

5. *Ein Wort der Mathematik an die Energetik; von Ludwig Boltzmann.*

Wie in jeder Wissenschaft haben auch in der theoretischen Physik die Anschauungen im Verlaufe der Zeit die mannigfachsten Umwälzungen erfahren. Heutzutage strebt man zunächst eine möglichst klare, hypothesenfreie Beschreibung der Erscheinungen und Präcisirung der Gesetze derselben an; dieses Ziel haben sich Kirchhoff, von Helmholtz, Clausius (in seiner allgemeinen Wärmetheorie), Hertz, Lord Kelvin, Gibbs etc. gesteckt. Die Ansicht, dass auch Wärme, Electricität etc. einer mechanischen Erklärung fähig seien, wird dabei nicht zu Grunde gelegt oder spielt doch keine wesentliche Rolle. Nebenbei und ohne die Wichtigkeit der ersten Methode zu leugnen, suchte man sich namentlich mit grossem Erfolge von den Erscheinungen der Elasticität, des Flüssigkeitsdrucks, des Lichts und der Wärme aber auch von denen der Electricität und des Magnetismus (Maxwell) möglichst anschauliche, bisher ausschliesslich der Mechanik entnommene, Bilder zu machen, welche in der als Dogma längst nicht mehr anerkannten Ansicht gipfelten, dass die ganze Welt durch die Bewegung materieller Punkte darstellbar sei. Diese mechanischen Bilder blieben ihrer Natur nach unvollständig, aber auch die allgemein beschreibenden Theoreme bedurften, um sie eindeutig anwendbar zu machen einer etwas complicirten Begründung und Formulirung. Ich erwähne als Beispiel das Hamilton'sche Princip, den 2. Hauptsatz der Wärmelehre und die Gibbs'schen Theoreme, endlich die Maxwell-Hertz'schen Fundamentalgleichungen des Electromagnetismus.

Es glaubten nun in neuester Zeit einige Forscher alle diese Complicationen entbehren und die Fundamentalsätze in viel einfacherer Form aussprechen zu können. Da sie schliesslich zur Consequenz gelangten, dass die Energie das eigentlich Existirende sei, nannten sie sich Energetiker. Wir wissen nicht, ob unsere heutige Naturauffassung die zweckmässigste ist; daher ist das Streben einen allgemeineren und höheren

Gesichtspunkt, als den der heutigen theoretischen Physik zu erreichen, gewiss gerechtfertigt. Die heutigen Energetiker begnügen sich aber keineswegs mit diesem Streben, sondern sie behaupten, dass sie einen solchen höheren Gesichtspunkt bereits erreicht hätten und dass daher die Ausdrucksweise und die Methoden der theoretischen Physik schon heute ganz verlassen oder doch in den wesentlichsten Grundzügen verändert werden sollen, welche Behauptung ich im folgenden widerlegen zu können glaube. Die Bemerkung, dass ich die Gelehrten, deren Namen ich später erwähnen werde, persönlich zu meinen besten Freunden zählen zu dürfen hoffe, zahlreiche ihrer Leistungen zu den hervorragendsten wissenschaftlichen Arbeiten rechne und mich nur gegen ihre speciell energetischen Publicationen wende, wird genügen, um zu verhüten, dass späteren gegen irgend eine Schlussfolgerung oder mathematische Formel gerichteten Angriffen der mindeste persönliche Charakter beigelegt werde.

I. Mechanik.

§ 1. Wir beginnen mit der am meisten bearbeiteten Disciplin der theoretischen Physik, der Mechanik. Ob die Bewegung der Körper eine Thatsache der direkten Wahrnehmung ist, oder ob nicht vielmehr in der Art und Weise, wie wir uns dieselbe denken, schon ein ganzes Gebäude von Hypothesen liegt, die wir halb unbewusst hinter den Thatsachen der directen Wahrnehmung construirt haben, kann dahingestellt bleiben, da die Energetik diese Frage ebenfalls nicht berührt, und es sich hier blos um die Darstellungen der Mechanik vom energetischen Standpunkte handelt.

§ 2. Mir ist blos eine derartige, in sich abgeschlossene Darstellung bekannt, nämlich die des Hrn. Helm.¹⁾

Hr. Helm glaubt die mir unlösbar scheinende Aufgabe, sämtliche Bewegungsgleichungen der Mechanik aus einem einzigen Integrale (dem der Constanz der Energie) abzuleiten, dadurch gelöst zu haben, dass er den Unterschied zwischen Differentialen und Variationen fallen lässt. Seien x, y, z die Coordinaten eines materiellen Punktes von der Masse m , ferner x', y', z' deren Ableitungen nach der Zeit und X, Y, Z

1) Helm, Ztschr. f. Math. u. Ph. 35. p. 307. 1890.

die Componenten der auf diesen Punkt wirkenden Kraft, so ist die lebendige Kraft $T = \frac{1}{2} m (x'^2 + y'^2 + z'^2)$ und deren Differential $dT = m(x'' dx + y'' dy + z'' dz)$. Ferner ist das Arbeitsdifferential $dA = X dx + Y dy + Z dz$. Durch Gleichsetzung beider Differentiale folgt:

$$(m x'' - X) dx + (m y'' - Y) dy + (m z'' - Z) dz = 0.$$

Hier betrachtet nun Hr. Helm dx , dy und dz als unabhängig und setzt dx von 0 verschieden, dagegen $dy = dz = 0$, wodurch er erhält: $m x'' - X = 0$. Da er aber früher $dx = x' dt$, $dy = y' dt$, $dz = z' dt$ gesetzt hatte, so ist mit $dy = dz = 0$ auch $y' = z' = 0$ gesetzt worden. Aus Hrn. Helms Deduction folgt also bloß, dass für jene Zeiten, wo $y' = z' = 0$ ist, die Relation $m x'' = X$ besteht und dass ein Gleiches für die beiden anderen Coordinatenrichtungen gilt, keineswegs aber, dass die drei Gleichungen

$$m x'' - X = m y'' - Y = m z'' - Z = 0$$

allgemein gelten. Man kann in diesem einfachen Falle die drei Bewegungsgleichungen aus dem einen Energieprincipe durch Zuziehung gewisser allgemeiner Sätze z. B. des Superpositionsprincipes, des Principes der gleichen Beschaffenheit des Raumes nach allen Richtungen etc. gewinnen. Daher ist die Ableitung der Lagrangeschen Gleichungen durch Hrn. Helm noch schlagender.

§ 3. Hier bezeichnet Hr. Helm mit s_k eine verallgemeinerte Coordinate und s'_k deren Ableitung nach der Zeit, mit $dA = \sum_k S_k ds_k$ die geleistete Arbeit, wenn wir uns auf den Fall beschränken, wo keine Gleichung zwischen den s_k besteht. Er findet

$$dT = \sum_k \frac{\partial T}{\partial s_k} ds_k + \sum \frac{\partial T}{\partial s'_k} ds'_k.$$

Da das Endergebniss durch die früheren Untersuchungen schon bekannt ist, so erhält Hr. Helm durch Nachahmung der durch die Variationsrechnung bedingten Umformung das richtige Resultat; doch scheint mir die Schlussweise, durch welche er dazu gelangt, ebenfalls nicht einwurfsfrei, da mit der Annahme, dass alle anderen ds bis auf ds_k verschwinden, wiederum die andere bedingt ist, dass auch alle anderen s' verschwinden. Derjenige, der das Schlussresultat nicht vorher kennt, würde

in der That statt der Helm'schen Transformation folgende näher liegende vornehmen. Er würde zunächst schreiben:

$$\frac{\partial T}{\partial s'_k} = \sum_i \frac{\partial^2 T}{\partial s'_k \partial s'_i} s'_i;$$

daraus würde analog wie früher $x' dx' = x'' dx$ gesetzt wurde, folgen

$$\sum_k \frac{\partial T}{\partial s'_k} ds'_k = \sum_k \sum_i \frac{\partial^2 T}{\partial s'_k \partial s'_i} s''_i ds_i,$$

wo man, da sowohl k als auch i alle möglichen Werthe anzunehmen haben, auch die Buchstaben k und i vertauschen kann, gerade so, wie man im bestimmten Integrale die Integrationsvariablen bezeichnen kann, wie man will. Man kann also eben so gut schreiben:

$$\sum_k \frac{\partial T}{\partial s'_k} ds'_k = \sum_k \sum_i \frac{\partial^2 T}{\partial s'_k \partial s'_i} s''_i ds_k.$$

Setzt man dieses in die Gleichung

$$dT - dA = \sum_k \frac{\delta T}{\delta s_k} ds_k + \sum \frac{\delta T}{\delta s'_k} ds'_k - \sum_k S_k ds_k = 0$$

ein, so folgt:

$$\sum_k \frac{\partial T}{\partial s_k} ds_k + \sum_k \sum_i \frac{\partial^2 T}{\partial s'_k \partial s'_i} s''_i ds_k - \sum_k S_k ds_k = 0.$$

Ordnet man dies nach den ds_k und nimmt diese unabhängig voneinander an, so folgt:

$$\frac{\partial T}{\partial s_k} + \sum_i \frac{\partial^2 T}{\partial s'_k \partial s'_i} s''_i = S_k$$

für jeden Werth von k und man ist so durch Anwendung genau derselben Principien, durch welche Hr. Helm das richtige Resultat erhält, zu total falschen Gleichungen gelangt.

§ 4. Hr. Ostwald behandelte bei verschiedenen Gelegenheiten die Ableitung der Grundgleichungen der Mechanik aus den Principien der Energetik.¹⁾ Doch gab er nirgends eine consequente Durchführung, überall nur Andeutungen. Als Beispiel, wie sehr deren Verständniss durch ihre dem Mathematiker ungewöhnliche Behandlungsweise erschwert wird, führe ich, ausser dem schon von Hrn. Sophus Lie besprochenen Principe des ausge-

1) Ostwald, Lehrb. d. allg. Chemie 2. p. 1—39. Viele Abh. in d. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1891—1895.

zeichneten Falles hier noch ein Paar ganz concrete Specialfälle an. Sei $\frac{1}{2} m v^2$ die lebendige Kraft eines sich im Kreise bewegenden Trabanten, $j M m / r^2$ die Anziehung des Centralkörpers, daher $C - j M m / r$ die potentielle Energie. Man weiss, dass nach dem Principe der stationären Wirkung

$$\delta W = \delta \int_0^{\tau} \left(\frac{m v^2}{2} - C + \frac{j M m}{r} \right) dt = 0$$

sein muss. Dass hier die potentielle Energie das entgegengesetzte Vorzeichen erhalten muss, sowie dass τ constant betrachtet werden muss, wird bekanntlich aus Hamiltons Principien bewiesen. Gewöhnlich betrachtet man auch Ausgangspunkt und Endpunkt der Bewegung als unveränderlich. Diese Bedingung ist überflüssig, wenn die ursprüngliche und variirte Bahn beide geschlossen sind.¹⁾ Das Integrale, über die ursprüngliche Kreisbahn erstreckt, hat den Werth

$$W = \tau \left(\frac{m v^2}{2} - C + \frac{j M m}{r} \right).$$

Geht man zu einer unendlich nahen Kreisbahn über, so muss

$$\delta W = \delta \left[\tau \left(\frac{m v^2}{2} - C + \frac{j M m}{r} \right) \right] = 0$$

sein, wenn $\tau = 2 \pi r / v$ constant ist, woraus sofort

$$\frac{j M m}{r^2} = \frac{m v^2}{r}$$

folgt. Hier ist jeder Schritt in den allgemeinen Regeln vorgezeichnet, sie müssen zum richtigen Resultat führen.

Hr. Ostwald dagegen²⁾ schliesst einfach aus dem Principe der virtuellen Energien, dass

$$(1) \quad d \left(\frac{m v^2}{2} \right) = d \left(C - \frac{j M m}{r} \right)$$

sein muss. In anderen Fällen (z. B. beim Gleichgewichte am Hebel oder zwischen dem Gewichte eines Stempels und der Volumenenergie eines Gases) muss die Summe der Aenderungen aller Energien, hier dagegen muss die Differenz verschwinden. Bei Anwendung des Hamilton'schen Principes ist der Grund

1) Sitzungsber. d. Wien. Akad. 53. p. 213, 8. Febr. 1866; 75. p. 76, 11. Jan. 1877, Abschn. III.

2) Ostwald, Lehrb. d. allg. Chemie 2. p. 26.

davon klar. Ich zweifle nicht, dass Hr. Ostwald nachträglich für diese verschiedene Art der Behandlung einen ad hoc eronnenen Grund finden wird, aber weder hiefür noch dafür, dass zur Gleichung (1) gerade die Bedingung $\tau = 2\pi r/v = \text{const.}$ kommen muss, sehe ich einen Grund in den Principien seiner Theorie. Man würde ein anderes Resultat erhalten, wenn man zur Gleichung (1) die Bedingung hinzunähme, dass die doppelte Flächengeschwindigkeit vr oder die Grösse $v^a r^b$ constant sein müsse. Es würde sich darum handeln zu zeigen, dass die richtige Gleichgewichtsbedingung aus den Principien der Theorie vorher gesehen werden konnte; dass das gewünschte Resultat folgt, wenn man die gerade dazu führende Bedingungsgleichung auswählt, ist ja selbstverständlich.

Bei einer andern Gelegenheit bemerkt Hr. Ostwald (Allg. Chemie p. 488), dass wir nicht den absoluten Werth von v^2 , sondern bloß die Differenz $v_1^2 - v_0^2$ bestimmen können. Da wir aber offenbar auch $v_1 - v_0$ bestimmen können, so liesse sich, wenn die Differenz $v_1^2 - v_0^2$ bestimmt wäre, v_1 und v_0 absolut berechnen, was der Erfahrung widerspricht.

Die absonderliche Thatsache, dass bei der kinetischen Energie die Intensität ein Vector ist und zwei Körper mit gleicher Geschwindigkeit erst dann im Gleichgewichte sind, wenn auch deren Richtung dieselbe ist, sei hier nur kurz erwähnt.

§ 5. Bei diesem Stand der Dinge mag man es entschuldigen, wenn ich auf die Gefahr hin, zu irren, selbst Hrn. Ostwald's Ideen einheitlich zu fassen suche. Man kann die Mechanik, wie ich glaube, einwurfsfrei aus folgenden Principien erhalten:

1. Die mechanischen Systeme bestehen aus materiellen Punkten, deren kinetische Energie in bekannter Weise gleich $\frac{1}{2} \sum m v^2$ ist und deren potentielle (Distanz-)Energie eine Summe von Functionen der Entfernung je zweier ist.

2. Wenn alle materiellen Punkte anfangs ruhen, so bewegen sie sich während des nächst folgenden unendlich kleinen Zeittheilchens so, dass unter Wahrung des Energieprincipes ein Maximum potentieller Energie sich in kinetische umwandelt.¹⁾

1) Carl Neumann, Das Ostwald'sche Axiom. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 13. Juni 1892.

3. Wenn sich die materiellen Punkte schon anfangs bewegen, so superponirt sich die Geschwindigkeit, welche sie schon haben, während jedes Zeitmomentes mit der, welche sie nach 2 erhalten würden, wenn sie sich zu Anfang des betreffenden Zeitmomentes in gleicher relativer Lage in Ruhe befänden.

Eine zweite einwurfsfreie Begründung der Mechanik erhält man, wenn man nach Hrn. M. Planck annimmt, dass das Energieprincip für die Bewegung jedes materiellen Punktes in jeder der drei rechtwinkligen Coordinatenrichtungen separat gilt.¹⁾ Allein alle diese Begründungen scheinen mir keineswegs zu leisten, was die Energetik verspricht. Denn erstens stellen sie alle die Hypothese an die Spitze, dass die Körper aus materiellen Punkten bestehen, welche sonst von der Energetik als die am wenigsten berechtigte Beschränkung der Freiheit unseres Denkens bezeichnet wird. Eine directe Ableitung der allgemeinen Euler'schen Bewegungsgleichungen für starre Körper, der Gleichungen der Elasticitätslehre und Hydrodynamik aus energetischen Principien, ohne den Umweg über die atomistische Hypothese ist mir nicht bekannt. Zweitens fördern sie nicht im mindesten unseren Einblick in die Principien der Mechanik; sie legen keine allgemeinen, auch in der übrigen Energetik geltenden Sätze zu Grunde, sondern schliessen sich ganz der alten Begründung der Mechanik an, die sie nur in wenig glücklicher Weise theilweise in die Sprache der Energetik einkleiden. Das Princip des Maximums des Umsatzes wird seiner universellen Bedeutung von vornherein durch die Beschränkung beraubt, dass es nur für den ersten Uebergang vom Zustande vollkommener Ruhe zu dem sehr kleiner Bewegung gilt; das Superpositionsprincip als allgemeines Naturprincip hinzustellen, schiene mir sehr verfrüht; zudem wird es durch die Forderung seiner gesonderten Anwendbarkeit auf die drei verschiedenen Coordinatenrichtungen zur reinen Abstraction, da ja die Coordinatenachsen doch nur in unserer Phantasie existiren. Ausserdem ist noch, wenn mehrere materielle Punkte existiren, die Trennung der verschiedenen Arbeiten, welche jeder einzelne Punkt bei seiner Bewegung leistet, willkürlich.

1) Planck, Das Princip d. Erhalt. d. Energie, Teubner 1887. p. 148.

§ 6. Im grellen Gegensatze zu den jetzt besprochenen Ausführungen der Energetiker, welche den Uebergang von der allgemeinen Energielchre zur Lehre von den Bewegungen und Gestaltsänderungen der uns continuirlich scheinenden Körper nur durch die Hypothese der Existenz materieller Punkte finden, steht die neueste Anschauung Hrn. Ostwald's, nach der die Energie das eigentliche Seiende sei und eines besonderen irgendwie benannten Trägers garnicht bedürfe. Ich gebe das letztere von der Wärmeenergie, solange diese für sich allein betrachtet wird, zu. Aber schon bei Erklärung oder sagen wir Beschreibung der Gesetze der kinetischen Energie stösst man auf eine Schwierigkeit, welche meines Wissens noch nicht bemerkt worden ist. Obwohl dieselbe eigentlich mehr philosophischer Natur ist, will ich doch den Versuch wagen, sie hier begreiflich zu machen.

Betrachten wir die Wärme als das ursprünglich Gegebene oder wenn man will Seiende. Wir können dann annehmen, dass sie an verschiedenen Stellen des Raumes in verschiedener Menge vorhanden sein kann, sowie, dass sie von Ort zu Ort wandern kann. Um die Gesetze dieser Wanderung zu beschreiben, führen wir die Begriffe der Temperatur, Wärmecapacität etc. ein und nehmen als erfahrungsmässig gegeben an, dass die Wärmecapacität selbst wieder an einer bestimmten Stelle des Raumes nicht zu allen Zeiten dieselbe bleibt, sondern unabhängig von der Wärme selbst, aber ebenfalls nach festen Gesetzen sich verändern oder von einem Ort zum andern wandern kann. Wir haben dann eine ebenso klare Beschreibung der reinen Wärmephänomene, als wenn wir sagen, die Materie sei das Existirende und die Wärme eine Eigenschaft derselben.

Nun wollen wir aber in gleicher Weise die Gesetze der kinetischen Energie zu beschreiben suchen. Diese sei das ursprünglich Gegebene, also nicht weiter Definirbare. Sie sei an verschiedenen Stellen des Raumes in verschiedenem Grade vorhanden. Die Massen seien blosse Zahlenfactoren, welche wir verschiedenen Stellen des Raumes zuschreiben um die Gesetze der Wanderung der kinetischen Energie beschreiben zu können. Nichts hindert uns nun anzunehmen, dass die Werthe dieser durch den Begriff der kinetischen Energie erst definirten

Zahlenfactoren sich mit der Zeit nach bestimmten Gesetzen ändern oder auch, dass ein bestimmter Werth mit einer gewissen Geschwindigkeit von Punkt zu Punkt im Raume fortwandert; allein völlig unstatthaft ist es, jetzt das ursprünglich Existirende, die kinetische Energie, wieder als das Product des halben Werthes dieses Zahlenfactors (der halben Masse) in das Quadrat der Geschwindigkeit zu definiren, mit welcher dieser Werth im Raume von Punkt zu Punkt fortschreitet, während vordem der Begriff der Masse aus dem der kinetischen Energie abgeleitet wurde. Dies ist ein logischer Widerspruch, eine *Contradictio in adiecto*, oder, wenn man lieber will, eine die Erscheinungen unzweckmässig beschreibende Ausdrucksweise. Wenn ich zuerst sage: die kinetische Energie ist das einfache, ursprünglich Seiende, nicht weiter Beschreibbare und dieselbe, als das Product des Capacitätsfactors desjenigen Raumes, in welchem sie existirt, in das Quadrat der Geschwindigkeit beschreibe, mit welcher dieser Wert des Capacitätsfactors von Punkt zu Punkt fortwandert, so liegt hier ein unlösbarer Widerspruch vor.

Definire ich die kinetische Energie als das ursprünglich Gegebene, so mache ich offenbar einen grossen Fehler, wenn ich, wie es Hr. Ostwald in seinen soeben citirten Schriften zu thun scheint, blos Gesetze für die Ortsveränderungen der Massen aufstelle und die kinetische Energie als das Product der halben Masse in das Geschwindigkeitsquadrat der betreffenden Ortsveränderungen definire. Ich müsste im Gegentheil Gesetze für die Wanderungen der kinetischen Energie selbst im Raume aufstellen; bei Aufstellung derselben müsste ich dann irgendwo einen durch Zahlen ausdrückbaren Begriff (die Masse m) einführen und es müsste sich dann hinterher als Erfahrungsthatsache (Naturgesetz) ergeben, dass jedesmal, wo kinetische Energie ist, der Werth dieses Zahlenfactors im Raume fortwandert und zwar mit einer Geschwindigkeit, welche gleich der Quadratwurzel aus einem Bruche ist, dessen Nenner jene Zahl m und dessen Zähler der doppelte Werth der Energie ist.

Aus den obigen Ausführungen dürfte klar hervorgehen, wie weit wir noch von einer einwurfsfreien Naturbeschreibung vom energetischen Standpunkte entfernt sind und dass die

Energetiker, während sie die bisher übliche Darstellungsweise der theoretischen Physik wegen einiger (wie ich zeigen werde vielfach eingebildeter) Schwierigkeiten als abgethan erklären, selbst viel grössere Schwierigkeiten einführen.

II. Wärmelehre.

§ 7. War auf dem Gebiete der reinen Mechanik die Energetik fast vollkommen unfruchtbar, so hat sie auf dem der Thermodynamik zahlreiche neue Ausdrucksformen, auch hie und da materiell (oder soll ich sagen energetisch?) Neues hervorgebracht. Wir wollen untersuchen welche Bedeutung diese Resultate haben. Das Differential der zugeführten Energie irgend einer Art wurde seit jeher in der Form JdM dargestellt, ja es muss schon aus mathematischen Gründen diese Form haben. Die physikalischen Eigenschaften der Grössen J und M wurden auch bereits seit langem besonders von Gibbs erkannt, den ich nicht zu den Energetikern zähle, da er nirgends eine wesentliche Abweichung von den bisherigen Anschauungen und Darstellungsformen der theoretischen Physik empfiehlt.

Von der Energetik neu eingeführt ist vor allem die Zerlegung des Gesamtbesitzes eines Körpers an irgend einer Energieart, z. B. an Wärme in zwei Factoren. Dieselbe findet sich an vielen Orten (siehe viele Abhandlungen in der sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften) doch am ausführlichsten dargestellt in Hrn. Ostwald's Lehrbuch der allgemeinen Chemie, II, p. 490. Gerade die Unbestimmtheit der Grundlage der betreffenden Untersuchungen und die damit verbundene Unklarheit der sich daran anschliessenden Betrachtungen erschwert in hohem Grade deren Widerlegung. Ich muss mich darauf beschränken an einzelnen Beispielen Unrichtigkeiten nachzuweisen, ohne damit etwa den Resultaten von Hrn. Ostwald an anderen Orten zuzustimmen.

Hr. Ostwald setzt p. 492 die Wärmeenergie eines vollkommenen Gases

$$E = U_1 + R(t + 273) \ln \frac{v}{v_0},$$

wobei R und v_0 Constanten, v und t das Volumen und die

Celsiustemperatur, U_1 eine Function der Temperatur und \ln den natürlichen Logarithmus bedeutet. Hieraus findet er

$$\frac{dE}{dt} = \frac{dU_1}{dt} + R \ln \frac{v}{v_0}.$$

Er sagt, dass er bei constanter Entropie s differentiiren wollte, während er factisch bei constantem v differentirt hat. Es müsste also s nur Function von v sein, worauf auch p. 491, Z. 11 v. o. und p. 493, Z. 11 v. u. hinzudeuten scheint. Dem widerspricht aber direct der Wert

$$s = s_0 + c_v \ln \frac{T}{T_0} + R \ln \frac{v}{v_0},$$

den Hr. Ostwald selbst auf p. 497 findet. Eins von beiden, die Differentiation oder dieser Werth von s muss nothwendig falsch sein.

§ 8. Ferner zerlegt Hr. Ostwald die gesammte Energie eines Gases, welche erfahrungsmässig der absoluten Temperatur T proportional ist, also den einfachen Werth γT hat. in zwei Theile, die Volumenenergie $\Phi = C - RT \ln(v/v_0)$ und die Wärmeenergie, für welche der complicirte Werth $E = \gamma T - C + RT \ln(v/v_0)$ übrig bleibt. Von dieser nicht in der Natur der Vorgänge gelegenen Zerlegung, weicht er selbst wieder ab, indem er p. 494 und 495

$$c = \frac{dQ}{dT}, \quad ds = \frac{dQ}{T}$$

und sogar $Q = sT$ setzt, statt wie anfangs

$$c = \frac{dE}{dT}, \quad ds = \frac{dE}{T}, \quad E = sT$$

zu schreiben. Aus seinen Angaben ist nicht zu erkennen, ob s die in dem bekannten gewöhnlichen Sinne verstandene Entropie oder eine ganz neue von Hrn. Ostwald eingeführte Function ist.

Selbstverständlich, weil durch Erfahrung begründet, ist die Zerlegung der gesammten zugeführten Wärme in die auf äussere Arbeitsleistung und die auf Vermehrung der inneren Energie verwendete. Diejenigen Theile der alten Wärmetheorie, welche an das mechanische Bild anknüpfen, müssen die letztere Wärme in die auf Erhöhung der kinetischen Energie der Molecüle und die auf innere Arbeitsleistung ver-

wendete zerlegen. Clausius z. B. that dies, indem er zwischen der wirklichen und wahren Wärmecapacität unterschied. Wenn nun die Energetiker diese Zerlegung als nicht in der Erfahrung begründet verwerfen, so sollten sie nicht wieder eine durch Erfahrung ebenso unbegründete Zerlegung der gesammten in einem Körper enthaltenen Wärmeenergie vornehmen, deren Schwierigkeit sie selbst zugeben (Hrn. Ostwald's jetzt immer citirtes Lehrbuch p. 495, Z. 5 v. o) und welche schon in dem einfachen Falle der vollkommenen Gase so unnatürlich ausfällt.

§ 9. Gehen wir mehr in's Specielle ein, so kommen wir auf noch grössere Schwierigkeiten.

Auf p. 494 heisst es: Ist in einem Gebilde Energie mit einer anderen Energie im Gleichgewichte, so herrscht die Beziehung $s dT = c di$. Da müssten doch c und i Capacität und Intensität einer anderen Energie sein. Es wird aber $c di = dQ$ gesetzt; und unter $s dT$ wird auch nichts anderes als dQ verstanden. Wie kann aus dieser Identität, das neue Resultat folgen, dass $dQ/Q = dT/T$ ist? Entsprechend wird nun $Q = cT$ gesetzt, während früher $E = cT$ war. In der Formel

$$dE = c di = s dT$$

stelle dE die bei constantem s zugeführte Wärme, dT den dadurch erzeugten Temperaturzuwachs dar (p. 490, Z. 14 v. o.), während jetzt p. 494, Z. 5 v. o. dQ gleich der Differenz der beiden adiabatisch bei einem zwischen den Temperaturen T und $T + dT$ vorgenommenen Kreisprocesse entzogenen bez. zugeführten Wärmen ist. Die beiden Gleichungen $dQ/Q = dT/T$, welche Ostwald p. 494, einerseits Z. 5, andererseits Z. 17 v. o. aufstellt, sind zwar der Form nach identisch, aber die Buchstaben haben in beiden eine ganz andere Bedeutung. Ueberdies gilt für den Kreisprocess die Gleichung nur dann, wenn dabei das Maximum von Arbeit gewonnen wird, d. h. wenn er umkehrbar vorgenommen wird. Wenn nicht, so kann auch $dQ/Q = dT/2T$ ja sogar $dQ = 0$ sein. Wie verhält es sich mit dem Ungleichheitszeichen in diesen Fällen, wo nicht die Summe, sondern die Differenz der Energiedifferentiale gleich Null ist? Ich kann, wie schon bemerkt, die betreffenden Ausführungen Hrn. Ostwald's nicht genauer discutiren, weil ich seinen Gedankengang nicht verfolgen kann.

§ 10. Aehnlich geht es mit der Anwendung derselben Gleichung auf p. 499. Hier kommen in der That zwei Energiearten in's Spiel und Hr. Ostwald sieht einen besonderen Fortschritt darin, die bekannte Gleichung

$$\frac{l}{T(v_1 - v_2)} = \frac{dp}{dT}$$

aus seinen Formeln gewissermaassen hervorzaubern zu können. Es kann sich doch wohl nicht darum handeln, ob sich aus Hrn. Ostwald's Prämissen irgendwie etwas ableiten lässt, was beiläufig die Form dieser Gleichung hat. Eine solche Verwendung des Analogieprincipes würde jedem präzisen Denken ein Ende machen. Wir können nur fragen, ob er klare Regeln angegeben hat, aus denen die fragliche Gleichung mit Nothwendigkeit folgt.

Er beruft sich auf p. 25 und 35. Allein weder dort noch in der sächsischen Gesellschaft vom 8. Juni 1891 p. 276 ist die Fassung klar, doch scheint sich das an allen diesen Stellen formulirte Princip auf den Fall zu beziehen, dass eine kleine Energiemenge in einem Gebilde eine andere Form annimmt. Solche Fälle sind z. B. folgende:

An der gleicharmigen oder ungleicharmigen (römischen) Waage sinke ein Gewicht P_1 und dh_1 , ein anderes P_2 erhebe sich um dh_2 , d. h. es sinkt um $-dh_2$. Dann wächst die Energie des ersten Gewichts (des Systems Erde, Gewicht) um $dE_1 = -P_1 dh_1$, die des anderen um $dE_2 = +P_2 dh_2$ und es ist für den Fall des Gleichgewichts $dE_1 + dE_2 = 0$.

Ein sich ausdehnendes Gas hebe ein Gewicht P um dh . Die Energie des Gases wächst um $dE_1 = -p dv$, die des Gewichts um $dE_2 = +P dh$. Es ist wieder $dE_1 + dE_2 = 0$.¹⁾

In dem Beispiele, dass uns jetzt beschäftigt, handelt es sich im einfachsten Falle um ein Gefäß, welches die Masse m_1 flüssigen Wassers und die Masse m_2 gesättigten Wasserdampfes enthält. Irgend eine virtuelle Veränderung der Energievertheilung wird im allgemeinen die Temperatur um dT erhöhen. Wir nehmen erstens an, dies geschehe durch Zufuhr der

1) Dass Hr. Ostwald bei Ableitung der Formel für der Centrifugalkraft gerade so wie jetzt wiederum bei Betrachtung der Coexistenz zweier Phasen $dE_1 - dE_2 = 0$ schreibt, wurde schon bemerkt.

Wärmemenge dQ bei constantem Volumen. Dann würde ein dreifacher Energieumsatz stattfinden. Die Wärmemenge dQ würde einem äusseren Reservoir entzogen. Davon würde der Wassermenge m_1 die Wärmemenge $m_1 \gamma_1 dT$, der Dampfmenge m_2 die Wärmemenge $m_2 \gamma_2 dT$ zugeführt; eine dritte Wärmemenge würde zur Verwandlung einer kleinen Wassermenge in Dampf verwendet. Die beiden specifischen Wärmen γ_1 und γ_2 von Wasser und Dampf beziehen sich bekanntlich weder auf constantes Volumen, noch auf constanten Druck, sondern auf eine Erwärmung, wobei zwischen Druck und Temperatur die für den gesättigten Dampf geltende Beziehung besteht. Welche sind nun die Energien, deren Zuwächse Hr. Ostwald auf p. 499 gleich $v_1 dp$, $v_2 dp$, $s_1 dT$ und $s_2 dT$ setzt?

Ein anderer Energieumsatz würde darin bestehen, dass das Volumen unseres Gefässes adiabatisch um dv verkleinert würde. Dann würde die äussere Arbeit $p dv$ (natürlich nicht $v dp$) dem Gemische zugeführt. Von derselben würde wieder der Betrag $m_1 \gamma_1 dT$ auf Erwärmung des Wassers, der Betrag $m_2 \gamma_2 dT$ auf Erwärmung des Dampfes und ein dritter Theil auf Verdampfung einer kleinen Wassermenge verbraucht.

Die Aufgabe durch exacte Analyse dieser Vorgänge seine Gleichung abzuleiten, hat Hr. Ostwald offenbar nicht gelöst.

Genügt Hrn. Ostwald's Motivirung, um die in Rede stehende Gleichung zu beweisen, so kann ich mit ebensoviel Recht folgendermaassen schliessen: ich erwärme ein Gas bei constantem Volumen um dT . Dabei steigt der Druck um dp . Nach Hrn. Ostwald muss $s dT = v dp$ sein, also $s = dp / dT$, wobei der Differentialquotient bei constantem Volumen zu verstehen ist. Nun ist aber bei constantem Volumen $dp / dT = R/v$. Es ist also für ein ideales Glas $s = R/v$. Dieses Resultat ist aber offenbar falsch.

§ 11. Ich glaube überdies noch den Beweis liefern zu können, dass Hrn. Ostwald's Gleichung auf p. 499 nicht einmal richtig ist. Herr Ostwald schreibt nur die Differenz der für Wasser und Dampf geltenden Gleichungen

$$(s_1 - s_2) dT = (v_1 - v_2) dp.$$

Es ist traurig genug, dass ich nicht einmal völlig klar ge-

worden bin, ob aus Hrn. Ostwald's Principien auch die Richtigkeit jeder für Wasser, bez. Dampf allein geltenden Gleichung

$$(2) \quad s_1 dT = v_1 dp, \quad s_2 dT = v_2 dp.$$

folgt oder nicht; doch scheint Hr. Ostwald das erstere zu glauben, da er die Bildung der Differenz bloss damit motivirt, dass man den Gesamtwert der Entropie nicht angeben kann. Trotzdem kann man, wenn die Gleichungen (2) gelten, daraus eine Reihe von Consequenzen ziehen. Es müsste dann

$$s_1 / v_1 = s_2 / v_2 = dp / dT$$

sein. Da nun v_1 , v_2 und dp / dT experimentell bestimmbar sind, so müssten die zu s_1 und s_2 hinzutretenden Constanten bestimmbar sein. Diese von vorneherein widersinnige Consequenz würde einen Mathematiker zur Annahme eines principiellen Fehlers veranlassen. Da es aber den Physiker vielleicht wenig berührt, wenn uns hier plötzlich eine Bestimmung der Entropieconstante gegeben wird, so wollen wir die Consequenzen der Gleichungen (2) weiter verfolgen. Es müsste die Proportion bestehen:

$$s_1 : s_2 = v_1 : v_2.$$

Die Unstatthaftigkeit dieser Proportion liesse sich leicht erweisen. Ich ziehe es jedoch, um jeden Zweifel über die Unrichtigkeit der Gleichungen (2) zu heben, vor, in der nun folgenden Tabelle für Wasser und Wasserdampf die 4 Grössen s_1 , s_2 , $v_1 dp / dT$ und $v_2 dp / dT$ zusammenzustellen, deren Berechnung ich der Gefälligkeit meines Assistenten Hrn Dr. Jäger verdanke. Dabei wurde v_2 aus dem Boyle-Charles'schen Gesetz gefunden, v_1 und dp / dT den Regnault'schen Tabellen entnommen, s_2 nach der Formel in Ostwald's Lehrbuch der allgemeinen Chemie II p. 498 berechnet, deren Richtigkeit ebenfalls von der Giltigkeit des Boyle-Charles'schen Gesetzes abhängt. Für das flüssige Wasser kann in der Gleichung

$$dQ = \gamma_v dT + p dv$$

das zweite Glied wegfallen (die genauere Rechnung zeigt, dass $p dv$ etwa 10^5 mal kleiner, als $\gamma_v dT$ ist) und $\gamma_v = \gamma_p$ gesetzt werden. Somit wird

$$s_1 = \int \frac{dQ}{T} = \int \gamma_p \frac{dT}{T} = \gamma_p \log \text{nat } T + C,$$

indem auch γ_p für alle Temperaturen als constant angesehen werden kann. Die willkürliche Constante wurde unter Annahme der Richtigkeit der Gleichungen (2) für die Temperatur 100° bestimmt. Die Columne unter $v_2 dp/dT$ kann auch für $(v_2 - v_1) dp/dT$ als giltig angesehen werden, da v_1 gegen v_2 sehr klein ist.

t	s_1	$v_1 \frac{dp}{dT}$	s_2	$v_2 \frac{dp}{dT}$	$s_2 - s_1$
0° C.	- 13300	0,34	80600	94600	93900
5	- 12500	0,45	79400	90300	91900
10	- 11800	0,61	78100	88600	89900
15	- 11000	0,81	76000	87000	87900
20	- 10200	1,07	75800	85300	86100
25	- 9600	1,40	74700	83600	84300
30	- 8900	1,82	73600	82000	82600
35	- 8200	2,33	72700	80400	80900
40	- 7500	2,96	71700	78800	79200
45	- 6800	3,72	71000	77300	77800
50	- 6100	4,64	70100	75800	76100
55	- 5500	5,7	69100	74300	74600
60	- 4900	7,0	68300	72900	73200
65	- 4300	8,6	67500	71500	71800
70	- 3600	10,3	66800	70100	70400
75	- 3000	12,4	66100	68800	69100
80	- 2400	14,8	65400	67500	67800
85	- 1800	17,5	64800	66200	66600
90	- 1200	20,8	64100	65200	65300
95	- 600	24,3	63500	64000	64100
100	+ 28,4	28,4	62900	62900	62900
110	+ 1200	38,4	61900	61300	61800
120	+ 2200	50	60800	58900	58600
130	+ 3300	65	59900	57000	56600
140	+ 4300	83	59000	55300	54700
150	+ 5300	105	58200	53800	52900
160	+ 6300	131	57500	52200	51200
170	+ 7300	161	56800	50600	49500
180	+ 8200	196	56100	49200	47900

Wie man sieht, stimmen die Werthe der beiden letzten Columnen genügend überein. Da sich hierin eine bekannte Consequenz der mechanischen Wärmetheorie ausspricht, so beweist dies, dass die gemachten Vernachlässigungen gestattet sind. Hingegen lassen sich die Werthe der zweiten und dritten Columne absolut nicht in Uebereinstimmung zu bringen, und auch zwischen jenen der vierten und fünften haben wir so bedeutende Abweichungen, dass sie unmöglich aus den gemachten Vernachlässigungen erklärt werden können. Damit ist aber auch die Unrichtigkeit der Gleichungen (2) erwiesen.

Eine genauere Formel für die Entropie des flüssigen Wassers kann folgendermaassen gefunden werden. Wir gehen von einer beliebigen Temperatur T und einem beliebigen Drucke p aus. Die Wärme, welche der Masseneinheit flüssigen Wassers zugeführt werden muss, um die Temperatur um dT , den Druck um dp zu steigern, wobei deren ursprüngliches Volumen v und dv wachsen soll, schreiben wir in der Form $dQ = \gamma_v dT + p dv$. Beim Atmosphärendruck p_0 sei $v = f$, wobei f eine Function von T ist. Bei der Temperatur T und einem anderen Drucke sei $v = f - \omega(p - p_0)$, wobei der Compressionscoefficient ω ebenfalls eine Function der Temperatur ist. Suchen wir hieraus p und substituiren es in dem Ausdrucke für dQ , so folgt:

$$(3) \quad dQ = \gamma_v dT + \left(p_0 + \frac{f - v}{\omega} \right) dv.$$

Wir betrachten hier T und v als die independenten Variabeln. Da dQ/T ein vollständiges Differential sein muss, so hat man

$$\frac{1}{T} \frac{\partial \gamma_v}{\partial v} = \frac{d\left(\frac{f + \omega p_0}{\omega T}\right)}{dT} - v \frac{d\left(\frac{1}{\omega T}\right)}{dT}.$$

Daraus folgt durch Integration:

$$\gamma_v = -\frac{v^2}{2} T \frac{d\left(\frac{1}{\omega T}\right)}{dT} + v T \frac{d\left(\frac{f + \omega p_0}{\omega T}\right)}{dT} + \varphi,$$

wobei φ wieder eine Function von T allein ist, welche sich aus der specifischen Wärme γ_p^0 beim constanten Atmosphärendruck p_0 bestimmt. Bei constantem Atmosphärendruck ist $v = f$, $dv = f' \cdot dT$, wenn f' die Ableitung der Function f ist. Daraus folgt

$$dQ = \gamma_v dT + p_0 f' dT, \quad \gamma_p^0 = \frac{dQ}{dT} = \gamma_v + p_0 f'.$$

Substituirt man für γ_v obigen Werth und für v den Werth f , so folgt

$$\varphi = \gamma_p^0 - p_0 f' + \frac{f^2}{2} T \frac{d\left(\frac{1}{\omega T}\right)}{dT} - f \cdot T \frac{d\left(\frac{f + \omega p_0}{\omega T}\right)}{dT}.$$

Hiermit ist φ als Function von T bestimmt. Substituirt man diesen Werth wieder in die allgemeine Gleichung (3), und den betreffenden Werth in die Gleichung

$$s_1 = \int \frac{dQ}{T} = \int \left[\frac{\gamma_v}{T} dT + \left(\frac{p_0}{T} + \frac{f-v}{\omega T} \right) dv \right],$$

so findet man nach einigen leichten Reductionen:

$$s_1 = \int \frac{\gamma_p^0}{T} dT - \frac{(v-f)^2}{2\omega T} + \frac{(v-f)p_0}{T} + \text{const.}$$

Auch wenn nach dieser Formel gerechnet wurde, erwiesen sich die Zusatzglieder, sowie die Veränderlichkeit der Grösse γ_p^0 mit der Temperatur als verschwindend klein, sodass mit genügender Annäherung $s_1 = \gamma_p^0 \log \text{nat } T + C$ gesetzt werden kann.

§. 12. Auf Grund der beiden Hauptsätze der mechanischen Wärmetheorie, wie sie von Clausius und Lord Kelvin präcisirt wurden, bewies Hr. Gibbs, dass, wenn der Zuwachs dE der Energie eines Körpers beim Uebergange von einem stationären in einen unendlich nahen Zustand in die Form $TdS + \sum JdM$ gebracht wird, die Grössen J eine universelle Bedeutung haben, sobald für Systeme von Körpern einfache Gleichungen zwischen dem M bestehen. T ist die absolute Temperatur, S die Entropie, M sind gewisse Parameter, welche mit der Entropie zusammen den stationären Zustand bestimmen. Die meisterhafte Fassung und Begründung des betreffenden Theorems durch Gibbs schien offenbar den Energetikern nicht einfach genug. Daher haben sie dasselbe „verallgemeinert“ und in verschiedener Weise variirt, etwa nach dem Schema: Man braucht nur überhaupt das Energiedifferentiale in die Form $\sum JdM$ zu bringen, so müssen schon die J diese Eigenschaften haben, oder gar: Es ist ein allgemeines Naturgesetz, dass sich der jeder Energieart entsprechende Antheil von dE in die Form JdM bringen lässt, wo J und M bestimmte merkwürdige Eigenschaften haben. Alles das scheint mir vollkommen falsch oder vielmehr den präzisen Lehrsätzen Gibbs gegenüber unbestimmt und unklar zu sein, sodass man daraus manchmal Wahres aber auch vollkommen Unrichtiges ableiten kann, letzteres z. B. folgendermaassen: Wir wissen, dass wenn man $dE = TdS + \sum JdM$ setzt, die J die von Gibbs betonten Eigenschaften haben. Wir können nun statt der independenten Variabeln M und S , dieselben M im Vereine mit irgend einer Function Θ von S und M (z. B. der ab-

soluten Temperatur T selbst) als independente Variabeln einführen. Dann wird:

$$dE = T \frac{\partial S}{\partial \Theta} d\Theta + \Sigma \left(J + T \frac{\partial S}{\partial M} \right) dM.$$

Dieser Ausdruck hat auch wieder die Form $\Sigma J dM$ und doch überzeugt man sich leicht, dass nun die Coefficienten der dM keineswegs die sonst den Intensitäten zukommenden Eigenschaften haben.¹⁾ Wenn man daher dE beliebig in diese Form bringt, so wird man im allgemeinen seinen Zweck gar nicht erreichen. Weiss man nicht schon von anderwärts, wie man zu verfahren hat, so braucht man eine bestimmte Regel, und da gelang es den Energetikern nicht, an Stelle der Gibbs'schen eine einfachere, ebenfalls richtige zu setzen. Nur bei solchen Energien, die zur Entropie nichts beitragen, wie die rein mechanische oder die einer electrostatischen Ladung (nicht mit dem allgemeinen Begriffe electricischer Energie zu verwechseln) entfällt das Glied $\partial S / \partial M$ und es bleiben bei Einführung beliebiger Variabeln, so lange man dieselbe M beibehält, auch die Factoren J ihrer Differentiale dieselben.

§ 12. Ferner hat Gibbs nur die Regeln aufgestellt, wann ein System von Körpern im Gleichgewicht ist und in welchem Sinne eine Zustandsänderung möglich ist. Er variirt da den Zustand des Systems, indem er jeden einzelnen Körper desselben in einen anderen unendlich wenig verschiedenen Gleichgewichtszustand übergehen lässt, sodass also dS , dT etc. für jeden Körper bestimmt definirte Grössen sind. Von allen möglichen Variationen betrachtet er jene, für welche $d \Sigma S = 0$ ist. Wenn für alle diese Veränderungen $d \Sigma E \geq 0$ ist, so sind im ursprünglichen Zustande die Körper untereinander

1) So ist für ein vollkommenes Gas $dE = T dS - p dv$. Die beiden Factoren T und p bestimmen das Wärme- und Druckgleichgewicht. Führe ich aber statt S und v die independenten Variabeln T und v ein, so ist: $dE = c_v dT$, wobei c_v die Wärmecapacität bei constantem Volumen ist. Die Gleichheit dieser Wärmecapacität für zwei Gase, ist keineswegs die Bedingung des Wärmegleichgewichts zwischen denselben. Das Differential dv aber hat jetzt in dem Ausdruck für dE den Factor Null, welcher für alle Körper gleich ist. Es müssten also alle Körper im Druckgleichgewichte stehen. Complicirtere Beispiele liessen sich, soweit über die betreffenden Körper die Daten überhaupt bekannt sind, leicht geben.

im Gleichgewichte. S ist dabei die Entropie, E die Energie eines Körpers des Systemes; die Summe ist über alle Körper des Systemes zu erstrecken.

Da für jeden Körper

$$(4) \quad dE = TdS + \sum JdM$$

ist, so reducirt sich diese Bedingung auf $\sum \sum JdM \geq 0$, wobei die eine Summirung über alle Körper des Systems, die anderen über alle Parameter M eines Körpers zu erstrecken ist. Es ist immer nur der Anfangszustand und der variirte Endzustand maassgebend, von der Art und Weise des Uebergangs ist nirgends die Rede.

Hr. Helm setzt an Stelle dieses Satzes einen ganz anderen, der nur äussere Aehnlichkeit damit hat. In Formel (4) schreibt er

$$dQ \text{ für } TdS,$$

setzt also

$$(5) \quad dE = dQ + \sum JdM.$$

was im Sinne der Gibbs'schen Methode nur erlaubt wäre, wenn $dQ = TdS$ ist. Beim Uebergange von einem Gleichgewichtszustande zu einem anderen ist für einen nicht umkehrbaren Vorgang

$$(6) \quad \int \frac{dQ}{T} < S_2 - S_1.$$

Daraus schliesst nun Hr. Helm, dass auch für eine unendlich kleine nicht umkehrbare Veränderung

$$dQ < TdS$$

und daher nach (5)

$$(7) \quad dE < TdS + \sum JdM$$

sein müsste. Die Differenz $S_2 - S_1$ der Ungleichung (6) stellt nach der gewöhnlichen Auffassung den Zuwachs der Entropie beim Uebergange von einem Gleichgewichtszustande zu einem anderen dar. Auch die Differentiale der Ungleichung (7) stellen Zuwächse beim Uebergange von einem gewissen Zustande 1 zu einem unendlich wenig verschiedenen 2 dar. Es fragt sich nun, ist die Ungleichung (7) so gemeint, dass beide Zustände 1 und 2 Gleichgewichtszustände sind oder nicht? Im 1. Falle ist jeder der beiden Zustände durch die Parameter S und M

bestimmt, E ist eine gegebene Function dieser Parameter, deren Differentiation mit Nothwendigkeit die Gleichung

$$dE = T dS + \sum J dM$$

liefert. Dann ist also das Ungleichheitszeichen in (7) ausgeschlossen, es mag der Uebergang vom Zustande 1 in den Zustand 2 umkehrbar oder nicht geschehen.

Ist aber der Zustand 1 oder 2 oder beide kein Gleichgewichtszustand, dann gilt schon die zum Beweise benutzte Ungleichung (6) nicht mehr. Ueberhaupt lässt sich dann für den betreffenden Zustand der Werth von S (oft auch von J und M) nicht mehr angeben und die Ungleichung (7) verliert daher ihre Bedeutung.

Dies dürfte am besten an einem Beispiele klar werden. Ein Gas vergrößere in umkehrbarer Weise sein Volum um dv ; dann ist

$$dQ = T dS = c_v dT + p dv,$$

$$dE = c_v dT = T dS - p dv.$$

Ein anderes mal werde das Gas, das sich ursprünglich in demselben Anfangszustande (dem Zustande 1) befand, plötzlich mit einem Vacuum dv in Verbindung gesetzt und ströme ohne Widerstand in dasselbe ein, endlich komme es ins Gleichgewicht (Zustand 2). Alle Vorgänge sollen adiabatisch stattfinden. Dann ist

$$dQ = dT = dE = 0$$

aber

$$dS = d \ln(T^{c_v} v^R) = \frac{R dv}{v},$$

daher wieder

$$dE = T dS - p dv.$$

R ist die Gasconstante, c_v die spezifische Wärme bei constantem Volumen. Ist daher der Zustand 2 der stationäre Endzustand, so gilt das Gleichheitszeichen, ob der Uebergang umkehrbar oder nicht stattfindet.

Versteht man aber unter dem Zustande 2 einen Zustand fehlenden Gleichgewichtes, der zwischen dem Anfangs- und Endzustande in der Mitte liegt, was ist dann unter den Buchstaben S und p der Ungleichung (7) zu verstehen? Ist unter $T dS$ und $p dv$ die Summe aller für jedes Volumenelement

gebildeten Producte, ist unter dE der gesammte Energiezuwachs aller Volumenelemente mit Ein- oder Ausschluss der kinetischen Energie zu verstehen? Soll die Ungleichung (7) bloss beim Uebergange von einem Gleichgewichtszustande zu einem Zustande fehlenden Gleichgewichtes gelten? Eine Angabe hierüber findet sich bei Hrn. Helm nicht. Soviel ist sicher, dass die Ungleichung (7) nicht beim Uebergange von einem beliebigen Zwischenzustande (3) zu einem beliebigen andern (4) gelten kann; denn da für den Uebergang von dem Anfangsgleichgewichtszustande zu dem Endzustande, der wieder Gleichgewichtszustand ist, die Gleichung

$$(8) \quad dE - TdS + pdv = 0$$

besteht, so kann die in dieser Gleichung linker Hand stehende Grösse beim Uebergang von einem beliebigen Zwischenzustand (3) zu einem beliebigen späteren (4) unmöglich immer negativ sein. Es müsste sonst auch die Summe aller dieser Grössen, also der Werth, der sich für den Ausdruck (8) beim Uebergang vom stationären Anfangszustande zum stationären Endzustande ergibt, negativ sein.

Es ist wieder die Gibbs'sche Ausdrucksweise vollkommen klar, die neuere aber nur eine Verschlechterung, die schon zu zahlreichen Missverständnissen geführt hat, wie die Behauptung des Hrn. Helm¹⁾, dass für einen Kreisprocess die Entropie eines Körpers zugenommen haben könne. Diese Behauptung zog er, wie ich glaube, selbst in seinem Vortrage in Lübeck zurück, auf dessen Einzelheiten ich hier nicht eingehen kann, da ich dieselben beim mündlichen Vortrage nicht verstand und dieser noch nicht gedruckt vorliegt.

§ 15. Ich bemerke bei dieser Gelegenheit, dass es eine grosse Täuschung wäre zu glauben, das, was Hr. Helm²⁾ in seiner mathematischen Chemie S. 43 ausführt, sei das bekannte Gibbs'sche Theorem, dass bei constanter Energie und bei constantem Volumen die Summe der Entropien aller ein System bildender Körper stets zunehmen, bei constantem Volumen und constanter Entropie daher die Energie abnehmen muss; denn Gibbs wendet dieses Theorem an auf den Uebergang von

1) Helm, Wied. Ann. Beilage zu Heft 6. p. IX. 1895.

2) Helm, Mathemat. Chem. p. 43. Leipzig, W. Engelmann, 1894.

einem Zustande, in dem sich jeder Körper des Systems für sich in einem Gleichgewichtszustande befindet, in einen unendlich nahen anderen derartigen Zustand. Es ist also für jeden Körper E eine gegebene Function von S , v und den anderen Parametern M . Ebenso ist dE eine gegebene Function dieser Variablen und deren Differenziale. Aus dem obigen Satze wird dann geschlossen, dass

$$\sum \sum \frac{\partial E}{\partial M} dM \geq 0$$

sein muss bei constantem S und v .

In dem Falle, den Hr. Helm betrachtet, existiren aber ausser S und v gar keine Parameter. Wendet man hierauf den Gibbs'schen Satz an, so muss E , da es eine Function von S und v ist, sobald S und v constant sind, ebenfalls constant sein. Dass dann $dE < 0$ wäre, hätte nach Gibbs keinen Sinn. Der Satz, den Hr. Helm ausspricht, bezieht sich daher auf ganz etwas anderes. Er setzt nicht bloss voraus, dass der Uebergang auf nicht umkehrbarem Wege geschieht; denn wenn Anfangszustand und Endzustand Gleichgewichtszustände wären, so müsste noch immer E eine gegebene Function von S und v sein und daher bei gleichem Werthe der letzteren Variablen auch E denselben Werth haben; sondern Hrn. Helm's Satz fordert, dass entweder der Anfangszustand oder der Endzustand oder beide selbst nicht Gleichgewichtszustände sind. Da ich aber für diesen Fall den Werth von S nicht kenne, so wäre eine nähere Erläuterung Hrn. Helm's, in welchem Sinn sein Satz gemeint ist, sehr wünschenswerth, ob er beim Uebergang von einem Gleichgewichtszustande zum einem Zustande fehlenden Gleichgewichts oder für einen umgekehrten Uebergang gelte (denn für beide Arten von Uebergängen kann er unmöglich gelten), endlich, ob sich daraus ähnliche Consequenzen wie aus dem Gibbs'schen Satze ziehen lassen.

Es ist eine Thatsache, dass bei Veränderungen, die von der Umkehrbarkeit nicht sehr bedeutend abweichen, noch jedem Volumenelemente nahezu eine angebbare Temperatur, ein angebbarer Druck¹⁾ etc. zugeschrieben werden kann, dass man

1) Freilich nicht mehr eine bestimmte Volumenergie, da der Druck nicht mehr genau senkrecht auf der gedrückten Fläche steht. Noch

daher an eine Anwendung der Sätze der Energetik auf die einzelnen Volumenelemente statt auf die Körper als Ganzes in diesem Falle denken kann. Dass dies aber bei sehr turbulenten Vorgängen auch noch möglich sei, ist eine vorläufig völlig unbewiesene Hypothese. Viele Umstände weisen sogar darauf hin, dass die Unterscheidung zwischen qualitativ verschiedenen Energiearten ein nur für nahe stationäre Zustände empfehlenswerthes Eintheilungsprincip ist, das bei sehr turbulenter Bewegung versagt, da dann bei gewissen Energiebeträgen nicht mehr unterschieden werden kann, ob sie als kinetische oder Wärmeenergie etc. aufzufassen sind. Dann wäre die Beschreibung der bei turbulenter Bewegung stattfindenden Wärmeleitung, Diffusion, Wärmeerzeugung durch innere Reibung, der Vorgänge der Explosion etc. durch die Formeln der heutigen Energetik von vorn herein ausgeschlossen. Diese wären nur Grenzfälle, denen sich die Gesetze für nahe stationäre Bewegung asymptotisch nähern.

§ 16. Es scheint mir auch nicht zutreffend, wenn Hr. Ostwald (Lehrbuch p. 472) den zweiten Hauptsatz mit dem Satze identificirt, dass, wenn zwei Intensitäten einer dritten gleich sind, sie untereinander gleich sein müssen (Satz α). Aus dem zweiten Hauptsatze folgt zwar dieser Satz α für die Temperatur dreier direct miteinander in Verbindung stehender Körper. Aber letzterer Satz ist viel specieller als der zweite Hauptsatz, welcher zudem besagt, dass auch durch beliebige Kreisprocesse mit neuen Körpern, wobei vorübergehend andere Energien entstehen, durch Concentration der Wärmestrahlung durch Linsen etc. nicht Wärme von dem einen zum andern Körper ohne irgend eine Compensation übergeführt werden kann. Ja in seiner allgemeinsten Fassung sagt der zweite Hauptsatz sogar aus, dass beliebige auch turbulente Vorgänge sich nur immer in einem bestimmten Sinne abspielen.

Umgekehrt folgt wieder aus dem Satze α keineswegs allgemein, dass eine fortwährend abwechselnde Umwandlung einer Energieform in eine andere und hernach wieder umgekehrt unmöglich sei. Eine solche kommt ja schon beim schwingenden

weniger können die elastischen Kräfte in einem festen Körper durch Volumenergie allein charakterisirt werden. Da musste an Stelle derselben eine Deformationsenergie treten.

Pendel vor, und dass dieses immer Bewegungshindernisse findet, folgt offenbar keineswegs aus dem Satze α .

Einen anderen verdächtigen Umstand will ich an einem Beispiele erörtern. Es seien in einer in sich zurücklaufenden Röhre von überall gleichem Querschnitte drei Gase A , B , C vorhanden, welche voneinander durch drei bewegliche Stempel getrennt sind. Nehmen wir an, dass das Gas A denselben Druck wie das Gas B und auch wie das Gas C hätte, aber dass daraus nicht folgen würde, dass auch B und C denselben Druck haben. Es wäre z. B. der Druck von B grösser als der von C . Alle Drucke zusammen würden dann eine resultirende Kraft liefern, welche das System aller drei Gase mit allen drei Stempeln in der Röhre im Kreise herumtreiben würde, was offenbar ein perpetuum mobile erster Art wäre, also dem ersten, nicht dem zweiten Hauptsatze widerspräche. Es kann daher nicht richtig sein, wenn Hr. Ostwald p. 474 behauptet, der Druck spiele bei der Volumenenergie die gleiche Rolle, wie die Temperatur bei der Wärmemenge.

Durchaus nicht einverstanden bin ich auch damit, wenn Hr. Ostwald die Dissipation der Energie ganz auf Rechnung der strahlenden Energie setzt. Der Kürze halber will ich hierauf, sowie auf das Verhältniss der Energetik zur Electricitätslehre und verschiedene andere Punkte nicht weiter eingehen, gewiss nicht deshalb, weil ich dagegen weniger zu sagen hätte.

III. Ueber Hrn. Ostwald's Vortrag über den wissenschaftlichen Materialismus.

§ 17. Nur noch einige Worte über den Vortrag, den Hr. Ostwald in der letzten allgemeinen Sitzung zu Lübeck gegen den wissenschaftlichen Materialismus hielt, mögen mir gestattet sein. Derselbe ist freilich der Hauptsache nach an ein grösseres Publikum gerichtet; er arbeitet mehr mit Gleichnissen und allgemeinen Betrachtungen, auf welche hier einzugehen sich von selbst verbietet, da sie, wenn auch noch so glänzend dargestellt, weder beweisen noch widerlegen. Allein manchem ist doch mit so hervorragender Beredtsamkeit der Schein strenger Logik verliehen, dass ich ein näheres Ein-

gehen wenigstens auf einzelne Punkte dieses Vortrages hier für gerechtfertigt halte.

Ich glaube dies um so mehr thun zu sollen, als bereits mehrfach junge Leute sich dem mühelosere Ernte versprechenden Gebiete der Energetik zuwenden, welche die zu einer erfolgreichen Thätigkeit auf dem Gebiete der theoretischen Physik nöthige mathematische Kritik nicht besitzen.

§ 18. Wenn Hr. Ostwald dagegen ankämpft, dass heute jedermann die Atome und Kräfte sich als die letzten Realitäten denke, dass man die Erreichbarkeit des Ideals der Laplace'schen Weltformel für gewiss, den Beweis dafür für erbracht halte, kämpft er gegen eine durchaus nicht mehr vorhandene Anschauung an. Die Kraft hält wohl kaum irgend jemand mehr für eine Realität; niemand behauptet, dass der Beweis erbracht worden sei, dass sich die Gesammtheit der Naturerscheinungen unzweifelhaft mechanisch erklären lasse. Lässt sich aber die Gesammtheit nicht erklären, so gilt dies auch von keinem einzelnen Erscheinungsgebiete in allen damit zusammenhängenden Gebieten und Beziehungen, da jedes mit allen anderen zusammenhängt. Ich selbst habe einmal eine Lanze für die mechanische Naturanschauung gebrochen, aber nur in dem Sinne, dass sie ein kolossaler Fortschritt gegenüber der früheren rein mystischen ist. Dagegen war die Ansicht, dass es keine andere Naturerklärung geben könne, als die aus der Bewegung materieller Punkte, deren Gesetze durch Centralkräfte bestimmt sind, schon vor Hrn. Ostwald's Ausführungen längst fast allgemein verlassen.

Wir sind heute viel vorsichtiger; diese Vorstellung ist uns nur ein Bild, das wir nicht anbeten, das möglicherweise der Vollendung fähig ist, möglicherweise aber auch einst ganz zu verlassen sein wird. Heute aber ist es uns jedenfalls noch von dem grössten Werthe, als das einzig consequent durchgeführte in vielen wichtigen Zügen mit der Erfahrung übereinstimmende Bild, das wir besitzen.

Die präzise Beschreibung der Naturerscheinungen möglichst unabhängig von allen Hypothesen, hält man heute allgemein für das allerwichtigste. Ich citire da nur Maxwell's Abhandlung¹⁾ über Faraday's Kraftlinien aus dem Jahre 1856,

1) Maxwell, Ostwald's Classiker Nr. 69.

wo auch schon die verschiedenen optischen Hypothesen ganz im Ostwald'schen Sinne gewürdigt werden, ferner die Einleitung zu Hertz' Buch „über die Ausbreitung der electricen Kraft“ aus dem Jahre 1892, endlich die Rede, mit welcher der englische Premierminister Lord Salisbury die Oxforder Versammlung der British Association 1894 eröffnete. Auch die Gasttheorie betrachtet schon lange nicht mehr die Molecüle ausschliesslich als Aggregate materieller Punkte, sondern als unbekannte, durch generalisirte Coordinaten bestimmte Systeme.

Darin also, dass der Weiterbildung jeder Ansicht freier Spielraum zu gewähren sei, sind wir einig. Dagegen scheint mir alles, womit Hr. Ostwald zu beweisen sucht, dass die Anschauungen der alten theoretischen Physik unhaltbar seien oder gar, dass ihnen die der Energetik schon heute vorzuziehen seien, unbegründet.

Er sagt im allgemeinen, dass die heute üblichen Methoden der theoretischen Physik viele Lücken aufweisen und noch weit davon entfernt sind, eine consequente, vollkommen klare Beschreibung aller Naturerscheinungen zu liefern. Nun weist aber die Energetik noch viel grössere Lücken auf, ihre Beschreibung der Naturerscheinungen ist noch viel unklarer. Daraus schliesst er nicht etwa, man solle die Energetik vorläufig weiter gewähren lassen, sondern die gegenwärtigen Anschauungen der theoretischen Physik seien vollständig zu verlassen und durch die der Energetik zu ersetzen. Man solle sich überhaupt kein Bild der Wirklichkeit machen. Aber sind denn alle menschlichen Gedanken etwas anderes als Bilder der Wirklichkeit? Nur von der Gottheit soll und kann man sich kein Bild machen; diese bleibt aber deshalb auch ewig gleich unbegreiflich. Man solle auf jede Anschauung verzichten; die Gefahr, die darin liegt, haben aber eben alle im Vorhergehenden gerügten Fehlschlüsse bewiesen.

§ 19. Ich will mich nun nicht mehr mit philosophischen Allgemeinheiten beschäftigen, wie mit der Frage, ob wir den Stock fühlen oder dessen Energie oder Schwingungen unserer Nerven oder des Centralorgans oder etwas, was hinter all dem liegt, oder ob ein Gläubiger zufrieden sein wird, wenn wir ihn statt mit materiellem Gelde mit gesprochener oder thätlicher Energie

bezahlen. Ebenso wenig frage ich, ob, wie Hr. Ostwald meint, die wirkliche Welt ein Specialfall aller möglichen, oder ob letztere nur phantastische Combinationen des Wirklichen in etwas veränderter Anordnung sind. Auch der Schwierigkeiten, welche sich bei Annahme einer kinetischen Energie ohne allen Träger derselben factisch ergeben, habe ich schon in § 6 gedacht. Ich will daher jetzt nur noch suchen, wo sich unter den Argumenten, womit Hr. Ostwald zu beweisen sucht, dass die mechanische Weltanschauung mit unzweifelhaften und allgemein erkannten Wahrheiten in Widerspruch steht, etwas sachlich greifbares findet, und dies dann bruchstückweise, wie ich es gerade finde, auf seine Richtigkeit prüfen.

§ 20. Dass sowohl Eisen als auch Sauerstoff aus winzig kleinen Theilchen von gänzlich unbekannter Natur bestehen, durch deren innige Mischung (Paarung) das Eisenoxydul entsteht, wurde seit jeher als eine Hypothese bezeichnet. Ihre Annahme ist im Stande, uns vollständig begreiflich zu machen, dass das Gemisch eine so bedeutend andere Wirkung auf unsere Sinne ausübt und wiederum in seine Bestandtheile zerlegt werden kann. Durch das Wort Hypothese ist aber schon ausgedrückt, dass diese Annahme über die beobachtete Thatsache des fast sprungweisen Wechsels der Eigenschaften hinausgeht und dass die Möglichkeit einer ganz anderen Erklärung oder, wenn man will, einer noch einfacheren und übersichtlicheren Beschreibung dieses Wechsels nicht ausgeschlossen ist. Dabei bleibt aber umgekehrt die Möglichkeit bestehen, dass sich noch zahlreiche Consequenzen der alten Hypothese bestätigen, dass wir dadurch eine etwas klarere Vorstellung erhalten, wie wir uns die Atome zu denken haben und daher noch lange (ob für immer, bleibt eben unentschieden) die Beibehaltung dieser Hypothese mindestens neben der blossen Beschreibung der Gesetze der Vorgänge höchst nützlich ist.

Man muss durch die neuen erkenntnistheoretischen Dogmen ganz befangen sein, um zu behaupten, obige Hypothese zur Erklärung der chemischen Verbindungen sei von einem reinen Nonsens nicht weit entfernt. Weil die sinnfälligen Eigenschaften das einzige uns direct Zugängliche seien, sei es absurd, zu behaupten, dass eine innige Mischung nicht auch andere sinnfällige Eigenschaften haben könne, als die Be-

standtheile. Hat doch schon in einem Brei das Wasser und das verwendete Pulver vieles von den sinnfälligen Eigenschaften verloren und doch sind die Theilchen des letzteren mit dem Mikroskop noch sichtbar. Beim Eisenoxydul ist die Hypothese, dass eine Mischung vorliege, natürlich viel weniger sicher, als beim Brei; die Möglichkeit, dass erstere Hypothese einmal durch eine andere verdrängt werden wird, soll zugegeben werden; aber dass sie, wenn richtig verstanden, ein Unsinn sei, das zu behaupten — ist ein Unding.

Ueberhaupt hat das Misstrauen zu den aus den directen Sinneswahrnehmungen erst abgeleiteten Vorstellungen zu dem dem früheren naiven Glauben entgegengesetzten Extreme geführt. Nur die Sinneswahrnehmungen sind uns gegeben, daher — heisst es — darf man keinen Schritt darüber hinausgehen. Aber wäre man consequent, so müsste man weiter fragen: Sind uns auch unsere gestrigen Sinneswahrnehmungen gegeben? Unmittelbar gegeben ist uns doch nur die eine Sinneswahrnehmung oder der eine Gedanke, den wir jetzt im Moment denken. Wäre man consequent, so müsste man nicht nur alle anderen Wesen ausser dem eigenen Ich, sondern sogar alle Vorstellungen, die man zu allen früheren Zeiten hatte, leugnen. Woher weiss ich denn davon? Durch Erinnerung; aber woher weiss ich, dass nicht bloss die Erinnerung vorhanden ist, die Wahrnehmung aber, auf die ich mich erinnere, niemals vorhanden war, wie das bei Irren fortwährend und hie und da auch bei Nichtirren vorkommt. Will man also nicht zum Schlusse kommen, dass überhaupt nur die Vorstellung, die ich momentan habe und sonst gar nichts existirt, was schon durch den Nutzen des Wissens für die Handlungsweise widerlegt wird, so muss man schliesslich bei aller dabei nöthigen Vorsicht doch unsere Fähigkeit aus den Wahrnehmungen auf etwas, das wir nicht wahrnehmen, Schlüsse zu ziehen, zugeben, die wir freilich immer zu corrigiren haben, sobald sie mit Wahrnehmungen in Widerspruch kommen. So schliesst jeder auf das Vorhandensein anderer Personen ausser ihm. Betrachten wir ein anderes Beispiel. Ich halte für wahrscheinlich, dass auf dem Mars Meere, Festlande, Schnee existiren, sogar, dass um andere Fixsterne sich Planeten ähnlich der Erde drehen, dass unter denselben wohl noch der eine oder

andere mit Lebewesen, die uns ähnlich, aber auch in manchem von uns verschieden sind, bevölkert ist. Wollte man mit Hrn. Ostwald schliessen, so müsste man sagen: Ich habe keine Aussicht, je davon etwas wahrzunehmen, ja die ganze Menschheit hat keine Aussicht, von Lebewesen, die die Planeten eines anderen Fixsterns bevölkern, etwas wahrzunehmen. Nun existiren aber bloss unsere Wahrnehmungen, daher können auf den Planeten eines anderen Fixsterns keine Lebewesen existiren.

§ 21. Hr. Ostwald schliesst aus dem Umstande, dass man in den mechanischen Differentialgleichungen, ohne sie sonst zu ändern, das Vorzeichen der Zeit umkehren kann, dass die mechanische Weltauffassung nicht erklären könne, warum in der Natur die Vorgänge sich immer mit Vorliebe in einem bestimmten Sinne abspielen. Dabei scheint mir übersehen zu sein, dass die mechanischen Vorgänge nicht bloss durch die Differentialgleichungen, sondern auch durch die Anfangsbedingungen bestimmt sind. Im directen Gegensatz zu Hrn. Ostwald habe ich es als eine der glänzendsten Bestätigungen der mechanischen Naturanschauung bezeichnet, dass dieselbe ein ausserordentlich gutes Bild von der Dissipation der Energie liefert, sobald man annimmt, dass die Welt von einem Anfangszustande ausging, der bestimmte Bedingungen erfüllt und den ich dort als einen unwahrscheinlichen Zustand bezeichnete.¹⁾ Hier kann ich nur von der dabei zu Grunde liegenden Idee durch ein ganz einfaches Beispiel einen Begriff zu geben suchen. In der Trommel, aus welcher beim Lottospiel die Nummern gezogen und in welcher dieselben gemischt werden, sollen zweierlei Kugeln (weisse und schwarze) ursprünglich geordnet liegen, z. B. oben die weissen, unten die schwarzen. Nun soll durch irgend eine Maschine die Trommel beliebig lange gedreht werden. Niemand wird zweifeln, dass wir es im Verlaufe dieser Drehung mit einem lediglich mechanischen Vorgange zu thun haben und doch werden dabei die Kugeln immer mehr gemischt werden, d. h. es wird immer die Tendenz bestehen, dass ihre Vertheilung sich in einem bestimmten

1) Vgl. mein Buch „Ueber Gastheorie“ §§ 8 und 19 (J. A. Barth, Leipzig, 1896).

Sinne (der vollständigen Mischung zueilend) ändert. Gerade so wird die Welt, wenn sie von einem Zustande ausging, in welchem die Anordnung der Atome und ihrer Geschwindigkeiten gewisse Regelmässigkeiten zeigte, durch die mechanischen Kräfte mit Vorliebe solche Veränderungen erfahren, wobei diese Regelmässigkeiten zerstört werden. Wie diese Regelmässigkeiten entstanden sind, kommt hierbei natürlich ebensowenig in Frage, als wie die Atome und die Bewegungsgesetze derselben entstanden sind.

§ 22. Hr. Ostwald würde gewiss nicht behaupten, dass der Druck keine gerichtete Grösse sei, wenn er berücksichtigte, dass bei jeder Bewegung eines Gases im allgemeinen Gasreibung auftritt. Bei derselben ist aber der Druck nicht mehr nach allen Richtungen gleich und nicht mehr senkrecht auf der gedrückten Fläche; er ist ein mit der Richtung der Normalen zu dieser Fläche nicht zusammenfallender Vector, dessen Lage durch besondere Richtungscosinus bestimmt werden muss. Gerade diese Verhältnisse werden durch die Gastheorie sehr gut erklärt.

§ 23. Auch wer die Möglichkeit einer mechanischen Naturerklärung nicht leugnet, wird diese doch für ein äusserst schwieriges Problem halten, ja für eines der schwierigsten, welche es für den menschlichen Geist überhaupt gibt. Dass daher viele Versuche, dieses Problem zu lösen, missglückt sind, wird niemanden wundern. So sind die Emanationstheorie des Lichtes, die Theorie des Wärmestoffes und der electricen und magnetischen Fluida, von denen die letztere im Weber'schen Gesetze gipfelte, zwar zur Versinnlichung gewisser Gesetze noch immer nützlich, doch sind sie als Hypothesen ein überwundener Standpunkt. Aber man kann doch keineswegs sagen, dass jede mechanische Hypothese abgewirthschaftet hat. Zu den uralten mechanischen Theorien sind auch die mechanische Theorie des Schalles, die Hypothese, dass die Sterne riesige, Millionen von Meilen weit entfernte Körper, viel grösser als die Erde sind und viele ähnliche Anschauungen zu zählen, welche ja auch ursprünglich Hypothesen waren und erst mit der Zeit allmählich fast bis zur Gewissheit sich bestätigten. Wenn wir alle Hypothesen, die zur Gewissheit wurden, nicht mitzählen und an alle zweifelhaften nicht glauben, so dürfen wir

uns freilich nicht wundern, wenn nichts mehr übrig bleibt. Aber auch abgesehen hiervon sind die gewissermaassen von Demokrit datirende Atomtheorie, die von Bernoulli und Rumford stammende specielle mechanische Wärmetheorie, die mechanischen Bilder der Chemie, Krystallographie, Electrolyse etc. noch heute in Ansehen und in steter Entwicklung begriffen, ja selbst die Undulationstheorie des Lichtes ist durch die electromagnetische Lichttheorie keineswegs einfach beseitigt, wenn sie auch sicher bedeutender Veränderungen bedarf. Denn wenn die Erklärung der Electricität vom Standpunkte der heutigen oder wohl auch einer weiter entwickelten Mechanik gelingen sollte, wovon die Möglichkeit nicht erwiesen, aber auch nicht widerlegt ist, so können ganz gut die rasch wechselnden dielectrischen Polarisationen, welche nach der electromagnetischen Lichttheorie das Wesen des Lichtes bilden, wieder mit einem Hin- und Herschwingen von Theilchen identisch werden. Wir haben also hier Erfolge, denen alle philosophischen Naturanschauungen von Hegel bis Ostwald einfach nichts entgegenzusetzen haben.

§ 24. Ich komme zum Schlusse. Es ist in erster Linie eine möglichst hypothesenfreie Naturbeschreibung anzustreben; dies geschieht am klarsten in der von Kirchhoff, Clausius (in seiner allgemeinen Wärmetheorie), v. Helmholtz, Gibbs, Hertz etc. ausgebildeten Form. Die Ausdrucksweise der Energetik hat sich hierzu bisher wenig geeignet erwiesen. Ebenso muss der pädagogische Werth der Energetik wenigstens in ihrer heutigen Form bestritten werden, ja ihre Weiterentwicklung in dieser Form wäre geradezu für die präzise Naturauffassung verhängnissvoll. So enthält z. B. der allgemeine Theil eines grossen Lehrbuchs der Chemie infolge des Vorherrschens der energetischen Ausdrucksweise zahlreiche Stellen, welche auf den Studirenden verwirrend wirken müssen.

Neben dieser allgemeinen theoretischen Physik sind die Bilder der mechanischen Physik sowohl um neues zu finden, als auch um die Ideen zu ordnen, übersichtlich darzustellen und im Gedächtniss zu behalten, äusserst nützlich und noch heute fortzupflegen. Die Möglichkeit einer mechanischen Erklärung der ganzen Natur ist nicht bewiesen, ja, dass wir dieses Ziel vollkommen erreichen werden, kaum denkbar.

Doch ist ebensowenig bewiesen, dass wir darin nicht noch vielleicht grosse Fortschritte machen werden und daraus noch vielfachen neuen Nutzen ziehen können. Niemand kann weiter davon entfernt sein, als die Vertreter der heutigen theoretischen Physik, zu behaupten, dass man sicher wisse, dass die in derselben herausgebildeten Denkformen sich ewig als die passendsten erweisen werden. Niemand kann weiter davon entfernt sein, Versuchen andere Denkformen auszubilden, etwas in den Weg stellen oder sie von vorn herein als verfehlt erklären zu wollen. Doch dürfen dieselben auch nicht, bevor sie wirkliche Erfolge erreicht haben, polemisch gegen die altbewährten Denkformen auftreten oder diese gar als nur wenig verschieden vom völligen Unsinn bezeichnen. Die Ausdrucksweise der allgemeinen theoretischen Physik ist vielmehr heute noch die zweckmässigste und praktischste, die uralten Bilder der mechanischen Physik sind noch keineswegs überflüssig. Niemand weiss, ob dies immer der Fall sein wird, doch wäre es völlig müssig, sich über die Frage, welche Denkformen nach Jahrhunderten die zweckmässigsten sein werden, schon heute den Kopf zu zerbrechen. In diesem Sinne bin ich auch weit entfernt, die Möglichkeit zu leugnen, dass die Weiterentwicklung der Energetik für die Wissenschaft noch von grösstem Nutzen sein wird. Nur darf dieselbe nicht so geschehen, wie es in neuester Zeit von einigen Forschern versucht wurde, die sich (nach meiner Meinung nicht mit Recht) für Nachfolger Gibbs' halten.

Wien, den 2. November 1895.