

8. Zur Energetik; von W. Ostwald.

Wenn die Verhandlungen auf der Lübecker Naturforscherversammlung zwar kein Einverständniss, aber doch einen Ausgleich zwischen den sich entgegenstehenden Ansichten bezüglich der Energetik ergeben zu haben schienen, so ist durch eine in diesen Annalen erschienene Abhandlung von Hrn. Boltzmann¹⁾ ein solcher Anschein auf das Vollständigste zerstört und der genannten Anschauungsweise so gut wie jeder Werth abgesprochen worden. Von den erhobenen Einwänden kann ich einen Theil als begründet anerkennen, einen anderen und grösseren Theil glaube ich auf Missverständnisse zurückführen zu müssen und kann ihn nicht anerkennen.

Ein Eingehen auf alle Punkte der umfangreichen Schrift ist mir zunächst nicht möglich; einerseits mit Rücksicht auf den Raum dieser Zeitschrift, andererseits infolge einer durch von mir unabhängige Ursachen bedingten Nothwendigkeit einer Einschränkung meiner Arbeiten. Insbesondere bin ich verhindert, auf die *rechnerischen* Einwände des Hrn. Boltzmann schon jetzt einzugehen, und ich erwähne diesen Umstand, um die Unvollständigkeit dieser meiner Antwort zu erklären, und ausdrücklich zu betonen, dass ich keineswegs bezüglich aller hier nicht erwähnten Punkte Hrn. Boltzmann im Rechte glaube.

Zunächst dürfte es wichtig sein, einige allgemeine Gesichtspunkte bezüglich der Frage festzustellen. Man kann eine Energetik im weiteren von einer im engeren Sinne, oder eine unbewusste von einer bewussten Energetik unterscheiden. Die erste ist etwa ein halbes Jahrhundert alt, und hat unter dem Namen der mechanischen Wärmetheorie oder Thermodynamik den grossen Fortschritt der Physik und Chemie bewirkt, welcher in dieser Zeit stattgefunden hat. Die Vertreter dieser Richtung waren meist Anhänger der mechanischen Auffassung der Natur und haben zum Theil auch in diesem Sinne

1) Boltzmann, Wied. Ann. 57. p. 39. 1896.

eine rege Thätigkeit entfaltet. Doch fiel den hier thätigen Forschern schon früh auf, dass die thermodynamischen Methoden die Möglichkeit ergaben, unabhängig von allen derartigen Auffassungen Ergebnisse von grosser Tragweite zu erlangen; als Grundlage dieser Schlüsse dienten in erster Linie die beiden Hauptsätze der Thermodynamik, wie sie von Mayer, Helmholtz, Clausius und Thomson formulirt waren, und in zweiter Linie gewisse empirische Gesetze, wie die Gasgesetze, die electrostatischen etc., die zum Theil ausdrücklich ausgesprochen, zum Theil stillschweigend vorausgesetzt wurden. Als fundamentaler Begriff des ersten Hauptsatzes erschien dabei die *Energie*; für den zweiten wurde der *Entropie* mehr oder weniger ausdrücklich diese Stellung eingeräumt. Ueber die allgemeine oder erkenntnistheoretische Bedeutung und Stellung dieser Begriffe finden sich bei den eigentlichen Förderern der Thermodynamik nur spärliche Aeusserungen; in erster Linie stand ihre analytische Formulirung. Meist wurde die Energie als eine Eigenschaft der Materie behandelt, d. h. als eine gewisse Function ihrer Zustandsvariabeln. Noch weit blasser war die Anschauung für den Entropiebegriff. Clausius führt ihn als den „Verwandlungsinhalt“, die Summe von dem Verwandlungswerth der Wärme und der „Disgregation“ oder dem Verwandlungswerth der stattfindenden Anordnung der Bestandtheile ein. Es ist bekannt, welche Schwierigkeiten dieser Begriff der Forschung gemacht hat, und wie mannichfaltige Umbildungen er erfahren hat; geblieben ist von ihm nicht viel mehr, als die analytische Form. Diese freilich ist von Clausius und seinen Arbeitsgenossen nach dem Vorgange von Carnot und Clapeyron so glücklich gebildet worden, dass sie ohne Aenderung die ganze Reihe von begrifflichen Umbildungen ausgehalten hat, die in den hier in Frage kommenden Richtungen auch heute nichts weniger als abgeschlossen sind, und auch voraussichtlich den weiteren gegenüber dauern wird.

Diese vorwiegend analytische Richtung, in welcher als schöpferisch thätig noch Willard Gibbs zu nennen ist, hat sich unvergängliche Verdienste um die Entwicklung unserer Kenntnisse erworben. Doch liegt es im Wesen des analytischen Verfahrens, dass die *Wege*, auf denen aus den Voraussetzungen die Ergebnisse erreicht werden, physikalisch im

Dunklen bleiben. Die mathematischen Operationen gestatten nur in den seltensten Fällen die Möglichkeit, die physikalische Bedeutung jedes Schrittes sich anschaulich zu halten, oder setzen wenigstens hierfür eine Entwicklung des Anschauungsvermögens voraus, die nur wenigen Bevorzugten zu Theil wird. Es ist dies in gewissem Sinne ein grosser Vorzug; unter Einhaltung der formalen Gesetze der mathematischen Operationen ist man sicher, aus richtigen Voraussetzungen richtige Resultate zu finden, indem man sich die Mühe einer physikalischen Deutung aller Zwischenformeln ersparen kann. Aber es wird immer eine grosse Zahl von Naturforschern geben, denen hierbei noch etwas fehlt, und welche zwischen Ausgang und Ende nicht nur den analytischen, sondern auch den physikalischen Zusammenhang herzustellen das Bedürfniss haben. Der Weg, dieses Bedürfniss zu befriedigen ist immer derselbe: er besteht in der Bildung geeigneter neuer Begriffe, deren Inhalt so beschaffen ist, dass er die Beziehung zwischen Prämisse und Schluss enger zusammenrückt und somit übersichtbar macht. Dieser Art war beispielsweise der Energiebegriff; in der Mechanik war längst die analytische Beziehung bekannt, dass die Differenz der lebendigen Kräfte und der Kräftefunction constant sei, doch erst die Bildung jenes Begriffes ermöglichte es, die fragliche Beziehung geschlossen und anschaulich aufzufassen. Welchen immensen Werth eine derartige Begriffsbildung besitzt, ist an dem angeführten Beispiel ersichtlich.

In manchen Fällen kommt die Entwicklung des analytischen Verfahrens dem hier erörterten Bedürfnisse entgegen. Denn Begriffe von erkenntnistheoretischer Allgemeinheit besitzen, was in der Natur der Sache liegt, die Eigenschaft, dass sie sich auch analytisch als werthvoll erweisen, indem sie eine mehr oder weniger erhebliche Abkürzung oder Vereinfachung der Methoden gestatten. Ein gutes Beispiel hierfür ist das *Potential*, welches zuerst als analytisches Hülfsmittel aufgestellt, sich allmählich zu einem recht anschaulichen und ausgiebigen Denkmittel entwickelt hat. Welcher von diesen beiden Wegen zuerst gegangen wird, hängt von Zufälligkeiten ab; so ist im Gegensatz zum Potential Faraday's Conception der Kraftlinien anfänglich allseitig als unmathe-

matisch abgewiesen worden, obwohl Faraday ihr grosse Erfolge zu verdanken hatte, und erst viel später hat sie ihre analytische Darstellung durch Maxwell gefunden.

Aus diesem Bedürfnisse der *begrifflichen* Bewältigung der Beziehungen, welche die Energiegesetze aufgedeckt hatten, ist nun die Richtung entstanden, welche ich als die Energetik im engeren Sinne, oder die *bewusste* Energetik bezeichnen möchte. Ihr erster Vertreter ist J. R. Mayer selbst, welcher den Begriff der Energie (seiner „Kraft“) als den erkannte, aus welchem sich am erfolgreichsten jene Aufgabe lösen liess; darum betonte er von vornherein und immer wieder die Realität und Substanzialität seiner „Kraft“. Indessen ging dieser Gedanke zunächst verloren und auch Rankine's schwerverständliche Ansätze zur Aufstellung allgemeiner Eigenschaften der Energie fanden keinen Anklang. Ich brauche die weitere Geschichte dieser Entwicklung und die sporadischen Ansätze in dieser Richtung hier nicht zu schildern, da ich es an einem anderen Orte gethan habe; es genügt, zu betonen, dass der Versuch einer systematischen Energetik erst den letzten Jahren angehört. Man vergleiche hiermit die Vorwürfe auf S. 77 der Annalen, dass die Energetik nichts geleistet habe, „obwohl ihr seit Rankine dazu Zeit und Gelegenheit in Fülle geboten war“.

Mit der Auffassung der Energie als das allen anderen Grössen übergeordneten Hauptbegriffes geschah der Uebergang von der unbewussten Energetik zur bewussten. Dass es sich hierbei wirklich um einen Schritt handelt, welcher noch zu thun war, geht beispielsweise aus der Thatsache hervor, dass W. Gibbs auf den ersten Seiten seiner grossen Arbeit mit einigem Nachdruck eine (nach meiner Meinung nicht zutreffende) *Symmetriebeziehung* zwischen Energie und Entropie durchführt, also beide Grössen als entsprechende und daher in solchem Sinne gleichwerthige behandelt. Mit jedem Schritt war nun die *Aufnahme der gesamten Ergebnisse der bisherigen Thermodynamik in die Energetik* bewerkstelligt, und es ist durchaus nicht zulässig, beide in einen Gegensatz zu stellen. Vielmehr bestände auch dann heute eine Energetik, wenn gar kein Versuch gemacht worden wäre, die analytischen Formen der überkommenen Thermodynamik zu ändern und zu vereinfachen.

Alle Einwendungen, welche gegen diese Versuche gemacht worden sind, treffen nicht die Energetik als erkenntnistheoretischen Fortschritt, sondern eben nur die einzelnen Versuche der Anwendung dieses Fortschrittes. Dass hier nicht beim ersten Ansatz das Richtige getroffen wird, ist so wenig überraschend, dass vielmehr das Umgekehrte geschichtlich fast beispiellos dastehen würde.

An dieser Stelle bin ich gezwungen, auf meine eigene Thätigkeit in dieser Richtung einzugehen. Meine erste Arbeit hierzu ist vom Juni 1891¹⁾; ihre wichtigsten Gesichtspunkte sind die folgenden: 1. Der Hinweis auf die Unzulänglichkeit der mechanistischen Theorien, 2. die Aufstellung des Postulats, dass etwaige allgemeine Gesetze der Physik nothwendig Energiegesetze sein müssen, da ausser Raum und Zeit nur die Energie allen Gebieten gemeinsam ist, 3. der vorläufige Ausspruch des Gesetzes der virtuellen Energieänderungen als Kriterium des Gleichgewichts. Als erstes Ergebniss dieses Programms entwickelte ich eine Kritik und Umbildung des „absoluten“ Maasssystems, die seitdem mehrfach anerkennend erwähnt wurde und, soviel mir bekannt, ohne wesentlichen Widerspruch, wenn auch ohne äusseres Ergebniss geblieben ist.

Aus jener ersten Abhandlung erlaube ich mir folgende „persönliche Bemerkung“ anzuführen: „Von Untersuchungen über die Gesetze der chemischen Vorgänge ausgehend, bin ich stufenweise zu weiteren und weiteren Fragen geführt worden, die mich zu einer Bethätigung in Gebieten zwingen, mit deren Hilfsmitteln durch Einzelforschungen vertraut zu werden, ich früher keine Gelegenheit gehabt habe. *Ich bin mir daher dessen lebhaft bewusst, dass die nachstehenden Darlegungen vielfach die Schwierigkeiten erkennen lassen werden, mit denen ich in der Handhabung jener Hilfsmittel zu kämpfen habe. Wenn ich Nachsicht beanspuche, so ist es in Bezug auf die hieraus entspringende Ungelenkigkeit der Darstellung und Entwicklung.* Im übrigen habe ich es nicht vermeiden können, so vielfach mit den bisher allgemein anerkannten und üblich gewesenen Anschauungs- und Denkgewohnheiten in Widerspruch zu gelangen, dass eine eindringliche Prüfung meiner

1) W. Ostwald, Sitzungsber. d. K. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1891; Zeitschr. f. physik. Chemie 9. p. 563. 1892.

Darlegungen von anderer Seite, nachdem ich in diesen Sachen gethan habe, was in meinen Kräften stand, mir als das einzige Mittel erscheint, diese immerhin hinlänglich wichtige Angelegenheit weiter zu fördern.“

Im folgenden Jahre (1892) erhielt ich von Hrn. Boltzmann die Einladung, eine Skizze der Energetik für die wissenschaftliche Beilage des Katalogs der Ausstellung mathematischer Instrumente in München zu schreiben. Es entstand hieraus meine zweite Abhandlung¹⁾, die ich Hrn. Boltzmann mit der Bitte um rücksichtslose Kritik und Rücksendung im Falle der Unbrauchbarkeit zustellte. Hr. Boltzmann erklärte sich zur Aufnahme bereit, doch bewirkte irgend ein Umstand, ich glaube, eine längere Verzögerung in der Drucklegung des Katalogs, dass ich inzwischen die Abhandlung in den Sitzungsberichten der Gesellschaft der Wissenschaften abdrucken liess und auf die Drucklegung an der anderen Stelle verzichtete. *In dieser Abhandlung ist ein erheblicher Theil der Entwicklungen enthalten, welche Hr. Boltzmann jetzt beanstandet.* Den Gegenstand der Abhandlung bildet vorwiegend eine allgemeinere Auffassung des zweiten Hauptsatzes, welche in dem Satze vom unmöglichen *perpetuum mobile zweiter Art* ihren prägnantesten Ausdruck fand.

Durch diese beiden Arbeiten habe ich in den behandelten Gebieten den Uebergang von der unbewussten Energetik zur bewussten zu vollziehen versucht. Das heisst, ich habe auf Grund des Umstandes, dass alle physikalischen, bez. thermodynamischen Gleichungen²⁾ nothwendig Gleichungen zwischen Energiegrössen sein müssen, die Forderung aufgestellt, diesen Umstand auch begrifflich und analytisch in den Vordergrund zu stellen und daher sowohl die Begriffsbildung wie die Rechnung von der Betrachtung der vorhandenen Energien ausgehen zu lassen. Ihren schärfsten Ausdruck hat dies erkenntnisstheoretische Postulat durch meinen Hinweis erhalten, dass der unbestimmt und wider spruchsvoll gewordene Begriff der Materie durch den der Energie zu ersetzen ist, da nur

1) W. Ostwald, Sitzungsber. d. K. sächs. Gesellsch. der Wissensch. p. 211. 1892; Zeitschr. f. physik. Chem. 10. p. 363. 1892.

2) Ausgeschlossen sind geometrische und phoronomische Beziehungen, bei denen nur eine Art Energie in Frage kommt.

auf solchem Wege die Uebereinstimmung zwischen dem, was wir durch unsere Formeln zum Ausdruck bringen, und dem, wovon wir zu reden pflegen, hergestellt werden kann.

Eine nicht geringe Zahl brieflicher und mündlicher Aeusserungen namhafter Fachgenossen hat mir damals das Zeugniß gegeben, dass ihnen diese Wendung neu und unerwartet gekommen ist. Wenn ich mit Hrn. Boltzmann weiss und anerkenne (p. 64), dass gegen die Zulänglichkeit der mechanistischen Ansicht schon vor mir vielfach Einwendungen gemacht worden sind, so ist doch seine Behauptung, diese Anschauung sei „durchaus nicht mehr vorhanden“, einfach falsch. Ein Blick in fast jedes heutige Lehrbuch der Physik oder Chemie wird ihn anders belehren. Es handelt sich hier offenbar um eine Verwechselung zwischen den Anschauungen, zu denen Hr. Boltzmann gegenwärtig selbst gelangt ist, und denen, in denen sich die Mehrzahl der naturwissenschaftlich denkenden und arbeitenden Menschen bewegen. Eine genaue Statistik solcher Dinge lässt sich natürlich nicht aufstellen, dass es aber sehr viel mehr Anhänger als Gegner der mechanistischen Hypothese giebt, ja sehr viele Naturforscher, die die letztere gar nicht für eine Hypothese, sondern für eine ausgemachte Wahrheit halten, scheint mir vollkommen ausser Zweifel zu stehen.

Ueber die Unzulänglichkeit der Mechanistik sind wir einig; um so weniger freilich über die Zulänglichkeit der Energetik. In einem Punkte will ich Hrn. Boltzmann alsbald Recht geben: eine vollständige Bearbeitung der Physik vom rein energetischen Gesichtspunkte besteht noch nicht, und die vorhandenen Versuche zur Bearbeitung einzelner Gebiete mögen vielfach verbesserungsbedürftig sein. Es wird dies niemanden Wunder nehmen, der weiss, wie kurz die Zeit, und wie gering die Zahl der Arbeiter hier ist, und aus der Geschichte der Wissenschaft sich erinnert, wie vielfach ein neuer Gedanke umgeschmolzen und umkrystallisirt werden muss, bevor er hinlänglich rein geworden ist.¹⁾ In der That hätte ich mich nicht berechtigt fühlen dürfen, auf Grund dieser Leistungen die Ueberlegenheit der Energetik zu behaupten. Was mir das

1) Man vergleiche beispielsweise die Entwicklung des ersten Hauptsatzes bei Clausius in seiner ersten Abhandlung und den beiden Auflagen seines Werkes.

Recht dazu gegeben hat, ist die principielle Einsicht von der centralen Stellung des Energiebegriffes in dem ganzen System unserer physikalischen Anschauungen. Hat beispielsweise Willard Gibbs unter den 700 Gleichungen seiner grossen Arbeit kaum ein Dutzend oder zwei, welche nicht Gleichungen zwischen verschiedenen Energiewerthen sind, so bin ich berechtigt, zu sagen, dass eine Physik, die *bewusst* von dieser Thatsache ausgeht, einen weiterreichenden Gesichtspunkt besitzt, als eine, die auf diesen Umstand nicht achtet. Die allgemeine Kenntniss der Energiearten und ihrer Beziehungen ist die Formel, unter welche sich die ganze Aufgabe der Physik bringen lässt: daraus folgt, dass ihre allgemeinen Naturgesetze nichts Anderes sein können, als *Energiegesetze*, und dass der Weg, den sie jetzt nothwendig gehen muss, der der Energetik ist. Welchen Weg sie in einer *ferneren Zukunft* gehen wird — diese Frage zu beantworten, habe ich in meiner Lübecker Rede ausdrücklich abgelehnt.

Aber, wird mein Gegner ausrufen, das ist Zukunftsmusik; was bisher in dieser Richtung von den Energetikern geleistet ist, befriedigt *mich* nicht. Auch das kann ich zugeben. Ich kann unmöglich ihm und Anderen die vielen Punkte aufweisen, an denen ich entscheidend durch energetische Betrachtungen gefördert worden bin; ich kann nur betonen, dass nach Ausweis meiner Leipziger Antrittsvorlesung von 1887 solche Betrachtungen sich seit lange im Mittelpunkte meines wissenschaftlichen Denkens befunden haben. Wenn irgend ein Werth auf die Ergebnisse meiner Arbeiten und der meiner unmittelbar von mir beeinflussten Arbeitsgenossen seitdem gelegt wird, so muss ich betonen, dass an diesen Ergebnissen energetische Anschauungen einen wesentlichen und entscheidenden Antheil haben.

Es ist ein Ding, sich für die Arbeit ein Werkzeug machen, das für die eigene Hand taugt, und ein ander Ding, die Methodik dieses Werkzeuges Anderen darzulegen in einer Sprache, die man nicht geläufig spricht, sondern nur radebrecht. Aber ich kann versichern, dass ich beispielsweise bei der zusammenfassenden Darstellung der Electrochemie¹⁾, der Hr. Boltz-

1) Ostwald, Lehrb. d. allg. Chemic, 2. Aufl. 2. Th. I.

mann vielleicht einigen Werth zugestehen wird, insbesondere wenn er sie mit den gleichzeitigen Darstellungen des Gebietes durch andere, namhafte Forscher vergleicht, den Weg durch die verwirrende Fülle richtiger und falscher Mittheilungen nur mit Hilfe meiner energetischen Anschauungen gefunden habe. Jedesmal, wenn es sich um die Wiedergabe einer thermodynamischen Ableitung anderer Forscher handelte, versuchte ich, *bevor* ich die Rechnung durchsah, die Sache auf meine Weise anzusetzen, und ich empfinde noch heute etwas von der damaligen Freude, wenn ich regelmässig dadurch das Ergebniss unmittelbar vor mir hatte, zu dem jene Forscher auf ihren Wegen durch mehr oder weniger umständliche Rechnung gelangten. Ich kann billigerweise nicht verlangen, dass Hr. Boltzmann hierüber unterrichtet ist; ihm stehen zu seinem Urtheil nur meine, wie ich gern zugeben will, vielfach unzulänglichen Darstellungen zu Gebote; ich habe diese persönlichen Erfahrungen aber erwähnen zu dürfen geglaubt, um ihm und unseren Lesern eine Erklärung für die Stärke meiner Ueberzeugung von dem Werthe energetischer Betrachtungen zu geben. In mehreren Fällen (p. 875, 895 u. a.) habe ich diese der strengsten Prüfung unterworfen, welche ich kenne, indem ich für noch nicht untersuchte Fälle das zu erwartende Verhalten voraus bestimmte; auch hier habe ich die Genugthuung gehabt, dass die nachfolgende Prüfung die Ansätze bestätigte.

Man darf mir nicht einwenden, dass jene Ergebnisse auch auf dem üblichen thermodynamischen Wege hätten gewonnen werden können. Dies ist unzweifelhaft, da es sich um Schlüsse aus gleichen Voraussetzungen handelt. Aber thatsächlich habe ich sie auf meinem Wege erhalten, und das befestigt in mir die Ueberzeugung, dass mein Weg richtig ist, wenn ich ihn auch so ungeschickt beschrieben habe, dass Andere sich auf ihm nicht zurechtfinden können.

Ein Beispiel dafür ist das von mir aufgestellte Princip des maximalen Energieumsatzes für die Ableitung der mechanischen Gleichungen. Während es mir vorher nicht gelungen war, mich selbst in der Sache mathematisch verständlich zu machen, hat mein verehrter College C. Neumann die Freundlichkeit gehabt, meine mündlichen Auseinandersetzungen anzuhören, und hat dann alsbald unter dem Gespräch den Ansatz

gemacht, dem auch Hr. Boltzmann seine Billigung nicht versagt. Darf ich nicht aus dieser Erfahrung den Wahrscheinlichkeitsschluss ziehen, dass auch meinen anderen Anschauungen richtige Gedanken zu Grunde liegen, wenn auch die Form beanstandet werden kann, in welcher ich sie auszudrücken versucht habe?

Gegen die Zulässigkeit des von mir vorgeschlagenen Verfahrens, den Begriff der Materie durch den der Energie zu ersetzen, macht Hr. Boltzmann p. 46 einen principiellen Einwand, dessen Verständniss mir grosse Schwierigkeiten gemacht hat. Soviel ich ihn verstehe, meint Hr. Boltzmann, man könne die Bewegungsenergie deshalb nicht als etwas ohne Träger existirendes ansehen, weil sie die Geschwindigkeit als Factor enthält, während bei den anderen Energien etwaige Bewegungen unabhängig von der Art und dem Betrage der Energie sind. Es scheint mir hier ein Missverständniss in seinen Worten: Diese (die kinetische Energie) sei „das ursprünglich Gegebene, also nicht weiter definirbar“ zu liegen. Ich habe nirgend gesagt, dass die Energie, weil sie der Hauptbegriff ist, nicht weiter definirbar sei; ich betrachte im Gegentheil die Aufklärung über die Definition der Energie durch ihre Factoren als einen wichtigen Forstschritt. In der von mir wiederholt benutzten Kennzeichnung der Energie als einer *Invarianten* habe ich gerade auszudrücken gesucht, dass sie eine Function mehrerer Veränderlicher ist. In der That muss es ja als principiell unmöglich bezeichnet werden, dass die Mannichfaltigkeit der Erscheinungen durch einen einzigen, „nicht weiter definirbaren“ Begriff dargestellt werden könnte, und der Mangel an hinlänglicher Mannichfaltigkeit ist ja der Grund, weshalb die mechanistischen Hypothesen der Physik bisher noch alle sich als unzulänglich erwiesen haben.

Wenn nun jeder Vorgang in der Aussenwelt als eine Aenderung der Energieanordnung im Raum und in der Zeit zu definiren ist, so muss gefordert werden, dass auch den räumlichen Bewegungserscheinungen eine eigene Energieart entspricht, welche eben die Bewegungsenergie ist. Wir definiren ja überhaupt die Zeit erst durch die Eigenschaften der Bewegungsenergie (z. B. der Erde), und ich vermag nicht zu sehen, wie etwaige hier vorhandene Denkschwierigkeiten da-

durch beseitigt werden können, dass man die Factoren der Bewegungsenergie, Masse und Geschwindigkeit noch an einem nicht definirbaren, weil eigenschaftslosen Träger befestigt.

Auf p. 68 erwähnt Hr. Boltzmann ein von ihm gefundenes Ergebniss bezüglich eines die Dissipationserscheinungen nachbildenden mathematischen Ausdruckes, den er bei Gelegenheit seiner Untersuchungen zur kinetischen Hypothese erhalten hat. Soviel mir bekannt, sind andere in Betracht kommende Gelehrte über die Bedeutung seines Theorems mit ihm keineswegs einig. Das von ihm angeführte Beispiel ist nichts weniger als beweisend, da die Lottokugeln in der gedrehten Trommel ihr physikalisch bekanntes Verhalten nur deshalb zeigen, weil alle ihre Bewegungen von vornherein mit dissipativen Vorgängen verknüpft sind; in einer cylindrischen Trommel würden reibungslose Kugeln durch eine Drehung der Trommel um die Cylinderaxe überhaupt nicht in Bewegung gesetzt werden können und wie ein System vollkommen elastischer Körper in einem Raume mit vollkommen elastischen Wänden sich verhalten wird, darüber haben wir nicht die mindeste experimentelle Anschauung. Im übrigen will es eine „grausame Fügung“, dass p. 76 ein ausgesprochener Gegner der Energetik ausdrücklich die idealen mechanischen Vorgänge für vollkommen umkehrbar erklärt, und ich kann es einstweilen meinen beiden Gegnern überlassen, sich über diesen, Gegensatz zu einigen, bevor die Sache als Argument gegen die Energetik Verwendung findet.

Von ähnlicher Beschaffenheit sind einige andere allgemeine Einwände, welche an verschiedenen anderen Stellen gegen die Energetik als *erkenntnisstheoretische* Methode gemacht werden. In dieser Beziehung finde ich keine der gemachten Bemerkungen durchgreifend, und ich glaube nicht, dass es Hrn. Boltzmann gelungen ist, hier der Energetik irgend ein unüberwindliches Hinderniss in den Weg zu legen. Etwas anderes ist es mit den Versuchen, die energetischen Betrachtungen zu kürzerer Erlangung *analytischer Ergebnisse* zu benutzen. Obwohl ich auch hier das Princip der virtuellen Energieänderungen als ein richtiges und erfolgreiches Hilfsmittel aufrecht erhalten muss, so will ich doch alsbald hervorheben, dass mehrere Fälle zu unterscheiden sind, in welchen das Princip etwas verschiedene

Anwendungsformen annimmt. Es liegen hierüber seit mehreren Jahren Abhandlungen bei mir, mit deren Veröffentlichung ich bisher gezögert habe, und die ich aus den oben erwähnten Gründen auch jetzt zurückhalten muss. Hr. Boltzmann hat unzweifelhaft Recht, wenn er in meinen bisherigen Veröffentlichungen noch Mängel findet; ich hoffe aber später zeigen zu können, dass mein Prinzip in einer Anzahl wichtiger Fälle auf den anschaulichen Ausdruck eines längst geübten analytischen Verfahrens hinauskommt, und damit ebenso zu Recht besteht, wie dieses. In den übrigen Fällen bedarf das Princip im Allgemeinen keiner weiteren Deutung. Diese Bemerkungen beziehen sich insbesondere auf S. 51 u. 52, wo sich Hr. Boltzmann eingehend mit Fehlern beschäftigt, die ich zwar nicht gemacht habe, aber nach seiner Meinung hätte gemacht haben können.

In Summa liegt die Sache so, dass meine Anschauungen, so fehlerhaft sie zum Ausdruck gebracht sein mögen, meine Mitarbeiter und mich zur Auffindung einer Anzahl neuer wissenschaftlicher Thatsachen geführt haben. Vergleiche ich damit die fast vollkommene physikalische Unfruchtbarkeit der von Hrn. Boltzmann gepflegten kinetischen Anschauungen, so kann ich über den relativen Werth der beiden Wege nicht im Zweifel sein, und kann in Hrn. Boltzmann's Kritik, so weit sie berechtigt ist, keinen Anlass sehen, meinen Weg zu verlassen, sondern nur einen, ihn zu verbessern.

Während Hr. Boltzmann mit einer Sorgfalt, für die ich ihm zu grossem Danke verpflichtet bin, meine Arbeiten geprüft hat, begnügt sich ein anderer Gegner¹⁾ mit allgemeinen Versicherungen, dass die ganze Energetik nichts werth sei, und führt als abschreckendes Beispiel nur den einen Begriff der Volumenenergie an, der nach ihm „kurz und bündig gesprochen, ein mathematisches Unding vorstellt, nämlich eine Grösse, die in Wirklichkeit gar keine ist. Denn von einer Grösse, und zumal von einer Energiegrösse, die doch in der Energetik die Substanz *κατ' εἶδος* 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 Verände-

1) M. Planck, Wied. Ann. 57. p. 78. 1896.

rungen 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.“

Um die Kraft dieser Logik zu würdigen, braucht man nur die nun folgenden, auf die Volumenenergie bezüglichen Darlegungen mit der Veränderung zu lesen, dass statt des Wortes Volumenenergie das andere *Wärmeenergie* gesetzt wird. Wie man sehen wird, und wie aus dem in dieser Beziehung vollkommen symmetrischen Verhalten der Grössen dQ und $p dv$ in der bekannten Form des ersten Hauptsatzes $dQ = dE + p dv$ mit Nothwendigkeit hervorgeht, wird dadurch eine gleich richtige, bezw. falsche Darlegung gewonnen. Es hiesse dann:

„Führt man nun das Gas durch eine fortlaufende Reihe von Zustandsänderungen, z. B. durch einen Carnotschen Kreisprocess in seinen alten Zustand zurück, so müsste nach dem Obengesagten, da das Gas seinen alten Zustand wieder einnimmt, auch seine Wärmeenergie wieder die alte, mithin ihre Gesamtänderung gleich Null sein. Es ist aber wohl bekannt, dass dies im allgemeinen mit jenem Integral (dem Integral $\int dQ$ durchaus nicht der Fall ist, sondern dass das Gas bei einem solchen Kreisprocess im ganzen je nach den Umständen positive oder negative Wärmeenergie abgibt. Daher hat es überhaupt gar keinen Sinn von einer Wärmeenergie eines 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 Wärmeenergie, sondern immer nur auf eine Differenz ankommt. Allerdings kommt es nur auf eine Differenz an, aber die Differenz der Wärmeenergieen 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 Zustande in den andern bringt.

„Clausius hielt diesen Umstand für so wichtig etc. etc.“

Durch diesen Umtausch scheint mir die Schwäche jener Beweisführung hinreichend klar gelegt zu sein. Das Recht, ein häufig auftretendes Glied der energetischen Gleichungen mit einem eigenen Namen zu belegen, ist in keiner Weise an

die Frage geknüpft, ob das Integral dieser Grösse nur von den äussersten Werthen, oder auch vom Wege abhängt. Denn indem wir dQ mit dem Namen der Wärmeenergie bezeichnen, machen wir von dem Recht gerade in einem Falle Gebrauch, bei welchem die Abhängigkeit vom Wege thatsächlich vorhanden ist. Aber noch mehr. Mit eben demselben Recht, mit welchem Clausius die „in einem Körper enthaltene Wärmemenge“, die er in seiner Abhandlung VI mit dem Buchstaben H bezeichnet, als eine Grösse definirt, die nur von dem Zustande des Körpers abhängt, bei welcher also das Integral $\int dH$ vom Wege unabhängig wird, kann man eine (vom Integral $\int p dv$ verschiedene) Grösse als die in einem Körper enthaltene Volumenergie definiren, welcher die gleiche Eigenschaft zukommt. Ob eine solche Grösse einen kleinen oder grossen analytischen Nutzen hat, kommt hier nicht in Frage.

Nach der vorliegenden „Stichprobe“, der einzigen, die ich anzustellen Gelegenheit habe, glaube ich zur Annahme befugt zu sein, dass mein zweiter Gegner zu seiner Verurtheilung der Energetik nicht in dem Grade berechtigt ist, welchen er für sich in Anspruch nimmt. Ich bin vollkommen überzeugt davon, dass es ihm möglich sein wird, in meinen Schriften angreifbare Stellen zu finden; sind mir doch selbst noch einige bekannt, auf welche Herr Boltzmann nicht hingewiesen hat. Hierüber habe ich mich schon an früherer Stelle ausgesprochen, und ich werde mich seinerzeit bemühen, sie zu verbessern. In Bezug auf sein vernichtendes Votum warte ich mit Heiterkeit das Urtheil der Geschichte ab. Wenn aber einstmals ein künftiger Geschichtsschreiber dieses Gebietes Neigung haben sollte, die Energetik (im engeren Sinne) als eine „reife Frucht“ der Entwicklung unserer Wissenschaft zu bezeichnen, die nothwendig jedem in den Schoss fallen musste, der an den Baum rührte, so wird ihn der Aufsatz meines zweiten Gegners eines Anderen belehren. Und dies ist der Dank, den ich ihm schulde.
