

Die Entstehung des Energiebegriffs im 19. Jahrhundert

Der Energiebegriff der heutigen Physik wurde in der Mitte des 19. Jahrhunderts von verschiedenen Wissenschaftlern gleichzeitig mit dem Gedanken der Erhaltung dieser Energie formuliert. Natürlich hat es auch vorher schon Begriffe und Debatten in der Physik gegeben, die wir heute als Vorläufer der Energiethematik betrachten. Da ist zunächst der Streit um das „wahre Kraftmaß“, den Leibniz und seine Nachfolger seit 1686 gegen die Anhänger von Descartes führten. Das Wort „Kraft“ wurde hier nicht in dem heutigen, auf Newton zurückgehenden Sinn als Produkt von Masse und Beschleunigung verwendet, sondern einfach als Bezeichnung des Treibenden in den Naturprozessen. Erst nach der Durchsetzung des Energiebegriffs, also erst rund 130 Jahre nach Newtons Tod, setzte sich der Newtonsche Begriff von Kraft und damit die Unterscheidung von Kraft und Energie durch. Nach Descartes sollte die Kraft eines bewegten Körpers durch das Produkt von Masse und Geschwindigkeit gemessen werden, wobei es etwas dunkel blieb, wann und inwieweit die Richtung der Geschwindigkeit berücksichtigt werden sollte. Von dieser Kraft sagte Descartes, dass sie bei allen Naturvorgängen erhalten bleibe. Leibniz erklärte diese Definition der Kraft für einen Irrtum: Seiner Meinung nach war Kraft die Fähigkeit, ein Gewicht auf eine bestimmte Höhe zu heben. Nach Galileis Fallgesetz müsste dann die Kraft eines bewegten Körpers proportional zum Produkt von Masse und Quadrat der Geschwindigkeit sein. Die so definierte Kraft werde dann bei allen Naturvorgängen erhalten bleiben. Wo bewegende Kraft scheinbar zu verschwindet, etwa beim Fall eines Körpers, der dann in Ruhe bleibt, hat sich nach Leibniz die bewegende Kraft lediglich in nicht wahrnehmbare Bewegung kleinster Teile des Körpers verwandelt. Leibniz' Zeitgenosse Newton beteiligte sich an der Debatte nicht. Seiner Meinung nach war es eine offenkundige Erfahrungstatsache, dass durch Reibung ständig bewegende Treibkräfte verloren gehen, so dass von Erhaltung keine Rede sein könne; vielmehr müsse Gott von Zeit zu Zeit in das Naturgeschehen eingreifen und neue Treibkraft in die Natur bringen, damit nicht alles zum Stillstand kommt. Übrigens beteiligte sich auch der junge Kant an dem Streit um die wahre Kraftdefinition, allerdings nicht besonders erfolgreich. In dem Maße, in dem die philosophischen Systeme von Descartes und Leibniz ihren Einfluss auf die Physiker und Philosophen verloren — und das war etwa in der

Mitte des 18. Jahrhunderts der Fall — verlief die Diskussion ohne bleibendes Ergebnis für die Physik im Sande. Bemerkenswert ist, dass Leibniz sich auf die Unmöglichkeit eines mechanischen perpetuum mobiles stützte: Wenn man seine Argumentation nicht teile, dann würde folgen, dass man wegen des Fallgesetzes von Galilei durch abwechselndes Fallen- und Wiederaufsteigenlassen eines Körpers ein mechanisches Perpetuum mobile bauen könne; dies aber sei unmöglich. Hundert Jahre nach Leibniz (1775) beschloss die Pariser Académie des Sciences, künftig keine Konstruktionspläne zum Bau eines Perpetuum mobile mehr entgegen zu nehmen, denn ein solches sei nicht möglich. Damit war aber — ebenso wie bei Leibniz — ein mechanisches Perpetuum mobile gemeint; bei Verwendung nicht-mechanischer Mittel wie zum Beispiel einem lebenden Organismus oder der Sonnenwärme blieb die Frage zumindest offen.

Die ziemlich scharfe Trennung von mechanischen und nicht-mechanischen Kräften wurde in der Romantik, also etwa zwischen 1800 und 1830, aufgegeben oder jedenfalls verringert. Die Einheit der Natur und ihrer Kräfte war ein zentrales Thema der romantischen Naturphilosophie; in der Naturphilosophie Schellings stehen die Kräfte im Widerstreit und in einem vagen Gleichgewicht, das als eine Art Erhaltung einer und derselben Naturkraft, die alle Veränderung in Gang hält, gedeutet werden kann. Der auf Schelling zurückgehende romantische Kraftbegriff war von beträchtlichem Einfluss in der Physik; Johann Wilhelm Ritters Entdeckung der ultravioletten Strahlen, Ørsteds Entdeckung des magnetischen Feldes eines elektrischen Stroms, Seebecks Entdeckung der Thermoelektrizität und mit einiger Wahrscheinlichkeit auch Faradays Entdeckung der elektromagnetischen Induktion sind beeindruckende Erfolge des romantischen Forschungsprogramms, die Einheit der Natur und ihrer Kräfte im Einzelnen und empirisch nachzuweisen.

Trotz dieser Erfolge ist nicht zu bestreiten, dass die romantische Naturphilosophie es in mancher Hinsicht denn doch zu weit getrieben hatte; die jüngeren Physiker wandten sich etwa 1830 scharf von ihr als einer inhaltsleeren Spekulation ab. Während die romantischen Physiker, Ärzte und Philosophen sich vor allem für die dunklen, geheimnisvollen und qualitativen Aspekte der Natur, besonders die Erscheinungen der Elektrizität und des Magnetismus sowie der Besonderheit des organischen Lebens, interessiert hatten, war die Generation derer, die die Erhaltung der Energie formulieren sollten, von einem völlig anderen Bild der Natur geleitet. Das gebildete Publikum begeistert sich an den Eisenbahnen, das heißt an der Beherrschung der Natur und einem neuen technologischen Innovationsschub. (Vielleicht, so könnte man spekulieren, stehen wir heute mitten

in einem ähnlichen Wechsel des Zeitgeistes und des Naturbildes.) Die so gänzlich unromantische Formulierung von der „Bändigung der Naturkräfte“ durch die Technik wird in der Öffentlichkeit und auch bei den Physikern um die Mitte des 19. Jahrhunderts zur stehenden Redewendung. Man ist jetzt von Maschinen fasziniert; die Freude der Romantiker an den unterschiedlichen Naturkräften und dem bunten Spiel ihrer Verwandlungen erscheint altmodisch und als kindliche Neigung zum einfachen, anschaulichen Phänomen; was die Physiker nun in ihren Bann zieht, ist die Möglichkeit, die Natur durch Rechenhaftigkeit, Quantifizierung und Präzision beschreiben und technisch nutzbar zu machen. Das mechanische Weltbild des 17. und 18. Jahrhunderts, das heißt die Vorstellung, dass alle Naturvorgänge letztlich durch mechanische Elementarvorgänge erklärbar sind, feiert plötzlich in der Mitte des 19. Jahrhunderts eine Auferstehung. Erst als diese Generation von Physikern gegen Ende des Jahrhunderts emeritiert wird, wird das mechanistische Weltbild aufgegeben; kurz darauf treten mit der Entdeckung der Radioaktivität und des Wirkungsquantums völlig neue Phänomene in das Blickfeld der Physiker.

Die Formulierung des Energiesatzes in der Mitte des 19. Jahrhunderts ist von Wissenschaftshistorikern und Wissenschaftstheoretikern als Beispiel einer gleichzeitigen Entdeckung diskutiert worden. Gleichzeitige Entdeckungen sind von besonderem Interesse, insofern sie sozusagen in der Luft gelegen zu haben scheinen. Tatsächlich haben zwölf Wissenschaftler — fast alle innerhalb etwa eines Jahrzehnts — mehr oder weniger bedeutende Leistungen im Zusammenhang der Entdeckung der Energieerhaltung erbracht. Sieht man genauer hin, muss man die Liste allerdings erheblich reduzieren: Einige der zwölf Pioniere haben Arbeiten eines anderen gekannt, so dass man nicht mehr von einer unabhängigen Entdeckung sprechen kann; andere haben nur ein mechanisches Wärmeäquivalent bestimmt und nicht wirklich den Energiebegriff in voller Allgemeinheit formuliert; wieder andere haben zwar von einem allgemeinen Kraftbegriff gesprochen, aber nicht hinreichend klar gemacht, wie dieser Kraftbegriff quantifiziert werden sollte. Berücksichtigt man diese Einwände, reduziert sich die Liste mehr oder weniger auf vier Wissenschaftler: Mayer und Helmholtz in Deutschland, Joule in England und Colding in Dänemark. Dies ist die übliche Liste; allerdings ist auch sie keineswegs ohne Einwände: Helmholtz hat die Arbeiten von Mayer und Joule gekannt, als er seine eigene Formulierung des Energiesatzes veröffentlichte; Joule hat in seinen wissenschaftlichen Schriften nirgendwo in klaren Worten den Satz von der Erhaltung der Energie als ein allgemeines Naturgesetz ausgesprochen; Colding hatte in seiner frühen Veröffentlichung keine volle Klarheit darüber, wie die Kraft gemessen werden sollte, und als er dann in späteren Schriften eindeutig vom

Produkt von Gewicht und Höhe ausging, waren ihm die Arbeiten von Mayer, Joule und Helmholtz schon bekannt. Sie sehen, man kann gute Gründe dafür angeben, dass es sich gar nicht um eine gleichzeitige Entdeckung handelt, sondern dass der Heilbronner Arzt Julius Robert Mayer der einzige Entdecker ist. Damit ist nun aber auch kaum jemand zufrieden: Die Wissenschaftshistoriker und Wissenschaftstheoretiker freut es nicht, dass sich das schöne Beispiel einer gleichzeitigen Entdeckung in Rauch auflöst; die Physiker aber sind fast ein wenig gekränkt, weil dann einer der bedeutendsten Sätze der Physik ausschließlich von einem ausgesprochenen Amateur stammt und mit einer Argumentation gefunden wurde, die wenig Fachwissenschaftliches an sich hat. Ich beuge mich also der Konvention und gehe wie üblich von vier Entdeckern des Energiesatzes aus.

Zunächst fällt auf, dass alle vier Außenseiter sind. Frankreich war zu dieser Zeit das führende Land in der Physik, aber kein französischer Physiker ist auf unserer Liste und auch in den namhaften Laboratorien englischer und deutscher Universitäten wurde der Energiesatz nicht gefunden. Mayer fuhr als Schiffsarzt nach Java und eröffnete dann eine ärztliche Praxis in Heilbronn; Helmholtz hatte ebenfalls eine ärztliche Ausbildung und war zum Zeitpunkt der Abfassung seiner Abhandlung zum Energiebegriff Regimentsarzt in Preußen; Joule war der Sohn eines Brauereibesitzers, der wissenschaftliche Experimente als Hobby betrieb; Colding war zum Zeitpunkt seiner ersten Abhandlung zur Energie arbeitsloser Ingenieur; er war dann Straßen- und Brücken-Inspektor von Kopenhagen und später für die Gas- und Wasserversorgung Kopenhagens zuständig. Sieht man von einer Abhandlung Coldings zur Bekämpfung der Cholera durch eine Verbesserung der Wasserversorgung Kopenhagens ab, haben weder Mayer noch Joule noch Colding andere wissenschaftliche Leistungen von auch nur halbwegs nennenswertem Rang erbracht. Es scheint, dass man Außenseiter sein musste, um den Satz von der Erhaltung der Energie zu finden.

Gleichzeitige Entdeckungen werden häufig von Prioritätsstreiten gefolgt; so auch im Falle des Energiesatzes. Ein Prioritätsstreit kann natürlich nur entstehen, wenn zwei oder mehr Wissenschaftler unabhängig voneinander wirklich oder vermeintlich das Gleiche gefunden haben. Andererseits: Wenn sie wirklich das Gleiche gefunden haben, lässt sich die Frage in vielen Fällen nach dem Datum der Veröffentlichung oder ähnlichen objektiven Kriterien entscheiden. Die für den Wissenschaftshistoriker wirklich spannenden Prioritätsstreite entstehen dann, wenn die beteiligten Wissenschaftler etwas Ähnliches, aber keineswegs das Gleiche gefunden haben. Genau dies war beim Energiesatz der Fall. Unterschiedliche Auffassungen von Wissenschaft und unterschiedliche nationale

Stile wissenschaftlicher Methodik führten im Rückblick zu unterschiedlicher Bewertung der Leistungen der vier Entdecker. Wenden wir uns nun zunächst den vier Entdeckern zu.

Der chronologisch erste ist Julius Robert Mayer; 1842 veröffentlichte er seine Abhandlung „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“. Mayer erklärt, dass er den Begriff der Kraft ebenso präzise fassen wolle wie den der Materie. Während die chemische Reaktionsgleichung eine Beziehung zwischen entstehendem und verschwindendem Objekt herstelle, gebe man sich in der Physik damit zufrieden, dass mechanische Bewegung verschwindet und Wärme entsteht. In Übereinstimmung mit physikalischen Lehrbüchern seiner Zeit betrachtet Mayer Kräfte als Ursachen, und er sieht sich dadurch legitimiert, den von ihm als Axiom bezeichneten Grundsatz der Gleichheit von Ursache und Wirkung („*causa aequat effectum*“) auf die Kräfte anzuwenden. Nun genügen wenige Sätze, um den Erhaltungssatz herzuleiten: „Hat die Ursache c die Wirkung e , so ist $c = e$; ist e wieder die Ursache einer andern Wirkung f , so ist $e = f$, u.s.f. $c = e = f \dots = c$. In einer Kette von Ursachen und Wirkungen kann, wie aus der Natur einer Gleichheit erhellt, nie ein Glied oder Theil eines Gliedes Null werden. Diese erste Eigenschaft aller Ursachen nennen wir ihre *U n z e r s t ö r l i c h k e i t*.“ Wenn nun die Ursache c die Wirkung e hervorgebracht hat, dann hört c auf zu sein, anderenfalls würde c ja noch weitere Wirkung hervorbringen. Die Ursache c ist also in die Wirkung e übergegangen, c hat sich in e verwandelt; man kann Ursache c und Wirkung e als verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Objekts betrachten. Dieses Objekt, die Kraft schlechthin, wechselt also bei den Naturprozessen immer wieder seine Erscheinungsform, aber seine Größe bleibt stets dieselbe: die Kraft bleibt erhalten.

Kein Geringerer als Max Planck hat diese Argumentation von Mayer als eine „vorzügliche Erläuterung des Erhaltungsprincipes“ bezeichnet. Mayers Gedankengang macht die methodische Konstruktion des Energiesatzes deutlich; sie zeigt, wie wir verfahren, wenn wir auf eine neue, bisher unbekanntes Sorte von Energie stoßen, wie es bei der Entdeckung der Radioaktivität der Fall war: Wir postulieren dann eben eine neue Form von Energie, um am Erhaltungssatz festhalten zu können. Mayers formale Deduktion könnte freilich auch zur Erläuterung des Satzes von der Impulserhaltung dienen, — dann nämlich, wenn wir unter der Ursache den Impuls verstehen. Den spezifischen Inhalt erhält Mayers Deduktion erst durch seine Festlegung, dass die Ursachen in mechanischer Arbeit gemessen werden sollen.

Mayer wusste, dass er ausser den allgemeinen Darlegungen auch etwas über das

zahlenmäßige Verhältnis bei der Verwandlung einer Form der Kraft in die andere sagen sollte. Seine Versuche, Wasser durch Schütteln zu erwärmen, hatten natürlich nur ein qualitatives Ergebnis. Mit dem Vergleich der spezifischen Wärmen bei konstantem Druck und konstantem Volumen fand Mayer jedoch eine scharfsinnige Methode, aus bereits vorhandenen Messdaten das mechanische Wärmeäquivalent ziemlich gut zu berechnen.

Ein Jahr nach Mayers Abhandlung veröffentlicht James Prescott Joule einen Aufsatz „On the Caloric Effects of Magneto-Electricity and the Mechanical Value of Heat“. In diesem Aufsatz behauptet Joule die Verwandelbarkeit von Wärme und mechanischer Arbeit, und er liefert eine experimentelle Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents. Allerdings streuen seine Messwerte beträchtlich; der größte seiner Meßwerte ist fast doppelt so groß wie der kleinste. Die Zuversicht, mit der er diese Meßwerte interpretiert, zeigt, dass er eine feste Überzeugung besitzt, die er in einem Postskript zur Abhandlung mit den Worten formuliert, dass die großen Triebkräfte der Natur vom Schöpfer unzerstörbar gemacht worden sind und dass man bei einem Verlust mechanischer Kraft stets ein exaktes Äquivalent an Wärme erhält. Joule beschränkt sich also auf die Messung eines mechanischen Wärmeäquivalents; die These, dass die Kraft auch sonst erhalten bleibe, wird bei ihm nirgendwo physikalisch formuliert, sondern nur vage in der zitierten religiösen Floskel angedeutet.

Ebenfalls 1843 veröffentlicht Ludvig August Colding seine erste Abhandlung zum Thema. Er erklärt, dass, wenn immer eine Kraft zu verschwinden scheine, sie in Wirklichkeit nur eine Umwandlung erfahre und sie in dieser anderen Form wirksam bleibe. Zum Beleg referiert er verschiedene Experimente über Wärme, die bei Reibung oder bei Kompression von Gasen und Flüssigkeiten entsteht. In seinen eigenen Experimenten dazu variiert er die Geschwindigkeit und die Reibungskraft, nicht aber den Weg. Sein Resultat ist dann eine Proportionalität zwischen Reibungskraft, also einer Kraft im Newtonschen Sinne, und der Erwärmung. Daß in Wirklichkeit der Begriff der mechanischen Arbeit zentral ist, ist Colding offenbar erst später durch die Lektüre der Veröffentlichungen von Mayer, Joule und Helmholtz klar geworden. Daß es Colding nicht nur um die isolierte Beziehung zwischen Wärme und mechanischer Arbeit, sondern um ein allgemeines Naturgesetz ging, lässt sich aus anderenseiner Veröffentlichungen erkennen. Für ihn stand die Erhaltung der Kraft im Zusammenhang damit, dass die Kräfte der Natur dem Geist verwandt sind; ebenso wie der Geist letztlich unsterblich ist, müssen auch die Naturkräfte unzerstörbar sein.

Der letzte unserer Vierergruppe ist Hermann Helmholtz, der 1847 in der Abhand-

lung „Über die Erhaltung der Kraft“ eine fachwissenschaftliche Formulierung der Energieerhaltung gab. An die Spitze seiner Überlegungen stellt Helmholtz das Prinzip, das es unmöglich sei, fortwährend bewegende Kraft aus nichts zu erzeugen. Er fügt diesem Prinzip den Begriff der mechanischen Arbeit als Maß der Kraft hinzu sowie das Postulat, dass alle Naturveränderungen wieder rückgängig gemacht werden können. Daraus leitet er dann den Energiesatz her. Von einer logisch formalen Seite her ist der Unterschied zwischen Helmholtz' Prinzip und Mayers Prinzip der Gleichheit von Ursache und Wirkung geringer, als es scheint, wie Ernst Mach in einer interessanten Analyse des Prinzips der Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile gezeigt hat. Der sozusagen psychologische Unterschied ist beträchtlich: Mayers Prinzip erweckt den Eindruck eines Denkgesetzes a priori; Helmholtz' Prinzip sieht aus wie eine Erfahrungstatsache. Dass der Unterschied zwischen Mayer und Helmholtz geringer war, als es auf den ersten Blick scheinen mag, lässt sich auch von anderer Seite her bestätigen: Einen Entwurf der Abhandlung schickte Helmholtz an einen Freund mit der Frage, „ob Du die Art der Darlegung für eine solche hältst, die bei Physikern Eingang finden kann. Ich habe mich bei der letzten Ausarbeitung zusammengenommen und alles über Bord geworfen, was nach Philosophie roch, soweit es nicht dringend nötig war, darum mögen einige Gedankenlücken geblieben sein.“ Die Elimination des Philosophischen mag Helmholtz leichter gefallen sein, weil er Mayers Veröffentlichung schon kannte. Unter den zeitgenössischen Physikern der älteren Generation stieß Helmholtz' Abhandlung auf eine gewisse Zurückhaltung; daß jemand die verschiedenen Teilgebiete der Physik in Beziehung zueinander brachte und allgemeine Aussagen über die Erhaltung der Kraft machte, erinnerte allzusehr an die gerade erst überwundene Naturphilosophie von Schelling und Hegel, gegen die die ältere Generation schon vor zwei Jahrzehnten gekämpft hatte. Bei den Physikern der jüngeren Generation fand die Abhandlung aber schnell Zustimmung.

Nach dieser Skizze der Beiträge der vier Pioniere lassen sich die Linien der Auseinandersetzung im Prioritätsstreit leicht absehen: Die empiristisch gesinnten britischen Naturforscher schrieben Joule den Hauptanteil zu, weil er solide Experimente geliefert habe. Der bekannte Physiker Thomson, später Lord Kelvin, schrieb in diesem Zusammenhang, zwar habe die Wissenschaft kein Vaterland, doch ein „scientific patriotism“ sei durchaus berechtigt. Zu diesem Patriotismus gehörte eben auch die Wertschätzung des nationalen wissenschaftlichen Stils, in dem Experimenten eine besondere Rolle zugebilligt wurde, während sich bei den Naturwissenschaftlern in Deutschland während des gesamten 19. Jahrhunderts in stärkerem Maße auch grundsätzliche theoretische Erwägungen

fanden. (Es ist klar, dass es sich dabei nur um eine Akzentverschiebung und nicht um einen absoluten Gegensatz handelt). In Deutschland tobte ein Kampf um die relative Bedeutung der Beiträge von Mayer und Helmholtz, während Colding erst allmählich und eher am Rande ins Spiel gebracht wurde.

Der deutsche Prioritätsstreit erhielt eine besondere Note dadurch, dass Helmholtz in einer Rezension Mayers erste Veröffentlichung als unbedeutend abgetan hatte. Dies war sicher nicht besonders vornehm. Helmholtz hat seine Haltung später damit begründet, dass Mayers Name benutzt werde, um falsche wissenschaftliche Prinzipien, nämlich ein Zuviel an Philosophie, zu empfehlen. Die Breite und die Heftigkeit der Auseinandersetzung — Eugen Dühning hatte 1876 in Vorlesungen an der Berliner Universität Helmholtz des Plagiats beschuldigt, was zum Entzug der *venia legendi* für Dühning und einer lebhaften Pressediskussion um die Freiheit der Wissenschaft führte — zeigen, dass hier wichtige Fragen des Zeitgeistes und auch politische Fragen (Liberalismus, Kulturkampf, Sozialdemokratie und Materialismus) ins Spiel kamen; darauf kann ich hier jedoch nicht mehr eingehen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass Mayer den Energiesatz 1842 formulierte, und Joule und Colding 1843 ähnliche Überlegungen veröffentlichten. Helmholtz gab dem Satz 1847 die kanonische Formulierung. Schon rund zehn Jahre später war der Energiesatz allgemein anerkannt. Alle vier Entdecker sprachen von Kraft; das Wort Energie als physikalischer Terminus wurde erst 1852 von Rankine eingeführt. Natürlich gab es das englische Wort *energy* schon vorher. So schrieb Thomson/Lord Kelvin unter Bezug auf Joule schon 1848 in einem Aufsatz „Nothing can be lost in the operations of nature — no energy can be destroyed“; da *energy* hier noch kein physikalischer Fachausdruck ist, wäre dies zu übersetzen mit: „Nichts kann in den Naturvorgängen verloren gehen — Triebkraft kann nicht zerstört werden“.

Auffallend ist, dass die wechselseitige Verwandlung von Wärme und mechanischer Arbeit bei den Pionieren des Energiesatzes eine besondere Rolle gespielt hat, — ganz im Gegensatz zu den Debatten zwischen Leibnizianern und Cartesianern oder den Erörterungen um den romantischen Kraftbegriff. Die Frage liegt nahe, ob die Dampfmaschine als wichtigste Energieerzeugerin der Zeit hier Pate gestanden hat. Im engeren Sinn ist diese Frage sicher zu verneinen: Die wissenschaftliche Untersuchung der Dampfmaschine durch Carnot und andere leitete eher zu der Tatsache, dass nur ein Teil der Wärme in mechanische Arbeit verwandelt werden kann. Erst 1865, also nach der allgemeinen Durchsetzung des Energiesatzes, ließ sich experimentell nachweisen, dass die Wärme im

Kondensator der Dampfmaschine geringer ist als die durch Heizung zugeführte Wärme. Die Untersuchung der Dampfmaschine führte zum 2. Hauptsatz der Thermodynamik, aber dieser schien zunächst in einer gewissen Spannung zur Energieerhaltung zu stehen: Mayer, Joule und Helmholtz kannten zum Zeitpunkt ihrer ersten Veröffentlichungen Carnots Untersuchung der Dampfmaschine nicht, und als sie sie dann kennen lernten, hielten sie sie zunächst für falsch (weil dem Energieerhaltungssatz scheinbar widersprechend). Joules optimistische Prognosen über die Verbesserbarkeit der Dampfmaschine riefen bei den Ingenieuren Kopfschütteln hervor, und noch lange nach der Durchsetzung des Energiesatzes in der Physik war bei den Ingenieuren eine gewisse Zurückhaltung gegenüber der neuen Thermodynamik erkennbar.

Dennoch ist es gut möglich, ja sogar wahrscheinlich, dass die sozusagen mit den Augen des Laien betrachtete Dampfmaschine eine gewisse Rolle bei der Entstehung des Energiesatzes gespielt hat. Zum ersten Mal in der Geschichte der Menschheit stand ohne Kraft ohne naturwüchsige Schranken in bis dahin unvollstellbarer Größe zur Verfügung. Die Leistungsfähigkeit einer Dampfmaschine wurde mit Hilfe der mechanischen Arbeit angegeben, und dies war ein wesentlicher, wenn nicht der entscheidende Anstoß zur allgemeinen Anerkennung des Begriffs der mechanischen Arbeit als Maß mechanischer Wirkungen. In der technischen Mechanik französischer Autoren wie Coriolis und Poncelet wurde 1826 der Begriff der Arbeit eingeführt und zum Grundbegriff dieser technischen Mechanik gemacht. In der Physik trat dieser Begriff jedoch erst seit der Formulierung des Energiesatzes auf.

Werfen wir noch einmal einen Blick auf die Motive und Denkkzusammenhänge der Entdecker des Energiesatzes. Helmholtz hat 1847 in seiner Abhandlung zur Energieerhaltung die These vertreten, dass alle Naturvorgänge mechanisch erklärt werden könne, ja er glaubte sogar zeigen zu können, dass der Energieerhaltungssatz und das mechanistische Naturbild logisch äquivalent sind. In den Jahren vor seiner Veröffentlichung zur Energieerhaltung war er mit den Physiologen Brücke und du Bois-Reymond befreundet, die sich zum Ziel gesetzt hatten, alles im lebenden Organismus mit physikalisch-chemischen Kräften zu erklären. Dass Helmholtz aus diesen Überlegungen heraus zum Energiesatz geführt wurde, ergibt sich aus einer Rezension des jungen Helmholtz über Experimente von Justus Liebig, mit denen dieser beweisen wollte, dass sich die vom lebenden Organismus erzeugte Wärme ohne Zutun der Lebenskraft allein aus der Verbrennung der Nahrungsmittel erklären lässt. Helmholtz kommentiert diese Experimente mit den Worten: „Das Prinzip von der Konstanz des Kraftäquivalents bei Erregung einer Naturkraft

durch eine andere, obschon logisch vollkommen gerechtfertigt, ... ist weder theoretisch bisher vollständig ausgesprochen und anerkannt, noch empirisch durchgeführt, wenn ihm auch die bisher gemachten Versuche vollständig entsprechen“.

Als Schiffsarzt führte Mayer zahlreiche Aderlässe bei Matrosen durch; ihm fiel auf, dass auf Java das venöse Blut eine ähnlich helle Färbung aufweist wie das arterielle. Sowohl diese Tatsache als auch ihre Erklärung — in den Tropen ist die Wärmeabgabe des Organismus geringer und deshalb wird weniger von dem im Blut transportierten Sauerstoff verbraucht — waren lange bekannt. Mayer stellte sich dann aber die weitere Frage, ob die Wärme, die der Organismus indirekt, etwa durch Reibung bei Verrichtung mechanischer Arbeit, erzeugt, ebenfalls auf den Verbrennungsprozess zurückzuführen ist. Er wird also zur Formulierung der Energieerhaltung motiviert, weil für ihn der lebende Organismus selbstverständlich eine Wärmekraftmaschine ist: Auch der lebende Organismus ist kein Perpetuum mobile; seine Fähigkeit, mechanische Arbeit zu verrichten, ergibt sich aus der Verbrennung der Nahrungsmittel und der Verwandlung der entstehenden Wärme in Arbeitsfähigkeit. „Wäre sonst nichts als Bewegung und Wärme ins Auge zu fassen,“ schreibt Mayer, „so könnten wir eine Dampfmaschine auch ein warmblütiges Tier nennen.“ Mayer spricht immer wieder vom Nutzeffekt einer Maschine, eines Pferdes und eines Menschen, und er mißt diesen Nutzeffekt durch Angaben über die Hebung eines Gewichts. Joules Forschungen vor der Veröffentlichung seiner ersten Abhandlung zum mechanischen Wärmeäquivalent betreffen Bemühungen, den Nutzeffekt von Motoren zu verbessern.

Der Einfluss der industriellen Revolution ist also bei den Entdeckern des Energiesatzes unverkennbar. Für sie ist der von der Beschäftigung mit Maschinen stammende Begriff der mechanischen Arbeit grundlegend, und zwar schon zu einem Zeitpunkt, als dies in der Physik noch kein Grundbegriff ist. Freilich darf man dies nicht so verstehen, als sei die industrielle Revolution als solche die Ursache oder jedenfalls der unmittelbare Anlass für die Formulierung des Energiesatzes. Bei einer solchen Interpretation wäre nicht zu verstehen, warum der Energiesatz in England, dem klassischen Land der industriellen Revolution, nicht schon Jahrzehnte früher entstanden ist. Vielmehr ist die Entstehung des Energiesatzes zwischen 1840 und 1850 aus einer neuen Sichtweise der Natur, einem neuen Naturbild, zu verstehen. Diese neue Sichtweise beginnt sich mit dem den Historikern wohlbekannten geistesgeschichtlichen Umbruch ab 1830 durchzusetzen. Die industrielle Revolution und der liberalistische Technik-Optimismus beginnen das geistige Bewußtsein der Zeit zu bestimmen. Während für die Romantik die Maschine etwas

Negatives war, wird die Maschine nun zum Gegenstand der Begeisterung und Bewunderung. Während die Dampfmaschine zunächst in der Fabrik versteckt war, beginnt sie als Eisenbahn ab 1830 das öffentliche Bewußtsein zu prägen. In dieser neuen Sichtweise wird die Natur selbst zu einer arbeitenden Maschine, deren Wirkungen mit dem Begriff der mechanischen Arbeit quantifiziert werden können. Thomson/Lord Kelvin erklärte: „The great principle of the conservation of energy teaches us that the material universe moves as a frictionless machine.“ Als Probe aufs Exempel wird bei Mayer und Helmholtz der lebende Organismus als arbeitende Maschine untersucht. Der zunächst so verwirrende Beitrag von Außenseitern bei der Formulierung des Energiesatzes wird vor diesem Hintergrund besser verständlich: Um eine neue Sichtweise der Natur zu explizieren, brauchte man kein ausgebildeter Physiker in einem renommierten Laboratorium zu sein. Freilich musste die neue Sichtweise dann in fachwissenschaftlich gängiger Form reformuliert werden.

Literatur:

- Breger, Herbert: *Die Natur als arbeitende Maschine*. Frankfurt/Main, New York 1982
- Breger, Herbert: Von der Erhaltung der Kraft zur Erhaltung der Energie, in: *Symposium 150. Jahrestag des Vortrags „Über die Erhaltung der Kraft“ von Hermann Helmholtz*. Preprint 130 des Max-Planck-Instituts für Wissenschaftsgeschichte, Berlin 1998, S. 23–33
- Ludvig Colding and the Conservation of Energy Principle*. Hrsg.: Dahl, New York 1972
- Helmholtz, Hermann von: *Wissenschaftliche Abhandlungen*. 3 Bände, Leipzig 1882–1895
- Joule, James Prescott: *Scientific Papers*. London 1884
- Kuhn, Thomas S.: Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery, in: *Critical Problems in the History of Science*, Hrsg.: Clagett, Madison 1959
- Mach, Ernst: *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*. Prag 1872
- Mach, Ernst: *Die Principien der Wärmelehre historisch-kritisch entwickelt*. Leipzig 1896
- Mayer, Robert: *Die Mechanik der Wärme in gesammelten Schriften*. Hrsg.: Weyrauch. Stuttgart 1893 (3. Auflage)
- Mayer, Robert: *Kleinere Schriften und Briefe*. Hrsg.: Weyrauch. Stuttgart 1893
- Planck, Max: *Das Princip der Erhaltung der Energie*. Leipzig 1887

Prof. Dr. Herbert Breger, Leibniz-Archiv, Waterloostr. 8, 30169 Hannover;
herbert.breger@zb.nlb-hannover.de