

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 1**

Reprint der Bände 1, 79 und 80

Über die Erhaltung der Kraft

Über Wirbelbewegungen

Über Flüssigkeitsbewegungen

Theorie der Luftschwingungen

von
Hermann von Helmholtz

Verlag Harri Deutsch

OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 1



Hermann von Helmholtz
31.8.1821 – 8.9.1894

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN**

Band 1

Reprint der Bände 1, 79 und 80

Über die Erhaltung der Kraft
(1847)

Über Wirbelbewegungen
(1858)

Über discontinuirliche Flüssigkeitsbewegungen
(1868)

Theorie der Luftschwingungen
in Röhren mit offenen Enden
(1859)

Hermann von Helmholtz

Einleitung
Holger T. Grahn

Band 78 und 80 herausgegeben von
A. Waisstein



Verlag Harri Deutsch

Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzichtet durch Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie, detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://nbn-res.de> abrufbar.

ISBN 978-3-8171-3417-3

Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsschutzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Die Druckvorlage wurde freundlicherweise von der Bibliothek des Instituts für Geschichte der Naturwissenschaften der Universität Frankfurt/M. zur Verfügung gestellt.

© Wissenschaftlicher Verlag Hart Drusch GmbH
Frankfurt am Main, 2011
1. Erw. Auflage 2011
Druck: Rosch - Buch Drucker GmbH, Schellert
Printed in Germany

Inhalt.

Einführung von H. T. Grahn VII

Band I

Über die Erhaltung der Kraft	5
Einführung	5
I. Das Princip von der Erhaltung der lebendigen Kraft	9
II. Das Princip von der Erhaltung der Kraft	13
III. Die Anwendung des Princip's in der mechanischen Theorien	19
IV. Das Kraftäquivalent der Wärme	22
V. Das Kraftäquivalent der electrischen Vorgänge	31
VI. Kraftäquivalent des Magnetismus und Electromagnetismus	46
Zusätze (1881)	55

Band 79

I. Über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen.	67
§ 1. Definition der Rotation	70
§ 2. Constanz der Wirbelbewegung	76
§ 3. Integrale nach dem Raume	80
§ 4. Wirbelflächen und Energie der Wirbelfäden	87
§ 5. Geradlinige parallele Wirbelfäden	91
§ 6. Kreisförmige Wirbelfäden	94
II. Über discontinuirliche Flüssigkeitsbewegungen.	102
Zusatz, elektrische Vertheilung betreffend	113
Anmerkungen von A. Wangerin	114

Band 80

Theorie der Luftschwingungen in
Röhren mit offenen Enden.

	149
§ 1. Die Gleichungen der Luftbewegung.	162
§ 2. Integration der Wellengleichung.	165
§ 3. Gesetz der Raumdichtigkeit.	168
§ 4. Gesetz der Flächendichtigkeit. — Analogon des Satzes von Green.	171
§ 5. Verhalten in unendlicher Entfernung.	177
§ 6. Wellen in offener Röhre.	182
§ 7. Norm der Wellen in der Röhre.	194
§ 8. Reducirte Länge verschiedener Röhrenformen.	206
§ 9. Einfachste Röhrenformen.	213
§ 10. Uebersicht vom Resonanzrohr.	221
Anmerkungen von A. Waisperin.	233

Einleitung
Hermann von Helmholtz:
Über Kräfte, Bewegungen und Schwingungen
VON
Holger T. Grahn

Hermann von Helmholtz gilt als der Universalgelehrte des 19. Jahrhunderts. Er befasste sich in seiner wissenschaftlichen Karriere mit der Medizin, der Biologie, der Physik, der Mathematik, der Meteorologie, der Musik, der Philosophie sowie der Konstruktion von Geräten und Apparaten. James Clerk Maxwell, der große britische Naturforscher und Zeitgenosse, bezeichnete Hermann von Helmholtz in einer Vorstellung seines wissenschaftlichen Werkes für die britische Zeitschrift *Nature* als „intellectual giant (intellektuellen Riesen)“.¹ Der Maler Franz von Lenbach, der Helmholtz oft porträtierte, gab ihm den Spitznamen „Reichskanzler der Wissenschaft“. Seine Schüler nannten ihn verehrend „Meister“. Heute sind der Zusammenschluss von 17 Großforschungseinrichtungen, die *Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V.*, die Helmholtz-Spule, der Helmholtz-Resonator und die Helmholtz-Gleichung nach ihm benannt. Die *Preussische Akademie der Wissenschaften* stiftete 1891 aus Anlass des 70. Geburtstages von Helmholtz die Helmholtz-Medaille. Diese wurde ab 1946 von der *Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* bzw. der *Akademie der Wissenschaften der DDR* verliehen und wird seit 1992 von der *Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften* vergeben. Seit 1991 verleiht die *Deutsche Gesellschaft für Akustik* jährlich eine Helmholtz-Medaille für ein bedeutendes Lebenswerk.

[James Clerk Maxwell: Scientific Worthies No. X, Dattmann, Ludwig Ferdinand Helmholtz, *Nature* Vol. 15, 389–391 (1871).

Hermann von Helmholtz: Das Universalgenie

Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz wird am 31. August 1821 in Potsdam geboren. Er beginnt schon frühzeitig mit dem Studium der physikalischen Lehrbücher in der Bibliothek seines Vaters, experimentiert mit Säuren und baut mit äußerst beschränkten Mitteln optische Instrumente, deren Strahlengänge er berechnet. Nach zweijähriger Volksschulzeit besucht er von Ostern 1830 an das Potsdamer Gymnasium, an dem auch sein Vater lehrt. Dort legt er im September 1838 das Abitur mit Auszeichnung ab. Im Frühjahr 1838 hatte er bereits die Aufnahmeprüfung für das Friedrich-Wilhelm-Institut (Pflanzien) für den militärischen Arztdienst in Berlin erfolgreich bestanden und nimmt dort im Oktober 1838 sein vierjähriges Studium auf, dem ein achtjähriger Militärdienst folgen sollte. Helmholtz selbst sagt dazu in seinen Erinnerungen: „Die Physik galt damals noch als hrodlöse Kunst. Meine Eltern waren zu grosser Spürsamkeit gezwungen, also erklärte mir der Vater, er wisse mir nicht anders zum Studium der Physik zu hoffen, als wenn ich das der Medicin mit in Kauf nähme.“ Im Sommer 1841, als er sich schon auf seine Doktorarbeit vorbereitet, erkrankt Helmholtz an einer schweren Typhusanfektion. Nach der Genesung im November 1841 beginnt er, an seiner Dissertation zu arbeiten. Ein Jahr später schließt er die Promotion mit einer Arbeit, die den lateinischen Titel *De Fibris Systematis nervosae Cerebratorum*² trägt, ab. Das Hauptergebnis seiner Doktorarbeit lautet: Die Nervenfasern entspringen aus den 1836 entdeckten Ganglienzellen. Von 1842 bis 1844 ist Helmholtz Chirurg an der Charité in Berlin, anschließend in Potsdam bei dem Garde-Hisaren. 1845 legt er die Staatsprüfung als Arzt und Wundarzt mit sehr gut ab. 1847 wechselt er in Potsdam zu einem neuen Regiment, der Garde-die-Corps. Ende September 1848 wird er auf Empfehlung Alexander von

² H. Helmholtz: *De Fibris Systematis nervosae Cerebratorum*, Abt. Diss. Berlin, 2. Nov. 1842.

Humboldts vorzeitig aus dem Militärdienst entlassen und unterrichtet anschließend Anatomie an der Berliner Kunstakademie.

Parallel zu seiner Tätigkeit als Arzt führt er wissenschaftliche Untersuchungen zu sehr unterschiedlichen Themen durch. Seine erste Veröffentlichung nach der Doktorarbeit befaßt sich 1843 mit dem *Wesen der Fäulnis und Gärung*.³ Im Januar 1845 wird die Physikalische Gesellschaft zu Berlin (aus der 1889 die Deutsche Physikalische Gesellschaft hervorgeht) gegründet, über Helmholtz im Herbst desselben Jahres zusammen mit Werner Siemens beirät. Am 23. Juli 1847 trägt Helmholtz vor der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin *Über das Princip der Erhaltung der Kraft. Eine physikalische Abhandlung* vor, das als Manuskript unter dem Titel *Über die Erhaltung der Kraft. Eine physikalische Abhandlung* noch im selben Jahr gedruckt wird.⁴ Hermann Helmholtz hält zwei weitere Vorträge vor der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin, im November 1847 über seine physiologischen Untersuchungen zu Muskelaktion und im März 1849 über die Konstruktion von Tangentenbussolen, einem Strommesser, mit dem die Stromstärke durch Abweichung einer Magnetaedel von der Nord-Süd-Richtung gemessen wird.

Im Mai 1849 wird Helmholtz zum außerordentlichen Professor für Physiologie an der Universität Königsberg ernannt. Dort entwickelt Helmholtz 1850 den Augenspiegel, den er selbst folgendermaßen beschreibt: „Es ist nämlich eine Combination von Gläsern, wodurch es möglich ist, den dunklen Hintergrund des Auges durch die Pupille hindurch zu beleuchten, und zwar ohne ein blendendes Licht anzuwenden.“ 1851 wird Helmholtz in Königsberg zum Ordinarius ernannt. 1855 folgt er einem Ruf auf die Professur für Anatomie und Physiologie an die Universität Bonn. Drei Jahre später geht er als Professor für Physiologie an

3 H. Helmholtz: *Über das Wesen der Fäulnis und Gärung*, *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, herausgegeben von Johannes Müller, 5, 453–492 (1843).

4 H. Helmholtz: *Über die Erhaltung der Kraft. Eine physikalische Abhandlung* (G. Reimer: Berlin, 1847).

die Universität Heidelberg. In diesem Jahr (1858) veröffentlicht Helmholtz seine Arbeit über Wirbelbewegungen, deren genauer Titel folgendermaßen lautet *Über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen*, im *Journal für die reine und angewandte Mathematik*.⁵ Das wesentlichste Resultat dieser Arbeit ist ein Erhaltungssatz: Wirbel können nicht entstehen und nicht vergehen, was sowohl zeitlich als auch räumlich für die Wirbelstärke längs einer jeden Wirbellinie oder eines jeden Wirbelfadens gilt. Schon im darauf folgenden Jahr am 15. März 1859 hält Helmholtz einen Vortrag *Über die Luftschwingungen in Röhren mit offenen Enden* im *Naturhistorisch-medizinischen Verein zu Heidelberg*, deren ausführliche Ausarbeitung *Theorie der Luftschwingungen in Röhren mit offenen Enden* 1860 wiederum in dem *Journal für die reine und angewandte Mathematik* erscheint.⁶ Diese Arbeit enthält im Prinzip eine ausgeleitete mathematische Theorie der von Orgelpfeifen erzeugten akustischen Schwingungen. Am 23. April 1868 kommt eine Abhandlung von Helmholtz mit dem Titel *Über discontinuirtliche Flüssigkeitsbewegungen* in der Gesamtsitzung der *Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* zum Vortrag, die er am 20. April des Jahres als korrespondierendes Mitglied (seit 1857) an die Akademie geschickt hatte und die 1869 in deren Monatsberichten erscheint.⁷ Dies ist die vierte der in diesem Band abgedruckten Arbeiten. Hierbei geht Helmholtz davon aus, dass für die Strö-

⁵ H. Helmholtz: *Über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen*, *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, herausgegeben von C. W. Borchardt, Band 55, S. 27–55 (G. Reimer, Berlin, 1858).

⁶ H. Helmholtz: *Theorie der Luftschwingungen in Röhren mit offenen Enden*, *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, herausgegeben von C. W. Borchardt, Band 57, S. 1–72 (G. Reimer, Berlin, 1860).

⁷ H. Helmholtz: *Über discontinuirtliche Flüssigkeitsbewegungen*, *Monatsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, S. 215–228 (1869).

nung einer Flüssigkeit (ohne Reibung) dieselbe partielle Differentialgleichung gilt wie für stationäre Ströme von Elektrizität und Wärme, obwohl sich in Wirklichkeit die Stromungsbilder, etwa durch eine Öffnung mit scharfen Rändern, erheblich unterscheiden.

1870 wird Helmholtz zum Auswärtigen Mitglied der *Königlich-Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* gewählt. Kurz darauf erhält er einen Ruf als Ordinarius für Physik an die Friedrich-Wilhelms-Universität in Berlin als Nachfolger von Gustav Magnus und ist somit ab 1871 Ordentliches Mitglied der *Königlich-Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*. Im Juli 1873 wird Helmholtz zum Dekan der Philosophischen Fakultät gewählt und vier Jahre später zum Professor an der *medizinisch-chirurgischen Akademie für das Militär*. Auf ehemaligen Pöppners, ernannt. Zwei Monate später wird Helmholtz zum Rektor der Berliner Universität gewählt. Ende 1882 schlägt Werner Siemens unterstützt von dem Astronom Wilhelm Foerster und Helmholtz ein neuartiges Institut für wissenschaftliche Forschung, die spätere Physikalisch-Technische Reichsanstalt, vor. Am 28. Januar 1883 wird Helmholtz in den erblichen Adelsstand erhoben. Vor der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin hält er am 09. Mai 1884 einen Vortrag *Ueber die Beschlüsse der internationalen Konferenz für elektrische Masseneinheiten*. Im März 1888 wird Hermann von Helmholtz erster Präsident der im Oktober 1887 eröffneten Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg. In den 52 Jahren seiner wissenschaftlichen Karriere verfaßt Hermann von Helmholtz nahezu 220 Originalschriften. Helmholtz stirbt am 08. September 1894 in Charlottenburg im Alter von 73 Jahren an einem Schlaganfall. Am 14. Dezember desselben Jahres findet in der Berliner Singakademie eine große Gedächtnisfeier unter Teilnahme von Kaiser Wilhelm II. statt. Heute steht im Innenhof der Humboldt-Universität zu Berlin ein Denkmal zu Ehren Hermann von Helmholtz, das bereits 1899 eingeweiht wurde.

Über Kräfte, Bewegungen und Schwingungen

Alle vier wiedergegebenen Abhandlungen entstammen nicht dem entsprechenden Original, sondern unterschiedlichen Sekundärquellen. Die Originalseitenzahlen sind in eckigen Klammern in den Texten eingefügt. Die Zusätze im Anschluss an den Beitrag *Über die Erhaltung der Kraft. Eine physikalische Abhandlung* stammen von Helmholtz selbst und sind 1882 bei einem Neu-druck hinzugefügt worden. Die Abschnittsüberschriften in den beiden Abhandlungen *Über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen* und *Theorie der Luftschwingungen in Röhren mit offenem Ende* sind im Original nicht vorhanden, sondern erst 1896 in der ersten Ausgabe der Bände 79 und 80 von deren Herausgeber A. Wangerin hinzugefügt worden. Die Anmerkungen zu den drei Beiträgen *Über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen*, *Über diskontinuierliche Flüssigkeitsbewegungen* und *Theorie der Luftschwingungen in Röhren mit offenem Ende* stammen ebenfalls aus der Herausgabe der Bände 79 und 80 von A. Wangerin.

Über die Erhaltung der Kraft. Eine physikalische Abhandlung

Dieser Text erschien im Herbst 1847 in gedruckter Form. Johann Christoph Poggendorf, der Herausgeber der *Annalen der Physik*, hatte zuvor die Veröffentlichung des Manuskripts in seinen *Annalen* abgelehnt, da es keine experimentellen Resultate enthielt und zu lang war. Der gedruckte Text stellt eine erweiterte Fassung des Vortrages von Helmholtz vom 23. Juli 1847 vor der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin dar. An diesem Tag gab es insgesamt drei Vorträge von Mitgliedern der Gesellschaft. H. Knoblauch aus Marburg sprach über *Untersuchungen über die Doppelbrechung der Wärme*, H. Helmholtz aus Potsdam berichtete über *das Prinzip der Erhaltung der Kraft* und G. Spörer aus Pommern trat über *die Unhaltbarkeit der Mollat'schen An-*

Ueber eine Centralbahn vor. An der Arbeit von Helmholtz sind zwei Dinge besonders auffällig: Erstens ist Helmholtz zum Zeitpunkt seines Vortrages Mediziner, genauer gesagt Chirurg, zweitens verwendet Helmholtz den Begriff *Kraft* anstelle von *Energie* in seiner Abhandlung. Zum ersten Punkt, Helmholtz hatte sich schon während seines Studiums intensiv mit der Frage der Herkunft der *Lebenskraft* beschäftigt. Darauf beruht auch die Veröffentlichung zum Thema Fäulnis und Gärung. Seine nächsten Arbeiten beschäftigten sich mit dem *Stoffverbrauch bei Muskelaction*⁸ und den *Physiologischen Wärmeerscheinungen*.⁹ Zum zweiten Punkt, der Begriff der Energie: Das Wort Energie wurde erst 1851/52 von den Physikern W. Thomson (später Lord Kelvin) und W. M. Rankine im heutigen Sinn in die Physik eingeführt. Der Begriff Arbeit existierte schon ca. 25 Jahre früher. Er wurde 1828 von C. G. de Coriolis und L. V. Poiselet geprägt. Der Begriff der Energie leitet sich aus dem Griechischen ab, *energeia* bedeutet Wirksamkeit. Damit gelang zum ersten Mal eine saubere Abgrenzung zum Begriff der Kraft, die bis zu diesem Zeitpunkt sowohl im Newtonschen Sinne (zeitliche Änderung des Impulses) sowie als Begriff für Wärme und Energie in den unterschiedlichsten Formen genutzt wurde.

Die Abhandlung beginnt mit einer Einleitung, in der Helmholtz erkenntnistheoretische und naturphilosophische Voraussetzungen des Energieprinzips vorstellt. So schreibt Helmholtz: „Das endliche Ziel der theoretischen Naturwissenschaften ist also, die letzten unveränderlichen Ursachen der Vorgänge in der Natur aufzufinden.“ Der Zusammenhang zwischen Materie und Kraft wird folgendermaßen erläutert: „Es ist einleuchtend, dass die Begriffe Materie und Kraft in der Anwendung in der Natur

⁸ H. Helmholtz: Stoffverbrauch bei Muskelaction, *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, herausgegeben von Johannes Müller, S. 72–83 (1845).

⁹ H. Helmholtz: Physiologische Wärmeerscheinungen, Bericht über betreffende Arbeiten aus dem Jahr 1845, *Die Fortschritte der Physik im Jahre 1845*, S. 346–355 (1847).

nie genannt werden dürfen. Eine reine Materie wäre für die übrige Natur gleichgültig, weil sie nie eine Veränderung in dieser oder in unseren Sinnesorganen bedingen könnte; ein reine Kraft wäre etwas, was da sein sollte oder doch wieder nicht da sein, weil wir das Daseiende Materie nennen. Ebenso fehlerhaft ist es, die Materie für etwas Wirkliches, die Kraft für einen bloßen Begriff erklären zu wollen, dem nichts Wirkliches entspreche, beides sind vielleicht Abstractionen von dem Wirklichen, in ganz gleicher Art gebildet: wir können ja die Materie oben nur durch ihre Kräfte, nie an sich selbst, wahrnehmen.“

Der erste Abschnitt enthält die Diskussion über *Das Princip von der Erhaltung der lebendigen Kraft*. Damit ist nach heutigem Verständnis die kinetische Energie gemeint. In dem damaligen Sprachgebrauch entspricht die kinetische Energie eines Körpers der Masse m und Geschwindigkeit v der Hälfte der Quantität der lebendigen Kraft des Körpers. In diesem Abschnitt wird gezeigt, dass in Systemen, die ganz allgemein dem Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft Folge leisten, die einfachen Kräfte der materiellen Punkte Zentralkräfte sein müssen.

Der zweite Abschnitt beschäftigt sich mit dem *Princip von der Erhaltung der Kraft*, d. h. der Energie. Jetzt wird allgemein gezeigt, dass für Zentralkräfte die Gesamtenergie, die sich aus der kinetischen (lebendigen) und der potenziellen Energie zusammensetzt, eine Erhaltungsgröße ist. Da der Begriff der potenziellen Energie noch nicht existierte, heißt diese Größe bei Helmholtz *Spannkraft*. Dieser Erhaltungssatz wird sowohl für einzelne Massenpunkte, als auch für eine beliebige Anzahl von materiellen Punkten bewiesen. „Es ist also stets die Summe der vorhandenen lebendigen und Spannkraft constant. In dieser allgemeinen Form können wir unser Gesetz als das *Princip von der Erhaltung der Kraft* bezeichnen.“ Weiter schreibt Helmholtz: „... dass eine Vermehrung der lebendigen Kraft, also ein Uebergang aus Ruhe in Bewegung, nur durch einen Verbrauch von Spannkraft erzeugt werden kann.“ Am Ende dieses Abschnitts fasst Helmholtz die Ergebnisse in drei Punkten zusammen. Erstem: für anziehende oder abstoßende Kräfte, die nicht von

der Zeit und Geschwindigkeit abhängen, ist die Gesamtenergie konstant. Zweitens: Wenn die Kräfte von der Zeit oder Geschwindigkeit abhängen oder wenn die Kräfte nicht entlang der Verbindungsline zwischen zwei Tälchen wirken, so ist es möglich, dass unendliche Energie gewonnen wird oder verbraucht geht. Drittens: Ein festes System im Gleichgewicht wird nie durch die Wirkung der inneren Kräfte in Bewegung gesetzt werden können, sondern nur durch die Einwirkung äußerer Kräfte.

Der dritte Abschnitt faßt *Die Anwendung der Principie in den mechanischen Theoremen* zusammen. Hierbei werden zuerst die Gravitationskraft, die Übertragung der Bewegungen durch die inkompressiblen festen und flüssigen Körper ohne Reibung und inelastische Stöße sowie die Bewegung vollkommen elastischer fester und flüssiger Körper behandelt. Anschließend wird das Princip der Erhaltung der lebendigen Kraft auf Wellenphänomene angewendet, d. h. die Gesetze der Reflexion, der Brechung und der Polarisation des Lichts, die schon von Fresnel hergalmert wurden. Dann geht Helmholtz kurz auf die Vernichtung der lebendigen Kraft im Falle der Absorption von Schallwellen, Wärmestrahlen und Lichtstrahlen ein. Zum Abschluß dieses Abschnitts erwähnt Helmholtz noch chemische Wirkungen, die durch Licht verursacht werden.

Im vierten Abschnitt wird *Das Kraftäquivalent der Wärme* ausführlich diskutiert. Der Stoß inelastischer Körper und die Reibung werden als diejenigen mechanischen Vorgänge betrachtet, die einen absoluten Verlust der Energie nach sich ziehen. Helmholtz diskutiert die experimentellen Arbeiten von Joule sowie Carnot und Clapeyron. Er faßt den damaligen Stand folgendermaßen zusammen: „Das, was hieher Quantität der Wärme genannt worden ist, würde hiernächst der Ausdruck sein erstens für die Quantität der lebendigen Kraft der Wärmebewegung und zweitens für die Quantität derjenigen Spannkraft, in den Atomen, welche bei einer Veränderung ihrer Anordnung eine solche Bewegung hervorzubringen können, der erstere Theil würde dem entsprechen, was bisher freie, der zweite dem, was bisher latente Wärme genannt ist.“ An dieser Stelle steigt Helmholtz

hülle in das atomistische Weltbild der Materie ein. „Denken wir uns die Körper aus Atomen gebildet, welche selbst aus differentern Theilchen bestehen (chemischen Elementen, Electricitäten etc.), so können in einem solchen Atom dreierlei Arten von Bewegungen unterschieden werden, nämlich 1) Verschiebung des Schwerpunkts, 2) Drehung um den Schwerpunkt, 3) Verschiebung der Theilchen des Atoms gegeneinander. Die beiden ersteren würden durch die Kräfte der Nachbaratome ausgeglichen werden, und sich deshalb auf diese Weise in Wellenform fortpflanzen, eine Fortpflanzungsart, welche wohl der Strahlung nicht aber der Leitung von Wärme entspricht. Bewegungen der einzelnen Theile des Atoms gegen einander würden sich durch die innerhalb eines Atoms befindlichen Kräfte ausgleichen, und die Nachbaratome nur langsam in Mitbewegung setzen können, wie eine schwingende Saite die andere, dafür aber selbst eine gleiche Quantität Bewegung verlieren: diese Art der Fortpflanzung scheint der der geleiteten Wärme ähnlich zu sein.“ Bezüglich chemischer Prozesse, schreibt Helmholtz: „Nach unserer Vorstellungsweise würde die bei chemischen Processen entstehende Wärme die Quantität der lebendigen Kraft sein, welche durch die bestimmte Quantität der chemischen Anziehungskräfte hervorgebracht werden kann, und das obige Gesetz würde der Ausdruck für das Princip von der Erhaltung der Kraft in diesem Falle werden.“ In Bezug auf die Umwandlung von Wärme in mechanische Kraft schreibt er: „Ob bei der Erzeugung mechanischer Kraft Wärme verschwände, was ein nothwendiges Postulat der Erhaltung der Kraft sein würde, ist noch niemals gefragt worden.“ Den Abschluss dieses Abschnitts bildet ein Vergleich der Versuche von Claperyon und Holzmann mit denen von Helmholtz selbst, das Kräftequivalent der Wärme heranzuleiten. In den Zusätzen, die Helmholtz selbst 1881 geschrieben hat, weist er auf den Aufsatz von Julius Robert Mayer von 1842 mit dem Titel *Bemerkungen über die Kräfte der unerblichen Natur*¹⁰ sowie auf die 1845 erschienene Abhandlung von Mayer über *Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel*¹¹ hin, die Helmholtz zum Zeitpunkt

seiner Vorträge vor der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin nicht bekannt waren.

Der fünfte Abschnitt behandelt *Das Kräfteequivalent der electrischen Vorgänge*. Neben der statischen Elektrizität werden der Galvanismus und die thermoelektrischen Ströme ausführlich behandelt. Hier tritt das Coulombgesetz in Analogie zum Gravitationsgesetz auf und es wird auf den Begriff Potential hingewiesen, der auf Gauss zurückgeht. „... so ist die Zunahme an lebendiger Kraft bei irgend einer Bewegung gleich zu setzen dem Ueberschuss des Potentials am Ende des Weges über das im Anfange.“ Dann wird im Folgenden der Begriff dieser Potentiale durch *Gleichgewichtsoberflächen* ersetzt, die den Aquipotentialflächen entsprechen. „Folglich wird die Oberfläche eines electrischen Leiters selbst eine Gleichgewichtsoberfläche sein, und die lebendige Kraft, welche ein verschwindend kleines electrisches Theilchen bei seinem Uebergange von der Oberfläche eines Leiters zu der eines andern gewinnt, eine Constante.“ Bezüglich des Galvanismus schreibt Helmholtz: „... die galvanischen Spannungen sind vielmehr entstanden durch die Herstellung des electrischen Gleichgewichts, durch sie kann keine Bewegung der Electricität hervorgerufen werden ausser bei Lageveränderungen der Leiter selbst durch die geänderte Vertheilung der gefundenen Electricität.“ Dann setzt er sich mit der Contactkraft auseinander: „Den Begriff der Contactkraft, der Kraft, welche an der Berührungsstelle zweier verschiedenen Metalle thätig ist, und ihre verschiedenen electrischen Spannungen erzeugt und unterhält, hat man bisher nicht näher bestimmt als eben so, weil man mit demselben auch die Erscheinungen der Berührung von Leitern erster und zweiter Klasse zu umfassen suchte zu einer

- 10) J. R. Mayer, Bemerkungen über die Kraft des untheilbaren Naut, Annalen der Chemie und Pharmacie, herausgegeben von Friedrich Wehler und Johann Liebig, Band 42, Heidelberg, S. 237-240 (1842)
- 11) J. R. Mayer, Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel II, Dreifachste Buchhandlung Hellmuth, 1845.

Zeit, wo man den Umständen und wesentlichen Unterschied beider Erscheinungen, den chemischen Process, noch nicht als solchen kannte.“ Erweitert unten schreibt er dann: „Die Contactkraft würde danach in der Differenz der Anziehungskräfte bestehen, welche die der Berührungsstelle zunächst liegenden Metalltheilchen auf die Electriitäten dieser Stelle ausüben, und das electrische Gleichgewicht eintrizen, wenn ein electrisches Theilchen, welches von dem einen zum andern übergeht, nichts mehr an lebendiger Kraft verliert oder gewinnt.“ Bei den galvanischen Strömen sind in Bezug auf die Erhaltung der Energie die Wärmenentwicklung, chemische Prozesse und Polarisation zu betrachten. Abschließend schreibt Helmholtz zum Galvanismus: „Ich glaube, dass in dieser Unterscheidung der galvanischen Ströme in solche, welche Polarisation, und in solche, welche Zersetzung hervorbringen, wie sie durch das Princip von der Erhaltung der Kraft bedingt wird, der einzige Ausweg zu finden sein möchte, um gleichzeitig die Schwierigkeiten der chemischen und der Contacttheorie zu umgehen.“ Den Schluss bildet ein kurzer Absatz über thermoelektrische Ströme:

Der letzte Abschnitt beschäftigt sich mit dem *Kraftäquivalenzdem des Magnetismus und Electromagnetismus*. „Ein Magnet (ist vermöge seiner anziehenden und abstossenden Kräfte gegen andere Magnete und unmagnetisches Eisen fähig, eine gewisse lebendige Kraft zu erzeugen. Da die Anziehungserscheinungen von Magneten vollständig herzuweisen sind aus der Annahme zweier Fluida, welche sich umgekehrt wie die Qualitate der Entfernung anziehen und abstossen, so folgt hieraus allein schon nach der im Anfang unserer Abhandlung gegebenen Herleitung, dass die Erhaltung der Kraft bei der Bewegung magnetischer Körper gegeneinander stattfinden müsse.“ Dann geht Helmholtz auf den Elektromagnetismus ein. Für den Fall, dass sich ein Magnet unter dem Einfluss eines Stroms bewegt, schreibt er: „Die gesammte electromotorische Kraft des Inductionsstromes, den eine Längenänderung eines Magneten gegen einen geschlossenen Stromleiter hervorbringt, ist gleich der Veränderung, die dabei dem Potentiale des Magneten gegen den Leiter vor sich

geht, wenn letzterer von dem Strom $-I_1$ durchflossen gedacht wird. Einheit der electromagnetischen Kraft ist dabei die, durch welche die willkürliche Stromeinheit in der Widerstandseinheit hervorgebracht wird. Letztere aber diejenige, in welcher jene Stromeinheit in der Zeiteinheit die Wärmeinheit entwickelt." Weiter schreibt er: „Wird ein Electromagnet unter dem Einfluss eines Stromes magnetisch, so geht durch den Inductionsstrom Wärme verloren, ist das Eisenstück weich, so wird bei der Oeffnung derselbe Inductionsstrom in entgegengesetzter Richtung gehen, und die Wärme wieder gewonnen." Dann betrachtet er den Fall zweier Stromleiter: „Die gesammte Inductionskraft, welche während einer gewissen Bewegung der Leiter gegen einander ein Strom liefert, der selbst durch die Induction nicht verändert wird, ist hiernach wieder gleich der Aenderung der Potentiale desselben gegen den andern von $+I_1$ durchflossenen Leiter."

Der Schlussatz beginnt mit einer Betrachtung der lebenden Wesen: „Es bleiben uns von den bekannten Naturprocessen noch die der organischen Wesen übrig. In den Pflanzen sind die Vorgänge hauptsächlich chemische, und ausserdem findet, wenigstens in einzelnen, eine geringe Wärmeentwicklung statt. Vornehmlich wird in ihnen eine mächtige Quantität chemischer Spannkraft deponirt, deren Aequivalent uns als Wärme bei der Verbrennung der Pflanzensubstanzen geliefert wird. Die einzige lebendige Kraft, welche dafür nach unseren bisherigen Kenntnissen während des Wachstums der Pflanzen absorbirt wird, sind die chemischen Strahlen der Sonnenlichts. Es fehlen uns Kraftäquivalente, welche hierbei verlorien gehen, und gewonnen werden. Für die Thiere haben wir schon einige nähere Anhaltspunkte. Dieselben nehmen die complicirtesten oxydalen Verbindungen, welche von den Pflanzen erzeugt werden, und Sauerstoff in sich auf, geben dieselben meist verbrannt, als Kohlensäure und Wasser, theils auf einfachere Verbindungen reducirt wieder von sich, verbrauchen also eine gewisse Quantität chemischer Spannkraft, und erzeugen dafür Wärme und mechanische Spannkraft. Da die letztere eine verhältnissmäßig