

Gregor Schiemann

### **Physik und Natur**

Zu Hermann von Helmholtz' Begründung des Energieprinzips in der Einleitung zu seiner Schrift „Über die Erhaltung der Kraft“

Auf den Tag genau vor 150 Jahren, am 23. Juli 1847, hält HERMANN VON HELMHOLTZ in der Sitzung der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin seinen Vortrag „Über die Erhaltung der Kraft“. In ihm gibt er dem Satz von der Erhaltung der Energie, die er noch „Kraft“ nennt,<sup>1</sup> erstmals eine mathematische Formulierung und demonstriert zugleich ihre Anwendbarkeit in verschiedenen Bereichen der Physik. HELMHOLTZ' Ruhm als einer der größten Naturforscher des vergangenen Jahrhunderts geht entscheidend auf diesen Beitrag zur Begründung eines Prinzips zurück, das bis heute eine fundamentale Stellung für die Naturforschung behalten hat.<sup>2</sup> Man schmälert die Bedeutung seiner gesamten, diverse Disziplinen umfassenden Leistung nicht, wenn man die Abhandlung von 1847 für seine herausragendste Arbeit hält.

Für ihre noch im gleichen Jahr erfolgte Veröffentlichung nimmt HELMHOLTZ nachträglich Korrekturen vor, die vermutlich vor allem die Einleitung betreffen.<sup>3</sup> In Vorbereitung auf seinen Vortrag hatte er aus diesem Teil „Alles über Bord geworfen, was nach Philosophie roch, so weit es nicht dringend nöthig war“.<sup>4</sup> Auf Vorschlag seines Freundes EMIL DU BOIS-REYMOND stellt er der Schrift für die Drucklegung aber wieder eine „philosophische Einleitung“ voran,<sup>5</sup> die schließlich fünf der etwa fünfzigseitigen Arbeit ausmacht.<sup>6</sup> Leider sind die vorangegangenen Varianten wahrscheinlich nicht erhalten geblieben. Dies ist umso bedauerlicher, als HELMHOLTZ in den weiteren Teilen der Abhandlung sowie auch in anderen Texten aus dieser Zeit nur sehr zurückhaltend auf das Thema der Einleitung zu sprechen kommt. Sie handelt von nichts geringerem als den grundlegenden Bestimmungen der physikalischen Forschung auf der einen und der elementaren Naturkräfte auf der anderen Seite.

Diese Bestimmungen nimmt HELMHOLTZ im Rahmen seiner dort ebenfalls zum erstenmal programmatisch formulierten Naturauffassung vor. Sie steht ganz in der Tradition des neuzeitlichen, von ISAAC NEWTON begründeten dualen Mechanismus. In ihren inhaltli-

chen Aussagen ist sie mit den entsprechenden der heutigen Forschung, so sie sich denn finden lassen, unvereinbar. HELMHOLTZ glaubt, daß es sich bei der Energieerhaltung um ein Prinzip handle, dessen Geltung ebenso Resultat wie Indiz einer atomar aufgebauten und mechanisch verfaßten Welt sei. Diese Auffassung hat ihn nicht daran gehindert, dem Erhaltungssatz in den nachfolgenden Teilen seiner Schrift eine von mechanischen Begriffen und Gesetzen teilweise unabhängige Fassung zu geben.<sup>7</sup> Gegenüber der grundlegenden Stellung, die der Energiesatz nach seiner Aufstellung erhalten hat, war der Position, daß die Vielfalt der Erscheinungen durch mechanisch bewegte Atome als letzte Ursachen zustande komme, in der Physik nur ein vorübergehender Erfolg beschert. Dennoch hat sich auch die Einleitung, in der HELMHOLTZ diese Auffassung pointiert ausspricht, eine beachtliche Aktualität bewahrt.

Sie steht im Zusammenhang mit den bis heute kontrovers diskutierten Gründen, warum sich fundamentale Sätze wie der Erhaltungssatz so außerordentlich gut in der experimentellen Praxis bewähren, wie man sich – mit anderen Worten – ihre Allgemeingültigkeit erklären soll. Ohne die seit HELMHOLTZ erfolgten Neufassungen und Geltungsbeschränkungen des Erhaltungssatzes zu berücksichtigen,<sup>8</sup> läßt sich das Spektrum der bereits zu HELMHOLTZ' Zeiten vertretenen Standpunkte – schematisch und stark vereinfacht – durch zwei entgegengesetzte Ansichten aufspannen: Auf der einen Seite behaupten die (heute eher als damals sogenannten) „Realisten“, daß die abgeschlossenen Systeme der Natur unabhängig von der physikalischen Forschung energieerhaltend strukturiert seien. Energieerhaltung habe den Charakter einer Eigenschaft der Natur, und die vom Menschen erforschte Natur schreibe der Physik das Gesetz der Energieerhaltung vor. Auf der anderen Seite meinen die (schon damals sogenannten) „Idealisten“, nicht wegen der Struktureigenschaften der Natur, sondern wegen der des menschlichen Erkenntnisvermögens gelte die Energieerhaltung. Das Erhaltungsprinzip habe gleichsam die Funktion einer Brille, durch die die Physik die Natur bzw. bestimmte Ausschnitte von ihr betrachte. Demnach würde nicht die Natur der Physik, sondern umgekehrt die Physik der Natur den Erhaltungssatz vorschreiben. Natur, die diesem Satz genügt, wäre eine Konstruktion der Physik.

Im Hinblick auf die Allgemeingültigkeit des Energiesatzes besteht zwischen den beiden Deutungen normalerweise ein gravierender Unterschied. Aus idealistischer Perspektive gibt es keine natürlichen Gesetzmäßigkeiten, die gegen den Energiesatz (in abgeschlossenen Systemen) verstoßen, weil Forschung erst durch Annahme energieerhaltender Strukturen (a priori) möglich sei.<sup>9</sup> In realistischer Sichtweise muß man hingegen immer auf Verletzungen der Energieerhaltung gefaßt sein. Keine Verletzung gefunden zu haben, wäre keine Gewähr dafür, auch zukünftig keine zu finden. Obwohl wir heute auf etwa 150 Jahre mehr oder weniger lückenloser Energieerhaltung zurückblicken, wird man wohl nicht fehl in der Annahme gehen, daß die große Mehrheit der PhysikerInnen und auch viele WissenschaftstheoretikerInnen gegenwärtig realistisch denken, insofern sie die Möglichkeit eines Nachweises nicht energieerhaltender Prozesse aus keinem prinzipiellen Grund ausschließen möchten.

HELMHOLTZ, und darin besteht eine der gewichtigen Leistungen seiner Schrift in erkenntnistheoretischer Hinsicht, nimmt in der Einleitung eine Stellung zwischen den Extremen ein, die bis in die Gegenwart hinein überaus bedenkenswert ist. Es gehört zu den Merkwürdigkeiten der Wissenschaftsgeschichtsschreibung, diese Position im wesentlichen bisher verkannt zu haben. Die meisten Interpreten haben nämlich in der Einleitung eine Konzeption gesehen, die nach idealistischem Vorbild die Geltung des Energiesatzes vor aller Erfahrung beweisen wolle.<sup>10</sup> HELMHOLTZ' prägender Einfluß auf die Entwicklung der Physik der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts könne deshalb auch als Zeichen für die damals wiedererstarke Rolle der idealistischen Wissenschaftsauffassung in den Naturwissenschaften gewertet werden. Vor dem Hintergrund der heutigen realistischen Grundhaltung der PhysikerInnen würde dieser Befund bedeuten, daß HELMHOLTZ eine Ansicht vertreten hätte, die ihren ehemaligen Einfluß weitgehend eingebüßt hat. Nicht nur mit seiner mechanistischen Naturauffassung, sondern auch mit der angeblichen Behauptung einer aus ihr resultierenden unwiderlegbaren Allgemeingültigkeit der Energieerhaltung würde HELMHOLTZ' Position bloß noch von historischem Interesse sein.

Was aber für die Inhalte von HELMHOLTZ' Mechanismus zutrifft, muß nicht auch für dessen Geltungsbedingungen richtig sein. In Bezug auf das Verhältnis von Natur und Physik neigen seine Ausführungen in der Einleitung deutlich der realistischen Seite zu. HELMHOLTZ läßt keinen Zweifel daran, daß die Natur, wo sie erforscht wird, nicht notwendig eine energieerhaltende Struktur aufweisen müsse. Energieerhaltung sei keine Vorgabe, die die Physik in die Naturerfahrung mit hineinbringt. Allerdings bestreitet er nicht, daß die Physik von methodischen und begrifflichen Voraussetzungen ausgehe, die – grob gesprochen – weniger für die Natur als für die wissenschaftliche Erkenntnis von ihr typisch seien. Man kann hierin einen gewissen Einfluß von Seiten der idealistischen Philosophie sehen.<sup>11</sup> Doch der Schlüssel für das Verständnis seines Ansatzes liegt darin, daß diese Voraussetzungen nicht a priori zur Ableitung der Energieerhaltung als Grundzug der Natur ausreichen. Stattdessen könne das Vorliegen dieser fundamentalen Eigenschaft bloß als Resultat der experimentellen Forschung festgestellt werden. Man dürfe ihre Geltung deshalb auch nur in dem Maß behaupten, wie man in das Innere der Natur vorgedrungen sei.

Genauer betrachtet ergeben sich die Geltungsgrenzen der Energieerhaltung für HELMHOLTZ aus einer prinzipiellen und einer auf den konkreten Stand der Forschung bezogenen Überlegung. Prinzipiell ist die Existenz von nicht energieerhaltenden Prozessen vorstellbar, die von der Physik als solche beobachtet, wenn auch nicht verstanden werden können. Ihr Vorkommen ist jedoch begrenzt, da die empirische Forschung andererseits ebenfalls die Geltung des Energiesatzes nachzuweisen vermag und zwar nicht nur für einzelne Phänomene, sondern darüber hinaus für große Phänomenklassen, d. h. für ganze Bereiche der Natur.

Diese Position ist in der Einleitung teils explizit formuliert, teils implizit in ihr enthalten. Eigentliches Thema der Einleitung bildet noch nicht der Erhaltungssatz, als vielmehr erst die Erkenntnisbedingungen und die mechanische Struktur der Natur. Da HELMHOLTZ aber davon überzeugt ist, daß der Erhaltungssatz unmittel-

bar aus natürlichen Struktureigenschaften folgt und diese umgekehrt nur dort vorhanden sind, wo jener gilt, lassen sich seine Äußerungen zum Mechanismus direkt auf die Problematik der Energieerhaltung beziehen.

Im folgenden möchte ich mich nun der Einleitung näher zuwenden, um meine These durch eine Rekonstruktion von HELMHOLTZ' Argumentation zu erläutern. Die von HELMHOLTZ genannten Bedingungen der physikalischen Forschung teile ich in zwei Gruppen. Die erste betrifft methodische und begriffliche Voraussetzungen, die zunächst unabhängig von Erfahrung gelten (1); die zweite schränkt diese Geltung ein, indem sie die Reichweite der Methode und die Bestimmung des Ziels der Forschung Erkenntnissen unterordnet, die allein in der Erfahrung gewonnen werden können (2). Nicht den allgemeinen Bedingungen der physikalischen Forschung, sondern speziellen Forschungsergebnissen entnimmt HELMHOLTZ dann die vermeintlichen Hinweise auf die mechanische, d. h. energieerhaltende Struktur der Natur (3). Dieser Argumentation entspricht es, daß er dem physikalischen Naturwissen einen, mit der Zeit abnehmenden hypothetischen Charakter zuweist (4).<sup>12</sup>

## 1 Voraussetzungen der Physik

Um die methodischen Voraussetzungen der Physik zu bestimmen, geht HELMHOLTZ von ihrer strikten Zweiteilung in einen experimentellen und einen theoretischen Teil aus:

*„Aufgabe der [... physikalischen Naturwissenschaften] ist es einmal, die Gesetze zu suchen, durch welche die einzelnen Vorgänge in der Natur auf allgemeine Regeln zurückgeleitet [...] werden können. [...] Die Aufsuchung [...] dieser Regeln ist das Geschäft des experimentellen Theils unserer Wissenschaften. Der theoretische Theil derselben sucht dagegen, die unbekanntes Ursachen der Vorgänge aus ihren sichtbaren Wirkungen zu finden; er sucht dieselben zu begreifen nach dem Gesetze der Causalität.<sup>13</sup> Wir werden genöthigt und berechtigt zu diesem Geschäft durch den Grundsatz, daß jede Veränderung in der Natur eine zureichende Ursache haben müsse.“<sup>14</sup>*

Der wissenschaftlichen Arbeitsteilung in experimenteller und theoretischer Forschung korrespondiert hier die *Trennung des Gesetzesbegriffes vom Kausalprinzip*. Unabhängig vom Inhalt der physikalischen Erkenntnis steht für HELMHOLTZ fest: Eine hinter den sichtbaren Wirkungen stehende Ursache zu finden ist etwas anderes, als eine allgemeine Regel bzw. ein Gesetz aufzustellen. Gesetze, die unmittelbar auf die sichtbaren Wirkungen bezogen bleiben, werden nicht als Ursachen angesehen. Beispielsweise wäre das Gravitationsgesetz nicht die Ursache für den freien Fall, sondern nur seine Beschreibung.

Das die Ursachenforschung leitende Kausalgesetz wird vor aller Erfahrung angenommen. Es besagt, daß jede Wirkung eine Ursache haben muß, durch die die Wirkung eindeutig („zureichend“) bestimmt ist. Aus diesem „Grundsatz“ ergeben sich für HELMHOLTZ noch keine Anhaltspunkte für eine mechanische Struktur der Natur. Als Voraussetzung der Physik impliziert das Kausalgesetz nur, daß der theoretische Teil dieser Disziplin nicht anders vorgehen kann, als nach Wirkursachen für experimentelle Gesetze zu fragen – ungeachtet einer möglicherweise ansonsten akausalen Naturverfassung, die zwar nicht der Physik, vielleicht aber anderen Disziplinen verständlich sein könnte. Für die Physik ist damit sowohl eine teleologische Naturbetrachtung als auch die Erfassung von zufälligen Ereignissen ausgeschlossen.

Neben der Unterscheidung von Gesetz und Ursache nennt HELMHOLTZ eine begriffliche Differenzierung, die der wissenschaftlichen Erkenntnis von Natur ganz allgemein vorausgesetzt ist. HELMHOLTZ reduziert das gesamte wissenschaftliche Vokabular auf die *zwei Grundbegriffe der beweglichen Materie und der auf Materie bezogenen Kraft*.<sup>15</sup> Für den Begriff der Materie führt er als Charakteristikum an, daß ihre Veränderbarkeit auf räumliche Bewegungen eingeschränkt ist:

„Die Wissenschaft betrachtet die Gegenstände der Aussenwelt nach zweierlei Abstractionen: einmal ihrem blossen Dasein nach, abgesehen von ihren Wirkungen auf andere Gegenstände oder unsere Sinnesorgane; als solche bezeichnet sie dieselben als Materie. [...] Qualitative Unterschiede dürfen wir der Materie an sich nicht zuschreiben, denn wenn wir von ver-

*schiedenartigen Materien sprechen, so setzten wir ihre Verschiedenheit immer nur in die Verschiedenheit ihrer Wirkungen, d. h. in ihre Kräfte.*“<sup>16</sup>

Mit dem Materiebegriff wird der wissenschaftlich erfaßbaren Wirklichkeit nun allerdings eine sehr weitgehende Ordnungsstruktur vorgegeben. Helmholtz faßt die Materie nicht nur als das Bewegliche im Raum auf. Er schreibt ihr als weitere Eigenschaften außerdem Massenerhaltung und Trägheit zu.<sup>16a</sup> Gegenüber der Materie ist die Kraft andererseits der Inbegriff des qualitativ Verschiedenen, das nicht aus den Bewegungen der Materie abgeleitet, sondern als Grundzug des Natürlichen angenommen wird. Der Kraftbegriff wird zwar als eigenständiger Begriff eingeführt, bleibt aber als „Vermögen Wirkungen auszuüben“<sup>17</sup> weitgehend unbestimmt. Man kann lediglich annehmen, daß Kraftwirkungen, die „qualitative Unterschiede“ hervorrufen sollen, nicht allein in Druck- und Stoßwirkungen bestehen können. Es sind vielmehr alle Wirkungen zugelassen, solange sie nur auf ein Substrat bezogen sind, das den Bestimmungen der Materie entspricht.

Diese weitgefaßte Bedeutung des Kraftbegriffes eröffnet die Möglichkeit, die begrifflichen Voraussetzungen auch unabhängig von einer speziellen Ordnung der Natur aufzufassen. Da es sich um Vorstellungen handelt, die aller Wissenschaft zugrunde liegen, sollten auch nicht physikalische Zweige inbegriffen sein. Materie wäre dann bloß noch die Bezeichnung für jegliches Dasein und Kraft für dessen (auch nicht räumliche) Veränderung. HELMHOLTZ scheint seine Voraussetzungen auch in diesem Sinn verstanden zu haben, wenn er im Anschluß betont:

„Es ist einleuchtend, daß die Begriffe von Materie und Kraft in der Anwendung auf die Natur nie getrennt werden dürfen. Eine reine Materie wäre für die übrige Natur gleichgültig [...]; eine reine Kraft wäre etwas, was dasein sollte und doch wieder nicht dasein, weil wir das Daseiende Materie nennen.<sup>18</sup> [...] Beide Begriffe] sind [...] Abstractionen von dem Wirklichen, in ganz gleicher Art gebildet“.<sup>19</sup>

An dieser Stelle tritt neben dem allgemeinen Bedeutungsgehalt der beiden Begriffe ihr realistischer und durchaus nicht idealistischer Charakter hervor.<sup>20</sup> Im Gegensatz zu KANT, der die Begriffe Materie

und Kraft als Bedingung der Erfahrung auf die möglichen Gegenstände der äußeren Erfahrung bezog, zieht HELMHOLTZ diese Begriffe als „Abstractionen“ von einer absolut gesetzten, d. h. unabhängig vom Erkennen angenommenen Wirklichkeit ab. Um mit KANT zu sprechen, sehen HELMHOLTZ' Begriffe nicht vom Gegebenen ab, wie sie müßten, wenn ihre Geltung allein auf reinem Denken beruhen sollte, sondern werden aus dem Gegebenen durch Abstraktion gewonnen.<sup>21</sup>

## 2 Reichweite und Ziel der Physik

Zu einer zweiten Gruppe fasse ich die von HELMHOLTZ in der Einleitung genannten Voraussetzungen zusammen, welche die Reichweite der Methode und die Bestimmung des Ziels der Physik betreffen. Sie lassen sich an der von HELMHOLTZ in der Einleitung aufgeworfenen Frage entwickeln, ob die Naturerkenntnis dem Fassungsvermögen des menschlichen Geistes entspreche.<sup>22</sup>

*„[...] ob also die Natur vollständig begreiflich sein müsse, oder ob es Veränderungen in ihr gebe, die sich dem Gesetze einer nothwendigen Causalität entziehen, die also in das Gebiet einer Spontaneität, Freiheit, fallen [...]; jedenfalls ist es klar, daß die Wissenschaft, deren Zweck es ist, die Natur zu begreifen, von der Voraussetzung ihrer Begreiflichkeit ausgehen müsse, und dieser Voraussetzung gemäss schliessen und untersuchen, bis sie vielleicht durch unwiderlegliche Facta zur Anerkenntnis ihrer Schranken genöthigt sein sollte“<sup>23</sup>.*

Im Gegensatz zur Behandlung der ersten Gruppe von Voraussetzungen wird hier die *Möglichkeit eines faktischen Hindernisses* in Erwägung gezogen, das für die empirische Erforschung und kausale Erklärung der Natur unüberwindlich sein könnte. Dabei wollte HELMHOLTZ an dieser Stelle mit dem Begriff der Freiheit wohl kaum ein spezifisch menschliches Vermögen ansprechen. Er wird eher an real wirksame Prinzipien gedacht haben, die die belebte Natur gegenüber der unbelebten insgesamt auszeichnen und nicht wirkursächlichen Zusammenhängen folgen.<sup>24</sup>

HELMHOLTZ folgt hier einer fundamentalen Unterscheidung, die seine Naturauffassung zeitlich prägen wird – die Unterscheidung

von Materie und Leben. Materie wird von ihm primär als etwas Unbelebtes gedacht, aus dem Leben vielleicht nur hervorgehen kann, wenn nichtmaterielle Prinzipien hinzutreten. Ob sich die Prinzipien des Organischen auf die des Materiellen reduzieren lassen, ist seiner Auffassung nach allein empirisch entscheidbar. Wenn die Naturwissenschaften nichtkausale Gesetzmäßigkeiten des Organischen fänden, hätten sie den Bereich des kausal Erforschbaren gleichsam von außen begrenzt. Kausalität würde dann nur in der Sphäre der nichtbelebten Materie und für das Organische lediglich beschränkt Geltung haben. Statt die von der (vornehmlich) romantischen und idealistischen Naturphilosophie postulierten nichtkausalen Prinzipien kategorisch zu verwerfen, sucht HELMHOLTZ ihnen einen Ort relativ zur physikalischen Erforschung der Natur zuzuweisen.<sup>25</sup>

Außer der Möglichkeit einer äußeren Begrenzung der kausal strukturierten Natur erwägt HELMHOLTZ in der Einleitung aber auch die einer inneren: Das Kausalitätsprinzip könne nämlich nicht endlos auf Erfahrung angewandt werden. Über eine rein zeitlich gefaßte Einteilung der Ursachen in veränderliche und unveränderliche kommt er zum Begriff der „letzten Ursache“:

*„Die nächsten Ursachen, welche wir den Naturerscheinungen unterlegen, können selbst unveränderlich sein oder veränderlich; im letzten Fall nöthigt uns derselbe Grundsatz [der Kausalität] nach anderen Ursachen wiederum dieser Veränderung zu suchen, und so fort, bis wir zuletzt zu letzten Ursachen gekommen sind“<sup>26</sup>.*

Der *Kausalitätsbegriff* wird damit um eine zweite, für HELMHOLTZ' Wissenschafts- und Naturauffassung insgesamt kennzeichnende Bedeutung erweitert: Wurde in der ersten Bedeutung von „jede[r] Veränderung in der Natur“ behauptet, daß sie „eine zureichende Ursache“ habe,<sup>27</sup> werden nun „Ursachen“ eingeführt, denen selbst keine Ursachen zugrunde liegen, weil ihnen die Eigenschaft zukommt, Veränderungen zu bewirken, ohne dabei selbst einer Veränderung unterworfen zu sein. Wegen ihrer Unveränderlichkeit könnten die „letzten Ursachen“ auch schlicht Bedingungen heißen. Es sind diejenigen realen Bedingungen, auf die die Naturerscheinungen, sofern sie begreiflich sind, mit letzter Gewißheit zurückgeführt werden sollen. Mit ihnen ist ein Reduktionsprogramm bezeichnet, das

nicht a priori, sondern nur vermittelt der wissenschaftlichen Erfahrung einer Lösung näher gebracht werden kann. Letztursachen können nicht gesetzt werden; sie liegen „in der Natur“ und sind von der Wissenschaft „aufzufinden“.<sup>28</sup> Indem HELMHOLTZ ihre Bestimmung das „endliche Ziel“ nennt,<sup>29</sup> bringt er zudem zum Ausdruck, daß es sich seiner Ansicht nach um eine erreichbare Aufgabe handelt. Im Hinblick auf dieses Endziel und unter Berücksichtigung der Möglichkeit akausaler Grundzüge der Natur verändert sich der Charakter der methodologischen Voraussetzungen insgesamt. Sie werden einer *antimetaphysischen Leitvorstellung* untergeordnet, in der die Reichweite der kausalen Methode durch Erfahrung definitiv begrenzt ist.

### 3 Die mechanische Struktur der Natur

Die Voraussetzungen der zweiten Gruppe, die auch keine mechanistische Naturauffassung präjudizieren, sind mit den begrifflichen Bestimmungen der ersten Gruppe in einer Hinsicht verbunden: Weil Letztursachen „Wirkung hervorbringen“, kann es sich bei ihnen nur um Kräfte handeln. Noch ist aber die Struktur der Kräfte unbestimmt. Die Hinwendung zu einer mechanistischen und d. h. energieerhaltenden Kraftbestimmung bezeichnet nun genau diejenige Stelle der Einleitung, an der HELMHOLTZ erstmals auf spezielle wissenschaftliche Erfahrung Bezug nimmt:

„Materien mit unveränderlichen Kräften [...] haben wir in der Wissenschaft (chemische) Elemente genannt. Denken wir uns aber das Weltall zerlegt in Elemente mit unveränderlichen Qualitäten, so sind die einzigen noch möglichen Aenderungen in einem solchen System räumliche d. h. Bewegungen, und [...] die Kräfte nur Bewegungskräfte“.<sup>30</sup>

Im Rekurs auf das Vokabular der Forschungspraxis seiner Zeit gewinnt HELMHOLTZ die ersten Festlegungen für seine mechanistische Programmatik. Auf dem Hintergrund des forschungserprobten Elementbegriffes hat die anschließende Erwägung („Denken wir uns aber ...“) weniger den Charakter eines Gedankenexperimentes als vielmehr den Anspruch, eine schon durch die Ergebnisse der Forschung nahegelegte elementaristische Naturauffassung konsequent zu Ende zu denken. Erst an dieser Stelle ergibt sich als not-

wendige Folgerung die Bestimmung der Kräfte als *Bewegungskräfte*. Nicht mehr jede Kraftwirkung, sondern nur noch die ortsverändernde der Mechanik ist von nun an als elementare Wechselwirkung zugelassen.

Bei der Verengung des Kraftbegriffes findet allerdings eine kaum merkliche Verschiebung in der *Bedeutung des Ausdruckes* „Element“ statt. In der damaligen Chemie bezeichnete er gemeinhin den Sachverhalt einer endlichen Verschiedenheit der Qualitäten, insofern sie chemischen Substanzen entsprechen. Mit Substanzen bzw. Elementen waren hierbei diejenigen Stoffe der Chemie gemeint, die einer einzigen Sorte von hypothetisch angenommenen Atomen zugeordnet wurden. Weder die Atomhypothese noch der Elementbegriff implizierte notwendig ontologische Annahmen über die Struktur der Materie.<sup>31</sup> Über diesen beschränkten Sinngehalt geht HELMHOLTZ' Begriff erheblich hinaus. Elemente sind für ihn nicht nur durch ihre chemischen Qualitäten und durch die Verhältnisse, in denen sie sich untereinander verbinden, bestimmt, sondern sie werden als physikalische Objekte und letzte Bestandteile einer zerlegbaren Materie verstanden. Auch wenn HELMHOLTZ an dieser Stelle den Atombegriff nicht verwendet, so ist doch klar, daß die Materie nicht anders als diskret in bewegliche Elemente zerlegt werden kann. Und da alle Veränderung in die Kräfte gelegt ist, können sich die körperlichen Partikel, die als Elemente übrig bleiben, auch nicht in ihrer Gestalt unterscheiden. Elemente sind damit zu Atomen, zum Unteilbaren der Materie, geworden.<sup>32</sup>

Die sich an den Elementbegriff anschließende Vorstellung einer diskreten Zerlegung der Materie ist nur eine von zwei Annahmen für die nähere Bestimmung der Kräfte, die HELMHOLTZ in der Einleitung vornimmt. Die andere besteht in der kommentarlos-selbstverständlichen *Übernahme des Formalismus der physikalischen Mechanik*, deren Prinzipien und Gesetze für HELMHOLTZ den Stellenwert von Resultaten der wissenschaftlichen Erfahrung haben.<sup>33</sup> HELMHOLTZ geht von der Annahme aus, daß sich die chemischen Elemente wie mechanisch bewegte Punkte behandeln ließen. Die zwischen ihnen wirksamen Kräfte würden nur entlang der Verbindungslinie wirken und in ihrer Stärke nur von der Entfernung abhängig sein.

Eben diese Kräfte sind zugleich auch die einzigen von HELMHOLTZ zu dieser Zeit anerkannten energieerhaltenden Kräfte.<sup>34</sup>

Wenn sich die getroffenen Annahmen bewahrheiteten, würde also der Energieerhaltungssatz uneingeschränkt gelten, wo die Elemente und die ihnen zugeordneten Bewegungskräfte die Struktur der Natur ausschließlich bestimmten. Die Frage nach der Reichweite der Geltung des Energieerhaltungssatzes ist damit auf eine Frage nach den Eigenschaften der chemischen Elemente und nach der Reichweite ihrer Wirkungen reduziert. Es handelt sich um eine Problematik, die sich allein durch die weitere Erforschung der Natur, nicht aber vor aller Erfahrung in der Physik entscheiden läßt.

#### **4 Der hypothetische Charakter des physikalischen Wissens über die Natur**

Nachdem HELMHOLTZ dem Erhaltungssatz in den beiden der Einleitung folgenden Abschnitten eine mathematische Formulierung gegeben hat, untersucht er dessen Anwendbarkeit in der Mechanik, der Wärmelehre und der Elektrodynamik. Auf den letzten beiden Seiten seiner Schrift nimmt er noch zum Problem der Energieerhaltung bei Pflanzen und Tieren Stellung, für die erst vergleichsweise wenig Anhaltspunkte vorlägen. Seine abschließende Bemerkung hat bis heute nichts von ihrer Geltung verloren:

*„Ich glaube durch das Angeführte bewiesen zu haben, daß das besprochene Gesetz keiner der bisher bekannten Thatsachen der Naturwissenschaften widerspricht, von einer großen Zahl derselben aber in einer auffallenden Weise bestätigt wird.“<sup>35</sup>*

In dieser umsichtigen Formulierung kommt der hypothetische Charakter, den HELMHOLTZ der Geltung seines Gesetzes gibt, besonders eindrucksvoll zum Ausdruck. HELMHOLTZ beansprucht nicht, es induktiv aus der experimentellen Erfahrung abgeleitet zu haben. Den Ausdruck „beweisen“ verwendet er auch nicht im streng logischen Sinn, sondern in den umfassenden Bedeutungen von „begründen“ und „zeigen“. Wäre das Erhaltungsprinzip vor aller Erfahrung deduktiv abgeleitet, würde seine Bestätigung durch Erfah-

rung sowenig notwendig sein, wie seine empirische Widerlegung in Betracht käme. HELMHOLTZ hingegen nimmt in seiner Schrift nicht nur auf schon verfügbare Anwendungen des Erhaltungsprinzips Bezug, sondern auch auf den allgemeinen Stand der Naturforschung, um die Geltungsbedingungen des Gesetzes abschätzen zu können. An erster Stelle ist hierbei die Chemie zu nennen, die für ihn durch den Nachweis atomarer Strukturen, über deren Existenz seit der Antike spekuliert wurde, eine neue Epoche der wissenschaftlichen Erforschung der Natur eröffnet hat.

Da keiner der vorgenommenen Rekurse auf Erfahrung eine bestimmte Geltung des Erhaltungssatzes garantiert, muß sie hypothetisch angenommen werden. HELMHOLTZ' eben zitierte Formulierung läßt sich auch so verstehen, daß gegen partiell bestätigte Hypothesen im Grunde genommen solange nichts einzuwenden ist, wie sie anderen Erfahrungen nicht entgegenstehen. Im Aufstellen von Hypothesen besteht jedoch für HELMHOLTZ nicht das eigentliche Geschäft der Physik. Seiner Auffassung nach müssen die anfänglich postulierten Gesetze immer besser empirisch bestätigt und schließlich auf endgültige Weise verifiziert werden. Daran, daß man diese Aufgabe für den Energieerhaltungssatz bald schon erfolgreich erledigen werde, hat HELMHOLTZ 1847 vermutlich nicht gezweifelt. Seine Schrift enthält keine grundsätzlichen Bedenken gegen die Möglichkeit einer vollständigen Begreifbarkeit der physikalisch zugänglichen Natur. Sie haben in seine Wissenschaftsauffassung erst seit Anfang der 70er Jahre Eingang gefunden.<sup>36</sup> Der Tenor der Abhandlung von 1847 ist noch von einer ungebrochenen Wahrheitszuversicht getragen. Im vorgegebenen Rahmen einer kausalen Naturerklärung soll es eben das „endliche Ziel“ der theoretischen Physik sein, Zentralkräfte bestimmter Stärke als „letzte Ursachen“ „in der Natur aufzufinden“<sup>37</sup> und die Reduktion der wissenschaftlich beschreibbaren Naturerscheinungen auf diese Kräfte zu „vollenden“<sup>38</sup>.

Es war der feste Glaube an die Existenz einer mechanischen Natur, der HELMHOLTZ' optimistische Stimmung trug. Ergaben sich die Relativierungen, die er an der Geltung der Energieerhaltung vor-

nahm, aus seinem Realismus, so folgte das Streben nach absolut sicherer, wenn auch begrenzter Erkenntnis aus der eher idealistischen Vorstellungswelt seiner Naturauffassung. Wie so häufig in der Geschichte der Physik wurde auch HELMHOLTZ durch Überzeugungen, die spätere Generationen als falsch verwarfen, zu einem Gesetz geführt, das heute noch zu Grundlagen der Disziplin gezählt wird.

## Literatur

- BEVILACQUA, F. (1994): HELMHOLTZ's *Über die Erhaltung der Kraft*: The Emergence of a Theoretical Physicist, in: CAHAN (Hg.) (1994)
- BREGER, H. (1982): Die Natur als arbeitende Maschine. Zur Entstehung des Energiebegriffs in der Physik 1840–1850. Frankfurt am Main/New York
- BUCHWALD, J. Z. (1994): Electrodynamics in Context: Object States, Laboratory Practice, and Anti-Romanticism, in: CAHAN (Hg.) (1994)
- CAHAN, D. (Hrsg.) (1994): HERMANN VON HELMHOLTZ and the Foundations of Nineteenth-Century Science. Berkeley usw.
- D'AGOSTINO, S. (1975): HERTZ's Researches on Electromagnetic Waves, in: Historical Studies in the Physical Sciences 6, S. 261 ff.
- DARRIGOL, O. (1994): HELMHOLTZ's Electrodynamics and the Comprehensibility of Nature, in: KRÜGER (Hg.) (1994)
- ELKANA, Y. (1974): The Discovery of the Conservation of Energy. London
- FULLINWIDER, S. P. (1990): HERMANN VON HELMHOLTZ: The Problem of Kantian Influence, in: Studies in History and Philosophy of Sciences 21, S. 41 ff.
- HATFIELD, G. (1990): The Natural and the Normative. Theories of Spatial Perception from KANT to HELMHOLTZ. Cambridge/London
- HYDER, D. J. (1997): *Spielraum*: HELMHOLTZ's Manifold Theory of Perception and the Logical Space of Wittgensteins's Tractatus. Diss. Toronto
- HEIDELBERGER, M. (1994): Force, Law, and Experiment: The Evolution of HELMHOLTZ's Philosophy of Science, in: CAHAN (Hg.) (1994)
- HEIMANN, P. M. (1974): HELMHOLTZ and KANT: The Metaphysical Foundations of *Über die Erhaltung der Kraft*; in: Studies in History and Philosophy of Sciences 5, S. 205 ff.
- HELMHOLTZ, H. VON (1847): *Über die Erhaltung der Kraft* (OSTWALD's Klassiker der exacten Wissenschaften Nr. 1). Leipzig 1889
- HELMHOLTZ, H. VON (1856 ff.): Handbuch der Physiologischen Optik. Leipzig 1856 (1. Lieferung: S. 1–192), 1860 (2. Lieferung: bis S. 432) und 1867 (3. Lieferung: bis S. 874)
- HELMHOLTZ, H. VON (1856): Theorie der Wärme, in: Fortschritte der Physik im Jahre 1853, IX. Jg., Berlin
- HELMHOLTZ, H. VON (1897 ff.): Vorlesungen über theoretische Physik. Hg. v. ARTHUR KÖNIG et al. 6 Bde. Leipzig und Hamburg 1897 ff.
- HELMHOLTZ, H. VON (1986): Dokumente einer Freundschaft: Briefwechsel zwischen HERMANN VON HELMHOLTZ und EMIL DU BOIS-REYMOND; 1846–1894. Hg. v. CHRISTA KIRSTEN et al. Berlin
- HEYFELDER, V. (1897): *Über den Begriff der Erfahrung bei HELMHOLTZ*. Diss. Berlin.

- HIEBERT, E. (1962): *Historical Roots of the Principle of Conservation of Energy*. Madison
- JANIK, A.; TOULMIN, ST. (1973): *Wittgensteins Wien*. München/Wien 1985
- KANT, I. (1781): *Kritik der reinen Vernunft* (2. Aufl., „B“), in: KANT, I. (1900 ff.), Bd. III
- KANT, I. (1790): *Kritik der Urtheilskraft* (2. Aufl., „B“), in: KANT, I. (1900 ff.), Bd. V
- KANT, I. (1900 ff.): *KANT's gesammelte Schriften*. Hg. v. der Königlich Preußischen (später: Deutschen) Akademie der Wissenschaften (zu Berlin). Berlin
- KOENIGSBERGER, L. (1902 f.): *HERMANN VON HELMHOLTZ*. 3 Bde. Braunschweig
- KRÜGER, L. (1994): *HELMHOLTZ über die Begreiflichkeit der Natur*, in: KRÜGER (Hg.) (1994)
- KRÜGER, L. (Hg.) (1994): *Universalgenie HELMHOLTZ. Rückblick nach 100 Jahren*. Berlin
- LAVOISIER, A. L. (1790): *Elements of Chemistry*. Transl. by R. KERR. New York 1965
- LEROUX, J. (1995): *HELMHOLTZ and Modern Empirism*. In: M. MARJON and R. S. COHEN (Hg.), *Québec Studies in the Philosophy of Science* 1, 287 ff.
- LÜBBIG, H. (Hg.) (1995): *The Inverse Problem*. Symposium ad memoriam HERMANN VON HELMHOLTZ. Weinheim
- MAJER, U. (1985): *HERTZ, WITTGENSTEIN und der Wiener Kreis*, in: H.-J. DAHMS (Hg.), *Philosophie, Wissenschaft, Aufklärung: Beiträge zur Geschichte und Wirkung des Wiener Kreises*. Berlin
- NYE, M. J. (1984): *Introduction*, in: DIESS. (Hg.) (1984): *The Question of the Atom. From the Karlsruhe Congress to the First Solvay Conference, 1860–1911*. Los Angeles/San Francisco
- PLANCK, M. (1887): *Das Princip der Erhaltung der Energie*. Leipzig
- SCHIEMANN, G. (1992): *Totalität oder Zweckmäßigkeit? KANTS Ringen mit dem Mannigfaltigen der Erfahrung im Ausgang der Vernunftkritik*, in: *KANT-Studien* 83, S. 294 ff.
- SCHIEMANN, G. (1995): *Zwischen klassischer und moderner Wissenschaftstheorie: HERMANN VON HELMHOLTZ und KARL R. POPPER, erkenntnistheoretisch verglichen*, in: *Deutsche Zeitschrift für Philosophie* 43, S. 845 ff. Englisch in: LÜBBIG (Hg.) (1995)
- SCHIEMANN, G. (1996a): *Was heißt moderne Physik?*, in: D. HOFFMANN, F. BEVILACQUA, R. STRUEWER (Hg.): *Emergence of Modern Physics. Proceedings of a Conference Commemorating a Century of Physics*. Berlin 23.3.–24.3.1995. Pavia : La Goliardica Pavese 1996, S. 437 ff.
- SCHIEMANN, G. (1996b): *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*. Erscheint in: D. BAIRD et al. (Hg.), *HEINRICH HERTZ. Classical Physicist, Modern Philosopher*. Boston Studies in the Philosophy of Science. Dordrecht
- SCHIEMANN, G. (1997): *Wahrheitsgewissheitsverlust. HERMANN VON HELMHOLTZ' Mechanismus im Anbruch der Moderne. Eine Studie zum Übergang von klassischer zu moderner Naturphilosophie*. Darmstadt 1997

STRÖKER, E. (1967): *Denkwege der Chemie. Elemente ihrer Wissenschaftstheorie*. Freiburg/München

WEIZSÄCKER, C. F. VON (1974): *Die Einheit der Natur*. München

WHITT, L. A. (1990): *Atoms or Affinities? The Ambivalent Reception of Daltonian Theory*, in: *Studies in History and Philosophy of Sciences* 21, S. 57 ff.

WINTERS, ST. M. (1985): *HERMANN VON HELMHOLTZ's Discovery of Force Conservation*. Diss. Baltimore

WISE, M. N. (1981): *German Concepts of Force, Energy, and the Electromagnetic Ether: 1845–1880*, in: G. N. CANTOR and M. S. J. HODGE, *Conceptions of Ether*. Cambridge

## Anmerkungen

- 1 HELMHOLTZ formuliert die relevanten Beziehungen der Energieerhaltung so deutlich, daß die von ihm dafür benutzten Ausdrücke („lebendige Kraft“, „Spannkraft“ etc.) an den entsprechenden Stellen weitgehend durch Energiebegriffe ersetzt werden können. Daß trotz dieser Zuordnungsmöglichkeiten eine Vagheit des Kraftbegriffes bestehen bleibt und diese Vagheit zu einem konstitutiven Beitrag für die begriffliche Fortentwicklung der Physik geworden ist, hat ausführlich ELKANA (1974) dargelegt. Der Begriff der Energie geht auf W. J. RANKINE zurück, auf den sich auch HELMHOLTZ bezieht, wenn er später diesen Begriff zu verwenden beginnt. Bereits in HELMHOLTZ (1856), S. 407, betont er die Gleichheit seiner Größen „lebendige Kraft“ und „Quantität der Spannkraft“ mit den von RANKINE 1853 eingeführten Begriffen der aktuellen und potentiellen Energie.
- 2 zur Entdeckungsgeschichte des Energieerhaltungssatzes, in der HELMHOLTZ' Schrift eine Schlüsselrolle zukommt, vgl. PLANCK (1887), HIEBERT (1962) und BREGER (1982)
- 3 vgl. KOENIGSBERGER (1902 f.), Bd. 1, S. 72, und HELMHOLTZ (1986), S. 83 f.
- 4 HELMHOLTZ (1986), S. 78
- 5 Der Ausdruck stammt von du Bois-Reymond. Vgl. HELMHOLTZ (1986), S. 83
- 6 in der Ausgabe HELMHOLTZ (1847)
- 7 vgl. SCHIEMANN (1997), Abschnitt B.II.1.b
- 8 Geltungsbeschränkungen, wie sie im Rahmen der Relativitätstheorie oder Quantenmechanik vorkommen, lassen sich durch geeignete Formulierungen des Energiebegriffes minimieren. Im „Lexikon der Physik“ (hg. v. H. FRANCKE, Lizenzausg. München 1970) heißt es unter dem Eintrag „Energiesatz“: „In den über hundert Jahren, die seit der Aufstellung des E. verflossen sind, ist keine einzige physikalische Erfahrung gemacht worden, die dem E. widerspricht.“
- 9 Die in Relativitätstheorie oder Quantenmechanik vorgenommenen Neufassungen bzw. Geltungsbeschränkungen der Energieerhaltung müssen freilich aus idealistischer Perspektive nicht gelehnet werden. Vgl. z. B. WEIZSÄCKER (1974), Kap. IV,2
- 10 Daß die mechanistische Naturauffassung, wie sie HELMHOLTZ in der Einleitung vertritt, das Ergebnis einer metaphysischen Deduktion sei, die nur aus seiner (historisch für diese Zeit nicht belegbaren) Auseinandersetzung mit KANT verständlich gemacht werden könne, hat mit größtem Einfluß HEIMANN (1974) behauptet. Diese Sicht wird trotz mancher kritischer Einwände auch von WINTERS (1985), FULLINWIDER (1990), HEIDELBERGER (1994), BEVILACQUA (1994), DARRIGOL (1994) und KRÜGER (1994) geteilt. Exemplarisch für weitreichende wissenschaftstheoretische Folgerungen, die aus seinem angeblichen Kantianismus gezogen werden, ist die Beurteilung des Verhältnisses zwischen HELMHOLTZ und seinem Schüler HEINRICH HERTZ in JANIK und TOULMIN (1977) und D'AGOSTINO (1975). Eine erst mit der weiteren Entwicklung von HELMHOLTZ' Wissenschaftsauffassung einsetzende Hinwendung zum Empirismus sehen WINTERS (1985) und HEIDELBERGER (1994). Auf HELMHOLTZ' durchgängigen Realismus bzw. Naturalismus weisen HATFIELD

(1990), BUCHWALD (1994), SCHIEMANN (1997) und HYDER (1997) hin. Auf die, mit einer vermeintlichen idealistischen Position von HELMHOLTZ allerdings durchaus verträglichen Beziehungen zwischen seiner Erkenntnistheorie und dem logischen Empirismus machen außer JANIK und TOULMIN (1977) auch MAJER (1985), LEROUX (1995) und HYDER (1997) aufmerksam.

- 11 Im Hinblick auf die Stellung des Kausalgesetzes, das allerdings nur einen Teil der Voraussetzungen bildet, bemerkt HELMHOLTZ später: „Die philosophischen Erörterungen der Einleitung sind durch KANT's erkenntnistheoretische Ansichten stärker beeinflußt, als ich jetzt noch als richtig anerkennen möchte.“ (HELMHOLTZ (1847), S. 53; vgl. Anm. 13)
- 12 Die folgenden drei Abschnitte stützen sich auf die Rekonstruktion in SCHIEMANN (1997), S. 183–198
- 13 HELMHOLTZ hat seine Schrift 1881 mit einer Reihe von Zusätzen versehen. Dem hier erstmals von ihm verwendeten Begriff der Kausalität gilt der bereits zitierte erste Zusatz (hier zit. in Anm. 11). In der Tat wird Helmholtz später (beginnend mit der 1. Auflage des *Handbuches der physiologischen Optik* (HELMHOLTZ (1856 ff.), S. 453 ff.) unter Ursachen auch objektiv wirkende Gesetze verstehen (vgl. SCHIEMANN (1997), Abschnitt B.II.3.a, Teil  $\beta$ .ii). Neben dieser Bedeutungsverschiebung wird das Verständnis von Ursachen als substantiellen Entitäten, die den Phänomenen zugrunde liegen, aber zeitlich so bestehen bleiben, wie es in der Einleitung schon angelegt ist und keine Parallele in KANTS Erkenntnistheorie hat.
- 14 HELMHOLTZ (1847), S. 3 f. (Hervorheb. im Text)
- 15 Bis auf zwei gewichtige Ausnahmen stellt HELMHOLTZ keinen Zusammenhang zwischen seinem Kausalitätsverständnis und diesen beiden „Abstraktionen“ her. Die erste findet sich in der 1. Auflage des *Handbuches der physiologischen Optik*, wo HELMHOLTZ im Zusammenhang seiner Auseinandersetzung mit JOHN STUART MILL Kräfte ohne Bezug auf den Elementbegriff bereits als „Bewegungskräfte“ bezeichnet: „Und wenn wir endlich mit dem Verständniß gewisser Naturprocesse nach dem Causalgesetze fertig geworden sind, so sind die Folgerungen aus demselben: dass gewisse materielle Massen im Raume existiren und sich bewegen, und mit gewissen Bewegungskräften auf einander wirken.“ (HELMHOLTZ (1856 ff.), S. 454, vgl. SCHIEMANN (1997), Abschnitt B.II.3.a, Teil  $\beta$ .ii, Anm. 97). Die zweite ist im 2. Zusatz zur Schrift von 1847 enthalten, wo Helmholtz sich gegenüber der Kritik an seinem Zentralkraftkonzept auf apriorische Denknöwendigkeiten beruft: „Die Nothwendigkeit der Auflösung der Kräfte in solche, die sich auf Punkte beziehen, kann aus dem Princip der vollständigen Begreifbarkeit [identisch mit Kausalität] der Natur hergeleitet werden für Massen, auf welche Kräfte wirken“ (HELMHOLTZ (1847), S. 53).
- 16 HELMHOLTZ (1847), S. 4 f.
- 16a HELMHOLTZ (1847), S. 4
- 17 HELMHOLTZ (1847), S. 5
- 18 Diese Bemerkung ist vermutlich gegen die zur Zeit der Abfassung der Schrift noch wirksamen Einflüsse der romantischen Naturphilosophie gerichtet. Vgl. WISE (1981)

- 19 HELMHOLTZ (1847), S. 5
- 20 Dies hat bereits HEYFELDER (1897) festgestellt: „Die Weltanschauung HELMHOLTZ' ist derjenigen konform, die KANT als transzendentalen Realismus bezeichnet, und zu der er die seine als transzendentalen Idealismus in bewußten Gegensatz bringt“ (a. a. O., S. 55 – Hervorheb. im Text).
- 21 KANT (1900 ff.), Bd. II (*De mundi sensibilis atque intelligibilis forma et principiis*), S. 394 (§ 6)
- 22 Angesichts der Möglichkeit, daß die Mannigfaltigkeit der äußeren Natur das Fassungsvermögen des Geistes übersteigen könnte, stärkt KANT die transzendentalen Prinzipien der Einheit der Erkenntnis. Vgl. KANT (1781), B 681 ff., KANT (1790), S. 410 ff. (§ 78), und dazu SCHIEMANN (1992)
- 23 HELMHOLTZ (1847), S. 4
- 24 Diese Deutung legt sich nahe, weil HELMHOLTZ den Freiheitsbegriff an anderer Stelle (HELMHOLTZ (1856 ff.), S. 454) ausdrücklich auch auf das Tierreich anwendet.
- 25 vgl. SCHIEMANN (1997), Abschnitt B.II.3.b, Teil  $\beta$
- 26 HELMHOLTZ (1847), S. 4
- 27 wie Anmerkung 14
- 28 HELMHOLTZ (1847), S. 4
- 29 HELMHOLTZ (1847), S. 4
- 30 HELMHOLTZ (1847), S. 5
- 31 In den entsprechenden empirischen Untersuchungen der Chemie ging es nicht um die Feststellung von physikalischen Kraftwirkungen zwischen den Atomen, sondern vor allem um die Anwendung eines Systems von relativen Atomgewichten und um den Nachweis von äquivalenten Verbindungsverhältnissen chemischer Substanzen (vgl. STRÖKER (1967), S. 156 ff.). Die Atomhypothese erwies sich in diesen streng experimentell orientierten Forschungen als ein nützliches Hilfsmittel, das nur in Bezug auf die speziellen Versuchsanordnungen eine numerische Einteilung der Relationen zwischen Substanzen unterstellte, ohne dabei auf Aussagen über die Realität oder Existenz von Atomen angewiesen zu sein (vgl. NYE (1984), S. XV, und WHITT (1990)). Der von den Chemikern gegen Ende des 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts häufig thematisierte Unterschied zwischen der forschungsnützlichen Hypothese chemischer Elemente und der physikalischen Realität von Atomen findet sich repräsentativ in A. L. LAVOISIERS Vorwort zu den *Elementen der Chemie* ausgesprochen: Man könne sich des Elementbegriffes als eines Prinzips der Zerlegung bedienen, ohne etwas über Atome zu wissen (LAVOISIER (1790), S. XXIV). Zerlegung in diesem Sinn bedeutet nicht eine Aufteilung in diskrete Bestandteile, sondern eine Isolierung von reinen Substanzen.
- 32 vgl. hierzu SCHIEMANN (1997), Abschnitt B.II.1.a., Anm. 26

- 33 In einer posthum veröffentlichten und nicht datierten Schrift zur Geschichte der Mechanik nennt HELMHOLTZ auf seine Art die zwei Annahmen für die nähere Bestimmung der Kräfte: Mit dem auf GALILEI und NEWTON zurückgehenden physikalischen Begriff der Kraft und dem auf BOYLE, LAVOISIER, PRIESTLEY und CAVENDISH zurückgehenden Begriff der chemischen Elemente seien „die principiellen Fragen im Wesentlichen entschieden.“ (KOENIGSBERGER (1902 f.), Bd. 2., S. 40).
- 34 Der 3. Zusatz von 1881 bezieht sich auf das Zentralkraftkonzept und räumt ein, daß auch eine andere Form von Kräften energieerhaltend sein kann. Zentralkräfte sind von HELMHOLTZ später einschränkender definiert worden als noch 1847. In den in seinem Todesjahr gehaltenen *Vorlesungen über die Dynamik discreter Massenpunkte* werden Zentralkräfte nur durch ihre Richtung (entlang der Verbindungslinie zwischen zwei Punkten) und nicht durch die entfernungsabhängige Intensität bestimmt (HELMHOLTZ (1897 ff.), Bd. I.2, S. 143). Bilden diese die inneren Kräfte eines Punktsystems, folgt aus ihnen nicht mehr Energie-, sondern Drehimpulserhaltung (a. a. O., S. 157 ff.). Vgl. hierzu SCHIEMANN (1997), Abschnitt A.I.2.b
- 35 HELMHOLTZ (1847), S. 53
- 36 vgl. SCHIEMANN (1997), Abschnitt B.III.1
- 37 HELMHOLTZ (1847), S. 4
- 38 HELMHOLTZ (1847), S. 7

**Hermann von Helmholtz**

Klassiker an der Epochenwende

Vorträge zur Ausstellung

Braunschweigisches Landesmuseum, 1997

Herausgegeben von

HELMUT KLAGES und HEINZ LÖBBIG

PTB-Texte Band 8

Braunschweig, Oktober 1998