*“, in welchem er einen Theil der neuen, in seiner physiologischen Optik enthaltenen Untersuchungen skizzirte.

„Vorgestern und gestern“, schreibt er am 14. August 1867 seiner Frau, „habe ich die Vormittage auf dem ophthalmologischen Congresse zubringen müssen, wo ich sehr gefeiert wurde. Graefe ist hier, aber leider weder Donders noch Bowmann. Ich wurde feierlich mit Acclamation von der Gesellschaft empfangen, musste mich dann zu einem Vortrage verstehen, den ich gestern früh in französischer Sprache gehalten habe, natürlich *ex tempore*, denn zum Präpariren war keine Zeit . . . Ich war zum Bankett

der Gesellschaft bei Véfour invitirt; gleich der erste Toast ging auf mich von Graefe ausgebracht, worauf ich antworten musste, dann kam später noch ein anderer Toast auf mich, ein Vers, den Bowmann's Freund, Critschett, machte und ein junger Spanier vortrug, in dem Style: *L'ophthalmologie était dans les ténèbres — Dieu parla, que Helmholtz naquit — Et la lumière est faite!* Du siehst, dass ich das Rothwerden allmählich verlernen musste.“

Alle Briefe aus Paris an die mit den Kindern in Tegernsee weilende Gattin wiederholen das innige Bedauern, dass er seine Frau gerade in Paris entbehren sollte, wo sie vermöge ihres früheren langen Aufenthaltes noch weit mehr als er selbst Freude und Genuss an den Anregungen der Ausstellung und dem Verkehr mit allen hervorragenden Persönlichkeiten, welche jetzt dort weilten, gehabt haben würde.

„Aber der liebe Gott“, antwortet ihm seine Frau, „hat dem armen Robert nun einmal eine normale Existenz versagt, und da muss er unsere erste Sorge sein und bleiben. Dass ich diese Reise nicht mit Dir machen konnte, ist mir vielleicht das schwerste Opfer gewesen; doch ist's eine Kleinigkeit, wenn man dagegen die ganze lange Trübsal seiner halben Existenz vergleicht. Und die Zukunft wird weder für ihn noch für uns leichter werden, das weiss ich mit jedem Tage mehr, wenn es auch nicht viel hilft, darüber zu reden.“

Zur Erholung von den Anstrengungen des Pariser Aufenthaltes musste Helmholtz das Gebirge aufsuchen, „die Festlichkeiten etc. bei der Gluthitze waren so aufreibend, dass ich wieder anfang, Ohnmachten zu bekommen, die Jahre lang ausgeblieben waren“. Als er nach einigen Wochen erfrischt nach Heidelberg zurückgekehrt war, versenkte er sich in seine mechanisch-akustischen, mathematisch-philosophischen, hydrodynamischen und elektrischen Untersuchungen. Er schreibt am 19. November 1867 an Donders:

„Im Augenblicke warte ich auf neue akustische Instru-

mente und treibe mich mit psychologischen Ueberlegungen herum, die Principien der Raumanschauung und die wortlosen Seelenthätigkeiten bei den Sinneswahrnehmungen betreffend. Ich glaube, dass man von diesem letzteren Capitel wohl eine bessere Analyse geben könnte, als die Philosophen bisher gemacht haben Die Franzosen scheinen jetzt allmählich an meinen Tonempfindungen anzubeissen, und zwar besser als wenigstens die deutschen Musiker.“

Seine grossen Verdienste um die Akustik und die Theorie der Musik fanden in diesem Jahre eine erneute Anerkennung des Königs von Bayern, welcher ihm den Maximilian-Orden für Wissenschaft und Kunst verlieh.

In diesem Winter stimmte auch Helmholtz wie G. Wiedemann dem Gedanken zu, eine Uebersetzung der Tyndall'schen Vorträge über „Die Wärme betrachtet als eine Art der Bewegung“ von ihren Frauen in Angriff nehmen zu lassen, freilich unter sorgfältiger Controle des wissenschaftlichen Inhalts und versehen mit selbst verfasstem und unterzeichnetem Vorwort; gewisse Bedenken von Wiedemann beseitigt Helmholtz am 1. December 1867 mit den Worten: „Meine Frau findet nichts Anstössiges dabei, wenn Freunden mitgetheilt wird, wer die Uebersetzung gemacht hat; sie meint, es wäre anstössiger, wenn die Welt meinte, dass Sie und ich unsere Zeit damit verschwendet hätten.“

In der That erscheint schon im Jahre 1871 die Uebersetzung der Tyndall'schen Vorträge über die Wärme, und bereits ein Jahr früher die Uebertragung von dessen Gedenkschrift „Faraday as a discoverer“ mit einer interessanten Vorrede von Helmholtz, in welcher dieser seiner grossen Verehrung gegen Faraday herrliche Worte leiht. Wir wissen von früher, mit welcher Liebenswürdigkeit Faraday wiederholt Helmholtz bei dessen Besuchen in England entgegenkam; „die vollkommene Einfachheit, Bescheidenheit und ungetrübte Reinheit seiner Gesinnung hatte etwas Bezauberndes, wie ich es bei keinem anderen Manne je wieder

kennen gelernt habe“. Aber bei dem Entschluss Helmholtz's, diese Schrift von Tyndall zu übersetzen, trat das persönliche Moment ganz in den Hintergrund; auch die Freude zu schildern, wie Faraday mit einem unbegreiflichen Instincte die folgenschwersten naturwissenschaftlichen Entdeckungen gemacht hatte, für die er selbst die Gedankenverbindungen, welche ihn dazu geleitet, später nicht mehr klar wiederzugeben vermochte, war für ihn nicht allein bestimmend. Faraday's Entwicklung schien ihm vielmehr ein grosses allgemein menschliches Interesse für viele theoretische Fragen der Psychologie und mannigfache praktische Probleme der Erziehungskunst zu haben, und es war ihm eine interessante Erscheinung, dass der dem frommen Glauben der kleinen Secte seiner Eltern treu gebliebene Sohn eine philosophische Ader aufwies, die ihn „unter die Vordersten in der allgemeinen wissenschaftlichen Gedankenarbeit unseres Zeitalters sich einreihen liess“. Charakteristisch sind die Worte von Helmholtz, in welchen er im Grunde, ohne es direct auszusprechen, das Facit der Forschungen zieht, an denen er selbst in den verflossenen dreissig Jahren seines Lebens so gewaltig mitgewirkt und geschaffen:

„Nachdem unsere Zeit in ihrem wohlberechtigten Streben, das menschliche Wissen vor allen Dingen zum treuen Abbilde der Wirklichkeit zu machen, viele alte metaphysische Götzenbilder zerschlagen hatte, blieb sie stehen vor den überlieferten Formen der physikalischen Begriffe der Materie, der Kraft, der Atome, der Imponderabilien, ja diese Namen wurden zum Theil die neuen metaphysischen Stichworte derer, die sich am meisten in der Aufklärung vorgeschritten zu sein dünkten. Diese Begriffe nun sind es, die Faraday in seinen reiferen Arbeiten immer und immer wieder von Allem zu reinigen sucht, was sie Theoretisches enthalten und was nicht unmittelbarer und reiner Ausdruck der That-sachen ist.“

In demselben Jahre erschien auch der erste Theil des

ersten Bandes des von ihm und Wertheim ins Deutsche übertragenen Handbuchs der theoretischen Physik von W. Thomson und P. G. Tait mit einer kurzen Vorrede von Helmholtz, in welcher er William Thomson, einem der durchdringendsten und erfindungsreichsten Denker, den Dank der naturwissenschaftlichen Welt dafür abstattet, dass er uns in die Werkstatt seiner Gedanken einzuführen und die leitenden Fäden auseinanderzuwickeln unternommen, welche ihm den widerstrebenden und verwirrten Stoff zu beherrschen und zu ordnen geholfen haben. Er hebt hervor, dass in diesem Werke der physikalische Zusammenhang im Gegensatz zu der Eleganz der mathematischen Methoden bevorzugt sei. „Wird die Wissenschaft einst vollendet sein, so werden die physikalische und mathematische Consequenz vielleicht zusammenfallen.“

Erst im Jahre 1874, in welchem auch die von ihm und Wiedemann übersetzten Vorlesungen von Tyndall über den Schall erschienen, wurde der zweite Theil des ersten Bandes der theoretischen Physik von Thomson veröffentlicht mit einer am Ende des Jahres 1873 verfassten Vorrede, „Kritisches“, überschrieben. Später selbständig unter dem Titel „Induction und Deduction“ erschienen, enthält diese eine Abwehr der von Zöllner gegen Thomson und Helmholtz gerichteten Angriffe, welche Helmholtz in hohem Grade aufgeregt und betrübt haben; „einige schlaflose Nächte hat mich das Buch von Zöllner übrigens gekostet“, schreibt er an Ludwig, „ich habe keine Ahnung davon gehabt, dass hinter der Masse von Beifall, mit dem man mich zu verfolgen pflegt, sich so viel verbitterter Neid in einzelnen Gemüthern verbirgt“; aber nicht lange nachher musste er erkennen, dass diese Angriffe auf einer unglücklichen Geistesanlage des nach vielen Richtungen hin so verdienten Forschers beruhten, und wir lassen sie daher hier besser unerörtert. Nur eine allgemeiner interessante Stelle aus einem von Blaserna an mich gerichteten Briefe möge hier hervorgehoben werden: