

Knie, Andreas

**Article — Digitized Version**

## Versiegelter Zeitgeist: Hauptsätze der Thermodynamik mit überschrittenem Verfallsdatum?

Wechselwirkung: Technik, Naturwissenschaft, Gesellschaft

**Provided in Cooperation with:**

WZB Berlin Social Science Center

*Suggested Citation:* Knie, Andreas (1992) : Versiegelter Zeitgeist: Hauptsätze der Thermodynamik mit überschrittenem Verfallsdatum?, Wechselwirkung: Technik, Naturwissenschaft, Gesellschaft, ISSN 0172-1623, proMedia, Berlin, Vol. 14, Iss. 54, pp. 13-17

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/112136>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



## WZB-Open Access Digitalisate

## WZB-Open Access digital copies

---

Das nachfolgende Dokument wurde zum Zweck der kostenfreien Onlinebereitstellung digitalisiert am Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH (WZB). Das WZB verfügt über die entsprechenden Nutzungsrechte. Sollten Sie sich durch die Onlineveröffentlichung des Dokuments wider Erwarten dennoch in Ihren Rechten verletzt sehen, kontaktieren Sie bitte das WZB postalisch oder per E-Mail:

Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH  
Bibliothek und wissenschaftliche Information  
Reichpietschufer 50  
D-10785 Berlin  
E-Mail: [bibliothek@wzb.eu](mailto:bibliothek@wzb.eu)

The following document was digitized at the Berlin Social Science Center (WZB) in order to make it publicly available online.

The WZB has the corresponding rights of use. If, against all possibility, you consider your rights to be violated by the online publication of this document, please contact the WZB by sending a letter or an e-mail to:

Berlin Social Science Center (WZB)  
Library and Scientific Information  
Reichpietschufer 50  
D-10785 Berlin  
e-mail: [bibliothek@wzb.eu](mailto:bibliothek@wzb.eu)

---

Digitalisierung und Bereitstellung dieser Publikation erfolgten im Rahmen des Retrodigitalisierungsprojektes **OA 1000+**. Weitere Informationen zum Projekt und eine Liste der ca. 1 500 digitalisierten Texte sind unter <http://www.wzb.eu/de/bibliothek/serviceangebote/open-access/oa-1000> verfügbar.

This text was digitizing and published online as part of the digitizing-project **OA 1000+**. More about the project as well as a list of all the digitized documents (ca. 1 500) can be found at <http://www.wzb.eu/en/library/services/open-access/oa-1000>.

Versiegelter Zeitgeist:

# Hauptsätze der Thermodynamik mit überschrittenem Verfallsdatum?

von Andreas Knie

Der Technikhistoriker Wilhelm Bredow mutmaßte bereits in einem Aufsatz über die "Technik der Gegenwart", geschrieben in der Zeit der Jahrhundertwende, daß es wohl "wenigstens auf einige Zeit hinaus das Schicksal des 20. Jahrhunderts" sei, die großen Ideen zum vollen Ausleben zu gestalten", die das 19. Jahrhundert "noch vor seinem Hinscheiden, man möchte sagen zuletzt in überstürzter Eile aufgeworfen hat".<sup>1</sup> Zu den elementaren technikkissenschaftlichen Grundlagen, deren Entstehungs- und Prägezeit bis weit ins 19. Jahrhundert zurückreicht, gehört beispielsweise auch die Thermodynamik.

Unter dem Begriff Thermodynamik versteht man heute eine allgemeine Energielehre, die insbesondere die unterschiedlichen Energieformen unterscheidet, die gegenseitige Verknüpfungen in den Energiebilanzen sowie die Bedingungen und Grenzen für die Umwandlung der verschiedenen Energieformen bei natürlichen und bei technischen Prozessen zeigt. Kennzeichnend für die Aussagen der Thermodynamik ist eine Allgemeingültigkeit, die an keine Voraussetzungen über die Eigenschaften eines speziellen Systems und auch nicht an besondere Vorstellungen über den molekularen oder atomischen Aufbau der Materie gebunden sind.

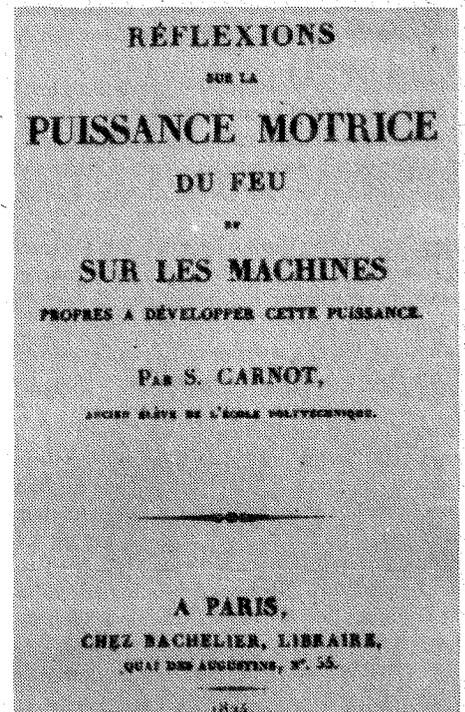
Die Thermodynamik nimmt damit den Rang einer "grundlegenden Technikwissenschaft" für alle Bereiche der Energietechnik ein. Hierzu gehören Planung, Errichtung und Betrieb von Kraftwerken, der Bau von Verbrennungsmotoren und Flugtriebwerken genauso wie die Kälte-, Klima- und Heizungstechnik.<sup>2</sup>

Mit der Formulierung der thermodynamischen Hauptsätze sind daher nicht nur Eckpunkte der konstruktiven Tätigkeit markiert, sondern auch die Räume der gedanklichen Mobilität definiert. Bedenkenswert erscheint dieser Umstand, wenn man sich vor Augen hält, daß diese beiden ersten Hauptsätze der Thermodynamik sozusagen den

Geist des 19. Jahrhunderts in sich tragen. Sie bauen auf konstruktive Gegebenheiten auf, die den technischen Gegebenheiten des frühen 19. Jahrhunderts entsprechen und vielleicht für die damalige Zeit eine adäquate Lösung energietechnischer Probleme boten, nun aber, in versiegelter Form weiter fortgeschrieben werden. Die Suche nach Übersichtlichkeit und Ordnung hat dazu geführt, daß in den technikkissenschaftlichen Theoriegebäuden eine Art "Dampfmaschinen-Blick" eingeschrieben wurde, der auch heute noch in den Annalen der Technik- und Naturwissenschaften zu den allgemeingültigen und eben nicht mehr hinterfragbaren Wahrheiten gehört.

## Sadi Carnot

Wir beginnen unsere kleine Exkursion mit Sadi Carnot, dem Sohn des Kriegsministers und Onkel des Präsidenten der Republik Frankreich. Erstmals versuchte ein Gelehrter mit wissenschaftlichen Methoden die wärmetechnischen Aspekte der Kolben-Dampfmaschine zu erfassen, analytisch zu deuten und darauf aufbauend konkrete Konstruktionsvorschläge für höhere Wirkungsgrade zu entwickeln. Seine 1824 geschriebenen, aber erst gut zehn Jahre später vom Franzosen Clapeyron wieder in Erinnerung



Das Titelblatt von Carnots im Jahre 1824 publizierten "Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen".

gerufenen "Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance" (Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen) sollten später zu einem theoretischen Grundpfeiler der "klassischen" Thermodynamik werden.

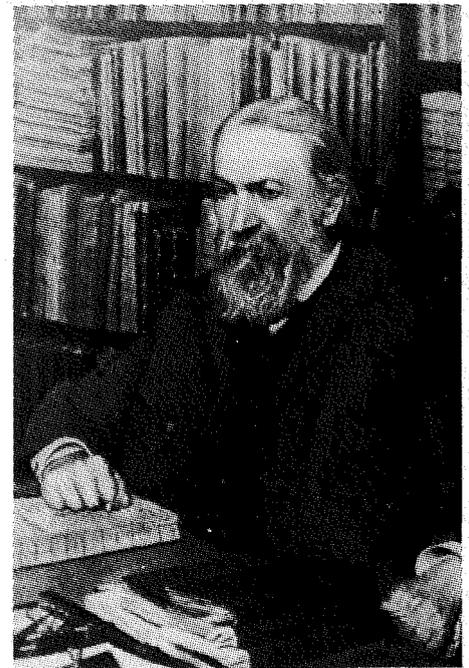
Carnot ging bei seinen Überlegungen davon aus, daß die Dampfmaschinen einen bereits beachtenswerten technischen Standard erreicht hätten und Wärmekraftmaschinen daher ganz generell auch in Zukunft ein zentraler Stellenwert eingeräumt werden müsse. Andere technische Möglichkeiten der Energiegewinnung nahm er gar nicht ins Kalkül. Carnot deutete nun den Arbeitsprozeß dieser Maschine als einen Ausgleich unterschiedlichen "Wärmegefälles". "Überall, wo ein Temperaturunterschied besteht, kann die Erzeugung von bewegender Kraft stattfinden". Hinter diesen Überlegungen steckte die Vorstellung von der Existenz eines "Wärmestoffes", ein denkökonomisches Hilfsmittel, um die chemisch-physikalischen Prozesse einer Wärmekraftmaschine mit Analogien zu Wasserkraftmaschinen erklären zu können. Kraft ist daher nach Carnot bei den Dampfmaschinen nicht "auf einen wirklichen Verbrauch des Wärmestoffes zurückzuführen, sondern auf seinen Übergang von einem heißen Körper zu einem kalten". Wie die "Wassermenge, die den Untergraben verläßt, genau der Wassermenge gleich ist, die vom Obergraben aus das Wasserrad beaufschlagt" schloß Carnot, ist "auch die Wärmemenge, die vom Dampfe nach erfolgter Arbeitsleistung an den Kondensator abgegeben wird, genau gleich der vom Dampf im Kessel aufgenommenen Wärmemenge". Als "Grundsatz" bei der Konstruktion von Wärmekraftmaschinen formulierte er als notwendige Bedingung für einen hohen thermischen Wirkungsgrad, "daß an den zur Gewinnung von bewegender Kraft aus Wärme benutzten Körpern keine Temperaturänderung stattfindet, welche nicht durch Volumenänderung bedingt ist". Ein von ihm entwickelter "idealer Kreisprozeß" gab Hinweise, wie in einem zylindrischen Gefäß ein theoretisch maximaler Wirkungsgrad durch einen Wechsel von adiabatischen, d.h. gegenüber Wärmeübergängen isolierten zu isothermischen, d.h. bei gleicher Temperatur verlaufenden Arbeitsphasen erreicht werden konnte. Technisch sollte dieser Prozeß so verlaufen, daß während des Einschubbens des Kolbens die Temperatur konstant blieb und sich nur Druck und Volumen änderten, um die bei der Verbrennung entstehende Wärme durch den ausschubenen Kolben isothermisch in Arbeit umzusetzen. Nur unter diesen Bedingungen schien Carnot ein optimaler Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine möglich.

Der "ideale Kreisprozeß" war also aus einer sehr selektiven Problemsicht heraus entwickelt und auf eine wissenschaftliche

Bearbeitung und Deutung der thermischen Prozesse von Wärmekraftmaschinen konzentriert worden. Fragen nach der Konstruktion der mechanischen Triebwerksteile behandelte Carnot nur insoweit, als seine Überlegungen an die Existenz eines zylindrischen Raumes und eines ein- und ausschubenden Kolbens gebunden waren. Ihn interessieren mögliche Probleme mechanischer Reibungsverluste auch gar nicht, und er beschränkte sich auf allgemeine Anweisungen, daß man "darauf achten (müsse)", daß die "elastische Kraft der Luft größer und somit die durch die Ausdehnungsbewegung hervorgebrachte bewegende Kraft beträchtlicher (ist) als die, welche zur Erzeugung der Compressionsbewegung verbraucht worden ist" (Carnot, 1824: 21). Sollten die Prozesse aber praktisch nicht unendlich langsam verlaufen, hätte man die mechanischen Reibungsverluste des ja notwendigen, aber im "idealen Kreisprozeß" nicht berücksichtigten mechanischen Triebwerks einkalkulieren müssen.<sup>3</sup>

### Die Sehnsucht nach einer metaphysischen Grundkraft

Daß Carnots Überlegungen später überhaupt als grundlegender Lehrstoff in den Technischen Hochschulen auftauchte und als theoretisch-konzeptionelle Leitschnur der Technikwissenschaften wirken konnten, lag daher auch nicht in der praktischen Brauchbarkeit seiner Vorschläge. Hier hatte sich vielmehr - wie es Ernst Mach feinsinnig formulierte - zum ersten Mal "das technische Interesse mit dem Bedürfnisse nach wissenschaftlicher Klarheit" vereinigt. Die zunächst zwar zögerliche, dann aber umso intensiver einsetzende Rezeption der Carnot-Schrift in den naturwissenschaftlichen Disziplinen ist nämlich vor allem dem Umstand zu verdanken, daß Carnots Überlegungen in eine Zeit genereller und sehr grundlegender Veränderungsprozesse hineinreichten, die zu Beginn des 19. Jahrhunderts eine disziplinübergreifende Suche nach neuen Denkstrukturen und ordnenden Theoriegebäuden einleitete. Carnots Interpretationen und konstruktive Handreichungen waren ja davon ausgegangen, daß hinter den einzelnen Umwandlungsschritten im Arbeitsprozeß einer Wärmekraftmaschine offensichtlich eine konstante Kraft stecke, die grundsätzlich weder vermehrt oder verbraucht werden könne und nur ihre Erscheinungsform verändert. Damit hatte der französische Gelehrte aber einen Punkt getroffen, der viele seiner Forscherkollegen ebenfalls beschäftigte: die Suche nach einer Grundkraft, auf die sich alle physikalischen und chemischen Prozesse zurückführen lassen. Die wissenschaftlichen Vertreter der Frühromantik, Baader, Ritter und Schelling, hatten immer wieder von einem inneren Zusammenhang aller Erscheinungen gesprochen und gehofft, einmal alle



Ernst Machs (Bild) Äußerungen machen die große Wirkung von Carnots idealem Kreisprozeß auf die Technikwissenschaften klar:

Carnot hatte zum ersten Mal "das technische Interesse mit dem Bedürfnisse nach wissenschaftlicher Klarheit" vereinigt.

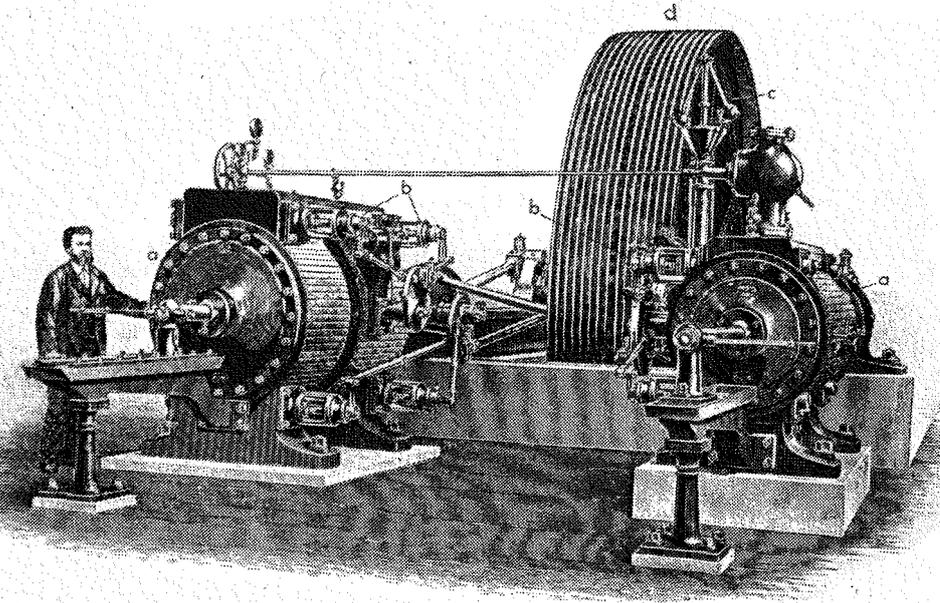
Phänome in der organischen und anorganischen Welt im Rahmen der Naturphilosophie auf ein gemeinsames "Urphänomen" zurückzuführen. Eine Perspektive, die für die Naturforscher - wie Hans Schimank formulierte - "trotz allen spekulativen Charakters" doch in dieser Zeit "viel Bestechendes" hatte. Die in den Laboratorien entdeckten neuen Prozesse bildeten nach und nach ein Netz, das schließlich die neuerdings entwickelten experimentellen Bereiche der Physik mit ihren älteren Zweigen wie der Mechanik verknüpfte. Die dabei sichtbar werdenden Zusammenhänge zwischen Chemie, Wärmelehre, Elektrizität und Magnetismus, 1847 von Joule als "Umwandlungen" gedeutet, inspirierten die zeitgenössischen Denker, den seit langem gehegten Wunsch, in einer Art "Grundgesetz", ein disziplinübergreifendes Deutungsmuster zur Hand zu haben, nun mit vereinten Kräften umzusetzen. "Wenn alle elementaren Kräfte Bewegungskräfte, alle also gleicher Natur sind, so müssen sie alle nach dem gleichen Maße, nämlich dem Maße der mechanischen Kräfte, zu messen sein", faßte Helmholtz die Grundannahme zusammen. "Und daß dies der Fall sei, ist in der Tat schon als erwiesen zu betrachten. Das Gesetz, welches dies ausspricht, ist unter dem Namen des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft bekannt". Für Helmholtz wie für viele seiner zeitgenössischen Forscher wie Coldings, Liebig, Mayer, Mohr oder Séguin galt die Formulierung von "Gesetzen" und die Begründung kausaler Zusammenhänge

überhaupt als Maßstab aller Dinge in den Naturwissenschaften. Die Suche nach möglichst allgemeingültigen Aussagen war so etwas wie eine "metaphysische Grundkraft", die Ordnung in die chaotischen Naturerscheinungen bringen sollte und eine Verständigung über Bedingungen der Beobachtung, des Messens und Deutens festlegte. "Es war klar, daß feste Gesetze der Erscheinung zu suchen waren", und der geniale Trick der modernen Naturwissenschaften ist ja schließlich der aufzuzeigen, daß es "Beispiele genug (gab), daß solche Gesetze sich finden ließen". In ähnlicher Weise äußerte sich James Prescott Joule über die kognitive Funktion von "Gesetzen", einer der "Erfinder" des mechanischen Wärmeäquivalents. "Auf diese Weise wird Ordnung im Universum aufrechterhalten - nichts wird gestört, nichts geht jemals verloren, sondern die ganze Maschinerie, so kompliziert sie auch ist, funktioniert reibungslos und harmonisch". Noch Ende der 80er Jahre betrachtete es der Physiker Ludwig Boltzmann als seine "Lebensaufgabe", durch eine möglichst klare, logisch geordnete Ausarbeitung der Resultate der alten klassischen Theorie, "soweit es in meiner Kraft steht, dazu beizutragen, daß das viele Gute und für immer Brauchbare, das meiner Überzeugung nach darin enthalten ist, nicht einst zum zweiten Mal entdeckt werden muß".

Diese von Helmholtz und Joule gesuchte Ordnung und das nach Boltzmann für "immer Brauchbare" wurde als "Erster Hauptsatz der Thermodynamik" schließlich in den Annalen der Naturwissenschaft festgeschrieben: Die Gesamtenergie in einem geschlossenen System, die Summe aus mechanischer, chemischer, thermischer, elektrischer oder potentieller Energie ist immer konstant. Diese Vorstellung von der Erhaltung der Energie hatte nicht nur den ökonomischen und diskurstechnischen Vorteile, sondern entsprach sogar religiösen Bedürfnissen. Lord Kelvin sah durch die Formulierung des Gesetzes der Erhaltung der Energie nun auch streng wissenschaftlich bewiesen, was er immer schon glaubte, daß Gott die Welt bei der Schöpfung mit einem bestimmten Energievorrat ausgestattet habe, und daß dieses göttliche Geschenk ewig fortwähren würde.<sup>4</sup>

Aber kaum war der in der Aussage etwas zu metaphysisch geratene Hauptsatz von der Erhaltung der Energie formuliert, bedurfte er der dringenden Ergänzung, sollte das bisherige Erfolgsmodell der Naturwissenschaften, die Übereinstimmung von Theorie und empirischer Beobachtung, weiterhin bestehen bleiben. Es stand ja ganz außer Frage - und die praktischen Probleme des Kraftmaschinenbaus zeigten dies überdeutlich, daß bei den Umwandlungsprozessen der Energie offenbar doch etwas "verloren" ging und die eingesetzte Energiemenge immer nur zu einem geringeren Teil praktisch verwertet werden konnte. Für die Theoriebildung entstand

damit das Problem, wie man aus der Gedankenwelt der mechanischen Gesetze, die immer von einer prinzipiellen Umkehrbarkeit aller Prozesse ausgingen, herauskommen und Erscheinungen der Irreversibilität integrieren konnte. "Wie läßt sich beschreiben, was in einer realen Maschine geschieht? Wie können die Verluste in die Energiebilanz einbezogen werden?" Dies waren Fragen, die dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik den Weg ebneten. Anfang der 50er Jahre des 19. Jahrhunderts von William Thomson (dem späteren Lord Kelvin) zum ersten Mal formuliert, später um den Begriff der "Entropie" von Rudolf Clausius ergänzt, geriet dieser Zweite Hauptsatz kaum weniger allgemein und spiegelte gleichfalls eine deutliche Affinität zu kosmologischen Erklärungsbezügen des damaligen naturwissenschaftlichen Denkens wider. Clausius erinnerte zunächst an Carnots Problem, einen empirisch zweifelsfrei meßbaren "Verlust" an Arbeitskraft beim Übergang der Wärme von einem heißen auf einen kalten Körper in einen "idealen", d.h. verlustfreien, umkehrbaren Kreisprozeß zu integrieren. Aber er teilte dabei nicht die von anderen Zeitgenossen geäußerte Befürchtung einer Unvereinbarkeit mit dem geliebten Erhaltungssatz. "Denn wenn man auch in der bisher gebräuchlichen Vorstellungsweise einiges ändern muß, so kann ich doch mit erwiesenen Tatsachen nirgends einen Widerspruch finden", beruhigte Clausius seine Forscherkollegen. "Es ist nicht einmal nötig, die Carnot'sche Theorie dabei ganz zu verwerfen, wozu man sich gewiß schwer entschließen würde". Bei näherer Betrachtung schloß Clausius, daß nicht das eigentliche Grundprinzip von Carnot, sondern "nur der Zusatz, daß keine Wärme verloren gehe, der neuen Betrachtungsweise entgegenstehe", da ja offenkundig beides geschehe, Wärme würde verbraucht, aber auch überführt. Um die strukturstiftende Kraft der bisherigen Erklärungsfiguren nicht zu verlieren, integrierte Clausius die Beobachtungen in das alte Denkgebäude und bügelte damit die aufgetretenen Falten im Theoriegebäude wieder glatt: Erstens: Die Energie der Welt bleibt konstant, und zweitens: Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu. Dieser Zweite Hauptsatz besagt, daß die Wärmeprozesse stets nur in eine Richtung, von einem höheren zum niederen Niveau verlaufen, also Wärme nicht von einem Körper niedriger Temperatur in einen Zustand höherer Temperatur übergeht. Energie zerfällt zu Entropie, Gefälle werden ausgeglichen, Niveaus kommen einander näher, aus Konzentration wird Zerstreuung, aus Nutzbarem wird Unnützes. Thermodynamisch gesehen wird daher Energie auch gar nicht verbraucht, sondern zerstreut und ist damit nur technisch nicht mehr verfügbar. Während der Erste Hauptsatz also die grundsätzliche Erhaltung der Energie und den Wechsel der Erscheinungsform postuliert, wird im Zweiten Satz ergänzt, daß freilich die "Qua-



**Ursache des starren Blicks auf die Dampfmaschine: die "kognitive Grundformatierung" der IngenieurInnen durch die Hauptsätze der Thermodynamik.**

lität" der Energie dabei immer schlechter wird.

Während die Mechanik Newtons die Welt noch als eine riesige Uhr interpretierte, in der exakt formulierte Gesetze eine vollständige Voraussage und Berechnung zukünftiger Zustände des Universums ermöglichen, betrat die Thermodynamik mit dem Zweiten Hauptsatz zum ersten Mal den Boden der Irreversibilität. Nur eine Richtung ist möglich. Das Weltall strebt unausweichlich dem "Wärmetod" zu! "Wenn nämlich die Rückverwandlung der Wärme in Arbeit oder, was dasselbe bedeutet, in die lebendige Kraft bewegter Massen gar nicht oder nur teilweise möglich ist, und wenn umgekehrt alle Vorgänge in der Natur sich so abspielen, daß ein mehr oder weniger großer Betrag von Arbeit sich in Wärme, also wie man es auch bezeichnen kann, in degradierte Energie umsetzt, so geht alles Geschehen im Weltall in der Richtung vor sich, daß eine derartige Degradation immer mehr um sich greift, und daraus folgt, daß alle Spannkkräfte, die noch Arbeit leisten könnten, verschwinden und somit alle sichtbaren Bewegungen im Weltall schließlich aufhören müßten". Ernst Mach sah in solch gewagten Extrapolationen mehr Elemente der Scholastik und fragte nach den "wissenschaftlichen Zwecken eines solchermaßen aus den Fugen geratenen Energiebegriffs". Einen Sinn konnte er in den Hauptsätzen "höchstens in formalen Bedürfnissen" entdecken. Aber selbst der Chemiker und Nobelpreisträger Walter Nernst nahm den kosmologischen Gültigkeitsanspruch der beiden Hauptsätze der Thermodynamik - insbesondere hinsichtlich der technischen Bedingungen - sehr ernst: "Die Richtigkeit dieser Schlußweise ist unbestreitbar, und es muß von vornherein als ganz ausgeschlossen erklärt werden, daß etwas durch Kombination von Diffusion, Wärmeleitung, Attraktion von Massen, wo-

bei stets sich etwas sichtbare lebendige Kraft in Wärme umsetzen muß, von elektrischen Prozessen, überhaupt von Vorgängen, die dem Zweiten Wärmesatz im einzelnen sämtlich unterworfen sind, ein Resultat bei richtiger Rechnung sich ergeben kann, daß mit obiger Gesamtforderung des Zweiten Wärmesatzes in Widerspruch sich befände".<sup>5</sup>

**Die Hauptsätze der Thermodynamik als "Oberste Polizeibehörde" der Technikentwicklung**

Die aus dem Bedürfnis nach strukturierter Problemsuche und theoretischer Ordnung formulierten Hauptsätze der Technischen Thermodynamik fielen im Prozeß der Verwissenschaftlichung und Akademisierung der technischen Arbeit auf sehr fruchtbaren Boden. Ein widerspruchsfreies und mit kosmologischen Erklärungsbezügen recht attraktives Deutungsmuster konnte sich sehr schnell als eine Art "kognitive Grundformatierung" in Lehre und Forschung des Theoretischen Maschinenbaus etablieren und gehörte zusammen mit der allgemeinen Thermodynamik spätestens seit Anfang der 70er Jahre des 19. Jahrhunderts zum festen Ausbildungskanon der Ingenieure und Techniker. Gustav Zeuners "Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie" erschien erstmals 1860 und wurde später unter dem Titel "Technische Thermodynamik" noch mehrmals aufgelegt; der erste Band des umfangreichen Werks "Theoretischer Maschinenbau" von Franz Grashof mit viel Raum für die "mechanische Wärmetheorie" wurde 1875 veröffentlicht.

Die Bedeutung und die Tragweite der Thermodynamischen Hauptsätze gründete sich auch weiterhin weniger auf konkrete

praktische Handreichungen für diese oder jene Konstruktionsform als vielmehr auf die Vermittlung eines ganz grundsätzlichen "Dampfmaschinen-Blicks" im Kraftmaschinenbau. Obwohl die Thermodynamik einen wesentlichen Teil ihrer Existenz ja gerade der Suche nach einer praktischen Verbesserung der Kolben-Dampfmaschine verdankte, wurden die grundlegenden Mängel und Widerigkeiten dieser zeitgenössischen Technik, angetrieben vom Bedürfnis nach strukturierten Interpretationsmustern und der Suche nach universeller Gültigkeit, in die Formulierung der Hauptsätze aufgenommen und "festgeschrieben". Damit war es schon fast ausgeschlossen, daß grundsätzlich über andere technische Verfahren der Energiegewinnung nachgedacht werden konnte. "Die Hauptsätze der Thermodynamik zerstören den Traum von einer besseren Technik", denn die Suche nach Alternativen, nach Wegen, die nicht dem einzementierten Prinzip folgten, chemisch gebundene in mechanisch verwertbare Energie zu verwandeln, wurde mit dem Verlust denkökonomischer Vorteile bestraft. "The steam engine, by which I mean the old-fashioned piston engine, and I mean the whole power plant, including boiler and condenser", bemerkte der amerikanische Technikhistoriker Bryant, "this species dominated men's minds as well as the economy. It provided the experience that educated the engineer and the concepts that he used in thinking about other forms of engines". Dabei war sich selbst Sadi Carnot über den mangelhaften technischen Referenzrahmen seines "idealen Kreisprozesses" durchaus bewußt gewesen und hatte einschränkend vermerkt, daß die "Phänomene der Erzeugung von Bewegung durch Wärme" noch gar nicht "unter einem hinlänglich allgemeinen Gesichtspunkt betrachtet" worden seien und an den damaligen Kolben-Dampfmaschinen "das Phänomen sozusagen, (nur) verstümmelt und unvollständig" gezeigt werden könne. So wurde "diese eine Kraftmaschine, die Dampfmaschine, die Mutter der Legion von Arbeitsmaschinen, damit aber auch zugleich Herrin der Situation", bemerkte der scharfzüngige Kritiker Franz Reuleaux schon Mitte der 80er Jahre des 19. Jahrhunderts.<sup>6</sup>

Die weitere technische Entwicklung sollte sich auf der Basis dieser "kognitiven Grundformatierung" abspielen, die einen grundsätzlichen Wechsel der konstruktiven Prinzipien ausschloß, Voraussetzungen für eine hochselektive und damit produktive, aber eben auch eindimensionale technische Entwicklung. Die Technische Thermodynamik, wie sie bis heute gelehrt wird, inkorporierte und pflegte damit ein Maschinenbild des ausgehenden 18. Jahrhunderts. Denn die im Rahmen dieser mechanischen Wärmelehre entwickelten theoretischen Grundlagen verlangen eine exakte Vorstellung von den physikalischen Objekten. Die der Forschungsarbeit vorausgehende Systemdefini-

tion, ein Paket von Annahmen, ohne die überhaupt kein Gesetz formuliert werden kann, setzt des weiteren eine Reihe sogenannter makroskopischer Parameter wie Temperatur, Druck, Volumen usw. voraus, deren mechanische, thermische oder chemische Wirkungsweise immer an die Existenz ganz bestimmter Maschinenelemente wie Zylinder und Kolben gebunden ist. Und so bestimmt die "klassische" oder "phänomenologische" Thermodynamik noch heute die Energietechnik, da sie weiterhin die "ordnenden Beziehungen" zwischen den makroskopischen Eigenschaften der einzelnen Stoffe und Gemische in ihren Gleichgewichtszuständen liefert". Die Darstellung zentraler Begriffe, Kategorien und Erklärungsfiguren, wie beispielsweise eine isothermische oder adiabatische Zustandsveränderung, wird auch heute noch mit Hilfe von Diagrammen eines sogenannten Indikators dargestellt, einer Vorrichtung, die zur Sichtbarmachung der im Inneren des Zylinders ablaufenden Prozesse konstruiert wurde und die sich trotz großer Unzulänglichkeiten auch in der späteren Entwicklung der Wärmekraftmaschinen noch großer Beliebtheit erfreute und bis heute in den Standardwerken der Ingenieurausbildung zu finden ist.<sup>7</sup>

Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß auch außerhalb des weitgespannten Netzes der Technikwissenschaften und in Unkenntnis des Ersten und Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik Überlegungen zur Konstruktion von Kraftmaschinen angestellt wurden. Die Idee, als künstliche Energiequellen ausschließlich Wärmekraftmaschinen zu verwenden, ergab sich keineswegs von selbst, auch die Wahl des Dampfes als Arbeitsmedium war ebenfalls nur eine Option unter vielen anderen; die Konstruktionsform eines Zylinders mit ein- und ausschließenden Kolben, Pleuelstangen und Pleuelwellen war zwar bestehend einfach in Verständnis und Handhabung, aber unter kinematischen Gesichtspunkten kaum akzeptabel. Die wenigen Konstruktionsvorschläge, die heute überhaupt noch bekannt sind, der kolbenlose "Pulsometer", auch der als Alternative zum Otto- und Dieselmotor immer wieder gern zitierte "Stirlingmotor", konnten in den zeitgenössischen Diskursen nicht dauerhaft etabliert werden, da schon die Funktionsprinzipien nicht verstanden und das Leistungsvermögen dieser Techniken mit der herrschenden Meßtechnik nicht erfaßt werden konnte. Durch die Zusammenarbeit von Thermodynamik und der Lehre und Forschung des Maschinenbaus gelang die Formulierung und Institutionalisierung grundsätzlicher Regeln des Wärmekraftmaschinenbaus, denen mit dem Indikator und dem mechanischen Wärmeäquivalent Untersuchungsmethoden, Berechnungsmodelle und Bewertungskriterien zur Verfügung standen und auf deren Strukturierungsvorteile später selbst Verfechter eher unkonventioneller Methoden und Konstruktionsformen

nicht verzichten wollten. "Die Thermodynamik zeigt in klarer und unanfechtbarer Weise den Weg an, wie man zu einer hohen Ausbeutung des Brennstoffs gelangt", erklärte der Aachener Professor und spätere Dessauer Flugzeug- und Motorenbauer Hugo Junkers bei der Vorstellung eines vom "herrschenden Stand der Technik" abweichenden Konstruktionsvorschlags.<sup>8</sup>

Eine dauerhafte Etablierung einer energietechnischen Linie außerhalb dieser "kognitiven Grundformatierung" gelang im Verlaufe des 19. Jahrhunderts nicht mehr und ist auch im 20. Jahrhundert undenkbar geworden, denn diese, Strukturierungsleistung muß, wenn sie erhalten bleiben soll, auch verteidigt werden. Es ist daher kaum verwunderlich, daß die Thermodynamischen Hauptsätze - auch heute noch - von den Technikwissenschaftlern und Ingenieuren wie ein Augapfel gehütet werden, um das für die Arbeit funktionsnotwendige stabile theoretisch-konzeptionelle Fundament zu bewahren. Der kompromißlose Nachweis der Verträglichkeit mit dem, aus dem 19. Jahrhundert stammenden, Theoriegebäude dient immer noch als "Gretchen-Frage" für alle alternativen Lösungsvorschläge. Der Experimentalphysiker Walter Gerlach sprach den Hauptsätzen sogar die Funktion einer "obersten Polizeibehörde zu": Sie entscheiden, "ob ein Gedankengang erlaubt oder von vornherein verboten ist". Ganz praktisch wird auch heute noch Konzepten, die sich nicht nach den beiden Hauptsätzen richten, die Anerkennung von Patentschutzrechten verweigert. Stigmatisiert als "Perpetuum Mobile" werden solche Konzepte in den fachwissenschaftlichen Erörterungen erst überhaupt nicht ernst genommen.<sup>9</sup>

Die weitere technische Entwicklungsarbeit im Kraftmaschinenbau war unter den Voraussetzungen des konsolidierten Wissensstandes zum Ende des 19. Jahrhunderts bereits hochgradig bedingungs- und voraussetzungsvoll. Ein kognitives Orientierungsmuster hatte die Denkprozesse einer Grundformatierung unterzogen und Selektionsmuster konstituiert, die nun für die richtige "Passung" neuer Ideen und Überlegungen mit dem bereits etablierten Wissensstand sorgten. Mit der Thermodynamik blieben damit Regelwerke über das "Verfallsdatum" hinaus erhalten und die maschinellen und konstruktiven Zwänge des 19. Jahrhunderts wurden zu Lehrformeln des 20. Jahrhunderts. Denn der Erfolg der Thermodynamik, ein gut strukturiertes und konsolidiertes Theoriegebäude anbieten zu können, führte auf der anderen Seite dazu, daß es bisher noch zu keiner kritischen Bestandsaufnahme der in den Hauptsätzen festgeschriebenen Prämissen gekommen ist.

Ohne ein solches Projekt ist die Suche nach neuen Wegen der Energieversorgung aber von vornherein begrenzt. Hans Schimank hat in seiner Abhandlung zur Geschichte des Energieprinzips bereits Anfang

der 30er Jahre darauf hingewiesen, daß naturwissenschaftliche Begriffe und Denkformen eigentlich einem Wandel unterliegen sollten. "Geschaffen, um dem Menschen zu dienen", werden sie aber "zu Tyrannen, wenn eine Zeit mehr in ihnen erblickt als bloße Werkzeuge und Behelfe". Denn sobald sich "im Laufe der geistigen Entwicklung die Notwendigkeit ergibt, Begriffe zu stürzen", schrieb Schimank, diese dann aber vielmehr "zu wahren Idolen erhoben, gepflegt und geschützt werden", dann - und hier ist Schimanks These hochaktuell - "droht der Modernisierungsprozeß zu blockieren".<sup>10</sup>

*Dr. rer. pol. Andreas Knie ist Mitarbeiter des Wissenschaftszentrums Berlin für Sozialforschung GmbH. Seine Forschungsschwerpunkte sind Technik, Arbeit und Umwelt.*

#### Anmerkungen:

- 1 Bredow, W., Die Technik der Jahrhundertwende, in: Die Gegenwart, Nr. 1, 1900, S. 8
- 2 Baehr, H.D., Thermodynamik, Berlin 1988, S. 8
- 3 Carnot, S., Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen, Leipzig 1892 (1824), S. 8ff.; Schimank, H., Die Geschichte des Energieprinzips, in: Beiträge zur Geschichte der Technik, 22, 1930, S. 41; Varchim, J. / Radgau, J., Kraft, Energie, Arbeit, Reinbek 1984 (1981), S. 150
- 4 Mach, E., Über das Prinzip der Erhaltung der Energie (1896), in: Mach, E., Populärwissenschaftliche Vorlesungen, Wien 1987 (1923), S. 192; Schimank, a.a.O., S. 39; Kuhn, Th., Die Erhaltung der Energie als Beispiel gleichzeitiger Entdeckungen (1959), in: Kuhn, Th., Die Entstehung des Neuen, Frankfurt 1977, S. 128/144; Prigogine, I. / Stengers, I., Dialog mit der Natur, München 1986, S. 116f; Helmholtz, H., Über die Entwicklungsgeschichte der neueren Naturwissenschaften (1869), in: Autrum, H.J. (Hg.): Von der Naturforschung zu Naturwissenschaft, Berlin 1987, S. 41/47; Boltzmann, L., Über die Entwicklung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit (1889), in: Autrum, a.a.O., S. 211; Atkins, P.W., Wärme und Bewegung. Die Welt zwischen Ordnung und Chaos, Heidelberg 1986 (1984), S. 8
- 5 Clausius, R., Über die bewegende Kraft der Wärme (1850), in: Meyenn, K.v. (Hg.): Lust an der Erkenntnis: Triumph und Krise der Mechanik, München 1990, S. 424; Mach, a.a.O., S. 209/215; Nernst, W., Zur neueren Entwicklung der Thermodynamik, in: Autrum, a.a.O., S. 343ff
- 6 Schütze, Ch., Das Grundgesetz vom Niedergang, München 1989, S. 7; Bryant, L., Thermodynamics and the Heat-Engines, in: Technology and Culture, 17, 1976, S. 152; Carnot, a.a.O., S. 6; Reuleaux, F., Die Maschine und die Arbeiterfrage, Minden 1885, S. 10
- 7 vgl. "Hütte", Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften, hrg. v. H. Czichos, Berlin 1989, S. B74/F2
- 8 Junkers, H., Studien und experimentelle Arbeiten zur Konstruktion meines Gegenkolbenmotors, in: Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 13, 1912, S. 265
- 9 Witt, A.; Das Galilei-Syndrom, München 1991, S. 276; Kirchoff, J., Perpetuum Mobile und Klima-Katastrophe, in: raum & zeit, Heft 45/1990, S. 82ff sowie Heft 46/1990, S. 72ff.
- 10 Schimank, a.a.O., S. 46