

6. *Gegen die neuere Energetik; von Max Planck.*

Bald nach der Entdeckung des mechanischen Wärmeäquivalents durch R. Mayer und J. G. Joule, im Jahre 1853, veröffentlichte der englische Physiker W. J. M. Rankine¹⁾ einen Aufsatz „On the general law of the transformation of energy“, in welchem er den Versuch machte, durch Eintheilung der Energie in verschiedene Formen und Zerlegung einzelner derselben in zwei Factoren das Carnot'sche Princip zu einem allgemeinen Gesetz zu erweitern, welches sämtliche Naturvorgänge umfassen sollte. Er liess später seiner Arbeit noch mehrere andere über dasselbe Thema folgen, doch weder ihm noch einem anderen Physiker gelang es, mit dieser Methode nennenswerthe Resultate zu erzielen, sodass sie keine allgemeinere Beachtung fand und schliesslich ziemlich in Vergessenheit gerieth. Auf geraume Zeit blieb es dann mit dieser von Rankine als Energetik bezeichneten Richtung ganz stille. Inzwischen formulirte Clausius seinen „zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie“, entdeckte im weiteren Verfolg seiner Untersuchungen den Begriff der Entropie, und nun begann eine lange Reihe fruchtbarer Anwendungen dieses Satzes, durch Clausius selber, Lord Kelvin, Gibbs, v. Helmholtz u. A., — Anwendungen, die auf den verschiedensten Gebieten der Physik und Chemie neues Licht über die wechselseitige Abhängigkeit der Erscheinungen verbreitet haben und durch die Erfahrung ausnahmslos bestätigt worden sind.

Nachdem nun so durch eine Anzahl ausgezeichneter Arbeiten die denkbar festeste Grundlage für eine solide Weiterbildung der thermodynamischen Principien geschaffen worden war, ist in neuerer Zeit die Energetik, unabhängig von Rankine, aber im wesentlichen von denselben Ideen ausgehend, wiederum auf den Plan getreten, indem sie die in der Thermodynamik gefundenen Sätze von einem veränderten, scheinbar universelleren, Standpunkt aus betrachtet und sie dann mit so

1) Rankine, Phil. Mag. (4) 5. p. 106. 1853.

einfachen Mitteln ableitet, dass man ihren Inhalt ohne erhebliche Mühe sozusagen direct hinschreiben kann. Weiter aber erhebt sie sich vermöge ihrer allgemeineren Methodik hoch über die bisher auf den einzelnen Gebieten der Physik ausgebildeten Theorien, sie verspricht noch ganz andere Probleme lösen zu wollen, als diese es je vermocht haben, und nimmt neuerdings sogar den Kampf mit der mechanischen Naturanschauung auf, welcher die Naturwissenschaft doch schon so grosse Erfolge verdankt.

Ich beabsichtige an dieser Stelle nicht, für die mechanische Naturanschauung in die Schranken zu treten; dazu würden tiefgehende und zum Theil sehr schwierige Untersuchungen gehören. Hier handelt es sich um viel elementarere Dinge, nämlich um die Frage nach der mathematischen Berechtigung der neueren Energetik überhaupt. Denn schon die Untersuchung dieser Vorfrage führt jeden Fachkundigen zu dem unvermeidlichen Schluss, dass der neueren Energetik jede feste Grundlage mangelt, dass ihre einfachen Beweise gerade da, wo sie am wichtigsten wären, Scheinbeweise sind, und dass sie daher an die wirklichen Probleme gar nicht einmal hinanreicht, geschweige denn irgend etwas zu ihrer Lösung beizutragen vermag.

Zum Belege dieser Behauptung diene die Kritik eines der charakteristischen Begriffe der Energetik: der *Volumenenergie*. Von der Volumenenergie ist in den Schriften der Energetiker gegenwärtig so häufig die Rede, dass manche Physiker und Chemiker, die der Energetik an und für sich noch ferner stehen, sich an diesen Namen gewissermaassen schon gewöhnt haben, und den Ursprung des entsprechenden Begriffes keiner besonderen Prüfung mehr unterziehen. Und doch lehrt eine solche Prüfung sehr bald, dass die Volumenenergie, kurz und bündig gesprochen, ein mathematisches Unding vorstellt, nämlich eine Grösse, die in Wirklichkeit gar keine ist. Denn von einer physikalischen Grösse, und zumal von einer Energiegrösse, die doch in der Energetik die Substanz *κατ' ἐξοχήν* repräsentirt, muss man vor allen Dingen verlangen, dass sie durch den chemischen und physikalischen Zustand des betreffenden Systems auch wirklich bestimmt ist, in der Weise, dass, wenn das System nach beliebigen Veränderungen wieder in einen früheren

Zustand gelangt, auch die bezügliche Energiegrösse wieder ihren früheren Werth annimmt. Ohne diesen Satz würde ja das Energieprincip vollständig seine Bedeutung verlieren.

Fragen wir nun aber z. B. nach der Volumenenergie irgend eines Gases bei gegebener Masse, Temperatur und Dichte. Die Energetik antwortet: die Volumenenergie ist $\int p dv$, wenn p den Druck, v das Volumen des Gases bezeichnet. Dieses Integral stellt in der Energetik die Veränderung der Volumenenergie des Gases dar, welche eintritt, wenn das Gas eine Zustandsänderung erleidet, und sein Werth wird durch die Zustandsänderung bestimmt. Führt man nun das Gas durch eine fortlaufende Reihe von Zustandsänderungen, z. B. durch einen Carnot'schen Kreisprocess, in seinen anfänglichen Zustand zurück, so müsste nach dem obengesagten, da das Gas seinen alten Zustand wieder einnimmt, auch seine Volumenenergie wieder die alte, mithin ihre Gesamtänderung gleich Null sein. Es ist aber wohl bekannt, dass dies im allgemeinen mit jenem Integral durchaus nicht der Fall ist, sondern dass das Gas bei einem solchen Kreisprocess im ganzen je nach den Umständen positive oder negative Arbeit leistet. Daher hat es überhaupt gar keinen Sinn, von einer Volumenenergie des Gases zu reden, als von einer physikalischen Grösse, mit der gerechnet werden kann.

Man wende hier nicht ein, dass es niemals auf den absoluten Werth der Volumenenergie, sondern immer nur auf eine Differenz ankomme. Allerdings kommt es nur auf eine Differenz an, aber die Differenz der Volumenenergien in zwei bestimmten Zuständen muss eben eine ganz bestimmte sein, und darf nicht, wie das obige Integral, davon abhängen, auf welchem Wege man das Gas aus dem einen Zustand in den anderen bringt.

Clausius hielt diesen Umstand für so wichtig, dass er seinen „Gesammelten Abhandlungen über mechanische Wärmetheorie“¹⁾ eine mathematische Einleitung vorausschickte: „Ueber die Behandlung von Differentialgleichungen, welche nicht im gewöhnlichen Sinne integrabel sind“, und in seiner Vorrede diese Einrichtung mit den folgenden Worten begründete: „Ein

1) Clausius, Erste Abtheilung. Braunschweig 1864.

fernerer Uebelstand, welcher bisher, wie ich mehrfach angenommen habe, die Benutzung meiner Abhandlungen beeinträchtigte, bestand in der Schwierigkeit, welche sie an manchen Stellen dem Verständniss darboten. Die mechanische Wärmetheorie hat neue Ideen in die Wissenschaft eingeführt, welche von den früher verbreiteten Ansichten abweichen, und sie erforderte daher auch eigenthümliche mathematische Betrachtungen. Besonders ist eine gewisse Art von Differentialgleichungen zu erwähnen, welche ich in meinen Untersuchungen angewendet habe, und welche von den sonst gewöhnlich vorkommenden in einem wesentlichen Punkte verschieden sind, wodurch, wenn man den Unterschied nicht genau beachtet, Missverständnisse entstehen können. Die Bedeutung und die Behandlungsart dieser Differentialgleichungen sind zwar schon längst durch Monge festgestellt, scheinen aber nicht allgemein genug bekannt zu sein, denn in der That hat eine unrichtige Auffassung dieser Gleichungen einen heftigen Angriff gegen meine Theorie veranlasst.“

Der Inhalt jener Einleitung betrifft gerade die Behandlung derartiger Differentialausdrücke, die, wie $p dv$, sich nicht allgemein integriren lassen und daher auch nicht als vollständiges Differential einer Grösse, welche vom physikalischen Zustand abhängt, angesehen werden können.

Auch in der zweiten Auflage seines Buches (1876) hat Clausius mit derselben Entschiedenheit auf diesen Punkt hingewiesen (§ 3 der mathematischen Einleitung), ohne leider, wie man sieht, allenthalben die nöthige Beachtung gefunden zu haben.

Der vorliegenden Stichprobe, welche zur principiellen Unhaltbarkeit eines der Hauptbegriffe der Energetik geführt hat, lässt sich noch eine Reihe anderer hinzufügen, mit dem nämlichen Ergebniss; doch kann ich hier auf die Besprechung weiterer Punkte verzichten, zumal ich im nächsten Jahre Gelegenheit haben werde, die Begriffe und Resultate der Thermodynamik in einer besonderen ausführlichen Darstellung zusammenzufassen.

Auf der anderen Seite ist nun nicht zu leugnen, dass der Energetik, vermöge ihrer Beziehungen zum Princip der Erhaltung der Energie, ein gewisser gesunder Kern innewohnt,

der zugleich die besondere Anziehungskraft zu erklären geeignet ist, welche die energetische Richtung auf manche Naturforscher ausübt. Aber es fällt einem in derartigen Untersuchungen Geübten nicht schwer, schon jetzt zu übersehen, dass eine nach Gebühr von ihren augenblicklichen Auswüchsen befreite Energetik ihre Anwendbarkeit auf ein Gebiet beschränkt sehen wird, dessen Umfang sich ungemein bescheiden ausnimmt gegenüber den hohen Ansprüchen, mit denen sie gegenwärtig auftritt; und zwar will es eine grausame Fügung des Schicksals, dass dieses Gebiet gerade dasjenige ist, auf welches sie, als auf einen engen Specialfall, gerne mit einer gewissen Geringschätzung herablickt, nämlich die Mechanik, sofern man von der Reibung, der Diffusion, der unvollkommenen Elasticität und verwandten Vorgängen absieht, ferner die Electrodynamik, einschliesslich des Magnetismus, sofern man von der Joule'schen Wärme, der magnetischen Hysteresis etc. absieht, weiter die Optik, sofern man von der Absorption, Dispersion etc. absieht, kurz: alle diejenigen in endlichen Zeiten sich abspielenden Vorgänge, welche die Eigenschaft besitzen, dass sie auch in gerade umgekehrter Richtung genau ebenso verlaufen können, und die daher nur ideale Abstractionen von den in Wirklichkeit stattfindenden Processen vorstellen. Hier wird eine correcte Energetik immerhin manches zur Veranschaulichung der Vorgänge in der Natur beitragen können, hier besitzt der Satz von der Zerlegbarkeit der Energieformen in den Capacitäts- und den Intensitätsfactor, und was damit zusammenhängt, Gültigkeit, und auf diesem Boden finden sich denn auch alle Beispiele vereinigt, durch welche die Energetik dem Verständniss näher gebracht wird. Thatsächlich Neues wird sie freilich auch auf diesem Gebiete kaum bieten können, denn gerade hierfür besitzt die Wissenschaft längst eine Methode, die schon jetzt alle Fragen, welche man hinsichtlich des messbaren Verlaufs der Erscheinungen stellen kann, viel eindeutiger und viel vollständiger beantwortet, als es die Energetik vermuthlich je zu thun im Stande sein wird: Das Hamilton'sche Princip der kleinsten Wirkung.

Jedoch für die Thermodynamik, die chemische Verwandtschaftslehre, die Electrochemie, sowie für alle oben ausgeschlossenen Erscheinungen, verlieren die einschlägigen Begriffe

und Sätze der Energetik Sinn und Bedeutung. Hier erzielt sie die überraschende Leichtigkeit ihrer Beweise einfach dadurch, dass sie den Inhalt der zu beweisenden Sätze, der allerdings jedesmal vorher bekannt sein muss, rückwärts in ihre Definitionen verlegt; wie aber dann diese Definitionen ausfallen, haben wir oben an dem Beispiel der Volumenenergie gesehen. Durch solche kurzsichtigen Operationen wird der Zusammenhang der Dinge nicht aufgeheilt, sondern verdunkelt. Vor Allem hat die Energetik die Verschleierung des principiellen Gegensatzes zwischen reversibeln und irreversibeln Processen verschuldet, an dessen Herausarbeitung und weiterer Vertiefung nach meiner Ueberzeugung jeder Fortschritt der Thermodynamik und der Verwandtschaftslehre geknüpft ist. Denn dass die Ausgleiche der Niveauhöhen einer schweren Flüssigkeit in zwei communicirenden Röhren etwas Grundverschiedenes ist von dem Ausgleich der Temperaturen zweier in directem Wärmeaustausch stehender Körper, kommt in der Energetik gar nicht, oder erst nebensächlich, zum Ausdruck. Deshalb wird sie auch niemals im Stande sein, aus diesem Unterschiede neue charakteristische Folgerungen abzuleiten.

Und in der That: Nichts, schlechterdings gar nichts hat die Energetik bis zum heutigen Tage an positiven Leistungen aufzuweisen, obwohl ihr seit Rankine dazu Zeit und Gelegenheit in Fülle geboten war. „Aber sie hat auch,“ könnte man entgegnen, „noch in keinem einzigen Falle zu einem Widerspruch mit der Erfahrung geführt.“ Ganz richtig — aus dem einfachen Grunde, weil die Energetik vermöge der Unsicherheit ihrer Begriffe überhaupt nicht fähig ist, ein neues Resultat hervorzubringen, welches an der Erfahrung geprüft werden kann. Und hiermit ist derjenige Vorwurf ausgesprochen, der unter allen als der schwerwiegendste angesehen werden muss. Denn eine Theorie, welche, um ihre Existenz zu wahren, darauf angewiesen ist, den wirklichen Problemen auszuweichen, wurzelt nicht mehr in dem Reich der Naturwissenschaft, sondern auf metaphysischem Boden, wo ihr die Waffen der Empirie allerdings nichts mehr anhaben können. Darum halte ich es für meine Pflicht, mit allem Nachdruck Verwahrung einzulegen gegen den weiteren Aus-

bau der Energetik in der von ihr in neuerer Zeit eingeschlagenen Richtung, welche gegenüber den bisherigen Ergebnissen der theoretischen Forschung einen empfindlichen Rückschritt bedeutet und nur den einen Erfolg haben kann, die Jünger der Wissenschaft statt zu gründlicher Vertiefung in das Studium der vorliegenden Meisterwerke, zu dilettantenhaften Speculationen zu ermuntern und dadurch ein weites und fruchtbares Gebiet der theoretische Physik auf Jahre hinaus brach zu legen.

Berlin, December 1895.