

HERMANN VON HELMHOLTZ

Philosophische und
populärwissenschaftliche
Schriften

Herausgegeben von
Michael Heidelberger, Helmut Pulte
und Gregor Schiemann

BAND 1

FELIX MEINER VERLAG | HAMBURG

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische
Daten sind im Internet über <http://portal.dnb.de> abrufbar.
ISBN 978-3-7873-2896-3 (3 Bände)

Zitervorschlag: HPPS I

© Felix Meiner Verlag Hamburg 2017. Alle Rechte vorbehalten.
Dies gilt auch für Vervielfältigungen, Übertragungen, Mikroverfilmungen
und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen,
soweit es nicht §§ 53 und 54 UrhG ausdrücklich gestatten.
Satz: Da-TeX Gerd Blumenstein, Leipzig. Druck: Strauss, Mörlenbach.
Bindung: Litges & Dopf, Heppenheim. Gedruckt auf alterungsbeständigem
Werkdruckpapier (ANSI-Norm resp. DIN-ISO 9706), hergestellt aus
100 % chlorfrei gebleichtem Zellstoff. Printed in Germany.

www.meiner.de

Hermann von Helmholtz – Leben und Werk¹

1. Helmholtz' Leben²

1.1 Potsdam und Berlin: Energieerhaltung, Biophysik

Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz wurde am 31. August 1821 in Potsdam als ältestes von sechs Kindern geboren, von denen zwei früh verstarben. Der Vater Ferdinand war angesehener Professor für alte Sprachen am Potsdamer Gymnasium und weckte in seinem Sohn Begeisterung für die klassischen Bildungsideale. Helmholtz' Vater wäre, wie der Helmholtz-Biograph Leo Koenigsberger schreibt, »am liebsten seiner inneren Neigung folgend Philosoph geworden«³. Er war mit dem Sohn des Philosophen Johann Gottlieb Fichte befreundet, der mit ihm studiert hatte und Pate von Hermann wurde. Das Interesse des jungen Hermann an erkenntnistheoretischen Fragen war, wie er später schrieb, dadurch geweckt worden, dass er seinen Vater, »der einen tiefen Eindruck von Fichte's Idealismus behalten hatte, mit Collegen, die Hegel oder Kant verehrten, oft habe streiten hören«⁴. Aus einem bis in das letzte Lebensjahr des Vaters (1859) teilweise intensiv geführten Briefwechsel geht hervor, dass dieser seinen Sohn vergeblich von der Philosophie Fichtes zu überzeugen versuchte.⁵ Helmholtz' Mutter Karoline, geb. Penne, war die Tochter eines Hannoverschen Artillerieoffiziers, der

¹ Die zitierte Sekundärliteratur ist in der Auswahlbibliographie am Ende dieser Einleitung enthalten. Die Kürzel zu Helmholtz-Texten beziehen sich auf die am Ende der Ausgabe befindliche Gesamtbibliographie. Ist dabei einer Jahreszahl ein E vorangestellt, findet sich der fragliche Eintrag in der Bibliographie der englischsprachigen, bei einem F in der Bibliographie der französischsprachigen Titel. Mit »S.« gekennzeichnete Seitenverweise im laufenden Text oder in den Anmerkungen beziehen sich auf die Paginierung dieser Ausgabe.

² Quellen für Helmholtz' Biographie sind vor allem: Cahlan 1993c, Du Bois-Reymond 1896, Helmholtz, A. v. 1929, Helmholtz' »Erinnerungen« von 1891, in dieser Ausgabe S. 1114 ff., Kirsten 1986, Koenigsberger 1902/03, Kremer 1990 und Turner 1972.

³ Koenigsberger 1902/03 I, 1.

⁴ In dieser Ausgabe S. 1126.

⁵ Was von dem Briefwechsel bis heute aufgefunden worden ist, ist in Helmholtz 1993a und Koenigsberger 1902/03, S. 285–293 dokumentiert.

in gerader Linie von William Penn, dem Gründer des Staates Pennsylvania in den USA, abstammte. Die Vorfahren mütterlicherseits waren französische Glaubensflüchtlinge.

Helmholtz' Interesse für Physik und Mathematik entwickelte sich schon während seiner Schulzeit: Zu Hause standen ihm die naturwissenschaftlichen und mathematischen Bücher aus der Bibliothek seines Vaters zur Verfügung, der in den oberen Klassen manchmal auch Mathematik und Physik unterrichten musste, und er versuchte sich in optischen und anderen Experimenten. Es reifte in ihm der Entschluss, nach dem Abitur Physik zu studieren. Da jedoch die Mittel seiner Eltern zur Finanzierung eines solchen Studiums nicht ausreichten, vermittelte ihn ein verwandter Oberstabsarzt an die sogenannte »Pepinière«, das *Königlich medizinisch-chirurgische Friedrich-Wilhelms-Institut* in Berlin, in dem vielversprechende junge Kandidaten auf Staatskosten zu Medizinern ausgebildet wurden. Die Bedingung dafür war, nach dem Studium für mehrere Jahre als Arzt an der Charité und in der preußischen Armee zu dienen.

Die Zöglinge der Militäranstalt besuchten die normalen Vorlesungen der medizinischen Fakultät der Universität. Helmholtz hörte dort auch bei Johannes Müller, dem bedeutendsten Physiologen seiner Zeit, der über die physikalisch-chemischen Ursachen des Lebens forschte und ihn nachhaltig beeinflusste. Im Kreis der Schüler von Müller traf Helmholtz auch die späteren Physiologen Ernst Brücke und Emil Du Bois-Reymond, mit denen er zeitlebens freundschaftlich und wissenschaftlich verbunden blieb.⁶ Sie teilten mit ihm das Interesse an der Physik und scharten sich gemeinsam um den Physikprofessor Gustav Magnus, dessen Nachfolger Helmholtz später in Berlin werden sollte. Helmholtz hatte seinen Studiengenossen eine besondere Neigung für Mathematik voraus, in der er sich durch die Lektüre klassischer mathematischer Werke des 18. und frühen 19. Jahrhunderts autodidaktisch weiterbildete.

Nach seiner Promotion 1842 trat er seinen Dienst als Militärarzt an – zuerst an der Charité, dann beim *Königlichen Garde-Husaren-Regiment* in Potsdam, wo er bis 1848 blieb. In diese Zeit fiel die Abfassung des Artikels für Müllers »Archiv« unter dem Titel »Über das Wesen

⁶ Zur Berliner Gruppe der Physiologie um Helmholtz und E. Du Bois-Reymond und dessen mechanistischer Orientierung vgl. Pulte 2015a.

der Fäulnis und Gärung«, in dem er sich gegen die damals noch verbreitete Auffassung von der Urzeugung des Lebens wandte. Helmholtz' frühe Arbeiten zeugen von seiner Auseinandersetzung mit dem Vitalismus und sind durch das Bemühen gekennzeichnet, den Bereich zu definieren, in dem Lebenskräfte prinzipiell auszuschließen sind.⁷ Die Beziehungen zu seinen Freunden in Berlin pflegte er weiterhin. 1845 gründeten Mitglieder der Kreise um Magnus und Müller die *Physikalische Gesellschaft zu Berlin*, die 1899 in *Deutsche Physikalische Gesellschaft* umbenannt wurde und heute die weltweit größte Vereinigung von Physikern darstellt. In dieser Gesellschaft, der er auf Vermittlung von Du Bois-Reymond noch im Gründungsjahr beitrug und in der er Werner von Siemens kennenlernte, trug Helmholtz am 23. Juli 1847 seine epochemachende Abhandlung *Über die Erhaltung der Kraft* vor.⁸ Helmholtz selber beschreibt später in seinen »Erinnerungen« die Schwierigkeit, den anwesenden »physikalischen Autoritäten« den Erhaltungsgedanken nahezubringen.⁹

Man kann diese frühe Abhandlung von Helmholtz sowie die Einleitung Du Bois-Reymonds zu seinen *Untersuchungen über thierische Elektrizität* (1848) als die Programmschriften der Biophysik oder – wie

⁷ Helmholtz 1843a und Helmholtz 1845a. Für die Beurteilung von Helmholtz' früher Stellung zum Vitalismus ist seine sehr differenziert geführte Auseinandersetzung mit Justus von Liebig von großer Bedeutung, vgl. dazu Kremer 1990 und Lipman 1966.

⁸ Der vollständige Titel lautet: *Über die Erhaltung der Kraft: Eine physikalische Abhandlung, vorgetragen in der Sitzung der physikalischen Gesellschaft zu Berlin am 23. Juli 1847* (Helmholtz 1847a bzw. 1889b, 1902d, 1907a, 1915a, 1966c, 1982a, 1982b, 1983b, 1996a, 1999a und 2011a).

⁹ Vgl. hierzu S. 1120. Nach Helmholtz' Darstellung wurde seine Leitidee der Energieerhaltung nur von dem Mathematiker C. G. J. Jacobi anerkannt (s. hierzu Jacobi 1996 und Pulte 1994). Selbst Magnus wandte sich gegen die Art, wie Helmholtz experimentelle und mathematische Physik in seiner Arbeit miteinander verbunden hatte. Der mit Magnus befreundete Herausgeber der führenden »Annalen der Physik«, der Physiker Johann Christian Poggendorff, lehnte die Arbeit als zu theoretisch und zu wenig experimentell verankert ab, sodass sie als selbständige Veröffentlichung erscheinen musste (Koenigsberger 1902/03 I, 79). Zum Energieerhaltungsprinzip bei Helmholtz und im weiteren Kontext des 19. Jahrhunderts s. Breger 1982, Cahán 2012a und b, Harman 1982a, Winters 1985 und Schiemann 1997b, Kap. B.II.1. Vgl. auch Helmholtz 1871b, Beitrag d) bzw. 1971a, Beitrag f) sowie Helmholtz 1873a, E1853a, E1861a und E1864a.

Helmholtz sie nannte – der »jungen physiologischen Schule *J. Müller's* in Berlin, der ich selber angehörte«¹⁰, bezeichnen. Diese Schule vertrat die weitestgehende Reduktion der organischen Welt auf die Gesetze der Physik und Chemie, genauer: auf die Gesetze der Mechanik. Helmholtz wollte mit seiner Arbeit nachweisen, dass die mechanische Kraft eines Organismus und die in ihm erzeugte Wärme vollständig aus dem Stoffwechsel hergeleitet werden können.

Helmholtz fasste das Problem in ganz allgemeiner Form. Er sah es als Ziel der Naturwissenschaft an, die Naturerscheinungen zurückzuführen auf Bewegungen von Materie mit »unveränderlichen Bewegungskräften, welche nur von den räumlichen Verhältnissen abhängig sind« (S. 6) und insbesondere nicht von der Zeit oder Geschwindigkeit. Helmholtz glaubte, wenn diese Bedingung nicht erfüllt sei, gäbe es eine endlich große maximale Arbeitskraft, die aus einem System von »Naturkörpern« gewonnen werden kann. Sei sie nicht erfüllt, wenn also die zugrundeliegenden Kräfte zeit- oder geschwindigkeitsabhängig bzw. keine Zentralkräfte wären, könne Bewegungskraft aus Nichts entstehen oder für immer verloren gehen; es wäre also ein *perpetuum mobile* möglich.¹¹ Anknüpfend an die Tradition der »Erhaltung der lebendigen Kraft« in der Mechanik nahm Helmholtz eine Unterteilung vor, die der heutigen Differenz von kinetischer (»lebendige Kraft«) und potentieller Energie (»Spannkraft«) entspricht und brachte den Sachverhalt so zum Ausdruck: »In allen Fällen der Bewegung freier materieller Punkte unter dem Einfluss ihrer anziehenden und abstossenden Kräfte [...] ist der Verlust an Quantität der Spannkraft stets gleich dem Gewinn an lebendiger Kraft, und der Gewinn der ersteren dem Verlust der letzteren.

¹⁰ S. Königsberger 1902/1903 III, 30. Bernfeld 1944 spricht von der »School of Helmholtz«, Cranefield 1957 von »organic physics of 1847« und 1966b vom »biophysical movement of 1847«. Vgl. auch Bernfeld 1981 und Cranefield 1966a.

¹¹ Das ist nicht einmal für mechanische Systeme richtig, denn Energieerhaltung gilt innerhalb eines Systems punktförmiger Massen, wenn die Kräfte konservativ und die Potentiale nur von den Entfernungen zwischen den Punkten abhängig sind. Kräfte, die nicht zeit- oder geschwindigkeitsabhängig sind, stellen nur eine besondere Klasse der energieerhaltenden Kräfte dar. Erst in den *Vorlesungen über theoretische Physik* findet sich eine korrekte Ableitung der mechanischen Erhaltungssätze des Impulses, des Drehimpulses und der Energie für Punktmassensysteme (vgl. Helmholtz 1898a, I.2, 147 ff.).

*Es ist also stets die Summe der vorhandenen lebendigen und Spannkraften konstant.*¹²

Mit dieser Formulierung ist die Möglichkeit eröffnet, die verschiedenen Formen der Kräfte in den unterschiedlichen Zweigen der Physik in Bezug auf ihr mechanisches Äquivalent miteinander zu vergleichen. Folgerichtig stellt Helmholtz im Rest seiner Abhandlung das »Kraftäquivalent« der Mechanik, der Wärme, der elektrischen Vorgänge, des Magnetismus, des Elektromagnetismus fest und schließt mit Bemerkungen über die »Naturprozesse[...] der organischen Wesen«.¹³ Hier fehlten zwar, wie er einräumt, noch Informationen zum Vergleich der Kraftäquivalente und auch die Chemie müsse mit einbezogen werden. Aber es ist unübersehbar, dass Helmholtz sein Gesetz als Heuristik für die zukünftige Entwicklung der Physiologie verstanden wissen wollte.

Die Abhandlung fand erst verzögert Anerkennung. William Thomson, der spätere Lord Kelvin, und andere britische Physiker formulierten Helmholtz' Gesetz der »Constanz der Kraft« als »Energieerhaltungssatz« um.¹⁴ Nach dieser Fassung besagt Helmholtz' obengenannte Beziehung die Konstanz der Summe aus potentieller und kinetischer Energie – eine Formulierung, die heute noch gültig ist. Thomson gebrauchte den Ausdruck »Energie« ab ca. 1849 und der schottische Ingenieur William J. M. Rankine führte 1851 den Begriff der »potentiellen Energie« ein. Helmholtz hatte von »Energie« bisher nur in physiologischen Zusammenhängen gesprochen (»spezifische Sinnesenergie«, »Energie des Muskels«) und eignete sich erst ab ca. 1858 nach und nach die englische Sprech- und Denkweise von »Energie« für die Physik an.

1.2 Königsberg: Sinnesphysiologie, Zeichentheorie der Wahrnehmung, Erkenntnistheorie

Nach einer kurzen Anstellung als Anatomielehrer an der Berliner Kunstakademie wurde Helmholtz 1849 als Nachfolger von Ernst Wilhelm von Brücke außerordentlicher Professor der Physiologie in Königsberg. Kurz vor Antritt seiner Stelle heiratete er seine Verlobte

¹² Helmholtz 1882a I, 25 (Hervorhebung im Text).

¹³ Helmholtz 1882a I, 65

¹⁴ Vgl. für das Folgende Cahan 2012a, 5 ff.

Olga von Velten (1827–1859), die jüngere Tochter eines Oberstabsarztes. Aus dieser Ehe gingen die Tochter Catharina (1850–1878, später verheiratete Branco) und der Sohn Richard (1852–1934, später Ingenieur und Konstrukteur von Dampflokomotiven) hervor. In Königsberg bestimmte Helmholtz erstmals die Nervenleitgeschwindigkeit, also die Geschwindigkeit der Fortpflanzung eines Nervenimpulses im Nerv, indem er den Zeitunterschied zwischen der Reizung und der dadurch ausgelösten Zuckung eines Froschschenkels maß.¹⁵ Sowohl bei der theoretischen Konzeption des Experiments als auch bei der erforderlichen technischen Beherrschung kleinster Zeitdimensionen zeigte er sich als hervorragender und geschickter Experimentator.

Auch diese Arbeit stieß anfänglich auf einige Skepsis. Sein Lehrer Johannes Müller hatte noch sechs Jahre früher die Meinung vertreten, man werde wohl nie die Mittel besitzen, die Geschwindigkeit der Fortleitung von Erregungen im Nerv zu messen, da die dafür nötige Zeit unendlich klein sei.¹⁶ Nach Helmholtz' Messungen ist die Geschwindigkeit der Fortleitung einer Erregung mehr als zehnmals kleiner als die Schallgeschwindigkeit in der Luft. In einer populärer gehaltenen Nachfolgearbeit von 1851 verglich Helmholtz erstmals die Nervenfasern mit »elektrischen Telegraphendrähten«, die »augenblicklich jede Nachricht von den äussersten Grenzen her dem regierenden Centrum [also dem Gehirn] zuführen, und dann ebenso dessen Willensmeinung nach jedem einzelnen Theile des Ganzen zurückbringen, um daselbst in Ausführung zu kommen.«¹⁷ Nach Meinung von Helmholtz haben also Nerven keinen Einfluss auf das, was sie fortleiten. Helmholtz' Experiment revolutionierte bis in unsere Zeit die Experimentierpraxis in den Lebenswissenschaften und setzte neue hohe Maßstäbe für ihre Genauigkeit. Auch die Konzentration auf zeitliche Aspekte war richtungsweisend: Bis heute zieht die Neurophysiologie neben bildgebenden Verfahren vor allem aus zeitlichen Messungen Rückschlüsse auf die innere Beschaffenheit des Gehirns und die beteiligten Mechanismen.

Helmholtz widmete sich nun verstärkt sinnesphysiologischen Untersuchungen und erfand 1850 den Augenspiegel, mit dem man auf

¹⁵ Helmholtz 1850a = 1883a, 764–843. Vgl. Schmidgen 2009.

¹⁶ Vgl. Koenigsberger 1902/03 I, 118 f.

¹⁷ Helmholtz 1851b oder c, 181 = 1883a, 873. Die Analogie stammt ursprünglich wohl von Emil Du Bois-Reymond; vgl. Kirsten 1986, 111.

Grund eines einfachen Prinzips den Augenhintergrund des Menschen durch die Pupille hindurch betrachten kann. Diese Vorrichtung, die Helmholtz sehr populär machte, eröffnete den Augenärzten eine neue Welt ungeahnter Möglichkeiten und brachte ihrem Erfinder viel Ruhm ein.¹⁸ »Für meine äussere Stellung vor der Welt«, schrieb Helmholtz später, »war die Construction des Augenspiegels sehr entscheidend.« (S. 1122)

Außerdem kam ein Interesse an der Farbentheorie hinzu. Anfänglich glaubte er, Thomas Youngs Theorie des Farbensehens experimentell widerlegt zu haben. Dann aber wurde er zu ihrem größten Verfechter und Fortsetzer, sodass man heute von der Young-Helmholtz-Theorie der Farben spricht. Diese Theorie nimmt an, dass es im Auge dreierlei auf die Grundfarben Rot, Grün und Violett ansprechende Arten von Nervenrezeptoren gibt. Alle anderen Farben sind als Mischungen dieser drei Grundfarben anzusehen. Helmholtz fand heraus, dass man eine größere Sättigung der Grundfarben annehmen muss, als sie uns jemals in der Empfindung gegeben ist. Jedes Licht in den Grundfarben, und mag es noch so sehr gesättigt erscheinen, stimuliert nämlich (wenigstens in einem geringen Ausmaß) die beiden anderen Rezeptoren mit.

Helmholtz zeigte 1855, wie das Auge akkommodiert, d. h. sich auf das Sehen verschiedener Entfernungen einstellt.¹⁹ Bisher untersuchte man zum Studium der Akkommodation fast immer direkt das Auge und stellte verschiedene Hypothesen über Gestaltveränderungen oder Verschiebungen des Augapfels auf. Helmholtz ging indirekt vor und maß mit dem von ihm erfundenen Ophthalmometer, wie sich die von der Hornhaut und der Vorder- und Rückseite der Linse erzeugten Spiegelbilder des einfallenden Lichts im Instrument während der Akkommodation

¹⁸ Auch die diesbezügliche Veröffentlichung gehört noch zu Helmholtz' frühen Schriften: »Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge« (Helmholtz 1851a). Helmholtz bemerkt rückblickend, dass er zu dieser Entdeckung bei der Vorbereitung einer seiner Königsberger Vorlesungen zur Allgemeinen Pathologie und Physiologie gelangte: »Bei der Vorbereitung zur Vorlesung stiess ich nämlich zunächst auf die Möglichkeit des Augenspiegels [...]. Der Augenspiegel ist wohl die populärste meiner wissenschaftlichen Leistungen geworden, aber ich habe schon den Augenärzten berichtet, wie dabei das Glück eigentlich eine unverhältnismässig grössere Rolle gespielt hat, als mein Verdienst« (S. 1121 f.). Zum physiologischen Kontext dieser Entdeckung vgl. Lenoir 1993.

¹⁹ Helmholtz 1855d.

des Auges verändern. Diese Messungen genügten, um nachzuweisen, dass es die Linse des Auges ist, die sich bei Akkommodation durch den (von Brücke kurz zuvor aufgefundenen) Ziliarmuskel in ihrer Gestalt verändert: Die Konvexität der elastischen Linse nimmt durch Kontraktion des Muskels zu, je näher das betrachtete Objekt dem Auge ist.

Seine Sinnesphysiologie führte Helmholtz aber nicht nur zu einer ausgearbeiteten Sehtheorie und neuen wissenschaftlich-medizinischen Instrumenten, sondern trug auch zur Formulierung eines eigenen Ansatzes in der Erkenntnistheorie, der sogenannten Zeichentheorie der Wahrnehmung, bei. Diese empirische Wahrnehmungstheorie entfaltete er in den Vorträgen und Vorlesungen »Ueber die Natur der menschlichen Sinnesempfindungen« (1854), »Ueber das Sehen des Menschen« (1855), »Ueber die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonie« (1857), »Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens« (1868), »Die Thatsachen in der Wahrnehmung« (1878) bis hin zu den Ausführungen »Von den Wahrnehmungen im Allgemeinen«²⁰ in der postum erschienenen Überarbeitung des *Handbuchs der Physiologischen Optik* (1896).

Empfindungen, die in uns durch äußere Einwirkungen auf unsere Sinnesorgane erzeugt werden, sind keine (ähnlichkeitserhaltenden) Abbildungen, sondern bloße Zeichen oder Symbole, die wir von den äußeren Objekten empfangen und über die wir zu objektiver Erkenntnis der Realität nur gelangen können, wenn wir die Gesetzlichkeit der Verursachung der Empfindungen durch äußere Objekte unterstellen und deren Regelcharakter – unter Einbeziehung der Struktur unserer eigenen physiologischen Wahrnehmungsapparatur – entschlüsseln: »Da Gleiches in unserer Empfindungswelt durch gleiche Zeichen angezeigt wird, so wird der naturgesetzlichen Folge gleicher Wirkungen auf gleiche Ursachen auch eine ebenso regelmäßige Folge im Gebiete unserer Empfindungen entsprechen« (S. 894). Helmholtz verbindet diese Zeichentheorie mit einer psychologischen Theorie der unbewussten Schlüsse über Existenz, Art und Lokalisation äußerer Objekte.²¹

²⁰ Helmholtz 1854c, 1855a, 1865b, Beitrag d), 1868c und 1896b.

²¹ Zu Helmholtz' empirisch-psychologischer Wahrnehmungstheorie im Einzelnen vgl. neben den frühen Beiträgen von Erdmann 1921, Riehl 1921, Schwertschlager 1883 und Stumpf 1895 die neueren Analysen Hatfield 1990, Heidelberger 1993b, 1994 und 1995a, 1995b sowie Schieman 1997b, Kap. B II.3.

Die Zeichentheorie unterscheidet zwischen den Begriffen »Empfindung« und »Wahrnehmung« sowie »Zeichen« und »Abbild«. Empfindungen sind die durch Einwirkung äußerer Ursachen auf unsere Sinnesnerven in uns erzeugten subjektiven Erscheinungen. Wahrnehmungen hingegen sind Hypothesen über äußere Objekte als Ursachen für die Empfindungen – Hypothesen über ihre Existenz, Form und Lage, die wahr oder falsch sein können. Die Wahrnehmung eines Tisches beispielsweise bezieht sich auf Farb- und Formempfindungen, aus denen der Wahrnehmungsapparat die Hypothese eines äußeren Gegenstandes konstruiert. An die Empfindung schließt sich also erst dann eine Wahrnehmung an, wenn durch psychische Tätigkeit (Denken und Schließen) eine Vorstellung von einer äußeren Ursache gebildet wird, die die Empfindung bewirkt. Zwischen Empfindungen und Wahrnehmungen besteht also ein tiefgreifender Unterschied.

Wenn aber die Empfindungen bloße Zeichen der Wirklichkeit sind, wie können wir ihre reale Bedeutung kennenlernen, also erfahren, worauf sie sich letztlich beziehen? Wie können dann unsere Sinne und die Erfahrungswissenschaft die Wirklichkeit verlässlich fassen? Als Zeichen beziehen sich die Empfindungen ja auf eine uns unbekannte Welt, die uns selbst nicht direkt gegeben ist. Sind wir Menschen also für immer in das Gefängnis unserer subjektiven Empfindungen eingeschlossen? Helmholtz glaubte, dass sich im Umgang mit einem Zeichensystem unter gewissen Voraussetzungen aus Erfahrungen auf die objektive Beschaffenheit des Bezeichneten hypothetisch rückschließen lässt und wir auf diese Weise die Bedeutung der Zeichen lesen lernen können. Da die Empfindungen von den Gegenständen, für die sie als Zeichen stehen, *verursacht* sind, sind wir in der Lage, »eine Sache von der allergrössesten [sic!] Tragweite« zu leisten, nämlich »die Abbildung der Gesetzmässigkeit in den Vorgängen der wirklichen Welt« (S. 894). Der regelmäßigen Folge von Ereignissen in der Empfindungswelt entspricht somit in zeitlicher Hinsicht eine naturgesetzliche Abfolge von Ereignissen in der wirklichen Welt. Obwohl also unsere Empfindungen nur Zeichen der Wirklichkeit sind, liefern sie insofern ein Abbild der Wirklichkeit. Die Objektivität des Gegebenen kann daher durch Bezug auf seine Struktureigenschaften gewährleistet werden. Hiermit wurde Helmholtz zum Vorläufer einer Tradition, die über den Mathematiker und Physiker Henri Poincaré zu den Philosophen Moritz Schlick

und Rudolf Carnap reicht.²² In der Philosophie der Gegenwart wird diese Position als »Struktureller Realismus« diskutiert.

Für Helmholtz ergaben sich hieraus verschiedene Folgerungen:

1. Die Fähigkeit zur Wahrnehmung wird erlernt und ist nicht angeboren. Wahrnehmen heißt lernen, Empfindungen als »innere« Zustände mit der Vorstellung von äußeren Gegenständen zu verknüpfen. Helmholtz nennt seine Theorie deshalb auch »Empirismus« und stellt sie dem »Nativismus« gegenüber, der Wahrnehmung für angeboren hält (der Ausdruck »Empirismus« wird hier im Sinne von »genetischer Theorie« gebraucht).

2. Eine zweite Folgerung betrifft die Natur der psychischen Tätigkeiten, welche die gegebenen Empfindungen in Wahrnehmungen umsetzen. Helmholtz glaubt, dass es sich bei diesen Denkvorgängen nur um Schlüsse handeln kann. Aufgrund vorher gemachter Erfahrungen wird beim Vorliegen gewisser Empfindungen auf äußere Objekte geschlossen. Diese Schlüsse gehen im Lauf der Zeit so sehr in Fleisch und Blut über, dass sie nicht mehr bewusst werden; es sind die berühmten »unbewussten Schlüsse«.

3. Eine weitere Folgerung schließlich bezieht sich auf die Sinnestäuschungen. Eine Täuschung ist keine Funktionsstörung des physiologischen oder psychischen Apparats, sondern beruht auf einem ungültigen Schluss. Sie ist eine unter speziellen Umständen entstehende Fehlinterpretation gegebener Empfindungen, die in anderen Fällen durchaus korrekt sein kann. Dass sich Menschen gegen Sinnestäuschungen auch dann nicht wehren können, wenn sie ihr Zustandekommen durchschaut haben, erklärt Helmholtz durch die Kraft der unbewussten Schlüsse, über die das Bewusstsein nicht verfügen kann.

Helmholtz zog aus seiner Erkenntnistheorie nicht nur Folgerungen für die menschliche Wahrnehmung, sondern auch für eine Theorie der Wissenschaft. Das erkennende Subjekt muss lernen, zwischen eigenbestimmter, freier Innenwelt und fremdbestimmter Außenwelt – zwischen dem Empfundenen, Gedachten und dem Wirklichen – zu unterscheiden. Hieraus ergibt sich die Unterteilung der Wissenschaft in die Geistes- und Naturwissenschaft. Die Naturwissenschaft behandelt die Vorstellungen, die sich uns als äußere aufdrängen, also nicht spontan durch das Vorstellungsvermögen erzeugt sind. Wie der Sehende die Wahrnehmung des Wirklichen durch Schlüsse aus den subjektiven

²² Vgl. Heidelberger 1985, 153.

Empfindungen konstruiert, muss der Naturwissenschaftler das verborgene Gesetz der Wirklichkeit erst aus den Erscheinungen erschließen. »Das Gesetzmäßige ist daher die wesentliche Voraussetzung für den Charakter des Wirklichen« (S. 913). Die Überzeugung, dass Naturwissenschaft vor allem Gesetzeswissenschaft sei, hat sich für Helmholtz im Laufe seines Lebens immer mehr verfestigt.

Die Geisteswissenschaft hingegen beschäftigt sich mit solchen Empfindungen und Vorstellungen, die nicht auf äußere Ursachen, sondern auf die eigene innere Tätigkeit zurückgehen. Sie ist deshalb in letzter Hinsicht als Wissenschaft der »Seelentätigkeiten«, also als Psychologie, aufzufassen. Weil Menschen einen freien Willen besitzen, ist der entscheidende Teil der psychischen Vorgänge nicht auf strenge Gesetze zurückführbar. Die Geisteswissenschaft muss sich also anderer Methoden bedienen als die Naturwissenschaft, etwa der »künstlerischen Induction« oder des »psychologischen Tactgefühls«, wie Helmholtz es ausdrückt (S. 193–197). Er kommt mit dieser Auffassung der Position der Südwestdeutschen Neukantianer nahe, die von einem unüberbrückbaren Gegensatz zwischen den nomothetischen Naturwissenschaften und den idiographischen, das Einzelne beschreibenden, historischen Wissenschaften ausgehen.

Helmholtz kritisierte einerseits Verstöße gegen die Wissenschaftlichkeit, die sich aus der Vermengung der Prinzipien beider Wissenschaftsbereiche ergaben, wie sie prominent in der von dem Philosophen Friedrich Wilhelm Joseph Schelling und den Naturphilosophen vertretenen »Identitätsphilosophie« vorkamen: Ihr zufolge seien die Gesetze des Geistes gleichzeitig Gesetze der äußeren Wirklichkeit, sodass durch Untersuchung der eigenen inneren Tätigkeit die Gedanken des Schöpfers auch ohne äußere empirische Erfahrung aufgefunden werden können.²³ Aus einer solchen Identifizierung von Natur und Geist konnte nach Helmholtz' Meinung nur eine Verkehrung der Begriffe folgen, die schließlich zu haltloser Spekulation und unbegründeter Metaphysik führen. Andererseits war Helmholtz um die Verbindung der beiden Wissenschaftsbereiche bemüht, wenn er etwa die »künstlerische Induktion« für die Naturwissenschaft fruchtbar zu machen versuchte.²⁴

²³ S. 185–187.; vgl. auch S. 660 und 1161.

²⁴ Zu Helmholtz' Charakterisierung der experimentellen Wissenschaft gehörte noch in den 60er Jahren ihre Entgegensetzung zum »künstlerischen«

Helmholtz hatte sich nun eine angesehene Stellung in der Wissenschaft errungen, die ihn auch wissenschaftspolitisch einflussreich machte. Während seiner Zeit in Königsberg bereiste er die Universitätsinstitute für Physiologie in Deutschland und knüpfte mannigfache Verbindungen ins Ausland. Besonders anziehend fand er Großbritannien, wo er viele Physiker seiner Zeit kennenlernte und sich besonders mit William Thomson, dem späteren Lord Kelvin, sowie John Tyndall und Henry Enfield Roscoe befreundete. Er pflegte auch zu Michael Faraday, George Stokes, Charles Wheatstone, Peter Guthrie Tate und James Clerk Maxwell Beziehungen, die über die wissenschaftliche Kooperation hinausgingen. Seine erste Reise nach England unternahm er im September 1853 zum 23. Treffen der *English Association for the Advancement of Science* in Hull, wo er über die Mischung homogener Farben vortrug. Es sollten später noch sieben weitere Reisen nach England folgen.²⁵

1.3 Bonn und Heidelberg: Weiterführung der Sinnesphysiologie

Noch im Jahre 1855 erhielt Helmholtz eine Professur für Anatomie und Physiologie an der Universität Bonn. Schon drei Jahre später nahm er das Angebot auf den neugegründeten Physiologielehrstuhl der Universität Heidelberg an, den er bis 1871 innehatte. In diesen Jahren baute Helmholtz seine Sinnesphysiologie weiter aus und unternahm eine systematische Zusammenfassung des Forschungsstands der physiologischen Theorien des Sehens und Hörens. Das monumentale *Handbuch*

und am unmittelbaren Zeugnis der Sinneswahrnehmung ausgerichteten Verfahren der Geisteswissenschaften. Während er damals Überschneidungen zwischen der naturwissenschaftlichen und der geisteswissenschaftlichen Methodik auf »manche[...] Gebiete[...]« der Naturwissenschaften wie beispielsweise die »naturhistorischen Fächer[...]« beschränken wollte (S. 197), führte er später Elemente einer ästhetischen Naturbetrachtung unmittelbar in die Methodik der Physik ein (vgl. Schiemann 1997b, 319 ff.). Zur Rezeption der zeitgenössischen Naturwissenschaften im Allgemeinen und Helmholtz' Beiträgen im Besonderen bei Wilhelm Dilthey und dem Einfluss auf dessen Konzeption von ›Geisteswissenschaft‹ s. Pulte 2016.

²⁵ Cahan 2012a, 55. Vgl. Koenigsberger 1902/03 II, 194–202 für den Abdruck aus Briefen an seine Frau, in denen Helmholtz seine Reise nach England sehr lebendig schildert.

der Physiologischen Optik erschien in drei Lieferungen im Jahre 1856, 1860 und 1867.²⁶ Die experimentelle und theoretische Vorgehensweise dieses Werkes ist auch für die heutige Neurowissenschaft noch in Vielem vorbildlich.

Der erste Band behandelt die anatomische Beschreibung des Auges und seiner Dioptrik, einschließlich der Akkommodation und des Augenspiegels. Im zweiten Band steht die Frage im Vordergrund, wie Gesichtsempfindungen von den physikalischen Reizen abhängen. Als »Gesichtsempfindungen« werden u.a. behandelt: Farben (besonders die Graßmannschen Gesetze der Lichtmischung), Nachbilder, Irradiation und Kontrasterscheinungen. In Bezug auf Letztere vertrat Helmholtz eine psychologische Theorie: Sie gehen auf keine physikalischen oder physiologischen Gegebenheiten zurück, sondern beruhen auf unbewussten Urteilstäuschungen.

Der dritte Band ist den »Gesichtswahrnehmungen« gewidmet, dem Erkennen räumlicher Verhältnisse durch die Augen. Nach Helmholtz' Auffassung werden räumliche Verhältnisse nicht wie die Farben und die Helligkeit direkt empfunden, sondern entstehen erst durch psychische Verarbeitung der Empfindungen, ihre unbewusste Deutung. Weitere Themen des Bandes umfassen Augenbewegungen, Augenmaß, Sehrichtung, das Horopterproblem, Tiefenwahrnehmung, das Doppeltsehen und das Stereoskop. Für die Philosophie ist besonders der Paragraph 26 dieses Werkes wichtig, der eine ausführliche Darstellung von Helmholtz' sinnesphysiologischer Erkenntnistheorie bietet.²⁷ Diese Theorie hat den Philosophen Friedrich Albert Lange beeinflusst, der mit dem 2. Band der zweiten Auflage seiner *Geschichte des Materialismus* an der Begründung des Neukantianismus maßgeblich beteiligt war.²⁸

²⁶ Helmholtz 1856a, 1860a, 1867a und als Gesamtausgabe: Helmholtz 1867b. Zur zweiten Auflage von 1885 bis 1894 vgl. Helmholtz 1885a, 1886a, 1887a, 1889a, 1892a und 1894a bzw. die Gesamtausgabe 1896b. Eine dritte Auflage, die den Text der 1. Auflage wieder aufnimmt, wurde von 1909 bis 1911 veröffentlicht; vgl. Helmholtz 1909a, 1910b und 1911a, nachgedruckt als Helmholtz 2003b. Für englische und französische Übersetzungen vgl. die Gesamtbibliographie am Ende dieser Ausgabe.

²⁷ Die vorliegende Ausgabe enthält sowohl die erste (Text 13) als auch die zweite, stark überarbeitete Fassung dieses Paragraphen (Text 14).

²⁸ Vgl. Lange 1875.

Zwischen der zweiten und dritten Lieferung des Handbuchs erschien 1863 ein weiteres Monumentalwerk, nämlich die *Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, mit der Helmholtz eine neue Theorie der physiologischen Akustik formulierte.²⁹ Grundlegend ist hierfür die Analyse der Klangfarben: Ihre Verschiedenheit konnte Helmholtz – unter Rückgriff auf eine Theorie des Physikers Georg Simon Ohm – mit Hilfe der von ihm selbst konstruierten Resonatoren darauf zurückführen, dass in den verschiedenen Klängen verschiedene Obertöne in verschiedener Stärke vorhanden sind. Die Schwingungsphase der Töne spielt dabei keine Rolle.

Die Verbindung dieser physikalischen Theorie mit Ergebnissen aus der Anatomie und Physiologie des inneren Ohres, die in den 50er Jahren bekannt wurden, führte Helmholtz zur sogenannten Resonanztheorie des Hörens: Danach enden die zahlreichen Fasern des Hörnervs in Rezeptoren, die auf die verschiedensten eintreffenden Schwingungen abgestimmt sind. Bei Reizung schwingen sie mit und rufen im Sensorium jeweils eine Empfindung von bestimmter Tonhöhe hervor. Das Ohr wirkt also wie ein Klavier mit gedrücktem Pedal, dessen einzelne Saiten je nach Beschaffenheit eines auf sie einwirkenden Tones in Mitschwingung geraten. Helmholtz hat es auch so ausgedrückt: Der Hörapparat führt in seinem physiologischen Teil eine – wie wir heute sagen würden – Fourier-Zerlegung des Klanges in Grundton und Obertöne aus und setzt die durch die einzelnen Teile ausgelösten Hörempfindungen in der psychischen Verarbeitung anschließend wieder zusammen.³⁰

Mit der Theorie der Klangfarben versuchte Helmholtz, das Problem der Konsonanz und Dissonanz zu lösen: die Frage nämlich, warum manche Tonkombinationen harmonisch klingen und andere wiederum

²⁹ Vgl. Helmholtz 1863a, nachgedruckt als Helmholtz 1981a. Auch dieses Werk war äußerst erfolgreich. Neben verschiedenen Übersetzungen zeigen dies auch die weiteren deutschsprachigen Auflagen: Eine zweite Auflage erschien bereits 1865 (Helmholtz 1865a, nachgedruckt als Helmholtz 1983b), eine dritte wiederum fünf Jahre später (Helmholtz 1870a), eine vierte 1877 (Helmholtz 1877b), eine fünfte zwei Jahre nach Helmholtz' Tod (Helmholtz 1896a) und eine sechste im Jahre 1913 (Helmholtz 1913a, nachgedruckt als Helmholtz 1968c, 1983b, 2000a, 2003a und 2007a). Zu Helmholtz' Sinnesphysiologie vgl. Hatfield 1990, Hatfield 2015, Heidelberger 1993b, Kries 1923, Lenoir 1982 sowie Turner 1977 und 1994.

³⁰ Siehe Helmholtz 1863a, 196–223 und 1870a, 195–235. Die »Clavier«-Analogie in beiden Aufl. auf S. 197.

nicht. Schon die Pythagoräer hatten herausgefunden, dass einfache Schwingungsverhältnisse, die sich in kleinen ganzen Zahlen ausdrücken lassen, zu ästhetisch befriedigenden Eindrücken führen. Helmholtz zeigte, dass zwei gleichzeitig gehörte Töne, deren Schwingungszahlen nur wenig verschieden sind, sogenannte Schwebungen erzeugen: ein schnell wechselndes Zu- und Abnehmen der Tonstärke, das zu unangenehmen Empfindungen führt, vergleichbar mit dem optischen Flimmern. Akustische Schwebungen entstehen aber auch dann, wenn die Obertöne zweier wesentlich verschiedener Grundtöne sich nur wenig voneinander unterscheiden. Die Schwebungen in den Obertönen fallen aber weg, wenn die Schwingungszahlen der Grundtöne in kleinem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen. Helmholtz klärte die Bedingungen, unter denen Schwebungen auftreten, und stellte die Theorie auf, dass Schwebungen die Ursache der Disharmonie sind oder umgekehrt: dass Harmonie dann vorliegt, wenn keine Schwebungen auftreten. Damit hatte Helmholtz das alte pythagoräische Problem der ästhetischen Wirkung der Musik durch das Zusammenspiel von Physik und Physiologie gelöst.³¹ Helmholtz war sich aber durchaus der Tatsache bewusst, dass damit längst nicht die ganze Ästhetik erschöpft sein kann: »Die Erscheinungen des rein sinnlichen Wohlklanges sind freilich erst der niedrigste Grad des musikalisch Schönen. Für die höhere, geistige Schönheit der Musik sind Harmonie und Disharmonie nur Mittel, aber wesentliche und mächtige Mittel« (S. 165).

Da die Akustik es mit der Fortpflanzung des Schalls in einem Medium zu tun hat, wurde Helmholtz' Interesse allgemein auf aero- und hydrodynamische Probleme gelenkt. 1858 veröffentlichte er eine mathematisch anspruchsvolle und innovative Arbeit, in der er zeigte, dass Wirbelbewegungen in reibungsfreien Flüssigkeiten erhalten bleiben und dass es eine Analogie zwischen den Fernwirkungen der Wirbelfäden und den elektromagnetischen Fernwirkungen elektrischer Ströme gibt.³² William Thomson entwickelte neun Jahre später eine einflussreiche und verbreitete Materietheorie, die die Atome als sich im Äther unablässig drehende Helmholtzsche Wirbelringe auffasste.³³ Auch Maxwell griff auf Helmholtz' mathematische Sätze zur Wirbel-

³¹ Siehe Helmholtz 1863a und 1870a, 2. Abteilung, 10. Abschnitt.

³² Vgl. hierzu Darrigol 1998, 2005 und 2008.

³³ Vgl. Kragh 2002, 34 ff.

bewegung zurück, als er die nach ihm benannten elektromagnetischen Gleichungen entwickelte.³⁴

Durch seine Wahrnehmungstheorie kam Helmholtz mit dem schon oben erwähnten und namentlich von dem Physiologen Ewald Hering vertretenen Nativismus in Konflikt. Hering war der Überzeugung, dass jedes psychische Geschehen ein physiologisches Korrelat besitzen müsse, sodass man von psychischen Prozessen auf physische und umgekehrt schließen könne. Diese Ansicht ist auch heute noch eine der grundlegenden Annahmen der Neurophysiologie. Darüber hinaus war Hering der Auffassung, dass die Raumwahrnehmung nicht (wie in der genetischen Theorie von Helmholtz) durch psychische Akte des Lernens aus Erfahrung zustande kommt, sondern schon in ›fest verdrahteten‹ speziellen physiologischen Mechanismen angelegt ist. Jede stimulierte Netzhautstelle löse unabhängig von aller Erfahrung ein ursprüngliches Raumgefühl aus.³⁵

Hering kritisierte Helmholtz' Annahme psychischer Prozesse zur Erklärung der Wahrnehmung als einen *deus ex machina*, mit dem man willkürlich *Ad-hoc*-Erklärungen einführen kann, falls man physiologisch nicht mehr weiterweiß.³⁶ Wenn Helmholtz von unbewussten Schlüssen spricht, so hat dies für Hering nur dann einen Sinn, wenn es einen experimentellen Anhaltspunkt für einen den psychischen Aktivitäten zugrundeliegenden physiologischen Prozess gibt. Herings Theorie bringt es mit sich, dass man aus den Empfindungen auf die grundlegenden physiologischen Mechanismen rückschließen kann. In seiner ursprünglich gegen Young und Helmholtz gerichteten Farbentheorie werden die Farben als psychische Korrelate dreier Sehsubstanzen genommen, deren chemische Veränderung jeweils zwei Gegenfarben zulässt (rot – grün, blau – gelb, schwarz – weiß). Heute wird die erste Stufe des Tagessehens auf der Ebene der Netzhaut mit dem von Helmholtz ausgearbeiteten Mechanismus des Drei-Zapfen-Systems erklärt, während das Dämmerungssehen und die neuronale Weiterverarbeitung der Reize auf einer zweiten Stufe in den Ganglienzellen und im Sehnerv auf

³⁴ Vgl. Heidelberger 2010 für die Rolle der Analogie im Denken von Helmholtz und Maxwell bei Schlüssen aus der Theorie eines physikalischen Bereichs analog auf die Theorie eines anderen.

³⁵ Vgl. Heidelberger 1993b und 1997b.

³⁶ Hering 1878, 2. Zur Nativismus-Empirismus-Kontroverse vgl. auch Turner 1994.

dem Weg zum Hirn mit der Gegenfarbentheorie von Hering erklärt wird. Diese Erklärungen gehen auf die Duplizitäts- und Zonentheorie des Physiologen, Philosophen und Helmholtz-Schülers Johannes von Kries von 1894/1896 bzw. 1905 zurück, mit denen ein Kompromiss zwischen Helmholtz und Hering erreicht wurde.³⁷

1.4 Heidelberg: Grundlagen der Geometrie, Wissenschaftspolitik

Ende September 1858 wechselte Helmholtz an die Universität Heidelberg. Zusammen mit den Begründern der Spektralanalyse, Robert Bunsen und Gustav Robert Kirchhoff, führte er dort eine Glanzzeit für die Naturwissenschaften herbei, die viele Studenten aus dem In- und Ausland anzog. Der Amtsantritt in der badischen Universitätsstadt war jedoch vom Tod seines Vaters und seiner ersten Frau Olga überschattet. 1861 ging er eine neue Ehe mit Anna von Mohl (1834–1899) ein, der Tochter eines württembergischen Staatsrechtlers und Diplomaten, die das Haus in Heidelberg und später Berlin als einen standesgemäßen wissenschaftlichen und künstlerischen Salon führte.³⁸ Aus dieser Ehe gingen drei Kinder hervor, die alle in Heidelberg geboren wurden: Robert Julius (1862–1889), Ellen (1864–1941) und Friedrich (Fritz) Julius (1868–1901). Robert wurde Physiker wie sein Vater und war gerade zum Assistenten an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ernannt, als ihn ein früher Tod ereilte. Ellen heiratete 1884 Arnold von Siemens (1853–1918), den ältesten Sohn des Firmengründers und Helmholtz-Freundes Werner von Siemens (1816–1892). Über Fritz von Helmholtz ist sehr wenig bekannt, außer dass er – wie wohl alle Helmholtz-Söhne – von sehr schwächlicher Konstitution war.

Das Problem der Raumwahrnehmung des Auges, das Helmholtz in seiner *Physiologischen Optik* beschäftigt hatte, stand in seiner Heidelberger Zeit auch im Zusammenhang mit seinen Beiträgen zur Geometrie und ihrer Philosophie. Besonders die damals noch wenig beachtete nichteuklidische Geometrie fand sein Interesse. Um 1830 hatten

³⁷ Zur Duplizitätstheorie vgl. Kries 1894 und 1896, zur Zonentheorie Kries 1905.

³⁸ Zu Anna von Helmholtz vgl. Bunsen 1899, Dilthey 1900, Braun-Artaria 1919, 130 ff., und Wilhelmy 1989, 287 ff.

Nicolai Lobatschewski und János Bolyai gezeigt, dass man das Parallelenaxiom in Euklids Geometrie in verschiedener Hinsicht abändern kann, ohne dass sich ein Widerspruch zu den anderen Axiomen Euklids ergibt – es also unabhängig von ihnen ist. Hieraus ergaben sich tiefgreifende Fragen: Ist es denn sinnvoll, von unterschiedlichen Geometrien auszugehen? (Als Gegenargument wurde vorgebracht, dass sich die Geometrie allein auf den physischen Raum zu beziehen habe, ähnlich wie die Naturwissenschaften sich auch nur mit physischen Gegenständen – und nicht mit Fiktionen – beschäftigen. Nichteuklidische Geometrie wäre analog zu einer Biologie, die die Sphinx oder das Einhorn behandelt.³⁹) Wenn es wirklich sinnvoll wäre, sich Alternativen zur euklidischen Geometrie auszudenken, wie ließe sich dann feststellen, in welcher Art von Raum wir tatsächlich leben? Und wie müsste man dann das Verhältnis von Mathematik und Erfahrung genauer fassen? Diese Fragen waren von großer erkenntnistheoretischer Brisanz und ihre durch Helmholtz mit angestoßene Beantwortung sollte im 20. Jahrhundert schließlich zu einer völligen Umwälzung nicht nur der Philosophie der Mathematik, sondern auch der Physik von Raum und Zeit sowie der Wissenschaftsphilosophie insgesamt führen.

Mit Bezugnahme auf Bernhard Riemanns Habilitationsvortrag *Ueber die Hypothesen, welche der Geometrie zum Grunde liegen* (1854, veröffentlicht 1868⁴⁰) entwickelte Helmholtz zunächst u. a. in den beiden Beiträgen »Ueber die Thatsachen, die der Geometrie zum Grunde liegen« (1868) und »Ueber die thatsächlichen Grundlagen der Geometrie« (1868)⁴¹ sowie später u. a. in »Über den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome« (1876) und »Ueber den Ursprung und Sinn der geometrischen Sätze; Antwort gegen Herrn Professor Land« (1878)⁴²

³⁹ Hausdorff 1903/04.

⁴⁰ Und nicht 1866, wie man oft liest; vgl. Volkert 1993, 308.

⁴¹ Helmholtz 1868b bzw. 1868h, letztere Schrift mit späterer »Correktur« (Helmholtz 1869g, 1871i), die in den *Wissenschaftlichen Abhandlungen* als »Zusatz« erscheint (vgl. Helmholtz 1883a, 617). Neben diesen beiden frühen Beiträgen sind hier noch die englischsprachigen Veröffentlichungen »The Axioms of Geometry« (Helmholtz E1870b) und »The Axioms of Geometry. To the Editor of *The Academy*« (Helmholtz E1872b) zu nennen; beide Veröffentlichungen wurden ebenfalls in diese Ausgabe aufgenommen.

⁴² Helmholtz 1876c, Beitrag c) (ins Englische übersetzt als Helmholtz E1876e) bzw. Helmholtz E1878b. Der zweite Text wurde im englischen Original als Teil II von »The Origin and Meaning of Geometrical Axioms« (Helm-

eine empiristische Philosophie der Geometrie.⁴³ Sie beruht auf gewissen evident erscheinenden Forderungen an die Beweglichkeit und Starrheit physischer Körper und bricht in der Konsequenz mit Kants Philosophie der Geometrie: Zwar kann man nach Helmholtz an der Auffassung vom Raum als einer uns »a priori gegebenen, für uns nothwendigen, also in Kant's Sinne transcendente[n] Form der Anschauung« (S. 868) festhalten, aber nur um den Preis, dass dieser Raum von allen semantischen Bestimmungen, die Kant ihm mit den synthetisch-apriorischen Axiomen der Geometrie auferlegt, absieht.

Die Axiome selber sind für ihn lediglich empirischer Natur; sie durch reine Anschauung fundieren zu wollen, ist nicht nur eine »*unerwiesene* Hypothese«, sondern auch eine »*unnöthige* Hypothese« und »für die Erklärung unserer Kenntniss der wirklichen Welt *gänzlich unbrauchbare* Hypothese« (S. 885). Denn, wie Helmholtz ausführt: »Die Axiome der Geometrie [...] beschränken die Anschauungsform des Raumes so, dass nicht mehr jeder denkbare Inhalt darin aufgenommen werden kann, wenn überhaupt Geometrie auf die wirkliche Welt anwendbar sein soll. Lassen wir sie fallen, so ist die Lehre von der Transcendentalität der Anschauungsform des Raumes ohne allen Anstoss. Hier ist Kant in seiner Kritik nicht kritisch genug gewesen; aber freilich handelte es sich dabei um Lehrsätze aus der Mathematik, und dies Stück kritischer Arbeit musste durch die Mathematiker erledigt werden« (S. 885).

Mit der Zurückweisung des Hypothesencharakters der Geometrie wendet sich Helmholtz auch gegen Riemann, der von »Hypothesen« ausging, »welche der Geometrie zu Grunde liegen«. Helmholtz wollte stattdessen die Geometrie auf die »Tatsache« der »freien Beweglichkeit« von festen Körpern gründen. Geometrische Axiome beziehen sich demnach nicht alleine auf mathematische Raumverhältnisse, sondern auch auf das tatsächliche mechanische Verhalten der festen Körper bei Bewegungen.

holtz E1876e) betitelt und erschien in deutscher Übersetzung erstmals 1883 im zweiten Band der *Wissenschaftlichen Abhandlungen*; vgl. Helmholtz 1883a und 1987a, Beitrag h). Auch »Die Thatsachen in der Wahrnehmung« (Helmholtz 1878b) widmen in dieser Zeit den Grundlagen der Geometrie breiten Raum. Zu Helmholtz' Philosophie der Geometrie vgl. neben den frühen Untersuchungen Erdmann 1877 und Krause 1878 die neueren Untersuchungen Mehrrens 1990, Richards 1977 und 1988, Torretti 1978 sowie Schiemann 1997b, 346 ff.

⁴³ Vgl. besonders Volkert 1996 und Voelke 2005, Kap. 11.

Ab 1884 behandelte der norwegische Mathematiker Sophus Lie auf Anregung von Felix Klein das Helmholtz-Riemannsche Problem mit Hilfe von gruppentheoretischen Methoden.⁴⁴ Er eliminierte einige Mängel der Helmholtzschen Voraussetzungen und begründete das Problem auf neue Weise, sodass man heute vom Helmholtz-Lieschen Raumproblem spricht. Das Problem beeinflusste insbesondere das Schaffen der Mathematiker Henri Poincaré und Hermann Weyl.

Mit seinen Arbeiten zur Geometrie trat Helmholtz eine Lawine los, die ihm auch viele polemische Angriffe einbrachte.⁴⁵ Besonders anstößig fand man seine Behauptung, die unter gewissen Umständen mögliche anschauliche Vorstellbarkeit nichteuklidischer Räume widerlege die Auffassung von Kant, dass die geometrischen Axiome »nothwendige Folgen einer a priori gegebenen transcendentalen Form unserer Anschauungen« darstellen (S. 627). Die Ausfälle beispielsweise des Volkswirtschaftlers und Privatdozenten der Philosophie Eugen Dühring wurden so unsachlich und maßlos, dass ihm die Universität Berlin schließlich die Lehrbefugnis entzog. Aber auch die Übereinstimmung mit Kollegen war für Helmholtz nicht immer von Vorteil. Der Leipziger Astrophysiker Karl Friedrich Zöllner beispielsweise, der durchaus seriöse Beiträge in seinem Arbeitsgebiet geliefert hat, vertrat in wissenschaftlichen Abhandlungen die Behauptung, die aufsehenerregenden Demonstrationen eines amerikanischen Spiritisten namens Henry Slade hätten gezeigt, dass der Weltraum vierdimensional sei und tatsächlich einer bestimmten nichteuklidischen Variante entspreche.⁴⁶ Helmholtz fand sich also plötzlich in dieser Beziehung als ›Bundesgenosse‹ eines verschrobenen Kollegen wieder, mit dem er in anderer Hinsicht im Streit lag. Zöllner verdammt nämlich die von der britischen Physik verfolgte induktive Methode als Unsinn und brandmarkte Helmholtz als Verräter an der deutschen Sache, die durch ihre deduktive (sprich: apriorische) Methode der angelsächsischen Physik haushoch überlegen sei. In seiner Verteidigung der englischen Physik schlug

⁴⁴ Vgl. Freudenthal 1957, 1960 und Torretti 1978, Kap. 3.1.

⁴⁵ Vgl. die Darstellungen von Volkert 2013, Kap. 9, Voelke 2005, Kap. 11, und Torretti 1978, Kap. 4.2. Kritiker waren vor allem J. C. Becker, Eugen Dühring, Siegmund Günter, Albrecht Krause, Otto Schmitz-Dumont, Joseph Schwertschläger, Wilhelm Tobias, Karl Friedrich Zöllner u.a. Zur Kritik an Helmholtz vgl. auch Cahan 1994, Stromberg 1989, Kragh 2012 und Biagioli 2014.

⁴⁶ Vgl. Meinel 1991.

Helmholtz einen vergleichsweise streitbaren Ton an, der sich bei ihm ansonsten nicht findet.⁴⁷

1869 hielt Helmholtz vor der Naturforscherversammlung in Innsbruck die Rede »Ueber das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft«, in der er im Rückblick auf die Entwicklung der Naturwissenschaften im 19. Jahrhundert den wichtigsten Fortschritt im Energieerhaltungssatz sah, der sich auf alle Naturerscheinungen erstreckte. Die Ausführungen von Helmholtz gipfeln in seinem Bekenntnis zur mechanistischen Naturauffassung, für die die Mechanik die Grundwissenschaft ist, auf die sich letztlich alle Naturerscheinungen reduzieren: »Ist aber Bewegung die Urveränderung, welche allen anderen Veränderungen in der Welt zu Grunde liegt, so sind alle elementaren Kräfte Bewegungskräfte, und das Endziel der Naturwissenschaften ist, die allen anderen Veränderungen zu Grunde liegenden Bewegungen und Triebkräfte zu finden, also sich in Mechanik aufzulösen.«⁴⁸ Allerdings erachtete Helmholtz eine kausalgesetzliche Erfassung der psychischen Phänomene als problematisch.⁴⁹

In dieser Rede beginnt die grundlegende Rolle, die der Kraftbegriff für Helmholtz bisher in der Naturwissenschaft gespielt hatte, vom Gesetzesbegriff übernommen zu werden. Zuvor waren für Helmholtz Kräfte noch das eigentlich Wirkliche hinter den Erscheinungen. Erscheinungen zu begreifen hieß, die verborgenen unveränderlichen Kräfte, die ihnen zugrunde liegen, aufzufinden und zu bestimmen. Nach der neuen Auffassung hingegen ist es die Beschreibung der gesetzlichen Beziehungen der beobachteten Erscheinungen zueinander, die das Verständnis der Erscheinungen erzeugt. Kräfte bezeichnen nichts anderes als das in der Natur herrschende Beziehungsgeflecht zwischen den Erscheinungen. Kraft ist keine wie immer geartete substantielle Eigenschaft der

⁴⁷ S. hierzu näher Cahan 1994.

⁴⁸ S. 586. Schon in »Über die Erhaltung der Kraft« hat Helmholtz seine mechanistische Auffassung programmatisch ausgesprochen (Helmholtz 1847a). Vgl. Schiemann 1997b, Kap. B.II.1.

⁴⁹ Vgl. hierzu Helmholtz 1862a (S. 181 ff. in dieser Ausgabe). Dass die Reduktionsaufgabe in der Naturforscherrrede auf den Phänomenbereich der Naturwissenschaften beschränkt bleibt, geht auch aus dem Kriterium hervor, das sich Helmholtz für diese Rede vorgibt: »Wenn wir also nach dem Fortschritt der Naturwissenschaft als Ganzem fragen, so werden wir ihn nach dem Maasse zu beurtheilen haben, in welchem die Anerkennung und die Kenntniss eines alle Naturerscheinungen umfassenden ursächlichen Zusammenhanges fortgeschritten ist« (S. 584).

Wirklichkeit mehr, sondern wird zur bloßen empirischen Hypothese, die wir nur erfahrungsmäßig auffinden, aber niemals endgültig sichern oder gar als denknötwendig nachweisen können.⁵⁰

Für die Beurteilung der Entwicklung von Helmholtz' Wissenschaftsauffassung kommt dem Begriff der Hypothese eine Schlüsselstellung zu. In der ersten Zeit seiner wissenschaftlichen Karriere, d. h. vom Ende der 40er bis etwa zum Ende der 60er Jahre, trug Helmholtz seine mechanistische Naturauffassung noch mit absolutem Geltungsanspruch vor. Im Verlauf der 70er Jahre setzte dann ein Wandlungsprozess ein, der sich am deutlichsten in seinen öffentlichen Reden nachweisen lässt. Die mit dem Mechanismus verbundenen Geltungsansprüche wurden einer Hypothesisierung unterworfen, wobei Helmholtz allerdings an den Grundaussagen seiner Naturauffassung im Wesentlichen unbeirrt festhielt. Er korrigierte zwar seine Aussagen über die elementaren Kräfte und modifizierte auch seine Ansichten über die elementare Struktur der Materie, blieb aber unverändert seiner Auffassung treu, dass die Naturforschung insgesamt danach streben solle, die Phänomene auf mechanisch bewegte Substanz zurückzuführen. Was die mechanistische Reduktion nicht mehr aufrechterhalten konnte, war der Anspruch, eine endgültige Erklärung aller Phänomene zu erreichen. Sie hatte einen unaufhebbar hypothetischen Charakter gewonnen, und ihre vollständige Umsetzung konnte lediglich noch als ein Ideal, als ein regulatives Prinzip der Forschung betrachtet werden.⁵¹

1.5 Berlin: Elektrodynamik, Physikalisch-Technische Reichsanstalt

Den Gipfel seines Ruhmes erreichte Helmholtz 1871, als er die Nachfolge von Gustav Magnus auf dem Lehrstuhl für Physik der Universität Berlin antrat. Ein Wechsel von der Physiologie zur Physik war schon im vergangenen Jahrhundert ein eher seltenes Ereignis.⁵² Hinzu kommt, dass Helmholtz als Nachfolger von Gustav Magnus eine der angesehensten Professuren für Physik in Deutschland übernahm. Die Neube-

⁵⁰ Wie Helmholtz mehrfach berichtete, führten ihn die Auffassungen von Michael Faraday zu seiner ›Empirisierung‹ des Materie- und Kraftbegriffs, vgl. Heidelberger 1993a.

⁵¹ Vgl. Schiemann 1994, 1995, 1996 und 2014a.

⁵² Du Bois-Reymond 1896, 45.

setzung war mit dem Neubau eines physikalischen Instituts in Sichtweite des Reichtags am Landwehrkanal verbunden, das das modernste und größte Deutschlands, ja der damaligen Welt, werden sollte. Mit Helmholtz hatte die Berliner Gründerzeit nun auch in der Physik ihren Repräsentanten gefunden. Während der Verhandlungen mit Berlin erreichte Helmholtz noch ein Ruf aus Cambridge, der unter Beweis stellte, wie sehr Helmholtz auch in Großbritannien angesehen war.⁵³

In seinen naturwissenschaftlichen Untersuchungen, nicht aber in seiner weiterhin regen öffentlichen Vortragstätigkeit, wendete er sich nun nahezu vollständig von physiologischen Fragestellungen ab und konzentrierte sich zeitweise ganz auf physikalische Themen, vor allem der Elektro- und Thermodynamik. Im Resultat fehlt diesen Untersuchungen der innovative Glanz seiner vor 1870 abgeschlossenen Arbeiten;⁵⁴ sie bleiben jedoch im zeitgenössischen Problemkontext meist von grundlegender Bedeutung.

In der Elektrodynamik rangen damals noch die unterschiedlichsten Ansätze um die Vorherrschaft, u.a. die beiden Fernwirkungstheorien von Wilhelm Weber und Franz E. Neumann sowie die Feldtheorie von Faraday und Maxwell.⁵⁵ Helmholtz zeigte, dass alle drei Theorien als (für offene Ströme sich gegenseitig ausschließende) Spezialfälle einer allgemeineren, sich auf Neumanns Potentialbegriff stützenden Rahmentheorie aufgefasst werden können. Diese Rahmentheorie musste demgemäß sowohl mit dem Fernwirkungsstandpunkt als auch mit der Feldvorstellung verträglich sein. Webers Theorie war damals im deutschen Sprachraum vorherrschend, während Maxwells Theorie sich erst mit Helmholtz' Beiträgen, vor allem seinen breit angelegten Arbeiten »Ueber die Theorie der Elektrodynamik« (1870–1874)⁵⁶ und den kurz

⁵³ Koenigsberger 1902/03 II, 187; vgl. auch den Brief von Anna von Helmholtz vom 9.2.1871 (Helmholtz, A. v. 1929 II, 159).

⁵⁴ Cahan 1994, 3 f.

⁵⁵ Vgl. Blumtritt 1986, Darrigol 1992 und 2000, Kaiser 1981 und Wise 1990 für die verschiedenen Ansätze in der Elektrodynamik der damaligen Zeit.

⁵⁶ Die *Wissenschaftlichen Abhandlungen* weisen diese als in drei einzelnen »Abhandlungen« erschienene Beiträge auf (Helmholtz 1870d, 1873a, 1874 f), wobei die erstgenannte ursprünglich den Titel trug: »Ueber die Bewegungsgleichungen der Elektrizität für ruhende leitende Körper« (Helmholtz 1870d; s. daneben auch Helmholtz 1873c). Zu Helmholtz' Forschungen zur Elektrodynamik in diesen Jahren vgl. auch Helmholtz 1869e bzw. 1871g, 1870c bzw. 1871k, 1872c, 1874d, 1874g, 1876g, 1877d, 1882b und 1882c. Vgl. hierzu auch Blumtritt

darauf veröffentlichten Arbeiten des Wiener Physikers Josef Stefan auf dem Kontinent durchzusetzen begann.

Die problematischen Voraussagen der Fernwirkungstheorien à la Weber für ungeschlossene Stromkreise überzeugten Helmholtz schließlich von der Unhaltbarkeit dieses Ansatzes. Er entschied sich für die Maxwellsche Theorie – allerdings in der Formulierung der von ihm vorgeschlagenen Neumannschen Rahmentheorie – obwohl eine experimentelle Entscheidung über die Existenz des retardierten Potentials noch ausstand. Die experimentellen Arbeiten seines Schülers Heinrich Hertz, die 1887/8 im Nachweis dieser elektromagnetischen Wellen ihren Höhepunkt erreichten, waren ursprünglich aus Versuchen erwachsen, die Helmholtz-Neumannsche Fassung der Maxwell-Theorie zu bestätigen und die Alternativen zu widerlegen. Mit Hertz' Abhandlung aus dem Jahre 1890 »Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper« fand Maxwells Theorie erst ihre allgemeine Anerkennung.⁵⁷

Auch der holländische Physiker Hendrik A. Lorentz war in seinen Versuchen anfänglich von Helmholtz' Ansatz, speziell seiner Dispersionstheorie, ausgegangen. Um aus der elektromagnetischen Theorie des Lichts Folgerungen für die Optik zu ziehen, arbeitete Helmholtz auch noch in anderer Hinsicht der Lorentzschen Elektronentheorie vor. In der Rede über »Die neuere Entwicklung von Faraday's Ideen über Elektrizität« von 1881 vermutete Helmholtz, dass die positive und negative Elektrizität »in bestimmte elementare Quanta geteilt ist, die sich wie Atome der Elektrizität verhalten« (S. 974). An anderer, früherer Stelle hat er sich jedoch sehr zurückhaltend gegenüber dem Atomismus geäußert. Er stimmte der verbreiteten Auffassung William Thomsons zu, »dass keine Eigenschaft der Körper, die nicht vorher den Atomen selbst beigelegt wurde, durch ihre Annahme erklärt werden kann« (S. 662).

In seinem weiteren Arbeitsgebiet der Berliner Zeit, der Thermodynamik,⁵⁸ befasste sich Helmholtz mit galvanischen und chemischen Vor-

1986, Buchwald 1985, Darrigol 1992 und 1994, Kaiser 1981 und 1993 sowie Woodruff 1968.

⁵⁷ Hertz 1890. Vgl. Buchwald 1985 sowie Darrigol 1992, 1994 und 2000.

⁵⁸ Hier ist vor allem das in mehreren »Beiträgen« erschienene Werk »Die Thermodynamik chemischer Vorgänge« zu nennen (Helmholtz 1882e, 1882f, 1883c, gemeinsam abgedruckt in Helmholtz 1902a bzw. 1921a); vgl. hierzu Bierhalter 1981 und 1993.

gängen. Seiner Auffassung nach stellte die von einem chemischen Prozess zu gewinnende äußere Arbeit – er schlägt hierfür die Bezeichnung »freie chemische Energie« vor – ein Maß der Affinität der beteiligten chemischen Substanzen dar und nicht, wie man bisher gedacht hatte, die damit verbundene Wärmeentwicklung (»gebundene Energie«). Der Zusammenhang wurde als »Gibbs-Helmholtz-Gleichung« bekannt. Helmholtz fand auch heraus, dass alle chemischen Verbindungen unterhalb der Dissoziationstemperatur Wärme abgeben, wenn sie auf umkehrbarem Weg gebildet wurden.

Obwohl Helmholtz auch Anfeindungen trafen, wuchs doch sein Ansehen stetig. Für 1877/78 übernahm er das Amt des Rektors der Berliner Universität und wurde am 27. 1. 1883 vom deutschen Kaiser in den erblichen preußischen Adelsstand erhoben.⁵⁹ Mit den Vorträgen und Festreden, die er nun häufiger hielt, brachte er einerseits seine Forschungsergebnisse weiteren Hörerkreisen näher und verbreitete seine Auffassung vom Bildungs- und Kulturwert der Naturwissenschaften. Andererseits ging es ihm aber auch um eine Vertiefung und Zusammenschau der verschiedenen physischen Disziplinen. Am einflussreichsten wurden die Reden über »Das Denken in der Medizin« von 1877 und »Die Thatsachen in der Wahrnehmung« von 1878, in denen er seine erkenntnistheoretischen und wissenschaftsphilosophischen Ideen in prägnanter und geschlossener Form vorstellte. Während diese Texte auch auf Grund ihres Stils geschätzt wurden, galten seine Vorlesungen als schwer verständlich und schlecht vorgetragen.⁶⁰ Trotzdem übte er einen weitreichenden Einfluss auf seine vielen Schüler aus dem In- und Ausland aus. Seine Stärke lag in der individuellen Anleitung fortgeschrittener Studenten im Labor und in kleinen Seminaren.

Unter dem Eindruck einer allgemeinen Krisenstimmung, die sich in Deutschland nach zwei Attentaten auf den Kaiser breitmachte und eine national-konservative Entwicklung des Liberalismus in Gang setzte, nahm Helmholtz 1878 gegenüber seiner Rede *Ueber das Ziel und die*

⁵⁹ Werner 1998, 544.

⁶⁰ Stellvertretend für viele ähnliche Einschätzungen vgl. William James' frühes Zeugnis von 1868: »Helmholtz, who is perhaps the first scientific genius now above ground, is said to be a very poor teacher though he has the finest laboratory.« Ähnlich der amerikanische Physiker Michael Pupin, der bei Helmholtz studierte, und Helmholtz' Assistent Heinrich Kayser. Vgl. Cahan 2005, 73 und 78.

Fortschritte der Naturwissenschaft von 1869 eine feine, aber aufschlussreiche Korrektur vor. Während er neun Jahre zuvor die Wissenschaft noch dafür gelobt hatte, dass sie ihre Theorien unbekümmert um eventuell schädliche metaphysische Konsequenzen entwickelte, wird es ihr nun zur Pflicht gemacht, alle mit den Tatsachen verträglichen metaphysischen Hypothesen zu berücksichtigen. Um handeln zu können, sei es oft notwendig, sich für eine wissenschaftlich nicht gesicherte metaphysische Hypothese zu entscheiden, wobei die Wahl letztlich »dem ästhetischen oder moralischen Gefühl« überlassen bleibe.⁶¹ Die Bedeutung dieser Korrektur besteht darin, dass Helmholtz nun auch seinen Realismus einer Hypothesisierung unterzieht: »[...] für mehr als eine ausgezeichnet brauchbare und präzise Hypothese können wir die realistische Meinung nicht anerkennen; nothwendige Wahrheit dürfen wir ihr nicht zuschreiben, da neben ihr noch andere unwiderlegbare idealistische Hypothesen möglich sind.«⁶²

1872 verfasste eine kleine Gruppe, zu der neben Helmholtz und Werner von Siemens hauptsächlich Hochschullehrer und Ingenieure gehörten, eine Denkschrift zur Errichtung eines Instituts zur Förderung der Präzisionsmechanik. Es dauerte noch fünfzehn Jahre und einiges Hin und Her, bis die Physikalisch-Technische Reichsanstalt, wie man das Institut dann nannte, in Charlottenburg gegründet werden konnte.⁶³ Mit der neuen Institution sollte eine staatliche und industrielle Wissenschaftspolitik gefördert werden, die physikalische Grundlagenforschung mit technischer Anwendung verband. Diese Konzeption wurde besonders für die deutsche Elektroindustrie bedeutsam und erfolgreich. Die in eine wissenschaftliche und eine technische Abteilung gegliederte Physikalisch-Technische Reichsanstalt widmete sich anfänglich vor allem der physikalischen Messung. Dass »der bedeutendste

⁶¹ S. 910. Vgl. Köhnke 1986, 416.

⁶² Helmholtz 1878a (S. 910 in dieser Ausgabe). Auf die Nähe der in dieser Erklärung formulierten Position zu Fichtes programmatischer Feststellung, dass zwischen Realismus (den Fichte »Dogmatismus« nennt) und Idealismus »kein Entscheidungsgrund aus der Vernunft« möglich ist (Fichte 1797, 432), hat bisher nur Turner 1977, 57, hingewiesen. Zu Fichte und Helmholtz vgl. auch Heidelberger 1993a, zur Hypothesisierung des Realismus vgl. Schiemann 1997b, 355 ff.

⁶³ Zur Geschichte der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt vgl. Cahan 1992.

Physiker der Zeit [...] an die Spitze« dieser Anstalt trat, wertet Thomas Nipperdey in seiner Geschichte des 19. Jahrhunderts als »Durchbruch« »für die Forschungsk Kooperation von Wirtschaft und Wissenschaft«, als Zeichen dafür, dass »die Wissenschaft [...] den Widerstand gegen die wirtschaftsnahe Forschung fallen« gelassen habe.⁶⁴

Während der Tätigkeit an der Reichsanstalt hielt Helmholtz weiterhin Vorlesungen an der Berliner Universität. In den letzten Jahren seines Lebens beschäftigte er sich verstärkt mit der Frage nach der Einheit der Physik, die er im »Prinzip der kleinsten Wirkung« gestiftet sah. In seinen Untersuchungen zur »Statik monocyclischer Systeme«⁶⁵ unternimmt er den großen Versuch einer Vereinheitlichung auf der Grundlage einer Theorie verborgener Massen und Bewegungen, der systematisch eng an die Ausdehnung des mechanischen »Prinzips der kleinsten Wirkung« auf die Physik allgemein⁶⁶ sowie seine ausgedehnten Untersuchungen zum Energieerhaltungsprinzip anschließt und maßgeblichen Einfluss auf die Mechanik-Konzeption seines Schülers Heinrich Hertz ausübte.⁶⁷ Er hielt das »Prinzip der kleinsten Wirkung« sogar dem Energieerhaltungssatz darin für überlegen, dass sich aus ihm alle Bewegungsgleichungen physikalischer Vorgänge herleiten lassen, während der Energiesatz nur den Energiebetrag angibt, der bei einem physikalischen Vorgang konstant bleiben muss.⁶⁸

⁶⁴ Nipperdey 1992/93 I, 588.

⁶⁵ Neben den »Prinzipien der Statik monocyclischer Systeme« (Helmholtz 1884b) sind dies die mit zwei »Fortsetzungen« erschienenen »Studien zur Statik monocyclischer Systeme« (Helmholtz 1884c, 1884d, 1884e) sowie die »Verallgemeinerung der Sätze über die Statik der monocyclischen Systeme« (Helmholtz 1884f); vgl. hierzu Klein 1974 und Koenigsberger 1896.

⁶⁶ »Ueber die physikalische Bedeutung des Prinzips der kleinsten Wirkung« (Helmholtz 1887b) und »Das Princip der kleinsten Wirkung in der Elektrodynamik« nebst »Nachtrag« (Helmholtz 1892e bzw. 1895b). Historische Untersuchungen Helmholtz' zum fraglichen Prinzip finden sich in Helmholtz 1887d und 1900a; vgl. hierzu auch Hecht 1995, Pulte 1989 und Schiemann 1997b, Kap. B.III.2.

⁶⁷ Vgl. hierzu sein »Vorwort zu: *H. Hertz: Prinzipien der Mechanik im neuen Zusammenhange dargestellt*« (Helmholtz 1894b); zu dem in diesem Zusammenhang wichtigen Bildbegriff vgl. Heidelberger 1997a und Schiemann 1997a.

⁶⁸ Vgl. Helmholtz 1900a, 284.

Helmholtz litt zeitlebens unter Migräne und in seinen älteren Jahren unter Depressionen.⁶⁹ Auf der Rückfahrt einer Amerikareise im Oktober 1893 stürzte er auf dem Schiff unglücklich eine Treppe hinunter und verletzte sich schwer. Er erholte sich zwar wieder einigermaßen, aber im Juni des darauffolgenden Jahres erlitt er einen Schlaganfall, von dem er nicht mehr genas. Er starb am 8. September 1894 im Alter von 73 Jahren.

2. Helmholtz' Werk und die *Philosophischen und populärwissenschaftlichen Schriften*

2.1 *Zum Werk: Wissenschaft, Philosophie, Popularisierung*

Bevor wir die vorliegende Edition der *Philosophischen und populärwissenschaftlichen Schriften* im Einzelnen vorstellen, erscheint es ratsam, den weiteren Rahmen abzustecken, in dem diese zu verorten sind. Dabei ist es keine einfache Aufgabe, das Gesamtwerk des »Universalgenies«⁷⁰ und »intellectual giant«⁷¹ Helmholtz auch nur seiner äußeren Gestalt nach in gebotener Kürze zu charakterisieren. Dies soll hier, angesichts des Umfangs und der Vielgestaltigkeit dieses Werkes, in stark schematisierender Weise versucht werden, wobei eine Dreiteilung in (A) naturwissenschaftliche, (B) philosophische und (C) wissenschaftspolitische Schriften naheliegt:

⁶⁹ S. etwa Koenigsberger 1902/03 II, 342.

⁷⁰ »Universalgenie Helmholtz« lautet der Titel eines der Sammelbände, die 1994 – zum 100. Todesjahr – das Werk von Helmholtz würdigten (Krüger 1994a).

⁷¹ J. C. Maxwells Würdigung von Helmholtz' Gesamtwerk, die zunächst auf seine beiden sinnesphysiologischen Lehrwerke *Handbuch der Physiologischen Optik* sowie *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* anspielt, verdient eine ausführlichere Wiedergabe: »We prefer to regard Helmholtz as the author of the two great books on Vision and Hearing, and now that we are no longer under the sway of that irresistible power which has been bearing us along through the depths of mathematics, anatomy, and music, we may venture to observe from a safe distance the whole figure of the intellectual giant as he sits on some lofty cliff watching the waves, great and small, as each pursues its independent course on the surface of the sea below« (Maxwell 1877, 598).

(A) Ausgehend von der Medizin arbeitete Helmholtz sich in bemerkenswert kurzen Zeitabständen in immer neue naturwissenschaftliche Forschungsbereiche ein und leistete zu diesen namhafte, oft bahnbrechende Leistungen. Wie die Übersicht über Helmholtz' Leben im vorangehenden Abschnitt bereits gezeigt hat, reichen seine einzelwissenschaftlichen Beiträge von der Anatomie und Physiologie über praktische Instrumentenentwicklungen und die experimentelle Physik (einschließlich der Akustik, Farbenlehre und Optik) sowie für ihn eher randständige Felder wie die Chemie, Geologie und Klimatologie bis hin zu den Grundlagen der theoretischen bzw. mathematischen Physik, der Geometrie und der Arithmetik. Seine beiden wohl bekanntesten Entdeckungen mögen einen Eindruck von der Spannweite des Werkes insgesamt geben: der allgemeine Energieerhaltungssatz der Physik, den er in der Terminologie der Zeit als Satz von der Erhaltung der *Kraft* formulierte, sowie der für die Augenheilkunde und sinnesphysiologische Forschung seiner Zeit äußerst wichtige Augenspiegel.

Eine einfache Periodisierung von Helmholtz' naturwissenschaftlichem Werk im Sinne einer Zuordnung einzelwissenschaftlicher Inhalte bzw. Disziplinen zu klar umreißenbaren Phasen seines Schaffens ist nicht möglich – Veröffentlichungen etwa, die der Physik und der Physiologie zuzurechnen sind, finden sich in seinen frühen Arbeiten aus den vierziger Jahren ebenso wie in seinen späten Veröffentlichungen aus den neunziger Jahren. Wohl aber lassen sich gewisse Schwerpunkte und Schwerpunktverlagerungen ausmachen: Von seiner Erstlingsschrift aus dem Jahre 1842, der unter Johannes Müller entstandenen Berliner Dissertation *De Fabrica Systematis nervosi Evertibratorum*, bis weit in die sechziger Jahre hinein steht die Physiologie im Vordergrund seiner Forschungen. Auch Beiträge, die anderen Bereichen zuzurechnen sind, wie etwa seine Untersuchungen zur Akustik und physikalischen Harmonielehre, zur physikalischen Optik oder zur Wärmelehre, sind in dieser Zeit durch physiologische Fragestellungen motiviert oder weisen zumindest – wie beispielsweise sein physikalisches Erstlingswerk *Über die Erhaltung der Kraft* (1847) – starke genetische und systematische Bezüge zur Physiologie auf. In diesem Zeitraum entstehen auch die beiden einflussreichen Lehrwerke zur Sinnesphysiologie: Das dreibändige *Handbuch der Physiologischen Optik* (1856–1867) sowie *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* (1863). Um 1860 beginnt Helmholtz mit ›rein‹ physikalischen

Forschungen,⁷² die etwa ab 1870 – dem Jahr der Berufung des ›gelernen‹ Mediziners und Physiologen als *Physiker* auf die Magnus-Nachfolge in Berlin – die Oberhand gegenüber seinen physiologischen Untersuchungen gewinnen.

Fast alle naturwissenschaftlichen Veröffentlichungen von Helmholtz wurden in den dreibändigen *Wissenschaftlichen Abhandlungen*⁷³ veröffentlicht. Nach seinem Tod wurden zudem von seinen Schülern *Vorlesungen über theoretische Physik* in sechs Bänden herausgegeben, die auf Berliner Vorlesungen von Helmholtz aus der Zeit von 1881 bis 1894 basieren.⁷⁴ Man geht nicht fehl, wenn man – trotz der sich über seine ganze Schaffensperiode erstreckenden Untersuchungen zur Physiologie – den Schwerpunkt seiner naturwissenschaftlichen Arbeiten insgesamt in der Physik ausmacht. Hier nahm er in seiner späteren Laufbahn, wie Wilhelm Wien es einschätzte, eine »überragende Stellung« ein – »es gab damals wohl kein physikalisches Problem, das er nicht durchdacht und über dessen Behandlungsweise er sich nicht ein bestimmtes Urteil gebildet hätte.«⁷⁵ Die der vorliegenden Edition beige-fügte, auf Vollständigkeit abzielende Bibliographie der Primärliteratur weist über 200 originäre fachwissenschaftliche Publikationen auf, die

⁷² Damit sollen hier lediglich solche Forschungen gemeint sein, die in keiner erkennbaren Weise auf Helmholtz' physiologische Untersuchungen zurückgehen. Als erste diesbezügliche Veröffentlichung ist wohl nicht der mit G. von Piotrowski verfasste Aufsatz »Ueber Reibung tropfbarer Flüssigkeiten« (Helmholtz 1860f) zu nennen, auf den Rechenberg (1990, 171f.) verweist, sondern der in Crelles Journal zwei Jahre früher erschienene Beitrag »Ueber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen« (Helmholtz 1858c).

⁷³ Diese wurden 1882 begonnen und im folgenden Jahr mit Band II fortgesetzt. Band III erschien erst nach Helmholtz' Tod im Jahre 1895. Vgl. Helmholtz 1882a, 1883a und 1895a sowie die Nachdrucke Helmholtz 2003c und 2006d.

⁷⁴ Es handelt sich um die Werke Helmholtz 1897a, 1898a, 1898b, 1902b, 1903a, 1903c, 1907b (wobei 1903a und 1898a als Halbband 1 und 2 zu Band I ausgewiesen sind). Mit Ausnahme der Elektrodynamik (Helmholtz 1907b) wurden die Bände in einer zweiten Auflage veröffentlicht als Helmholtz 1911b, 1914a, 1922a, 1922b, 1925a und 1925c. Ein Wiederabdruck der ersten Auflage erfolgte als Helmholtz 2002a-e. Daneben wurde die Einleitung zu den Vorlesungen (Helmholtz 1903a) auch noch einmal abgedruckt als Helmholtz 1984c.

⁷⁵ Wien 1921, 691.

zu seinen Lebzeiten erschienen sind; die Physik nimmt darunter, noch vor der Physiologie, den größten Raum ein.

Helmholtz' intensive Zuwendung zur naturwissenschaftlichen ›Kerndisziplin‹ des 19. Jahrhunderts entspricht seiner wissenschaftlichen Weltauffassung: Von der diesbezüglich ersten Veröffentlichung *Über die Erhaltung der Kraft* (1847) bis hin zu den späten »Studien zur Statik monocyclischer Systeme« (1884) und den nachgelassenen Schriften vertrat er einen Mechanismus, der in begründender Hinsicht die Physik in die Mitte der naturwissenschaftlichen Forschung und die Mechanik ins Zentrum der Physik rückte. Dass Helmholtz' Mechanismus im Laufe der Jahre hinsichtlich seiner Rechtfertigung und Geltungsansprüche einem starken Wandlungsprozess unterworfen war und sich dabei gleichsam ›abschwächte‹, wurde lange Zeit wenig beachtet⁷⁶ und ist erst durch die jüngere Helmholtz-Forschung detailliert aufgearbeitet worden.⁷⁷ Eher als in seinen naturwissenschaftlichen Veröffentlichungen wird dieser Wandel in Helmholtz' wissenschaftsphilosophischen und erkenntnistheoretischen Beiträgen manifest, womit ein zweiter Bereich seines Gesamtwerkes angesprochen ist.

(B) Helmholtz war kein Philosoph und wollte keiner sein,⁷⁸ aber er hat der philosophischen Reflexion wissenschaftlicher Erkenntnis und wis-

⁷⁶ Entsprechende Hinweise in Erdmann 1921 blieben offenbar, bis auf König 1968, unbeachtet.

⁷⁷ Vgl. hierzu Schiemann 1994, 1995, 1997b (bes. Kap. B.II und B.III) und 2014a sowie Heidelberger 1993a; daneben zur Hypothesierung und Konventionalisierung im Mechanismus des späteren 19. Jahrhundert auch Pulte 2005, Kap. VI und bes. VII.

⁷⁸ Trotz seines Interesses an erkenntnistheoretischen, wissenschaftstheoretischen und anderen philosophischen Fragen war seine Haltung zur ›akademischen Philosophie‹ eher distanziert: Nach Helmholtz wurde die von ihm konstatierte »prinzipielle Spaltung, welche jetzt Philosophie und Naturwissenschaften trennt« (S. 101 f.), erst nach Kant durch die Systeme des Deutschen Idealismus herbeigeführt (vgl. S. 128) und mündete in ein »wenig erfreuliches Verhältniß« (S. 1161) zum Nachteil der Philosophie: Sie fiel in ein steriles, sich gegenüber neuen erfahrungswissenschaftlichen Einsichten verschließendes und von Philologie und Theologie beherrschtes Denken zurück (vgl. Hörz/Wollgast 1971, 44), das einer bereits überwunden geglaubten Metaphysik Vorschub leistete und eigentliche, d. h. wissenschaftliche Philosophie unterdrückte. Vgl. dazu besonders die Ausführungen über Metaphysik, S. 701 f.; s. auch S. 837 ff.

senschaftlichen Handelns stets große Bedeutung beigelegt.⁷⁹ Vor allem hat er selber, in der Regel ausgehend von seinen fachwissenschaftlichen Forschungen, in den verschiedensten Kontexten zu erkenntnistheoretischen und methodologischen Problemen der Wissenschaften Stellung bezogen. Dabei lässt bereits *Über die Erhaltung der Kraft* (1847) deutlich erkennen, wie verwoben naturwissenschaftliche Grundlagenforschung und philosophische Grundlagenreflexion in seinem Werk sind. Helmholtz beginnt diese Schrift mit den Worten: »Vorliegende Abhandlung musste ihrem Hauptinhalte nach hauptsächlich für Physiker bestimmt werden, ich habe es daher vorgezogen, die Grundlagen derselben unabhängig von einer philosophischen Begründung rein in der Form einer physikalischen Voraussetzung hinzustellen [...]« (S. 3) Wenn er dann im Weiteren die *philosophische* Annahme, dass »die Natur vollständig be-

Die von Helmholtz' dort konstatierte Analogie zwischen der (damaligen) Philosophie und einer erst noch zu etablierenden, erkenntniskritischen Philosophie einerseits und der Astrologie und Astronomie andererseits hat schlagenden Aufforderungscharakter für die Philosophie seiner Zeit. Es sind zumindest mehrere zeitgenössische Philosophen bekannt, die Helmholtz aus seiner Kritik auszunehmen schien: Alois Riehl, Friedrich Albert Lange, Benno Erdmann und Eduard Zeller. Helmholtz war von Riehls *Der philosophische Criticismus und seine Bedeutung für die positive Wissenschaft* (1876–1887) beeindruckt, in dem Riehl eine realistische Interpretation des Dings an sich vertrat und Kant in verschiedener Hinsicht kritisierte (Heidelberger 2006, 230f.). Riehl setzte sich ausführlich mit Helmholtz auseinander (vor allem Riehl in 1904 und 1921). Lange, der in den 1850er Jahren Helmholtz' Vorlesungen in Bonn hörte, baute seine Philosophie auf Helmholtz' Sinnesphysiologie auf (vgl. Heidelberger 1997b, 52f.) und wird von Helmholtz (unten S. 843) durchaus positiv erwähnt. Benno Erdmann habilitierte sich 1877 mit einer Arbeit über die *Axiome der Geometrie* (Erdmann 1877), die von Helmholtz und dem mit ihm befreundeten Zeller hochgelobt wurde (Gerhardt et al. 1999, 191). Vgl. auch Erdmann 1921. Helmholtz hat übrigens durchaus den Bildungswert der Philosophie anerkannt: Sie hatte für ihn vor allem die Aufgabe, »das menschliche Denken [...] nach seiner Leistungsfähigkeit genau« zu studieren (S. 702).

⁷⁹ So heißt es in einem um 1875 geschriebenen Brief an Fick: »Ich glaube, dass der Philosophie nur wieder aufzuhelfen ist, wenn sie sich mit Ernst und Eifer der Untersuchung der Erkenntnisprozesse und der wissenschaftlichen Methode zuwendet. Da hat sie eine wirkliche und berechtigte Aufgabe. [...] Ich glaube, dass die deutsche Universität, welche zuerst das Wagniss unternähme, einen der Philosophie zugewendeten Naturforscher zum Philosophen zu berufen, sich ein dauerndes Verdienst um die deutsche Wissenschaft erwerben könnte« (Koenigsberger 1902/03 I, 243).

greiflich sein müsse« (S. 4), als Grundvoraussetzung von Naturwissenschaft thematisiert und diese an die mechanistische Bedingung knüpft, dass es stets möglich sein müsse, »die Naturerscheinungen zurückzuführen auf unveränderliche, anziehende und abstossende Kräfte, deren Intensität von der Entfernung abhängt« (S. 7), so läuft dies dem Ansinnen, sich auf ›physikalische Voraussetzung‹ und ›erfahrungsmässige‹ Prüfung zu beschränken, ebenso zuwider wie seine späteren Erläuterungen⁸⁰ zu den vermeintlichen Einflüssen von Kants Erkenntnistheorie auf diese Abhandlung.⁸¹

Einen vergleichbar engen systematischen Zusammenhang findet man zwischen Helmholtz' ausgedehnten experimentellen Forschungen zur Sinnesphysiologie und seiner Erkenntnistheorie,⁸² wenngleich er letztere – anders als seinen oben angesprochenen Mechanismus – erst zeitlich später ebenso gründlich expliziert hat. Ausgehend von seinen sinnesphysiologischen Untersuchungen entfaltet er in den Vorträgen und Vorlesungen »Ueber die Natur der menschlichen Sinnesempfindungen« (1854), »Ueber das Sehen des Menschen« (1855), »Ueber die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonie« (1857), »Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens« (1868), »Die Thatsachen in der Wahrnehmung« (1878) bis hin zu seinen Ausführungen »Von den Wahrnehmungen im Allgemeinen« in der postum erschienenen Überarbeitung des *Handbuchs der Physiologischen Optik* (1896) eine empiristische Wahrnehmungslehre, deren erkenntnistheoretische Implikationen besonders in seiner ›Zeichentheorie‹ (s. o.) hervortreten. Die zunächst von Helmholtz mit seiner Zeichentheorie angestrebte bloße Modifikation bzw. ›physiologische Aktualisierung‹ der Kantischen Erkenntnistheorie hat ihm – trotz seiner sukzessiven Entfernung von Kant in den späteren sechziger und siebziger Jahren – in

⁸⁰ Vgl. S. 7 f.

⁸¹ Zu Helmholtz' Changieren zwischen ›philosophischer‹ und ›aphilosophischer‹ Präsentation dieser Abhandlung sowie zu der in ihr gegebenen Begründung des Mechanismus vgl. Schiemann 1997, Kap. B. II. 1 sowie zum Kantischen Hintergrund der Schrift auch Heimann 1974. Helmholtz' Verständnis von ›Begreiflichkeit der Natur‹ im Kontext des Mechanismus wird thematisiert in Krüger 1994a.

⁸² In »Ueber das Sehen des Menschen« (Helmholtz 1855a) bemerkt er: »Der Punkt, an dem sich Philosophie und Naturwissenschaften am nächsten berühren, ist die Lehre von den sinnlichen Wahrnehmungen des Menschen« (S. 103).

der deutschen Philosophiegeschichte den Ruf eingetragen, maßgeblicher Vertreter einer »physiologischen Richtung« des »Neukantianismus bzw. Neokritizismus«⁸³ zu sein.⁸⁴ Eine solche Einordnung wird einerseits der Bedeutung gerecht, die Helmholtz für die Entwicklung des Neukantianismus ohne Zweifel hatte. Dass sie andererseits nicht nur verkürzt, sondern in Hinblick auf Helmholtz' philosophischen Standort (spätestens) ab 1870 durchaus problematisch ist, zeigen am deutlichsten seine Untersuchungen zu den Grundlagen der Geometrie, denn sie stellen eine radikale Absage an den konstitutiven Kern des Kantianismus, nämlich die Existenz synthetischer Urteile a priori, dar. Eine »reine Geometrie« im Sinne Kants kann es nach Helmholtz nicht geben. Später, in »Zählen und Messen, erkenntnistheoretisch betrachtet« (1887), dehnt er seine Absage auch auf die Arithmetik aus.⁸⁵ Reine und doch erkenntniserweiternde Anschauung ist für den späteren Helmholtz nur mehr ein »Ankerplatz der Metaphysiker« (S. 840), die fälschlich meinen, sich mit Kant auf die Geometrie als erkenntnistheoretischem Paradigma berufen zu können. Sie müssen sich aber tatsächlich von naturwissenschaftlicher und mathematischer Seite darin belehren lassen, dass es diesen »Ankerplatz« gar nicht gibt. Helmholtz geht es darum, Kant von seinen so verstandenen »metaphysischen Residuen« zu befreien⁸⁶ – und die Philosophie ganz allgemein von der Metaphysik. Die eigentliche Aufgabe der Philosophie ist die »Kritik der Erkenntnisquellen« (S. 659 und 824), d. h. eine Erkenntnistheorie, die eigentlich »kritisch« deshalb zu nennen ist, weil sie von aller Metaphysik geläutert ist.

Unter Helmholtz' wissenschaftsphilosophischen Schriften sind die zur Wahrnehmungstheorie und zu den Grundlagen der Geometrie zweifellos die originellsten, umfangreichsten und auch wirkungsmächtigsten. Daneben finden sich aber auch wichtige Beiträge zur Wissenschaftstheorie der Naturwissenschaften, die wesentliche methodolo-

⁸³ Ueberweg 1916, 364 bzw. 363; zur komplexen Ausbildung und Entwicklung des Neukantianismus vgl. Köhnke 1986.

⁸⁴ Hierzu wird auch Friedrich Albert Lange gerechnet; vgl. Anm. 28.

⁸⁵ Vgl. hierzu S. 1063 ff.

⁸⁶ Vgl. S. 1229 ein Gutachten von ca. 1888, in dem Helmholtz klar die »Irrthümer« benennt, in die Kant sich verwickelt habe. Zu Helmholtz' eigener Distanzierung von Kant vgl. Helmholtz 1884a, I; VIII f. (»Vorrede«), zum Verhältnis von Helmholtz und Kant: Schieman 2014b.

gische Fragen, insbesondere zum Experiment oder zur Induktion und Deduktion,⁸⁷ zum Gegenstand haben wie auch (wenngleich verstreutere) Ausführungen zu zentralen Begriffen wie ›Hypothese‹, ›Naturgesetz‹ und ›Kausalität‹. Seine Reflexionen zum Sehprozess, insbesondere zur Farbwahrnehmung, hat er in natur- und kunstästhetischen Vorträgen artikuliert.⁸⁸ Mit weiter gefassten Problemen, wie etwa dem Verhältnis einer mechanistischen Physik zur Darwinschen Evolutionstheorie, dem Verhältnis von Natur- und Geisteswissenschaften, der Funktion des Energieerhaltungsprinzips für die theoretische Vereinheitlichung der Naturwissenschaften oder der Bedeutung der Geschichte für die Naturwissenschaften, beschäftigt er sich in breit angelegten Vorträgen wie »Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte und die darauf bezüglichen neuesten Ermittlungen der Physik« (1854) oder »Ueber das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaften« (1869).⁸⁹ Helmholtz' erkenntnistheoretische und (im weitesten Sinne) wissenschaftsphilosophische Beiträge sind für den heutigen Leser in dieser Vollständigkeit nicht annähernd so gut zugänglich wie sein naturwissenschaftliches Werk, das durch die *Wissenschaftlichen Abhandlungen* erschlossen wird. Diese Beiträge sind zwar zu einem beträchtlichen Teil in den *Vorträgen und Reden* zu finden, die bereits 1865 unter dem Titel *Populäre wissenschaftliche Vorträge* begonnen wurden⁹⁰ und dann bis

⁸⁷ Zum Experiment vgl. insbes. »Ueber das Verhältniss der Naturwissenschaften zur Gesammtheit der Wissenschaft«, das *Handbuch der Physiologischen Optik* sowie »Ueber das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft« (Helmholtz 1862a, Helmholtz 1867b, §26 bzw. Helmholtz 1871b, Beitrag b)). Zum induktiven und deduktiven Verfahren der Naturwissenschaften vgl. insbes. seine »Vorrede« zu W. Thomsons und P. G. Taits *Handbuch der theoretischen Physik*, die später unter dem Titel »Induction und Deduction« veröffentlicht wurde (Helmholtz 1874a bzw. 1884a, Beitrag i)), sowie auch seine *Einleitung zu den Vorlesungen über theoretische Physik* (Helmholtz 1903a).

⁸⁸ Hier sind vor allem zu nennen »Ueber Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten« (Helmholtz 1853a) und »Optisches über Malerei« (Helmholtz 1876c, Beitrag d)). Charakteristisch auch hier der zu Beginn des zweitgenannten Beitrags anzutreffende Satz: »Ich bin zu meinen Kunststudien auf einem wenig betretenen Umwege, nämlich durch die Physiologie der Sinne, gelangt« (S. 756).

⁸⁹ Helmholtz 1854d bzw. Helmholtz 1871b, Beitrag e).

⁹⁰ Helmholtz 1865b (1. Heft), 1871b (2. Heft) und 1876c (3. Heft). Eine zweite Auflage der beiden ersten Hefte erschien als Helmholtz 1876a und 1876b.

1903 in fünf weiter ergänzten Auflagen⁹¹ erschienen. Andere philosophisch relevante Schriften aber sind nur in (zum Teil entlegenen) Zeitschriften zugänglich, finden sich verstreut in den Wissenschaftlichen Abhandlungen, in den verschiedenen Lehrwerken Helmholtz' oder in Einleitungen bzw. Vorwörtern zu Werken von fremder Hand, sind (auszugsweise) in Leo Königsbergers dreibändiger Biographie Hermann von Helmholtz publiziert oder aber liegen gar nicht in veröffentlichter Form, sondern als handschriftliche Manuskripte im Helmholtz-Nachlass des Archivs der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (ABBAW) vor.⁹² Betrachtet man Helmholtz' philosophische Schriften unter bibliographischen Gesichtspunkten, handelt es sich hier fraglos um den *heterogensten* Teil seines Gesamtwerkes. Die Zusammenführung aller philosophisch relevanten Texte von Helmholtz stellt daher auch eine der wichtigsten Zielsetzungen der vorliegenden Edition dar.⁹³

Helmholtz' Beiträge zur Wissenschaftsphilosophie und Erkenntnistheorie sind – blickt man auf Zeitgenossen wie Ernst Mach, Ludwig Boltzmann oder auch Helmholtz' Schüler Heinrich Hertz – im ausgehenden 19. Jahrhundert nicht untypisch für einen gut ausgebildeten und auf Grundlagenfragen hin orientierten Physiker⁹⁴ und spiegeln fraglos auch die allgemeine Entfremdung einer selbstbewusst gewordenen Naturwissenschaft von der deutschen akademischen Philosophie der Zeit wider.⁹⁵ Sie nehmen aber doch eine Sonderstellung hinsichtlich ihrer Weite, ihrer Vielseitigkeit und auch ihres Charakters ein, die mit seinem wissenschaftlichen Werk durchaus korrespondiert, aber nicht allein aus ihm zu erklären ist: Helmholtz' Philosophie ist durch ein allgemeines, immer weitere Kreise ziehendes Streben nach *Integration* und

⁹¹ Die *Vorträge und Reden* erschienen erstmals (und zugleich als dritte Auflage der *Populären wissenschaftlichen Vorträge*) in zwei Bänden als Helmholtz 1884a, die vierte Auflage als Helmholtz 1896d und die fünfte Auflage als Helmholtz 1903d. Neben zahlreichen Teilabdrucken gibt es einen vollständigen Nachdruck als Helmholtz 2002 f.

⁹² Nachlassabteilung im Archiv der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften: »Nachlass Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand von«. Man vergleiche hierzu im Einzelnen die dokumentarischen Vorberichte zu den Texten dieser Ausgabe.

⁹³ Näheres hierzu im folgenden Teil 2.2 dieser Einleitung.

⁹⁴ Vgl. hierzu die Darstellung der »Philosophie der Physiker« in Scheibe 2006 sowie Jungnickel 1986/1990.

⁹⁵ Vgl. hierzu Schnädelbach 1991 und Pulte 2015b.

Synthese unterschiedlicher Wissensbestände und Methodenarsenale gekennzeichnet, das nicht auf Ausgrenzung abzielt, sondern auf Koexistenz und Einheit: Zeichentheorie und Sinnesphysiologie, Philosophie der Geometrie und Gesichtswahrnehmung, experimentelle und formal-deduktive Verfahren, Newton und Darwin kommen bei ihm zusammen: »[...] his abiding intellectual interests were transdisciplinary in nature: what most engaged him were general problems of energy transformation, human perception, understanding nature as a mechanical system, and the foundations and limits of science itself.«⁹⁶

Dabei ist es auch für Helmholtz als einem der wichtigsten Vertreter am Ende der »klassischen Zeit der deutschen Physik«⁹⁷ durchaus ungewöhnlich, ein Ideal von Wissenschaftseinheit als *focus imaginarius* zu verfolgen, das neben den Naturwissenschaften die formalen Wissenschaften wie auch die Geistes- und Kulturwissenschaften im Blick behält. Zweifellos hat dieses Charakteristikum seines Denkens – gerade angesichts einer Zeit, in der diese Einheit durch die zunehmende inhaltliche, methodische und institutionelle Ausdifferenzierung der Wissenschaften höchst fragwürdig und umstritten geworden war – aber auch mit der sozialen Rolle in den wissenschaftlichen Institutionen des Wilhelminischen Deutschlands zu tun, die Helmholtz während seiner wissenschaftlichen Laufbahn immer stärker ausprägte und die ihm schließlich den Beinamen »Reichskanzler der Wissenschaften« einbrachte.

(C) Dieser Rolle korrespondiert in Helmholtz' Gesamtwerk eine dritte Gruppe von Veröffentlichungen: Sie gehen auf die wissenschaftsorganisatorischen und -politischen sowie popularisierenden Funktionen zurück, die er im Laufe seiner akademischen Tätigkeit wahrzunehmen hatte und die er gezielt wahrnahm, um eine Ausnahmestellung im Wissenschaftsbetrieb zu erlangen und zu festigen. Ihr wichtigstes Ziel ist wohl die öffentliche Repräsentation der Wissenschaften und ihrer Institutionen in einer Form, die Helmholtz selber zu deren wichtigstem Repräsentanten werden ließ. In der Mehrzahl handelt es sich bei diesem Teil seines Werkes um die Veröffentlichungsfassungen von Reden, die er an seinen jeweiligen Universitäten, vor der Berliner Akademie, vor Versammlungen öffentlicher Vereine bzw. wissenschaftlicher Verbände

⁹⁶ Cahan 1993a, 1 (»Introduction«).

⁹⁷ Wien 1921, 699.

oder auch vor wissenschaftsorganisatorischen Institutionen gehalten hat: »Ueber Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten« (*Deutsche Gesellschaft, Königsberg* 1853), »Lectures on the Conservation of Energy« (*Royal Institution, London* 1864), »Zum Gedächtniss an Gustav Magnus« (*Akademie der Wissenschaften, Berlin* 1871), »Ueber die akademische Freiheit der deutschen Universitäten« (Rektorsrede, Berlin 1877) oder »Bemerkungen über die Vorbildung zum akademischen Studium« (*Kommission des preußischen Unterrichtsministeriums, Berlin* 1890) stellen hierfür typische Beispiele dar.⁹⁸ Verschiedentlich hat Helmholtz solche Vortragsveröffentlichungen später durch Zusätze oder Anhänge ergänzt oder auch unabhängig von Vortragsanlässen zu entsprechenden Themen Stellung bezogen, so etwa in seinem Vorwort »Ueber das Streben nach Popularisierung der Wissenschaft« zur deutschen Übersetzung von John Tyndalls Werk *Fragments of Science* (1874). Die meisten der so entstandenen Veröffentlichungen Helmholtz' sind in den späteren Auflagen von Helmholtz' *Vorträgen und Reden* enthalten – wichtige Ausnahmen sind englischsprachige Vortragsveröffentlichungen, die dort keinen Eingang gefunden haben.

Veröffentlichungen, die diesem dritten Bereich seines Gesamtwerkes zuzurechnen sind, behandeln häufig auch wissenschaftsphilosophische und erkenntnistheoretische Fragen. Wenn Helmholtz beispielsweise in seiner berühmten Heidelberger Rektorsrede von 1862 –am »Vorabend« der Gründung der ersten eigenständigen Naturwissenschaftlichen Fakultät in Tübingen im folgenden Jahr – »Ueber das Verhältnis der Naturwissenschaften zur Gesamtheit der Wissenschaften« spricht, so handelt es sich hier um ein eminent wissenschaftspolitisches Thema seiner Zeit, dessen Behandlung zugleich wichtige Aufschlüsse über Helmholtz' Wissenschaftsverständnis im Allgemeinen und seine methodologischen Charakterisierungen verschiedener Wissenschaftsgruppen im Besonderen liefert. Ist schon in Hinblick auf seine naturwissenschaftlichen Schriften im engeren Sinne (A) und seine philosophischen Beiträge (B) eine eindeutige Zuordnung der Texte nicht immer möglich, trifft dies umso mehr in Hinblick auf eine Zuordnung zu den Bereichen (B) oder (C) seines Werkes zu. Tatsächlich besteht hier eine

⁹⁸ Helmholtz 1853a, E1864a, 1872b, 1877c und 1891b; die englischen *Lectures* werden hier erstmals in einer deutschen Helmholtz-Ausgabe veröffentlicht (vgl. S. 249–317).

beträchtliche gemeinsame Schnittmenge, und es erscheint weder sinnvoll noch möglich, eine scharfe Abgrenzung vorzunehmen.

2.2 Zielsetzung und Textauswahl der Edition

Die Herausgeber sind der Auffassung, dass eine Ausgabe gesammelter Schriften philosophischen und populärwissenschaftlichen Inhalts von Helmholtz nicht der ›antiquarischen Pflege‹ eines der Großen der Wissenschaft und Wissenschaftsphilosophie des 19. Jahrhunderts dienen sollte, sondern die Funktion hat, aktuelle Diskussionen zur Erkenntnistheorie und Wissenschaftsphilosophie sowie zur Stellung der Wissenschaft in der Gesellschaft anzuregen und zu bereichern. Helmholtz hat jenseits einer naiven Wissenschaftsgläubigkeit, die heute selbst in manche Bereiche der Philosophie eindringt, aber auch jenseits eines wissenschaftlich unbelehrten (und gelegentlich auch unbelehrbaren) totalen Wissenschaftsskeptizismus immer wieder auf die »civilizing power of science«⁹⁹ gesetzt und in ebenso umsichtiger wie umfassender Weise auszuloten gesucht, welchen Beitrag Wissenschaft für unser Welt- und Selbstverständnis leisten kann und leisten sollte. In diesem Sinne richten sich die *Philosophischen und populärwissenschaftlichen Schriften* auch nicht nur an die in der Philosophie und Wissenschaftsgeschichte tätigen Fachkolleginnen und -kollegen, sondern an einen weiteren Kreis philosophisch und wissenschaftlich interessierter Leserinnen und Leser, die die Tragweite des Helmholtzschen Denkens für die Gegenwart und Zukunft ausloten möchten.

Die Edition zielt besonders darauf ab, der Helmholtz-Forschung und weiteren interessierten Kreisen erstmals alle wissenschaftsphilosophischen, erkenntnistheoretischen und populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Verfügung zu stellen und durch einen geeigneten Apparat dem gegenwärtigen Forschungsstand gemäß zu erschließen. Damit soll ein Desiderat behoben werden, das sich durch die Publikationen der entsprechenden Schriften Helmholtz' vom er-

⁹⁹ »Helmholtz and the Civilizing Power of Science« lautet der Titel von Cahan 1993b. Zum institutionen- und sozialgeschichtlichen Kontext des Wirkens von Helmholtz vgl. auch Cahan 1992, 1994, Meinel 1991 und Rheinberger / Schöttler 2015.

sten Heft der *Populären wissenschaftlichen Vorträge* im Jahre 1865 bis heute über fast eineinhalb Jahrhunderte erstreckt. Auch die *Vorträge und Reden*, die in der fünften und letzten Auflage mit ihren 27 eigenständigen Texten (Zusätze und Anhänge nicht eingerechnet) die bisher umfangreichste Ausgabe dieser Schriften darstellen, sind weit von Vollständigkeit entfernt: Die vorliegende Edition umfasst mehr als die doppelte Anzahl, nämlich insgesamt 66 Texte. Es handelt sich hier nach Kenntnis der Herausgeber um – von einer Ausnahme abgesehen – *alle* erhaltenen publizierten Texte philosophischen und populärwissenschaftlichen Inhalts von Helmholtz, um Texte also, die den oben beschriebenen Teilen (B) und (C) seines Werkes zuzurechnen sind. Ferner wurden Texte aufgenommen, die primär dem wissenschaftlichen Teil (A) seines Werkes angehören, wenn diese auch starke philosophische bzw. populärwissenschaftliche Züge aufweisen. Jeder Text, der unter diesen leitenden Gesichtspunkten in diese Ausgabe Eingang gefunden hat, enthält einen bibliographischen Vorbericht, sodass sich eine detaillierte Auflistung an dieser Stelle erübrigt. Insgesamt lassen sich die aufgenommenen Schriften nach Textherkunft bzw. Textvorlage für diese Ausgabe in fünf Gruppen gliedern:

- (1) 29 Texte wurden der fünften und letzten Auflage der *Vorträge und Reden* entnommen; diese sind also *vollständig* in der vorliegenden Ausgabe enthalten.
- (2) 15 Texte entstammen dem Helmholtz-Nachlass im ABBAW, wobei die Aufnahme mehrheitlich nach den Wiedergaben in Leo Koenigsbergers Biographie *Hermann von Helmholtz* (1902/03) erfolgte.
- (3) 9 Texte werden nach den *Wissenschaftlichen Abhandlungen* abgedruckt.
- (4) 9 Texte basieren auf Publikationen von Helmholtz in Zeitschriften oder Reihen.
- (5) 5 Texte entstammen Buchpublikationen von Helmholtz oder sind von fremder Hand.

Die *Anordnung* der Texte erfolgt grundsätzlich chronologisch. Dabei sind zwei Ausnahmen zu beachten: Zum einen wurden nichtselbstständige »Zusätze«, »Anhänge« oder »Beilagen«, um die Helmholtz manche Vorträge und Aufsätze nachträglich ergänzt hat, den fragli-

chen Veröffentlichungen direkt nachgestellt. (Diese Ergänzungen sind in den o. g. Angaben nicht berücksichtigt.) Zum anderen werden die nachgelassenen Schriften in einem eigenen Teil an das Ende dieser Ausgabe gestellt, der in sich wiederum chronologisch geordnet ist.¹⁰⁰ Diese Entscheidung beruht auf der Besonderheit dieser Schriften: Die Herausgeber haben den Helmholtz-Nachlass im ABBAW unter den obengenannten Auswahlkriterien gesichtet. Alle danach für eine Publikation in Frage kommenden Schriften wurden, mit Ausnahme des bisher nirgends veröffentlichten Textes »Wie wissenschaftliche Entdeckungen zum Vorschein kommen«, bereits ganz oder auszugsweise in Leo Königsbergers Helmholtz-Biographie abgedruckt. In den Fällen, in denen das handschriftliche Original im Helmholtz-Nachlass erhalten ist, wurden die hier abgedruckten Texte nach dem Original eingerichtet.¹⁰¹ Die Mehrzahl der bei Koenigsberger abgedruckten nachgelassenen Schriften findet sich jedoch nicht im Helmholtz-Nachlass der ABBAW. Koenigsbergers eigener Nachlass scheint verloren gegangen zu sein,¹⁰² sodass auch die fraglichen handschriftlichen Originale Helmholtz' als verloren gelten müssen und folglich eine unabhängige Überprüfung der Abdrucke in Koenigsbergers Bio-

¹⁰⁰ In einigen Fällen konnte die Datierung nur auf Grund des Inhalts oder des Kontexts der fraglichen Texte vorgenommen werden und kann somit nicht als sicher gelten. Entsprechende Hinweise finden sich dann jeweils im bibliographischen Vorbericht.

¹⁰¹ Hierbei handelt es sich um »Aufzeichnung über die Grundbegriffe der Mathematik und Physik« (S. 1197–1205, in: Koenigsberger 1902/03 II, 126–138), die »Naturforscherrede« (S. 1231–1238, in: Koenigsberger 1902/03 III, 125–134), »Wie wissenschaftliche Entdeckungen zum Vorschein kommen« (S. 1241–1243) und die »Geschichte der Naturwissenschaften« (S. 1244–1251), in: Koenigsberger 1902/03 II, 31–41.

¹⁰² Eine entsprechende Recherche eines der Herausgeber (H. P.) zum Nachlass von Leo Königsberger (1837–1921) im Rahmen seiner Forschungen zum Mathematiker C. G. J. Jacobi (vgl. Jacobi 1996 und zum Editions hintergrund Pulte 1994) verlief negativ: Weder in Heidelberg, Königsbergers letzter Wirkungsstätte, noch in Freiburg, wo sein Sohn Physik lehrte, noch an anderen Orten, die sich durch seine Biographie nahelegen, ist der Nachlass ganz oder in Teilen aufzufinden. Dessen mutmaßlicher Verlust ist umso bedauerlicher, als sich in Königsbergers Besitz nicht nur ungesicherte Archivalien zu Helmholtz und Jacobi befanden, sondern Königsberger selber als hervorragender Mathematiker und Mathematikhistoriker seiner Zeit zu wissenschaftshistorischer Forschung *sui generis* einlädt.

graphie nicht möglich ist. Da allerdings die Überprüfung der erstgenannten Helmholtz-Texte, wie sie sich bei Koenigsberger abgedruckt finden, anhand der Originale eine nahezu vollständige Übereinstimmung ergab, haben sich die Herausgeber im Sinne der angestrebten Vollständigkeit entschieden, die fraglichen Texte dennoch in die vorliegende Edition aufzunehmen. Somit ist, zusammenfassend gesagt, davon auszugehen, dass die vorliegende Edition auch alle Schriften aus Helmholtz' Nachlass im ABBAW mit philosophischem oder populärwissenschaftlichem Inhalt erfasst, die über Notizentwürfe hinausgehen bzw. Fragmentcharakter haben.

2.3 Hinweise zur Texteinrichtung

Die Orthographie der verwendeten Textvorlagen wurde durchweg beibehalten; gelegentliche Uneinheitlichkeiten der Rechtschreibung im Textkorpus gehen auf die Vorlagen zurück. Offenkundige Fehler der Rechtschreibung und Zeichensetzung in den Vorlagen wurden von den Herausgebern korrigiert; entsprechende Änderungen sind stets in eckige Klammern gesetzt. Ebenfalls in eckige Klammern gesetzt sind gelegentliche Anmerkungen der Herausgeber; nicht durch Klammern gekennzeichnete Fußnoten sind durchweg den Textvorlagen entnommen. Auch gelegentlich auftretende Auslassungszeichen (...) sind aus den verwendeten Textvorlagen unverändert übernommen.

Unterschiedliche Textformatierungen im Original, etwa Schriftgrößen (vgl. z. B. die Texte 13 und 14), wurden generell ebenfalls beibehalten; Abweichungen im Einzelfall werden durch Anmerkungen der Herausgeber erläutert. Unterschiedliche Einrückungen von Texten (wie etwa Gedichten) wurden vereinheitlicht. Auch sind Hervorhebungen durch Sperrung und Kursivierung in den Textvorlagen in dieser Ausgabe durchgehend *kursiv* gesetzt. Bei Namensnennungen und namensgebundenen Bezeichnungen (wie ›Pythagoreischer Lehrsatz‹) wurde auf die Übernahme von Hervorhebungen im Original verzichtet, da diese Ausgabe ein Register enthält, das eine leichte Auffindung von Eigennamen ermöglicht. Fußnotennummerierungen, die in den Textvorlagen verschieden gehandhabt werden, sind hier vereinheitlicht worden, d. h. die einzelnen Texte weisen eine durchgehende Nummerierung auf. Abbildungen sind nach Größe und Anordnung möglichst eng an die

Textvorlagen angelehnt; einzelne farbige Abbildungen im Original sind jedoch in Schwarzweiß-Druck wiedergegeben (s. Text 12).

Mit | im laufenden Text sind Seitenumbrüche der Textvorlage gekennzeichnet; die Originalpaginierung wird bei bereits veröffentlichten Texten im Kolumnentitel innen mitgeführt. Bei Texten aus dem Nachlass wird die Bestandsbezeichnung nach ABBAW, ›NL H. v. Helmholtz‹ mitgeführt. Die vorfindliche Paginierung wurde hier übernommen, wenn diese vollständig war. Bei lückenhafter oder durchgestrichener Paginierung in der Handschrift haben die Herausgeber fortlaufend paginiert; ein entsprechender Hinweis findet sich vor Beginn des jeweiligen Textes.

Auf eine *Kommentierung* der ausgewählten Texte wurde verzichtet, da diese in aller Regel aus sich heraus verständlich sind und das Urteil der Leserinnen und Leser nicht durch interpretierende Stellungnahmen der Herausgeber in eine bestimmte Richtung gelenkt werden soll. Notwendige Informationen zur Einordnung des Textes (d. h. zum Entstehungskontext bzw. zur Erstveröffentlichung, ggf. zur Übersetzung in andere Sprachen und aus anderen Sprachen sowie zur Textgrundlage für den vorliegenden Abdruck) liefern die bibliographischen *Vorberichte*. Ferner ist dieser Ausgabe ein *Namensregister* und ein detailliertes *Sachregister* beigegeben, das den gesamten Korpus der Primärtexte erschließt und inhaltliche Verbindungen zwischen einzelnen Texten herzustellen erlaubt. Während bei der Texterfassung die Typographie der Textvorlage auch dann beibehalten wurde, wenn offenkundige Satz- oder Schreibfehler vorliegen, sind im Namen- und Sachregister aus Gründen der Lesbarkeit und Handhabbarkeit Vereinheitlichungen nach der heutigen Rechtschreibung vorgenommen worden.

2.4 Gesamtbibliographie

Neben den genannten Hilfsmitteln ermöglicht die am Ende angefügte *Gesamtbibliographie* eine bibliographische Detailerschließung *sämtlicher*, d. h. auch der hier nicht veröffentlichten ›rein‹ naturwissenschaftlichen Schriften von Helmholtz. Die Bibliographie strebt *Vollständigkeit* in Bezug auf *sämtliche* Schriften von Helmholtz in deutscher, englischer und französischer Sprache an, die ab 1842 erschienen sind. Da Erstveröffentlichungen von Helmholtz unseres Wissens in keiner anderen

Sprache als einer dieser drei ›Hauptsprachen‹ der Philosophie und Wissenschaft des 19. Jahrhunderts vorliegen, handelt es sich hier wohl um die erste umfassende Bibliographie der Primärliteratur von Helmholtz überhaupt. Sie erlaubt es, ausgehend von der Erstveröffentlichung einer Schrift, spätere Überarbeitungen, Abdrucke, Neuauflagen sowie Übersetzungen (vom Deutschen ins Englische bzw. Französische oder umgekehrt) zu identifizieren und so auch die Verbreitung und Wirksamkeit einzelner Schriften oder auch größerer disziplinärer Beiträgen einzuordnen. Sie mag daher als Instrument der weiteren Helmholtz-Forschung, besonders auch der zur Rezeption seines Werkes, nützlich sein.¹⁰³

Diese Gesamtbibliographie ist über eine Reihe von Jahren entstanden und konnte auf verschiedene Vorarbeiten zurückgreifen: Ihren ›Grundstock‹ bildet das »Titelverzeichniss sämmtlicher Veröffentlichungen von Hermann von Helmholtz« im dritten Band der *Wissenschaftlichen Abhandlungen* von 1895. Dieses umfasst neben 217 zu Helmholtz' Lebzeiten veröffentlichten und zwei »Nachgelassenen Arbeiten« bereits 17 »Uebersetzungen und Neudrucke«.¹⁰⁴ Zum 100. Todesjahr wurde, ausgehend von den *Wissenschaftlichen Abhandlungen*, eine erweiterte Bibliographie erstellt,¹⁰⁵ die der Bibliographie der Primärliteratur bis 1992 weitere 68 »Neuauflagen, Übersetzungen u. a.« in sechs Sprachen hinzufügte; sie umfasst insgesamt also knapp 300 Einträge. Die hier vorgelegte Gesamtbibliographie – die allerdings auch auf Erfassung aller englischsprachigen (109) und französischsprachigen (82) Titel abzielt – umfasst mit den deutschsprachigen Titeln (384) insgesamt 575 *Einträge* für den Zeitraum 1842 bis 2012. Diese beachtliche Zahl spiegelt nicht nur das anhaltende Interesse an Helmholtz' Werk während der letzten Dezennien wider, sondern mehr noch die bereits früh einsetzende, breite und andauernde, sich daher auch in einer Vielzahl entlegener Veröffentlichungen manifestierende Rezeption dieses Werkes.

¹⁰³ Detaillierte Hinweise zur Anlage und Benutzung der Gesamtbibliographie finden sich zu Beginn derselben (S. 1254 f).

¹⁰⁴ Vgl. Helmholtz 1895a, 607–633, 634 und 634–636.

¹⁰⁵ »Hermann von Helmholtz. Physiologe und Physiker. Eine Auswahlbibliographie der Buch- und Zeitschriftenliteratur anlässlich seines 100. Todestages. Herausgegeben und bearbeitet von Dieter Hoffmann, Horst Kant und Heinz Reddner« (Typoskript Berlin 1993). Wir danken den Berliner Kollegen für die Möglichkeit, von diesem Typoskript für die Erstellung unserer Bibliographie Gebrauch zu machen.

2.5 Danksagungen

Die Erstellung dieser Ausgabe wurde teilweise durch Mittel der DFG gefördert. Für diese Förderung möchten wir der DFG danken. Dem Archiv der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften danken wir für die Erlaubnis, Handschriften aus dem Helmholtz-Nachlass abdrucken zu dürfen. Zahlreiche in- und ausländische Bibliotheken, die hier nicht im Einzelnen aufgeführt werden können, waren bei der Beschaffung von (z. T. entlegener) Helmholtz-Literatur behilflich; auch ihnen gilt unser herzlicher Dank.

Wir danken ferner den folgenden Personen für Ihre Mitarbeit an dieser Ausgabe: Jan Baedke (Bochum), der die Schlussredaktion der Gesamtbibliographie besorgte, Daniel Bosse (Tübingen), Jonathan Dittrich (Tübingen), Frederick Esser, geb. Patak (Berlin), Alexander Fick (Tübingen), Philip Flock (Wuppertal), Irina Kasperowitsch (Bochum), Niklas König (Wuppertal), Michael Kreisel (Wuppertal), Luzia Leifheit (Tübingen), Rebekka Leitlein (Tübingen), Olaf Lenz (Wuppertal), Christian Martin (Wuppertal), Herbert Pieper † (Berlin), Janelle Pötzsch (Bochum), Ulrike Pompe (Bochum), Maria Sojka (Bochum) und Maria Wargin (Bochum).

Dank sei auch Kollegen und Mitarbeitern für viele nützliche Hinweise bzw. mühsame Recherchen gesagt, die zur Vervollständigung der Gesamtbibliographie beitrugen: Christophe Bouriau (Nancy), David Cahan (Nebraska), Ulrich Charpa (London und Bochum), Gerhard Heinzmann (Nancy), Dieter Hoffmann (Berlin), Heinz Lübbig (Braunschweig), Richard Kremer (Dartmouth), Irmgard Müller (Bochum), Philippe Nabonnand (Nancy) und Michiyo Nakane (Tokyo).

*Michael Heidelberger
Helmut Pulte
Gregor Schiemann*

Auswahlbibliographie

- Baird, D., R. I. G. Hughes und A. Nordmann, Hrsg. (1997): *Heinrich Hertz (1857–1894): Classical Physicist, Modern Philosopher*. Dordrecht.
- Bernfeld, S. (1944): Freud's Earliest Theories and the School of Helmholtz. In: *Psychoanalytic Quarterly* 13, 314–362.
- Bernfeld, S. (1981): Freud's Earliest Theories and the School of Helmholtz. In: *Psyche* 35(5), 435–455.
- Bernfeld, S. (1988): Freuds früheste Theorien und die Helmholtz-Schule. In: *Siegfried Bernfeld, Suzanne Cassirer Bernfeld: Bausteine der Freud-Biographie*. Hrsg. von I. Grubrich-Simitis. Frankfurt a. M., 54–77.
- Biagioli, F. (2014): What Does It Mean That ›Space Can Be Transcendental Without the Axioms Being So‹? Helmholtz's Claim in Context. In: *Journal for General Philosophy of Science* 45, 1–21.
- Bierhalter, G. (1981): Zu Hermann von Helmholtzens mechanischer Grundlegung der Wärmelehre aus dem Jahre 1884. In: *Archive for History of Exact Sciences* 25, 71–84.
- Bierhalter, G. (1993): Helmholtz's Mechanical Foundation of Thermodynamics. In: Cahan 1993a, 432–458.
- Blumtritt, O. (1986): *Zur Genese der elektromagnetischen Feldtheorie. Eine wissenschaftshistorische Studie zur Entstehung der Maxwell'schen Gleichungen*. Hildesheim.
- Boi, L., D. Flament und J.-M. Salanskis, Hrsg. (1992): 1830–1930: *A Century of Geometry*. Berlin.
- Braun-Artaria, R. (1919): *Von berühmten Zeitgenossen. Erinnerungen einer Siebzigerin*. 11. Aufl. München.
- Breger, H. (1982): *Die Natur als arbeitende Maschine. Zur Entstehung des Energiebegriffs in der Physik, 1840–1850*. Frankfurt a. M.
- Buchwald, J. Z. (1985): *From Maxwell to Microphysics: Aspects of Electromagnetic Theory in the Last Quarter of the Nineteenth Century*. Chicago/London.
- Bunsen, M. v. (1899): *Zur Erinnerung an Frau Anna von Helmholtz*. Berlin.
- Cahan, D. (1992): *Meister der Messung. Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt im Deutschen Kaiserreich*. Weinheim.
- Cahan, D., Hrsg. (1993a): *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science*. Berkeley/Los Angeles/London.
- Cahan, D. (1993b): Helmholtz and the Civilizing Power of Science. In: Cahan 1993a, 559–601.
- Cahan, D., Hrsg. (1993c): *Letters of Hermann von Helmholtz to his Parents, 1837–1846*. Stuttgart.

- Cahan, D. (1994): Anti-Helmholtz, Anti-Zöllner, Anti-Dühring: The Freedom of Science in Germany during the 1870s. In: Krüger 1994a, 330–344.
- Cahan, D. (2005): Hermann von Helmholtz und die Ausgestaltung der amerikanischen Physik im *Gilded Age*. In: *Universität der Gelehrten – Universität der Experten. Adaptionen deutscher Wissenschaft in den USA des neunzehnten Jahrhunderts*. Stuttgart, 71–87. (Engl. Übs.: Helmholtz and the Ideals of Science and Culture in Gilded Age America. In: *Revista da Sociedade Brasileira de Historia de Ciencia* 4(1), 2006, 6–16.)
- Cahan, D. (2012a): Helmholtz and the British Scientific Elite: From Force Conservation to Energy Conservation. In: *Notes and Records of the Royal Society* 66, 55–68.
- Cahan, D. (2012b): The Awarding of the Copley Medal and the ›Discovery‹ of the Law of Conservation of Energy: Joule, Mayer and Helmholtz Revisited. In: *Notes and Records of the Royal Society* 66, 125–139.
- Cassirer, E. (1957): *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*. Vierter Band: *Von Hegels Tod bis zur Gegenwart (1832–1932)*. Hildesheim/New York.
- Craneffeld, P. F. (1957): The Organic Physics of 1847 and the Biophysics of Today. In: *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences* 12(4), 407–423.
- Craneffeld, P. F. (1966a): Freud and the ›School of Helmholtz‹. In: *Gesnerus* 23(1), 35–39.
- Craneffeld, P. F. (1966b): The Philosophical and Cultural Interests of the Biophysics Movement of 1847. In: *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences* 21(1), 1–7.
- Darrigol, O. (1992): The Electrodynamical Revolution in Germany as Documented by Early German Expositions of Maxwell's Theory. In: *Archive for History of Exact Sciences* 45, 189–280.
- Darrigol, O. (1994): Helmholtz's Electrodynamics and the Comprehensibility of Nature. In: Krüger 1994a, 216–242.
- Darrigol, O. (1998): From Organ Pipes to Atmospheric Motions: Helmholtz on Fluid Mechanics. In: *Historical Studies in the Physical Sciences* 29, 1–51.
- Darrigol, O. (2000): *Electrodynamics from Ampère to Einstein*. Oxford.
- Darrigol, O. (2005): *Worlds of flow: A history of hydrodynamics from the Bernoullis to Prandtl*. Oxford.
- Darrigol, O. (2008): Empirical Challenges and Concept Formation in the History of Hydrodynamics. In: *Centaurus* 50, 214–232.
- Diemer, A., Hrsg. (1968): *Beiträge zur Entwicklung der Wissenschaftstheorie im 19. Jahrhundert*. Meisenheim a.G.
- Dilthey, W. (1900): Anna von Helmholtz. In: *Deutsche Rundschau* 102, 226–235.
- Du Bois-Reymond, E. (1896): *Gedächtnissrede auf Hermann von Helmholtz*. Berlin.

- Ebert, H. (1949): *Hermann von Helmholtz*. Stuttgart.
- Eckart, W. U. und K. Volkert, Hrsg. (1996): *Hermann von Helmholtz. Vorträge eines Heidelberger Symposiums anlässlich des einhundertsten Todestages*. Pfaffenweiler.
- Erdmann, B. (1877): *Die Axiome der Geometrie. Eine philosophische Untersuchung der Riemann-Helmholtz'schen Raumtheorie*. Hamburg.
- Erdmann, B. (1921): *Die philosophischen Grundlagen von Helmholtz' Wahrnehmungstheorie kritisch erläutert*. Berlin.
- Freudenthal, H. (1957): Zur Geschichte der Grundlagen der Geometrie. In: *Nieuw Archief voor Wiskunde* 5, 105–142.
- Freudenthal, H. (1960): Die Grundlagen der Geometrie um die Wende des 19. Jahrhunderts. In: *Mathematisch-Physikalische Semesterberichte* 7, 1–25.
- Gerhardt, V., Mehring, R. und J. Rindert (1999): *Berliner Geist: Eine Geschichte der Berliner Universitätsphilosophie bis 1946*. Berlin.
- Harman, P. M. (1982a): *Energy, Force and Matter. The Conceptual Development of Nineteenth-Century Physics*. Cambridge/London/New York.
- Harman, P. M. (1982b): *Metaphysics and Natural Philosophy. The Problem of Substance in Classical Physics*. Sussex/New Jersey.
- Harman, P. M. (1987): The Foundations of Mechanical Physics in the Nineteenth Century: Helmholtz and Maxwell. In: *Zum Wandel des Naturverständnisses*. Hrsg. von C. Burrichter, R. Inhetveen und R. Kötter. Paderborn/München/Wien, 35–46.
- Hatfield, G. (1990): *The Natural and the Normative: Theories of Spatial Perception from Kant to Helmholtz*. Cambridge.
- Hatfield, G. (2015): Perception in Philosophy and Psychology in the 19th and early 20th Centuries. In: *The Oxford Handbook of Philosophy of Perception*. Hrsg. von M. Matthen. Oxford, 100–117.
- Hausdorff, F. (1903/04): Vorlesung: Zeit und Raum. In: Felix Hausdorff, *Gesammelte Werke*, Bd. 6: *Geometrie, Raum und Zeit*. Hrsg. von M. Epple und E. Brieskorn. Berlin 2017.
- Hecht, H. (1995): Principle of Least Action: Methodological Inversion of Dynamics. In: Lübbig 1995, 181–208.
- Heidelberger, M. (1985): Zerspaltung und Einheit: Vom logischen Aufbau der Welt zum Physikalismus. In: *Philosophie, Wissenschaft, Aufklärung. Beiträge zur Geschichte und Wirkung des Wiener Kreises*. Hrsg. von H.-J. Dahms. Berlin/New York, 144–189.
- Heidelberger, M. (1993a): Force, Law, and Experiment: The Evolution of Helmholtz's Philosophy of Science. In: Cahan 1993a, 461–497.
- Heidelberger, M. (1993b): Räumliches Sehen bei Helmholtz und Hering. In: *Philosophia Naturalis* 30, 1–28.

- Heidelberger, M. (1994): Helmholtz' Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie im Kontext der Philosophie und Naturwissenschaft des 19. Jahrhunderts. In: Krüger 1994a, 168–185.
- Heidelberger, M. (1995a): Helmholtz als Philosoph. In: *Deutsche Zeitschrift für Philosophie* 43, 835–844.
- Heidelberger, M. (1995b): Philosophische Argumente in empirischer Wissenschaft. Das Beispiel Helmholtz. In: *Interaktionen zwischen Philosophie und empirischen Wissenschaften*. Hrsg. von Hans Jörg Sandkühler, Frankfurt a. M., 211–224.
- Heidelberger, M. (1997a): From Helmholtz's Philosophy of Science to Hertz's Picture-Theory. In: D. Baird et al. 1997, 9–24.
- Heidelberger, M. (1997b): Beziehungen zwischen Sinnesphysiologie und Philosophie im 19. Jahrhundert. In: *Philosophie und Wissenschaften. Formen und Prozesse ihrer Interaktion*. Hrsg. von H. J. Sandkühler. Frankfurt a. M., 37–58.
- Heidelberger, M. (2006): Kantianism and Realism: Alois Riehl (and Moritz Schlick). In: *The Kantian Legacy in Nineteenth-Century Science*. Hrsg. von M. Friedman und A. Nordmann. Cambridge, Mass., 227–247.
- Heidelberger, M. (2010): Analogie und Quantifizierung: Von Maxwell über Helmholtz zur Messtheorie. In: *Analogien in Naturwissenschaften, Medizin und Technik. (Acta Historica Leopoldina 56)*. Hrsg. von K. Hentschel. Stuttgart, 255–277.
- Heidelberger, M. (2015): Naturalisierung des Transzendentalen in der Sinnesphysiologie von Hermann von Helmholtz, In: *Scientia Poetica* 19, 205–233.
- Heimann, P. M. (1974): Helmholtz and Kant: The Metaphysical Foundations of 'Über die Erhaltung der Kraft'. In: *Studies in History and Philosophy of Science* 5, 205–238.
- Helmholtz, A. v. (1929): *Ein Lebensbild in Briefen*. Hrsg. von E. v. Siemens-Helmholtz. 2 Bde. Berlin.
- Hering, E. (1878): *Zur Lehre vom Lichtsinne*. Wien.
- Hertz, H. (1890): Ueber die Grundgleichungen der Electrodynamik für bewegte Körper. In: *Annalen der Physik und Chemie*, Neue Folge 41(11), 369–399.
- Hörz, H. und S. Wollgast, Hrsg. (1971): *Hermann von Helmholtz. Philosophische Vorträge und Aufsätze*. Berlin.
- Jacobi, C. G. J. (1996): *Vorlesungen über Analytische Mechanik aus dem Wintersemester 1847/48*. Nach einer Mitschrift von Wilhelm Scheibner, hrsg. von H. Pulte. Braunschweig.
- Jungnickel, C. und R. McCormmach (1986/1990): *Intellectual Mastery of Nature: Theoretical Physics from Ohm to Einstein*. 2 Bde., Chicago.
- Kaiser, W. (1981): *Theorien der Elektrodynamik im 19. Jahrhundert*. Hildesheim.
- Kaiser, W. (1993): Helmholtz's Instrumental Role in the Formation of Classical Electrodynamics. In: Cahan 1993a, 374–402.

- Kaiser, W. (1994): Hermann von Helmholtz: Aspekte einer Wissenschaftlerkarriere im deutschen Kaiserreich. In: Krüger 1994a, 345–359.
- Kirsten, Ch., Hrsg. (1986): *Dokumente einer Freundschaft. Briefwechsel zwischen Hermann von Helmholtz und Emil du Bois-Reymond, 1846–1894*. Berlin.
- Klein, M. J. (1974): Boltzmann, Monocycles, and Mechanical Explanation. In: *Philosophical Foundations of Science*. Hrsg. von R. F. Seeger und R. S. Cohen (Boston Studies in the Philosophy of Science, Vol. 11). Dordrecht/Boston, 155–175.
- Köhnke, K. C. (1986): *Entstehung und Aufstieg des Neukantianismus. Die deutsche Universitätsphilosophie zwischen Idealismus und Positivismus*. Frankfurt a. M.
- König, G. (1968): Der Wissenschaftsbegriff bei Helmholtz und Mach. In: Diemer 1968, 90–114.
- Koenigsberger, L. (1896): *Hermann von Helmholtz' Untersuchungen über die Grundlagen der Mathematik und Mechanik*. Leipzig.
- Koenigsberger, L. (1902/03): *Hermann von Helmholtz*. 3 Bde. Braunschweig.
- Kragh, H. (2002): The Vortex Atom: A Victorian Theory of Everything. In: *Centaurus* 44, 32–114.
- Kragh, H. (2012): Zoellner's Universe. In: *Physics in Perspective* 14, 392–420.
- Krause, A. (1878): *Kant und Helmholtz über den Ursprung und die Bedeutung der Raumanschauung und der geometrischen Axiome*. Lehr.
- Kremer, R. L., Hrsg. (1990): *Letters of Hermann von Helmholtz to his Wife, 1847–1859*. Stuttgart.
- Kries, J. v. (1894): Ueber den Einfluss der Adaptation auf Licht- und Farbenempfindung und über die Funktion der Stäbchen. In: *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg I* (9), 61–70.
- Kries, J. v. (1896): Über die Funktion der Netzhautstäbchen. In: *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane* 9, 81–123.
- Kries, J. v. (1905): Zonentheorie. In: *Handbuch der Physiologie des Menschen* (Bd. 3: Physiologie der Sinne). Hrsg. von W. Nagel. Braunschweig, 269–274.
- Kries, J. v. (1921): Helmholtz als Physiologe. In: *Die Naturwissenschaften* 9, 673–693.
- Krüger, L., Hrsg. (1994a): *Universalgenie Helmholtz. Rückblick nach 100 Jahren*. Berlin.
- Krüger, L. (1994b): Helmholtz über die Begreiflichkeit der Natur. In: Krüger 1994a, 201–215.
- Kuhn, T. S. (1978): *Die Entstehung des Neuen. Studien zur Struktur der Wissenschaftsgeschichte*. Frankfurt a. M.
- Kurti, N. (1984): Oxford Physics: Opportunity Lost in 1865? In: *Nature* 308 (22.3.1984), 313–314.
- Kurti, N. (1985): Helmholtz's Choice. In: *Nature* 314 (11.04.1985), 499.

- Lange, F. A. (1875): *Geschichte des Materialismus und Kritik seiner Bedeutung in der Gegenwart*. 2. Buch: *Geschichte des Materialismus seit Kant*, 2., verbesserte und vermehrte Aufl., Iserlohn (Repr. Frankfurt a. M. 1974).
- Lenoir, Th. (1982): *The Strategy of Life: Teleology and Mechanics in Nineteenth-Century German Biology*. Dordrecht/Boston.
- Lenoir, Th. (1993): The Eye as Mathematician: Clinical Practice, Instrumentation, and Helmholtz's Construction of an Empiricist Theory of Vision. In: Cahan 1993a, 109–153.
- Lessing, H.-U. (1995): Helmholtz und Dilthey. Aspekte einer Wirkung. In: *Deutsche Zeitschrift für Philosophie* 43, 819–833.
- Lipman, T. O. (1966): The Response to Liebig's Vitalism. In: *Bulletin of the History of Medicine* 11, 511–524.
- Lipman, T. O. (1967): Vitalism and reductionism in Liebig's physiological thought. In: *Isis* 58, 167–185.
- Lübbig, H., Hrsg. (1995): *The Inverse Problem. Symposium ad memoriam Hermann von Helmholtz*. Berlin.
- Maxwell, J. C. (1877): Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz. In: *The Scientific Papers*. Hrsg. von W. D. Niven. 2 Bde., Cambridge, Bd. II, 592–598.
- Mehrtens, H. (1990): *Moderne – Sprache – Mathematik*. Frankfurt a. M.
- Meinel, Ch. (1991): *Karl Friedrich Zöllner und die Wissenschaftskultur der Gründerzeit*. Berlin.
- Nernst, W. (1921): Die elektrochemischen Arbeiten von Helmholtz. In: *Die Naturwissenschaften* 9, 699–702.
- Nipperdey, Th.: (1992/03): *Deutsche Geschichte, 1866–1918*. 2 Bde., München.
- Pulte, H. (1989): *Das Prinzip der kleinsten Wirkung und die Kraftkonzeptionen der rationalen Mechanik. Eine Untersuchung zur Grundlegungsproblematik bei Leonhard Euler, Pierre Louis Moreau de Maupertuis und Joseph Louis Lagrange*. Wiesbaden.
- Pulte, H. (1994): C. G. J. Jacobis Vermächtnis einer ›konventionalen‹ analytischen Mechanik. Vorgeschichte, Nachschriften und Inhalt seiner letzten Mechanik-Vorlesung. In: *Annals of Science* 51, 487–517.
- Pulte, H. (2005): *Axiomatik und Empirie. Eine wissenschaftstheoriegeschichtliche Untersuchung zur Mathematischen Naturphilosophie von Newton bis Neumann*. Darmstadt.
- Pulte, H. (2009): Darwin und die exakten Wissenschaften. Eine vergleichende wissenschaftstheoretische Untersuchung zur Physik mit einem Ausblick auf die Mathematik. In: *Charles Darwin und seine Wirkung*. Hrsg. von E.-M. Engels. Frankfurt a. M., 139–177.
- Pulte, H. (2015a): Emil Du Bois-Reymond in Context: Kantianism and ›Mechanical‹ Limitations of Knowledge in the Second Half of the 19th Century. In: *Limits of Knowledge. Between Philosophy and the Sciences*. Hrsg. von N. Moro und M. Anacker. Milano 2015, 57–73.

- Pulte, H. (2015b): Wissenschaft. Zur philosophischen Geschichte einer Leitidee des 19. Jahrhunderts: Hauptrichtungen und -entwicklungen. In: *Schlüsselbegriffe der Philosophie des 19. Jahrhunderts* (Archiv für Begriffsgeschichte, Sonderheft 11). Hrsg. von A. Hand, Ch. Bermes und U. Dierse. Hamburg, 483–522.
- Pulte, H. (2016): Gegen die Naturalisierung des Humanen: Wilhelm Dilthey im Kontext und als Theoretiker der Naturwissenschaften seiner Zeit. In: *Dilthey als Wissenschaftsphilosoph*. Hrsg. von Ch. Damböck und H.-U. Lessing. Freiburg/München, 63–85.
- Rechenberg, H. (1990): *Hermann von Helmholtz. Bilder seines Lebens und Wirkens*. Weinheim/New York.
- Rheinberger, H.-J. und P. Schöttler (2015): Empirie vor Theorie. Leopold von Ranke und Hermann von Helmholtz. In: *Berlins wilde Energien. Portraits aus der Geschichte der Leibnizschen Wissenschaftsakademie*. Hrsg. von S. Leibfried, C. Marksches, E. Osterkamp und G. Stock. Berlin, 190–211 und 485–488.
- Rey, A. (1909): *Die Theorie der Physik bei den modernen Physikern*. Leipzig.
- Richards, J. L. (1977): The Evolution of Empiricism: Hermann von Helmholtz and the Foundations of Geometry. In: *British Journal for the Philosophy of Science* 28, 235–253.
- Richards, J. L. (1988): *Mathematical Visions: The Pursuit of Geometry in Victorian England*. Boston.
- Riehl, A. (1876–1887): *Der philosophische Kriticismus und seine Bedeutung für die positive Wissenschaft*, 2 Bde. (Bd. 2 in 2 Teilen), Leipzig.
- Riehl, A. (1904): Helmholtz in seinem Verhältnis zu Kant. In: *Kant-Studien* 9, 261–285.
- Riehl, A. (1921): Helmholtz als Erkenntnistheoretiker. In: *Die Naturwissenschaften* 9, 702–708.
- Scharlau, W., Hrsg. (1986): [Rudolf O. Lipschitz:] *Briefwechsel mit Cantor, Dedekind, Helmholtz, Kronecker, Weierstrass und anderen*. Braunschweig.
- Scheibe, E. (2006): *Die Philosophie der Physiker*. München.
- Schiemann, G. (1994): Die Hypothesisierung des Mechanismus bei Hermann von Helmholtz. In: Krüger 1994a, 149–167.
- Schiemann, G. (1995): Zwischen klassischer und moderner Wissenschaftstheorie: Hermann von Helmholtz und Karl R. Popper, erkenntnistheoretisch verglichen. In: *Deutsche Zeitschrift für Philosophie* 43, 845–859.
- Schiemann, G. (1997a): The Loss of World in the Image. Origin and Development of the Concept of Image in the Thought of Hermann von Helmholtz and Heinrich Hertz. In: Baird et al. 1997, 25–38.
- Schiemann, G. (1997b): *Wahrheitsgewissheitsverlust. Hermann von Helmholtz' Mechanismus im Anbruch der Moderne. Eine Studie zum Übergang von klassischer zu moderner Naturphilosophie*. Darmstadt.

- Schiemann, G. (2009): *Hermann von Helmholtz's Mechanism: the Loss of Certainty: a Study on the Transition from Classical to Modern Philosophy of Nature*. Dordrecht.
- Schiemann, G. (2014a): Wahrheitsgewissheitsverluste. Nietzsches und Helmholtz' Wissenschaftsauffassung im Anbruch der Moderne. In: *Handbuch Nietzsche und die Wissenschaften*. Hrsg. von H. Heit und L. Heller. Berlin/ New York, 46–77.
- Schiemann, G. (2014b): Hermann von Helmholtz' Kantkritik. In: *Wissenschaftsphilosophie im Neukantianismus*. Hrsg. von Ch. Krijnen und K. W. Zeidler. Würzburg, 199–226.
- Schmidgen, H. (2009): *Die Helmholtz-Kurven. Auf der Spur der verlorenen Zeit* (Internationaler Merve-Diskurs; Bd. 341) Berlin.
- Schnädelbach, H. (1991): *Philosophie in Deutschland 1831–1933*. 2. Aufl., Frankfurt a. M.
- Schwertschlagler, J. (1883): *Kant und Helmholtz erkenntniss-theoretisch verglichen*. Freiburg.
- Stromberg, W. H. (1989): Helmholtz and Zoellner: Nineteenth-Century Empiricism, Spiritism, and the Theory of Space Perception. In: *Journal of the History of the Behavioral Sciences* 25, 371–383.
- Stumpf, C. (1895): Hermann von Helmholtz und die neuere Psychologie. In: *Archiv für Geschichte der Philosophie* 8, 303–314.
- Torretti, R. (1978): *Philosophy of Geometry from Riemann to Poincaré*. Dordrecht/ Boston.
- Turner, R. S. (1972): Helmholtz, Hermann von. In: *Dictionary of Scientific Biography*. Hrsg. von Ch. C. Gillispie. New York, vol. 6, 241–253.
- Turner, R. S. (1977): Hermann von Helmholtz and the Empiricist Vision. In: *Journal of the History of the Behavioral Science* 13, 48–58.
- Turner, R.S. (1994): *In the Eye's Mind: Vision and the Helmholtz-Hering Controversy*. Princeton.
- Ueberweg, F. (1916): *Grundriß der Geschichte der Philosophie vom Beginn des neunzehnten Jahrhunderts bis auf die Gegenwart*. 11. Aufl., hrsg. von K. Oesterreich. Berlin.
- Voelke, J. D. (2005): *Renaissance de la Géométrie non euclidienne entre 1860 et 1900*. Bern.
- Volkert, K. (1993): On Helmholtz' Paper ›Ueber die thatsächlichen Grundlagen der Geometrie‹. In: *Historia Mathematica* 20, 307–309.
- Volkert, K. (1996): Hermann von Helmholtz und die Grundlagen der Geometrie. In: Eckart 1996, 177–205.
- Volkert, K. (2013): *Das Undenkbare denken. Die Rezeption der nichteuklidischen Geometrie im deutschsprachigen Raum (1860 –1900)*. Berlin/Heidelberg.

- Werner, F. (1998): Zum Tod des Physiologen und Physikers Hermann von Helmholtz. In: *Zeitschrift für die Geschichte des Oberrheins* 146 = N.F. 107, 544–551.
- Wien, W. (1919): Hermann von Helmholtz. Zu seinem 25-jährigen Todestage. In: *Die Naturwissenschaften* 7, 645–648.
- Wien, W. (1921): Helmholtz als Physiker. In: *Die Naturwissenschaften* 9, 694–699.
- Wilhelmy, P. (1989): *Der Berliner Salon (1780–1914)*. Berlin. (2. veränderte Aufl.: Petra Wilhelmy-Dollinger, *Die Berliner Salons. Mit historisch-literarischen Streifzügen*. Berlin 2000.)
- Winters, S. M. (1985): *Hermann von Helmholtz's Discovery of Force Conservation* (Ph.D. diss.). Johns Hopkins University.
- Wise, N. M. (1990): Electromagnetic Theory in the Nineteenth Century. In: *Companion to the History of Science*. Hrsg. von R. C. Olby et al. London, 342–356.
- Woodruff, A. E. (1968): The Contributions of Hermann von Helmholtz to Electrodynamics. In: *Isis* 59, 300–311.