

Mitteilungen der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft zu Großbothen e.V.

3. Jahrgang - Heft 1/1998

ISSN 1433-3910

Inhalt

Zur achten Ausgabe der „Mitteilungen“	3
Ostwalds Jahre am II. chemischen Laboratorium 1887 - 1897	
Die Energetik - Auszüge aus den Lebenslinien.....	4
Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus	29
Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus Bemerkungen zu Wilhelm Ostwalds Lübecker Rede im Jahre 1895 <i>Jan-Peter Domschke</i>	41
Anmerkungen zu Arbeiten von Wilhelm Ostwald auf dem Gebiet der Thermodynamik <i>Konrad Krause und Ulf Messow</i>	49
Gesellschaftsnachrichten.....	72

© Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft zu Großbothen e.V. 1998

Herausgeber der „Mitteilungen“ ist der Vorstand der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft zu Großbothen e.V., verantwortlich:

Dr.-Ing. K. Hansel, Grimmaer Str. 25, 04668 Großbothen, Tel. (03 43 84) 7 12 83

Der Nachdruck ist nur mit Genehmigung der Redaktion gestattet.

Namentlich gezeichnete Beiträge stimmen nicht in jedem Fall mit dem Standpunkt der Redaktion überein, sie werden von den Autoren selbst verantwortet.

Für Beiträge können z. Z. noch keine Honorare gezahlt werden.

Einzelpreis pro Heft DM 10,-. Dieser Beitrag trägt den Charakter einer Spende und enthält keine Mehrwertsteuer. Für die Mitglieder der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft ist das Heft kostenfrei.

Der Vorstand der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft zu Großbothen e.V. dankt dem
Arbeitsamt Oschatz für die freundliche Unterstützung bei der
Herausgabe der „Mitteilungen“.

Zur achten Ausgabe der „Mitteilungen“

Als Wilhelm Ostwald seine wissenschaftliche Laufbahn begann, waren kaum 30 Jahre vergangen, seit Robert Mayer und James Prescott Joule die Grundlagen der wissenschaftlichen Thermodynamik gelegt hatten. Der Energiebegriff in seiner physikalischen Bedeutung galt selbst den naturwissenschaftlich Gebildeten damals noch als so abstrakt, daß es ihnen schwer fiel, mit ihm eine sinnliche Erfahrung zu verbinden.

Ostwald war durch seinen Dorpater Lehrer Karl Schmidt mit den neuen Lehren bekannt geworden. Beim Antritt seiner Professur in Leipzig spricht er über „Die Energie und ihre Wandlungen“ - ein Beleg dafür, wie sehr ihn das Thema beschäftigt.

Schon bei dieser Gelegenheit drückt er sein Unbehagen darüber aus, daß es zwei verschiedene physikalische Größen geben sollte, für die ein unbedingter Erhaltungssatz gilt, die Energie und die Masse. Wenige Jahre später reift in ihm die Erkenntnis, daß die Energie das eigentlich Existierende sein müsse, die wägbare Materie lediglich als ein Komplex von Energien zu interpretieren sei. Damit hatte er den Grundstein zu seiner energetischen Philosophie gelegt.

1892 schreibt er an Arrhenius: „*Ich stecke jetzt ganz in Energetik.*“ Im gleichen Jahr erscheinen „Studien zur Energetik“ in zwei Teilen in der Zeitschrift für physikalische Chemie sowie die Übersetzung der Gibbs'schen Arbeiten „Thermodynamische Studien“, 1893 erscheint der erste Teil des zweiten Bandes der zweiten Auflage seines Lehrbuches der allgemeinen Chemie in „energetischer Ausführung“, 1894/95 „Elektrochemie, ihre Geschichte und Lehre“.

Als er 1895 auf der Lübecker Naturforscherversammlung einen Vortrag „Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus“ hält, stößt er auf weitgehendes Unverständnis und überwiegende Ablehnung. Nicht nur die Anhänger der alten mechanischen Naturanschauung fühlen sich brüskiert. Auch die führenden Köpfe der theoretischen Physik Max Planck und Ludwig Boltzmann wenden sich entschieden gegen ihn. Sie weisen nicht zu Unrecht auf die mangelnde theoretische Fundierung seiner Konzeption hin. So bleibt Ostwald mit seinen energetischen Anschauungen weitgehend isoliert.

Heute sehen wir klarer, daß er mit seinen Ideen Wegbereiter der Einsteinschen Relativitätstheorie war. Und auch sein „energetischer Imperativ“ *Vergeude keine Energie, verwerte sie* - erschließt sich uns erst heute in seiner Tragweite.

Die vorliegende Ausgabe der *Mitteilungen* enthält das Kapitel *Energetik* aus dem zweiten Band der *Lebenslinien*, den Lübecker Vortrag von 1895 und einen darauf bezogenen Kommentar sowie Betrachtungen zu Ostwalds thermodynamischen Arbeiten aus den Jahren zwischen 1887 und 1897.

Großbothen, März 1998

F. Schmithals

Ostwalds Jahre am II. chemischen Laboratorium 1887 - 1897

Die Energetik¹

Auszüge aus den Lebenslinien

bearbeitet von Karl Hansel

[149] Die Anfänge der Energetik

Mit dem Begriff der Energie hatte *Öttingen*² mich schon während meiner Assistentenzeit bekannt gemacht. Die erste erregende Entwicklung der Thermodynamik war erfolgt, als er in Berlin die empfänglichen Zeiten der wissenschaftlichen Wanderjahre erlebte, und er hatte lebhaft an ihr teilgenommen. Seine Vorlesungen, die ich als Assistent anzuhören hatte, waren vielfach auf die Herausarbeitung des ersten Hauptsatzes, des Gesetzes von der Erhaltung der Energie, gerichtet und die gedanklichen Schwierigkeiten des zweiten beschäftigten ihn auf das lebhafteste. Ich hatte diese Anregungen mit empfänglichem Gemüt aufgenommen und habe schon erzählt,³ wie lebhaft ihre Entwicklung mich aus Anlaß meiner erweiterten Lehrtätigkeit als Professor in Riga beschäftigt hatte.

Als ich nach Leipzig kam, war diese Gedankenarbeit schon so stark in den Vordergrund getreten, daß ich zum Thema meiner Antrittsvorlesung, die vor versammelter Fakultät und Studentenschaft in der Universitätsaula gehalten wurde, gewählt hatte: Die Energie und ihre Wandlungen.⁴

Der Vortrag begann mit wissenschaftsgeschichtlichen Betrachtungen in optimistischem Sinne, indem auf die zunehmende Annäherung der bisher vereinzelter [150] Wissenschaften hingewiesen wurde. Die physikalische Chemie gibt hierfür ein gutes Beispiel. Einige Bewegung verursachte der folgende Vergleich. „Man kann sich die Ausbildung des menschlichen Wissens ganz anschaulich unter dem Bilde vergegenwärtigen, welches wir uns von der Entstehung eines Kontinents aus dem Weltmeer durch allmähliche Erhebung des Meeresgrundes oder allmähliches Zurücktreten des Wassers machen. Zuerst ragen nur hier und da einzelne höchste Gipfel als Inseln hervor, die miteinander keinen Zusammenhang zu haben scheinen: hier die Geisteswissenschaften (die ich lieber Willenswissenschaften nennen möchte), dort die Naturwissenschaften und dazwischen das tiefe Meer der Unwissenheit, auf welchem sich

¹ Unter dieser Überschrift werden Texte aus dem zweiten Band der Autobiographie „Lebenslinien“, Kapitel 8 „Die Energetik“ (S. 149-188) veröffentlicht. Die Untertitel wurden dem Original entnommen. Mit Ausnahme der Auslassungen sind die Texte unverändert. Die Zahlen in den eckigen Klammern kennzeichnen die Seitenumbrüche im Original.

Alle mit WOA und einer Nummer gekennzeichneten Quellen befinden sich im Archiv der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

² Arthur Joachim v. Öttingen (1836-1920), 1866 Prof. f. Physik an der Univ. Dorpat, 1894 Prof. f. Physik an der Univ. Leipzig

³ vgl. Ostwald, Wilhelm: Lebenslinien. Bd. 1. Berlin : Klasing, 1926. - S. 177-180, s.a. Mitt. der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft (1996), Nr. 2, S. 20

⁴ Ostwald, Wilhelm: Die Energie und ihre Wandlungen. Leipzig : Engelmann, 1887, s.a. Mitt. der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft (1997), Nr. 1, S. 19

jugendmutig die Segel philosophischer Systeme tummeln. Meist entfliehen sie in das Unbegrenzte oder scheitern am harten Fels der gesicherten Erkenntnis; nur wenige haben Neigung und Fähigkeit, daselbst zuverlässigen Ankergrund zu suchen und zu finden.

Allmählich gesellen sich zu den wenigen Hauptgipfeln die Nebeninseln, die sich später zum Teil vereinigen in dem Maße, als die Wasser sich verlaufen, während immer neue erscheinen. Wenn noch so zahlreiche Inseln und Inselchen nebeneinander auftauchen: wir wissen doch, daß alle unterhalb zusammenhängen, daß alle Punkte eines und desselben Gebiets sind, wenn auch zurzeit ihr Zusammenhang noch nicht sichtbar ist. Und gerade wenn recht viele einzelne Inseln erscheinen, sind wir sicher, daß auch der unterste Grund, der sie alle zusammenhält, dem Erscheinen näher und näher kommt.“ Später pflegte mich *Wilhelm Wundt*⁵ mit dem Ausdruck „Meer der Unwissenheit“ zu necken und mir den scherzhaften Vorwurf zu machen, daß ich auch seine und seiner Schüler wissenschaftliche Arbeiten, die er unter dem Gesamttitel „Philosophische Studien“ heraus-[151]gab, zu den Seglern auf diesem Meer rechne. Er wußte wohl, daß sie auch nach meiner Überzeugung zu denen gehörten, welche zuverlässigen Ankergrund gefunden hatten.

Bezüglich der Energie wurde folgende Beziehung zur Materie festgestellt. Die Elemente waren ursprünglich nicht Stoffe, sondern Eigenschaften. Die des *Aristoteles*,⁶ nämlich Erde, Wasser, Luft und Feuer stellen die Eigenschaften fest, flüssig und gasförmig dar, während das Feuer die Wärme, oder vielleicht noch allgemeiner die Energie darstellt. Auch die Elemente der Alchimisten: Quecksilber, Schwefel, Salz sind Vertreter von Eigenschaften, nämlich der metallischen, brennbaren und löslichen Stoffe und diese „philosophischen“ Elemente durften durchaus nicht mit den gewöhnlichen Stoffen gleichen Namens verwechselt werden. Im Verlauf der Entwicklung werden diese abstrakten Elemente immer konkreter, bis sie in unserer Zeit als die letzten wägbaren Bestandteile aller wägbaren Stoffe definiert wurden.

Die verschiedenen Energiearten wurden dagegen zuerst durchaus stofflich aufgefaßt; im achtzehnten Jahrhundert ist beständig von der Feuermaterie, den elektrischen Flüssigkeiten usw. die Rede. Diese Materien verflüchtigten sich im Laufe der Entwicklung begrifflich mehr und mehr und wurden als Kräfte bezeichnet. Beachtet man aber, daß gemäß dem Gesetz von der Erhaltung der Energie die verschiedenen „Kräfte“ oder vielmehr Energien ebenso der Menge nach unzerstörbar und nur der Form nach verwandelbar sind, wie die Stoffe, so erkennt man, daß beide in solchem Sinne durchaus vergleichbar sind.

„Fragt man nach einem Kennzeichen, welches den realen Objekten und nur solchen eigen sein müsse, so läßt sich kein anderes finden, als daß alle menschliche und natürliche Macht außerstande ist, sie willkürlich zu [152] vernichten oder zu erzeugen. Ich will an dieser Stelle darauf verzichten zu erörtern, ob dies als Kriterium absoluter objektiver Realität betrachtet werden kann und ob es überhaupt ein solches gibt; hier kann es genügen festzustellen, daß realere Objekte nicht denkbar sind, als solche, deren Existenz vom menschlichen Willen ganz unabhängig ist.“

⁵ Wilhelm Wundt (1832-1920), 1875 Prof. f. Philosophie an der Univ. Leipzig

⁶ Aristoteles (384-322 v. Chr.), griechischer Philosoph

„Solcher Objekte sind aber bisher nur zwei Arten bekannt: die wägbare Materie und die Energie. Nur ihnen, aber ihnen beiden kommt der Name Substanz zu als dessen, was unter allen Umständen bestehen bleibt. Es läßt sich mit Sicherheit erwarten, daß nach fünfzig Jahren die Realität und Substanzialität der Energie dem gebildeten Menschen ebenso zum Bewußtsein gelangt sein wird, wie gegenwärtig die Realität der wägbaren Materie. Sache der Wissenschaft ist es aber, schon jetzt die entsprechenden Folgerungen zu ziehen, denn sie hat dem Allgemeinbewußtsein vorauszugehen und es zu bestimmen, nicht dem vorhandenen nachzugehen.“

Dem Kenner der Entwicklungsgeschichte der Energetik wird es nicht entgehen, daß es sich hier um denselben Grundgedanken handelt, mit welchem der Entdecker des Gesetzes von der Erhaltung der Energie seinen Zeitgenossen fast ein halbes Jahrhundert früher seine revolutionäre Einsicht klar zu machen sich bestrebte. Und sie wissen auch, daß damals dieser Gedanke völlig verlorengegangen war, so daß ich selbst und noch viel mehr meine Zuhörer es als eine große Kühnheit empfanden, Materie und Energie dergestalt als etwas Vergleichbares anzusehen. Denn durch die vorwiegend mathematische Entwicklung der Thermodynamik hatte man sich ganz allgemein gewöhnt, die Energie lediglich als eine mathematische Funktion zu betrachten, der die merkwürdige aber rechnerisch äußerst wertvolle Eigenschaft zukam, daß sie in geschlossenen Gebilden stets konstant bleibt. Und als [153] ich acht Jahre später den weiteren Schritt tat, die Materie der Energie begrifflich unterzuordnen und diese als das allein „Wirkliche“ weil allein Wirkende erklärte⁷, war es die gleiche Auffassung, von welcher aus alle Fachgenossen mit verschwindend wenigen Ausnahmen sich in scharfen Gegensatz dazu stellten.

Zunächst ließ ich allerdings diese Gedankenreihe auf sich beruhen, da die unmittelbaren Anwendungen der durch *van't Hoff*⁸ und *Arrhenius*⁹ aufgestellten neuen Beziehungen¹⁰ meine ganze Arbeitskraft sowie die meiner Arbeitsgenossen in Anspruch nahm. Doch läßt sich aus einzelnen Bemerkungen in meinen Abhandlungen und Referaten erkennen, daß sie immer wieder über die Schwelle des Bewußtseins emportauchte und sich gelegentlich betätigte.

Weiterentwicklung

In ganz wesentlicher Art trug zur Klärung meiner energetischen Anschauungen der tägliche eifrige Verkehr mit den Schülern und Arbeitsgenossen im Laboratorium bei. Da diejenigen jungen Leute, welche damals den Mut hatten, einige Semester der physikalischen Chemie zu widmen, notwendig einigermaßen selbständige Denker und Forschernaturen waren, so gestalteten sich unsere Besprechungen besonders fruchtbar. Denn die Schüler aßen nicht einfach das auf, was der Lehrer ihnen vorsetzte, um es stillschweigend zu verarbeiten, sondern sie reagierten mit kräftigem eigenem Denken. Insbesondere waren sie alle unter dem Einfluß der allgemein verbreiteten Nei-

⁷ Ostwald, Wilhelm: Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus. In: Verhandlungen der Ges. Dt. Naturforscher u. Ärzte. 67. Versammlung (1895). Siehe auch dieses Heft, S. 29

⁸ Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911), 1878 Prof. f. Chemie, Mineralogie u. Geologie an der Univ. Amsterdam

⁹ Svante August Arrhenius (1859-1927), 1891 Dozent für Physik und 1895 Prof. f. Physik an der HS Stockholm

¹⁰ Lehre vom osmotischen Druck bzw. von der elektrolytischen Dissociation

gung mit kinetischen Vorstellungen behaftet und ließen sich nur zögernd und nie ohne Widerspruch auf meine abstrakte, nach ihrer Meinung unanschauliche Auffassung ein. Die Folge war ein lebhafter Meinungsaustausch herüber und hinüber, der mich zu einer immer sorgfältigeren Reinigung und Klärung meiner eigenen Ansichten zwang. Unter diesen kritischen Einflüssen mußte jener Gedanke vom Parallelismus der [154] Materie und Energie immer deutlicher seine innere Schwäche offenbaren.

Wenn man einem anderen etwas klar machen will, muß man es zuerst sich selbst klar gemacht haben. Dies ist wohl der allerwertvollste subjektive Gewinn durch den Lehrerberuf, denn die Notwendigkeit solchen Klarmachens ist das sicherste und wirksamste Mittel, um wesentliche Fortschritte im eigenen Denken zu erzielen. So ist mir zwar nicht Tag und Jahr, wohl aber die Umgebung und das zugehörige Gefühl in lebhaftester Erinnerung geblieben, als mir zum ersten Male der radikale Gedanke der reinen Energetik aufging. Ich sehe noch die dunklen und nicht ganz sauberen Räume des alten Laboratoriums in der Brüderstraße¹¹ vor mir, wo ich unter lebhafter Aussprache von einem Schüler zum anderen zu gehen pflegte, zunächst um mit ihm über seine Sonderarbeit zu sprechen, ihren Stand festzustellen und den Weg ihrer Fortsetzung zu erörtern. Von diesen Sonderfragen ging das Gespräch leicht und oft auf allgemeinere und allgemeinste Gedanken über, denn die Einordnung der Einzelaufgabe in den ganzen Kreis der verwandten Probleme und wieder deren Auffassung als Sonderfälle eines entsprechenden allgemeinen Prinzips ist mir stets als eines der wirksamsten Mittel erschienen, um Ort und Art zu finden, wo und wie die Arbeit am zweckmäßigsten einzusetzen hatte. Es war natürlich, daß nicht nur der einzelne Schüler sich beteiligte, an dessen Arbeitsplatz ich eben stand, sondern auch seine Nachbarn und oft die ganze Belegschaft des Zimmers.

Ich war nach einem solchen Rundgang endlich einmal den Schwarm auf kurze Zeit los geworden und begab mich durch den kleinen Bibliothekraum in mein Schreibzimmer, um einige amtliche Geschäfte zu erledigen, zu denen ich mich immer erst etwas zu zwingen hatte. Auf einmal blieb ich unwillkürlich stehen. In meinem Kopf [155] war die angeregte Gedankenarbeit unterbewußt weitergegangen und hatte plötzlich zu einem neuen, bisher nicht betretenen Punkt geführt. Die Schwierigkeit, ja Unmöglichkeit des Dualismus und Parallelismus Materie - Energie hatte sich durch die vorangegangenen Gespräche in solchem Maße in meinem Kopfe gesteigert, daß ich sozusagen geistig nach Luft schnappte und unwillkürlich nach einer anderen Lösung griff. Wie wär's, wenn die Energie allein primäre Existenz hat und die Materie nur ein sekundäres Erzeugnis der Energie, ein durch bestimmte Ursachen zusammengehaltener Komplex verschiedener Energien ist?

Grundsätzliches

Die Fragestellung war meines Erinnerens daraus entstanden, daß man mir eingewendet hatte: wie kann denn die Energie eine Realität sein, wenn eine Masse, die verschiedene Geschwindigkeiten annimmt, damit auch verschiedene Mengen Energie haben kann? Die Geschwindigkeit ist doch nur ein Zahlenverhältnis zwischen Strecke und

¹¹ Von 1887 bis 1897 befand sich Ostwald's physikalisch-chemisches Laboratorium im Gebäude des landwirtschaftlichen Institutes in der Brüderstraße.

Zeit, und wie soll ein Zahlenverhältnis plötzlich eine neue Realität in ein Objekt hineinbringen, das eine ganz andere Realität, nämlich Masse besitzt?

Der scharfe Gegensatz, der durch diesen Einwand offenbar geworden war, brachte bei mir die Reaktion nach der entgegengesetzten Richtung hervor. Der Geschwindigkeit und der mit ihr wachsenden und abnehmenden Bewegungsenergie kann und muß Realität zugeschrieben werden, denn jenes Zahlenverhältnis bezieht sich ja nur auf deren Maß, nicht deren andere Eigenschaften, wie z. B. ihre Richtung. Und die Physik lehrt unerbittlich: um der Masse eine Geschwindigkeit zu geben, ist ein Aufwand von Arbeit erforderlich, der auf keine Weise umgangen werden kann. Die erforderliche Arbeit oder Energie läßt sich nicht aus dem Nichts schaffen, sie muß irgendwoher genommen werden, wo sie vorher vorhanden war. Somit steckt in der Geschwindigkeit [156] unzweifelhaft eine Realität, denn wenn man mit diesem Namen einen Inhalt verbinden will, so kommt er sicherlich einem Wesen zu, das man wie die Energie nicht nur nicht schaffen, sondern auf keine Weise vernichten kann.

Also das abstrakte Zahlenverhältnis aus Strecke und Zeit mag nur ein begriffliches Dasein haben. Die besondere Geschwindigkeit aber, die ein besonderer Körper hat, ist eine Realität, eine einzelne Wirklichkeit, die man nur durch einen Akt der Abstraktion unter den allgemeinen Begriff bringt. Auch bei der Energie ist der gleiche Unterschied zu machen. Jede einzelne Energiemenge, die in einem Stück Steinkohle oder einem geladenen Akkumulator, in dem Planeten, der sich um die Sonne schwingt und in dem elektrischen Funken enthalten ist, der die elektrische Energie der geladenen Leidner Flasche¹² in Wärme umsetzt, ist eine Realität, eine Wirklichkeit. Alle diese Wirklichkeiten kann man unter den Begriff der Energie bringen.

Also die Erkenntnis, wie wir hier wieder einmal von der Sprache in die Irre geführt werden, welche den allgemeinen Begriff und die einzelne Wirklichkeit mit demselben Wort zu bezeichnen pflegt, ohne den sehr bedeutenden sachlichen Unterschied irgendwie zum Ausdruck zu bringen - diese Erkenntnis, daß ein wirkliches Ding darum nicht weniger real ist, weil man es unter einen allgemeinen oder abstrakten Begriff bringen kann, wirkte damals auf mich wie eine blitzartige Erleuchtung. Ich hatte eine beinahe physische Empfindung in meinem Gehirn, vergleichbar mit dem Umklappen eines Regenschirms im Sturm. Aus der früheren relativen Gleichgewichtslage meines Denkens, das sich mit dem Parallelismus von Materie und Energie begnügt hatte, schnappte mein Gesamtbewußtsein auf einmal in eine andere, stabilere Gleichgewichtslage über. Hier wurde der Energie durchaus die führende und maßgebende Stellung eingeräumt; Masse und Gewicht, die Haupteigenschaften der [157] „Materie“ wurden als Faktoren oder Teilgrößen bestimmter Energiearten erkannt.

Der Durchbruch

Ich darf nicht behaupten, daß nunmehr mit dieser neuen Einstellung des Geistes alles, oder auch nur sehr viel getan gewesen wäre. Die nächste Zeit brachte vielmehr eine vorläufige Erschöpfung durch diesen Geburtsakt und daher ein ziemlich unverändertes Fortwursteln in den bisherigen Gedankengängen, allerdings mit dem oft wiederholten Hinweis für mich selbst und für meine Schüler, daß unsere Sachen vor-

¹² ältere Form des Kondensators, ein zylindrischer Glaskörper, der innen und außen teilweise mit einem Staniolbelag bedeckt ist

aussichtlich besser und förderlicher auf dem neuen Wege vorangehen würden. Das sorgfältige Durchdenken aller Folgen der neuen Auffassung im einzelnen war ebenso notwendig wie schwierig, bevor ich von der neuen Einsicht einen sicheren und regelmäßigen Gebrauch machen konnte. Ein solcher Zustand ist vermutlich für jede erhebliche Entdeckung notwendig. Wissen wir doch beispielsweise von *Julius Robert Mayer*¹³, daß er sein Energiegesetz zwar als plötzliche Erleuchtung auf der Reede von *Surabaya*¹⁴ empfing, daß er aber hernach einige Jahre angestrengtester Arbeit gebraucht hatte, um diese erstmalige Eingebung zu einem wirklichen, wissenschaftlich haltbaren und auf beliebige Einzelfälle sicher anwendbaren allgemeinen Gesetz zu entwickeln.

So ging es auch mir mit diesem Gedanken der reinen Energetik, der soweit meine Kenntnis reicht, vor mir tatsächlich von keinem Denker erfaßt worden war. Der erste war der fortgeschrittenste gewesen und geblieben: *J. R. Mayer* hatte bereits die Energie als eine Realität neben der Materie angesehen; weiter hatte er sich nicht vorge-
traut. Seitdem waren nur Rückschritte geschehen, denn alle späteren Forscher auf dem Gebiete der Thermodynamik setzten die Energie noch weiter ins Mathematisch-Abstrakte zurück, indem sie sie wie eine zweckmäßige mathematische Funktion der Zustands-[158]variablen ansahen, etwa vergleichbar der Potentialfunktion. Und selbst ein Arbeits- und Denkgenosse meiner eigenen Zeit, der mir als Energetiker vorange-
gangen war, der Mathematiker *Georg Helm*¹⁵ hat auf das bestimmteste abgelehnt, diesen radikalen Schritt mitzumachen und sich mit ausdrücklichen, fast gereizten Worten gegen jeden Versuch ausgesprochen, die Energie als Substanz anzusehen und ihr eine der Materie vergleichbare Wirklichkeit zuzuschreiben. Er war also ausdrücklich noch hinter *Mayer* zurückgegangen. Für mich dagegen bestand der entstehende Fortschritt darin, daß ich die Materie begrifflich in ihre energetischen Bestandteile auflöste und erkannte, daß alles, was wir sinnfällig erleben, sich auf Energiebeziehungen zwischen unseren Sinnesorganen und der Außenwelt zurückführen läßt. Denn jede derartige Betätigung wird nur durch den Ein- oder Ausgang von Energiebeträgen bewirkt und kein Sinnesorgan bewirkt eine Empfindung, wenn es nicht eine derartige energetische Veränderung erfährt.

Die Ausgießung des Geistes

Die innere Entwicklung und Klärung solcher Gedankengänge brauchte eine nicht unerhebliche Zeit, deren Einzelheiten nicht in meinem Gedächtnis haften geblieben sind. In meiner Erinnerung steht dann mit bildhafter Anschaulichkeit ein Erlebnis da, das vielleicht ein halbes oder ganzes Jahr später anzusetzen ist. Es geschah wahrscheinlich im Frühling 1890, doch bin ich über die Zeit nicht sicher.

Ich hatte bei früherer Gelegenheit den Physiker *E. Budde*¹⁶ kennen gelernt, der als erster aus den älteren Messungen *Regnaults*¹⁷ über die Zusammendrückbarkeit des

¹³ Julius Robert Mayer (1814-1878), 1841 Stadtarzt in Heilbronn

¹⁴ J. R. Mayer unternahm 1840 als Schiffsarzt eine Reise nach Ostindien (Java). Dabei war ihm die hellrote Färbung des venösen Blutes in tropischen Klima aufgefallen, was den Anstoß zu seiner Entdeckung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie und des mechanischen Wärmeäquivalents gab. Vgl. Lexikon bed. Chemiker. Leipzig: Bibliogr. Inst., 1988

¹⁵ Georg Helm (1851-1923), 1906 Prof. f. angew. Mathematik an der TH Dresden

¹⁶ Emil Budde (1842-1921), 1887 Privatgelehrter in Berlin

Wasserstoffgases berechnet hatte, daß dessen Gesamtvolumen aus zwei Anteilen besteht: einem, der genau dem Boyleschen Gesetz vom umgekehrten Verhältnis zwischen Raum und Druck folgt, und einem zweiten, der vom Druck unabhängig oder unzusammendrückbar ist. In meinem [159] Lehrbuch¹⁸ hatte ich die Bedeutung dieser Entdeckung, um die man sich bis dahin wenig gekümmert hatte, sachgemäß hervorgehoben, was *Budde* angenehm empfunden hatte. Da er sich außerdem als vielerfahrener, geistvoller und zu heiterer Lebensauffassung entschlossener Mann erwies - er hat sich auch in solchem Sinne literarisch ausgezeichnet - so war zwischen uns ein näheres Verhältnis entstanden.

Mir war bei jenen Überlegungen zur Energetik klar geworden, daß die ganze Physik, die bisher allgemein als eine Lehre von den Kräften dargestellt worden war, nunmehr als eine Lehre von den Energien dargestellt werden mußte. Einzelne Kapitel, die ich dergestalt auszubauen versucht hatte, gaben sehr gute Resultate, doch konnte ich nicht daran denken, das ganze Gebiet in solchem Sinne zu bearbeiten. Dazu reichte weder die knappe Zeit aus, welche mir die im Gange befindliche Unterrichts- und Forschungsarbeit übrig ließ, noch durfte ich mir die nötige Sicherheit und Leichtigkeit für die mathematische Bearbeitung der ganzen Physik zutrauen.

Nun wußte ich, daß *Budde* sich nach einer Beschäftigung umsah, welche ihm die nötigen Einnahmen für seinen Haushalt - er war mit einer Türkin verheiratet - beschaffen sollte. Meine Erfahrungen über die wirtschaftlichen Ergebnisse wissenschaftlicher Lehrbücher waren so günstig, daß ich diese Quelle ihm vorschlagen wollte, in dem Sinne, daß er das geplante Lehrbuch der Physik in energetischer Darstellung schreiben sollte, nachdem ich mich mit ihm über die Grundgedanken verständigt haben würde.

Um die Angelegenheit besser zu fördern, war ich nach Berlin gereist,¹⁹ wo er lebte, um sie mit ihm durchzusprechen. Ich fand ihn mit beiden Händen in einer Schüssel, wo er mit Anstrengung eine weißliche Masse knetete. Er sagte mir, es sei ein Isoliermittel von besonders günstigen [160] Eigenschaften, dessen Herstellung er an die große elektrotechnische Firma Siemens und Halske verkaufen wollte. Als ich ihm mitgeteilt hatte, was mich zu ihm führte, ließ er seinen Teig stehen, reinigte nicht ohne Mühe seine Hände und ging mit mir in den Spatenbräu, wo wir, wie er sagte, später auch andere Berliner Physiker treffen würden, die aus der Physikalischen Gesellschaft kämen.

Für meinen Gedanken zeigte er sich zugänglich, so daß wir schon einen großen Teil durchgesprochen hatten, als die Fachgenossen auftraten; die einzelnen Teilnehmer wüßte ich nicht mehr zu nennen. Ich hielt mit meinen Plänen nicht zurück, die aber den anderen so absurd vorkamen, daß sie sie überhaupt nicht ernst nehmen wollten, sich vielmehr bemühten, mir meine Energetik durch reichlichen Spott zu verleiden. Dies hatte angesichts der eben mit *Budde* durchgesprochenen Gedanken natürlich nicht den beabsichtigten Erfolg, sondern bestärkte mich in der Überzeugung von der Notwendigkeit eines radikalen Umdenkens in der Physik. Das Gespräch

¹⁷ Henry Victor Regnault (1810-1878), 1847 Prof. f. Chemie an der École polytechnique Paris

¹⁸ Ostwald, Wilhelm: Lehrbuch der allgemeinen Chmie. Bd. 1. Stöchiometrie. Leipzig : Engelmann, 1885. - S. 199

¹⁹ Die Reise fand im Mai 1891 statt.

wurde sehr lebhaft, wir trennten uns spät. Ich suchte Nachtquartier im gewohnten Zentralhotel, schlief einige Stunden, wachte dann plötzlich mitten in den gleichen Gedanken auf und konnte keinen Schlaf mehr finden. Die Sonne war schon aufgegangen.

In frühester Morgenstunde bin ich aus dem Gasthof nach dem Tiergarten gegangen und habe dort im Sonnenschein eines wundervollen Frühlingmorgen ein wahres Pfingsten, eine Ausgießung des Geistes über mich erlebt. Die Vögel zwitscherten und schmetterten von allen Zweigen, goldgrünes Laub glänzte gegen einen lichtblauen Himmel, Schmetterlinge sonnten sich auf den Blumen, indem sie die Flügel öffneten und schlossen und ich selbst wanderte in wunderbar gehobener Stimmung durch diese frühlingshafte Natur. Alles sah mich mit neuen, ungewohnten [161] Augen an und mir war zumute, als wenn ich zum ersten Male alle diese Wonnen und Herrlichkeiten erlebte. Ich kann die Stimmung, von der ich damals getragen war, nur mit den höchsten Gefühlen meines Liebesfrühlings vergleichen, der damals um ein Jahrzehnt hinter mir lag. Der Denkvorgang für die allseitige Gestaltung der energetischen Weltauffassung vollzog sich in meinem Gehirn ohne jegliche Anstrengung, ja mit positiven Wonnegefühlen. Alle Dinge sahen mich an, als wäre ich eben gemäß dem biblischen Schöpfungsbericht in das Paradies gesetzt worden und gäbe nun jedem seinen wahren Namen.

Das war die eigentliche Geburtsstunde der Energetik. Was vor einem Jahre bei jener ersten plötzlichen Empfindung in meinem Gehirn, der Konzeption des Gedankens, mir noch als einigermaßen fremd, ja nicht ohne einen Zug von unheimlicher Neuheit entgegengetreten war, erwies sich jetzt als zu meinem Innern gehörig, ja als ein lebenswichtiger Teil meines Wesens. Er war so assimiliert, organisch an- und eingeschlossen und halb unterbewußt entwickelt worden, daß wie bei dem plötzlichen Aufbrechen einer Knospe mit einem Male alles da war und mein entzückter Blick nur von einem Orte zum anderen zu schweifen hatte, um die ganze neue Schöpfung in ihrer Vollkommenheit zu erfassen.

Dieser wundervolle Zustand hielt während der Morgenstunden an und ich konnte nicht müde werden, durch den glänzenden Frühling zu gehen und mein inneres Auge über die plötzlich aufgetanen, unbegrenzt herrlichen und unbegrenzt weiten Fernen schweifen zu lassen.

Dann erwachte allmählich der Großstadttag und nahm mich in seinen Lärm und Staub auf. Als dann die Tagesstunde es einigermaßen erlaubte, habe ich den einen und anderen Fachgenossen besucht und mich bemüht, ihnen meine neuen Erkenntnisse darzulegen. Sie haben [162] mir hernach erzählt, daß ich den Eindruck eines Inspirierten oder Propheten gemacht hatte. Sie seien meinerseits an Ungewöhnlichkeiten gewöhnt gewesen, in einem solchen Zustande aber hätten sie mich sonst nie gesehen. Ich muß wohl hinzufügen, daß ich auch hernach nie wieder einen solchen Zustand erlebt habe. Ein so konzentriertes Glück habe ich nicht nochmals erfahren, wenn auch eine ganze Reihe von erhebenden und wohl auch erschütternden Geburtsstunden neuer und erheblicher Gedanken mir noch hernach beschieden gewesen sind.

Vergebliche Predigt

Die von mir gewünschte Wirkung, einen ähnlichen Eindruck der neuen Gedanken auf die Fachgenossen zu erzielen, blieb vollkommen aus. Daß ich die von mir vertre-

tenen neuen Ideen von *van't Hoff* und *Arrhenius* gegen den zunächst allgemeinen Widerspruch nun endgültig durchgesetzt hatte, ließen sie schließlich gelten, da es nicht meine eigenen gewesen waren. Daß ich selbst aber ähnlich revolutionäre Gedanken erzeugen könnte, vermochten sie sich nicht zu denken, da ich ja kein Holländer oder Schwede, sondern nur ein Deutscher war. So ließen sie diese meine neue Erleuchtung zunächst auf sich beruhen, um sie später, als ich sie öffentlich vortrug und vertrat, um so eifriger zu bekämpfen.

Ich kann nicht sagen, daß jene Gleichgültigkeit mich besonders verstimmt hätte; ich faßte sie weder als Stumpfheit, noch als Bosheit auf. Denn die eben erlebte geistige Erhebung war mir als ein so fremdartig-herrliches Ereignis erschienen, daß ich mir leicht klar machen konnte, wie wenig darauf zu rechnen war, bei anderen, die an diesem inneren Pfingsten nicht teilgenommen hatten, durch den bloßen Bericht darüber auch nur annähernd ähnliche Gefühle zu erregen.

Die energetische Physik, wegen deren ich damals nach Berlin gereist war, kam nicht zustande, weil *Budde* [163] bald darauf eine leitende Stellung bei Siemens und Halske erhielt, die seine Arbeitskraft und -zeit vollständig in Anspruch nahm.²⁰

Gestaltungsarbeit

Mit dieser starken Bereicherung meines inneren Lebens kehrte ich zu meiner Berufsarbeit zurück und befestigte die neuen Gedanken durch die täglichen Besprechungen mit den Laboratoriumsgenossen. Auch hier stieß ich auf passive und aktive Widerstände. Dies veranlaßte mich um so mehr, die energetische Betrachtungsweise überall auf die Probleme anzuwenden, mit deren Erforschung sich das Laboratorium beschäftigte, um die praktische Probe auf die Brauchbarkeit der neuen Gedanken zu machen.

Es muß als ein besonderer Glücksfall angesehen werden, daß die Aufgaben, welche uns damals beschäftigten, so gut wie alle auf einem Neuland lagen, das gedanklich noch nicht in Besitz genommen war. So hatte ich für die Durchführung der reinen Energetik ein unverbildetes, noch völlig plastisches Material vor mir. Dadurch kam ich in die glückliche Lage, solche Einzelarbeit leichter und vollständiger ausführen zu können, als es in älteren Gebieten möglich gewesen wäre, deren Formen bereits durch die Arbeiten früherer Forscher bestimmte Gestalt und damit eine gewisse Unbeweglichkeit angenommen hatten. Denn das Recht des Erstgekommenen gilt in der Wissenschaft vielleicht stärker als irgendwo sonst. Derjenige, der der Menschheit durch seine Arbeit ein neues Gebiet aufgetan hat, gestaltet dies nach der Beschaffenheit seines Denkens in ganz persönlicher und maßgebender Weise. Alle diejenigen, die nach ihm dasselbe Gebiet bearbeiten, sind in irgendeiner Weise immer gezwungen, sich der Form anzupassen, die er der Sache gegeben hat, sei es durch unmittelbare Übernahme, sei es durch die Ablehnung, welche eine gleichsam spiegelbildliche Wiederholung ist. Immer lassen sich an den [164] späteren Bearbeitungen die persönlichen Marken des ersten Besitzergreifers erkennen.

So hat man, wenn man mit neuen allgemeinen Gedanken an ältere, mehrfach bearbeitete Gebiete geht, immer doppelte Arbeit zu leisten. Zuerst müssen die erstarrten Formen wieder geschmolzen und beweglich gemacht werden. Man muß sich die

²⁰ E. Budde wurde 1893 Direktor des Charlottenburger Werkes von Siemens & Halske

Denkgewohnheiten, die dort bestehen und als „selbstverständlich“ benutzt werden, weil man sich das Nachdenken über sie zu ersparen pflegt, zunächst bewußt abgewöhnen und kann erst dann die Neugestaltung vornehmen. Ist man dagegen so glücklich noch ungeordnete Gebiete vor sich zu haben so fällt jener meist sehr schwierige erste Teil des Aufräumens fort und man kann unverweilt an die Aufbauarbeit gehen.

Die Elektrochemie

In dieser glücklichen Lage fühlte ich mich gegenüber der physikalischen Chemie. Was es hier an Ordnung gab war größtenteils von mir selbst erst vor kurzem beigebracht worden und daher noch nicht erstarrt. Zwar gab es für ein Gebiet eine sehr vollständige Zusammenstellung von anderer Hand, die erst vor kurzem wieder überarbeitet und bis nahe an die Gegenwart geführt worden war. Es war dies die Elektrochemie in *G. Wiedemanns*²¹ umfassenden Handbuch der Elektrizität.²² Aber was hier an Zusammenfassung geschehen war, wurde von dem Englischen Physiker *Oliver Lodge*,²³ dem Vorsitzenden des damals sehr tätigen Ausschusses für Elektrolyse der Britischen Vereinigung für den Fortschritt der Wissenschaft zwar scharf aber doch zutreffend gekennzeichnet. Professor *Wiedemann* hat, schrieb er, die Probleme der elektromotorischen Kräfte der elektrochemischen Ketten in drei Fragen formuliert. Wenn ein Engel vom Himmel herabgestiegen käme und vermöge seines übermenschlichen Wissens alle drei Fragen beantwortete - ich glaube, wir würden hernach nicht klüger sein, als wir jetzt sind.

[165] *Wiedemann* nahm ihm dies sehr übel und sagte: „Man sieht, daß er in seiner Jugend Grobschmied gewesen ist.“ Damit spielte er auf die sehr schlichten Verhältnisse an, aus denen sich *O. Lodge* zu seiner angesehenen wissenschaftlichen Stellung emporgearbeitet hatte.

Des Lehrbuches zweite Auflage

Eine besondere Gelegenheit bot sich dar, die energetischen Grundlagen meiner Wissenschaft sorgfältig herauszuarbeiten und ausdrücklich zu formulieren. Die erste Auflage meines Lehrbuches²⁴ war in wenigen Jahren vergriffen und ziemlich bald nach meiner Übersiedelung nach Leipzig eröffnete mir der Verleger, daß ich für eine Neuauflage zu sorgen haben würde. Dies war eine große Arbeit, denn inzwischen war so viel Neues und Grundlegendes hervorgebracht worden, daß große Teile des Buches ganz neu zu schreiben waren. Der erste Teil, die Stöchiometrie, wurde während des Jahres 1890 bearbeitet; sein Umfang war verdoppelt. Er enthält noch keine Hindeutung auf den neuen Standpunkt, den ich um jene Zeit gewann; auch war durch den Inhalt kein Bedürfnis nach entsprechender Umgestaltung gegeben. Wohl aber trat ein solches auf das dringendste für den zweiten Teil, die Verwandtschaftslehre ein.

²¹ Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899), 1887 Prof. f. Physik an der Univ. Leipzig

²² Wiedemann, Gustav: Die Lehre von der Electricität. 4 Bde. Braunschweig : Vieweg & Sohn, 1893-1898. Der 2. Band zur Elektrochemie kam 1894 heraus.

²³ Sir Oliver Joseph Lodge (1851-1940), 1879 Prof. f. Physik an der Univ. London

²⁴ Ostwald, Wilhelm: Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Bd. 1. Stöchiometrie; Bd. 2. Verwandtschaftslehre. Leipzig : Engelmann, 1885; 1887

Dieser Teil war von Ende 1891 bis Ende 1892 bearbeitet worden und ich kann das Jahr 1892 als das Entwicklungsjahr meiner Energetik bezeichnen. Man ersieht dies aus der Vorrede zu diesem Werk, in welcher folgendes berichtet wird.

„Man wird in den Teilen über chemische Energetik und Elektrochemie die Darstellung vielfach von der üblichen abweichend finden. Ich habe geglaubt, diese Abweichungen nicht scheuen zu sollen, da sie gerade aus meinem Nachdenken über die angemessenste und erfolgreichste Art entstanden sind, dem Leser die geistige Herrschaft über diese ebenso wichtigen, wie - wenig-[166]stens in der bisherigen Darstellung - schwierigen Fragen zu vermitteln. Ohnedies drängt die ganze Entwicklung der messenden Naturwissenschaften gegenwärtig unwiderstehlich auf den Grundgedanken hin, welcher den Mittelpunkt des vorliegenden Werkes bildet: daß alles Geschehen in der Welt nur in Änderungen der Energie im Raume und in der Zeit besteht, und daß somit diese drei Größen die allgemeinsten Grundbegriffe sind, auf welche alle meßbaren Dinge zurückzuführen sind.“

„In der Durchführung des Gedankens, wie sie hier vorliegt, hätte ich schon jetzt mancherlei zu ändern und an nicht wenigen Stellen könnte die Darstellung runder und systematischer sein. Dieser Nachteil ergab sich daraus, daß während der Abfassung des Textes und zwar durch dieselbe meine eigenen Vorstellungen in lebhafter Entwicklung begriffen waren. Ich hoffe, daß die vielfachen Spuren meines Ringens mit überkommenen unzulänglichen Anschauungen dem Leser den Faden der Gedankenentwicklung besser in die Hand geben werden, als wenn ich eine möglichst weitgehende Ausreifung der neuen Auffassungsweise abgewartet und den Inhalt zwar abgerundeter und geschlossener, aber eben deshalb unzugänglicher und unlebendiger zutage gefördert hätte. Etwas von den Erregungen der ersten Konzeption der neuen Anschauungsweise klingt an manchen Stellen des Textes durch; was er dadurch an Glätte verlor, hat er hoffentlich an Eindringlichkeit gewonnen.“

„Eine ausgedehnte Probe auf seine Ausgiebigkeit und Brauchbarkeit konnte das als überall anwendbares Hilfsmittel ausgesprochene Prinzip der virtuellen Energieänderungen, welches als wesentlichstes praktisches Ergebnis der Energetik zunächst zu bezeichnen ist, in der Elektrochemie finden. Ich habe hier insbesondere bei der Abfassung des Kapitels über die elektromotorischen Kräfte dank den von *Helmholtz*,²⁵ *van't Hoff*, [167] *Arrhenius* und *Nernst*²⁶ gegebenen Grundlagen aus dem Vollen schöpfen können, und das nunmehr hundertjährige Problem hat sich dadurch in seiner Einheitlichkeit darstellen lassen, auf welche ich, wie ich gestehen muß, selbst nicht gefaßt war, als ich an die Arbeit ging. Ich habe die lebhaft empfundene, daß vieles an meiner Darstellung verbesserungsbedürftig ist, aber auch, daß die künftigen vollkommeneren Theorien der Voltaschen Kette²⁷ die wesentlichen Bestandteile der vorliegenden in sich aufnehmen werden.“

Diese Voraussicht hat sich tatsächlich bewährt. Das Werk brachte die erste zusammenhängende und auf alle Einzelbeobachtungen, die sich in der Literatur fanden, ausgedehnte Theorie der Voltaschen Ketten aller Art, und in dem hernach vergange-

²⁵ Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894), 1871 Prof. f. Physik an der Univ. Berlin

²⁶ Walther Nernst (1864-1941), 1894 Prof. f. physik. Chemie in Göttingen

²⁷ Anordnung von Metallen und Flüssigkeiten (Gasen) zur Messung der elektromotorischen Kraft (galvanisches Element)

nen Menschenalter haben sich nur Vertiefungen und Erweiterungen ergeben; eine wesentliche Änderung einer der vielen Sondertheorien, die je nach dem experimentellen Fall entwickelt waren, hat sich nicht als notwendig erwiesen.

Eine besonders scharfe Erprobung entstand dadurch, daß viele neue Experimentaluntersuchungen in meinem Laboratorium durch die neuen Auffassungen alter Beobachtungen angeregt wurden. Denn da jene älteren Forscher nicht wußten, worauf es ankam, hatten sie oft über wesentliche Faktoren keine Auskunft gegeben, deren Bedeutung sie nicht kannten. Hier waren neue Anordnungen zu erdenken und zu erproben, durch welche für die maßgebenden Veränderlichen der neuen Gleichungen Zahlenwerte gewonnen werden konnten. Die Ergebnisse führten überall zu einer Betätigung und Erfüllung der Ansätze mit fruchtbringenden Zahlenwerten.

So darf ich wohl für mich in Anspruch nehmen, vermittels der Energetik auf Grund der oben erwähnten Arbeiten die Organisation und Kodifikation der Elektrochemie in der Gestalt durchgeführt zu haben, die sich seitdem bis heute als dauerhaft erwiesen hat.

[168] Wesen der Energetik

Fragt man mich, worin ich den Hauptgedanken der Energetik sehe, so muß ich als solchen die Erkenntnis bezeichnen, daß neben und über den allgemeinen Begriffen Ordnung, Zahl, Größe, Zeit und Raum der Begriff der Energie einzuführen ist als der nächstfolgende Allgemeinbegriff. Ob man der Energie Realität (Wirklichkeit) zuzuschreiben hat, ist eine Frage ohne bestimmten Inhalt, wie man alsbald erkennt, wenn man versucht, die weitere Frage zu beantworten, woran man ein reales Ding oder Wesen erkennen kann. Begnügt man sich mit dem Wortzusammenhang, indem man als wirklich das erklärt, was wirkt, so muß man jedenfalls die Energie und nur sie wirklich nennen. Denn sie ist tatsächlich das Einzige, was man ohne Ausnahme in jeder Wirkung nachweisen kann, sowohl als Empfänger, wie als Betätiger jeder Wirkung.

Als das Wirkliche sieht man gewöhnlich die Materie an, und wenn man dies Wort hört, glaubt man ganz genau zu wissen, wovon die Rede ist. Der Bleistift in meiner Hand, das Papier, auf dem ich schreibe, das Haus, in dem ich wohne, der Erdball, auf dem mein Haus ruht: alles das ist doch wäg- und tastbare Materie, Wirklichkeit von derbster Beschaffenheit. Aber eben ist es dunkel geworden und ich knipse das elektrische Licht an: der Wolframfaden erglüht und ich kann wieder lesen und schreiben. Dies Licht ist doch nicht minder wirklich! Ich muß es bezahlen und es würde nicht entstehen, wenn nicht im Elektrizitätswerk die Maschinen durch die Verbrennung von Kohlen getrieben würden. Und sind die Gedanken, welche eben in meinem Gehirn entstehen und durch die Tätigkeit meiner Hand auf das Papier übertragen werden, nicht auch wirklich? Sie würden nicht entstehen, wenn nicht ein bestimmter Mensch bestimmte Erfahrungen früher aufgenommen und innerlich verarbeitet hätte. Aber Materie, wäg- und tastbar [169] sind sie nicht, ebensowenig wie Licht und Elektrizität, wohl aber sind sie denkbar. Und das Denken ist doch auch eine Wirklichkeit, sogar eine der wichtigsten im Menschenleben.

Also: es gibt außer der Materie eine sehr große Zahl von Wirklichkeiten, und zwar sehr wichtige, die man durchaus nicht in jenem Begriff unterbringen kann. Wohl aber kann man es im Begriff Energie.

Unter dem irreführenden Namen des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft ist das 1842 durch *J. R. Mayer* entdeckte wichtige Naturgesetz von der Erhaltung der Energie bekannt. Es besagt, daß es bei allem Geschehen ohne jede Ausnahme ein Ding gibt, welches nur seiner Erscheinungsweise, nicht aber seiner Menge nach geändert werden kann. Ebenso, wie man ein Stück Ton in alle möglichen Formen bringen kann, ohne daß seine Menge sich ändert, so kann man es auch mit der Energie. Nun besteht ja auch für das Gewicht und die Masse der Materie ein Erhaltungsgesetz, das schon viel länger bekannt ist. Aber wir haben ja eben gesehen, daß dieser Begriff nur einen Teil der Wirklichkeit deckt. Der Begriff der Energie deckt dagegen die ganze Wirklichkeit, d. h. alles, was wir innerlich und äußerlich erleben. Natürlich mit Einschluß der Materie, denn auch diese kann man energetisch definieren. Wenn also gefragt wird: welche Eigenschaften hat die Energie, so ist die Antwort: sie ist überall vorhanden, kann vielfältig umgeformt aber auf keine Weise erschaffen und vernichtet werden; im übrigen hat sie alle Eigenschaften, die es gibt. Denn alle Dinge lassen sich als Betätigungen, d. h. Umwandlungen von Energie definieren.

Was wissen wir von der Welt? Nur das, was wir durch unsere Sinne wahrgenommen und was wir daraus durch Denken erkannt haben. Nun wohl: damit eines unserer Sinnesorgane uns eine Nachricht gibt, ist es [170] notwendig und zureichend, daß es Energie aufnimmt oder abgibt, daß es in Energieverkehr mit der Welt steht. Der Schall, den wir hören, das Licht, das wir sehen, der Druck oder die Wärme, die wir empfinden: alle sind Energien, die den Zustand unserer Organe ändern und deshalb empfunden werden.²⁸ Und um zu denken, muß unser Gehirn durch zufließendes Blut chemische Energie empfangen, die es beim Denken verbraucht, d. h. in andere Formen umwandelt; in dem Augenblicke, wo der Blutstrom gehemmt wird, hört auch das Denken auf. Der Gedanke, den wir denken, ist nicht Blut, ebensowenig wie der Ton, den wir empfinden, Schwingung der Luft ist. Diese liefern nur die Energie für die geistigen Vorgänge, das Denken und das Empfinden. Da diese aber niemals entstehen, ohne daß Energie betätigt und verbraucht wird, und da Energie weder erzeugt, noch vernichtet, sondern nur umgewandelt werden kann, so muß auch Denken und Empfinden in den Kreis der Energiewandlungen eingerechnet werden, aus denen alles Geschehen in der Welt besteht.

Eingewöhnungshindernisse

Heute sind die eben dargelegten Gedanken zwar noch nicht allgemein angenommen; sie erscheinen aber nicht mehr fremdartig und unsinnig. So erschienen sie aber vor dreißig Jahren, als ich sie zum ersten Male zu denken wagte, und dann das noch viel größere Wagnis unternahm, den anderen Menschen zuzumuten, sie gleichfalls zu denken. Denn die Naturforscher fühlten sich damals unendlich weit von den Philosophen entfernt, die sie in gutmütiger Nachsicht für ebenso unschädliche wie unnütze Wesen ansahen. Noch wirkte sehr deutlich die schwere Niederlage nach, welche die deutsche Wissenschaft am Anfang des neunzehnten Jahrhunderts durch die Schuld der

²⁸ Heute allgemeiner Erkenntnisstand in Physiologie und Psychologie, erkenntnistheor. Standpunkt des kritischen Realismus

damaligen Naturphilosophie erlitten hatte²⁹ und eine Sicherheit gegen eine Wiederholung solcher Schmach schien nur [171] durch die strenge Enthaltung von aller Philosophie gegeben zu sein. Ein so klarer und kühler Denker wie *Ernst Mach*³⁰ wurde als Phantast angesehen, und man begriff nicht, wie ein Mann, der so gute Experimentalarbeiten zu machen verstand, derartige Allotria treiben mochte, die ihn der Philosophie verdächtig erscheinen ließen (wogegen er sich auch sein Lebtage gewehrt hat) und ihm in der Tat den Weg von Prag an andere Universitäten kurz vor seinem Tode verschlossen hatten. So wurden auch mir von allen Seiten, selbst wissenschaftlich sehr nahe stehenden, dringende Warnungen zuteil und man sah in meinen Bemühungen um die Bildung angemessener allgemeiner Begriffe eine Verirrung, die man um so bedauerlicher fand, je bereitwilliger man mir die Fähigkeit zubilligte, geschickte und interessante experimentelle Arbeiten zu liefern.

Allgemeine Energetik

Nachdem ich die Brauchbarkeit der Energetik in dem mir vertrauten Gebiete der allgemeinen Chemie, insbesondere der Elektrochemie erprobt hatte, ging ich naturgemäß daran, die in der Einleitung zu meinem Lehrbuch nur skizzierte allgemeine Energetik zu vertiefen und auszubauen, um dies weitreichende Denkmittel für den unbegrenzten Gebrauch herzurichten.

Hiermit begab ich mich auf einen gefährlichen Boden, der mit Sicherheit eigentlich nur von Forschern betreten werden kann, die frei über die Arbeitsmittel der höheren und höchsten Mathematik verfügen. Ich war mir dessen bewußt, daß dies bei mir keineswegs der Fall war und entschuldigte mich von vornherein bei den Fachgenossen wegen meines Betretens von Feldern, mit denen ich mich nicht vorher durch Einzelarbeiten hatte vertraut machen können. Aber da zurzeit niemand sonst diese Wege gehen wollte, deren Wichtigkeit für den Fortschritt der Wissenschaft ich so kräftig [172] am eigenen Leibe erfahren hatte, hielt ich es für meine Pflicht, mich soweit vorzutasten, als es gehen wollte, auf die Gefahr hin, von den Zünftigen als Böhnhase verklagt und verjagt zu werden.

Ein erster Schritt von erheblicher begrifflicher Bedeutung gelang gut. Von *Gauß*³¹ und *Weber*³² war vor langer Zeit gezeigt worden, wie man die mechanischen Kräfte des Magnetismus auf ein von ihnen sogenanntes absolutes Maß zurückführen kann,³³ das nur von den Einheiten für Raum, Zeit und Masse abhängig ist, die man gewählt, d. h. willkürlich festgesetzt hat. *Maxwell*³⁴ war später weit über die von den deutschen Forschern sorgsam eingehaltene Beschränkung hinausgegangen und hatte den Satz aufgestellt, daß alle physischen Größen sich auf diese drei Grundeinheiten zurückfüh-

²⁹ Ostwald bezieht sich hier im Wesentlichen auf die naturphilosophischen Bemühungen der deutschen Romantiker. Die „schwere Niederlage“ ist sicher nicht angemessen.

³⁰ Ernst Mach (1838-1916), 1867 Prof. f. Physik an der dt. Univ. Prag, 1895 Prof. f. induktive Philosophie an der Univ. Wien

³¹ Carl Friedrich Gauss (1777-1855), 1807 Prof. f. Astronomie an der Univ. Göttingen

³² Wilhelm Weber (1804-1891), 1831 Prof. f. Physik an der Univ. Göttingen

³³ vgl. Gauss, Carl Friedrich: Die Intensität der erdmagnetischen Kraft auf absolutes Maass zurückgeführt (1832). Leipzig : Engelmann, 1894 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften 53)

³⁴ James Clerk Maxwell (1831-1879), 1856 Prof. f. Physik an den Univ. Aberdeen und London, 1871 an der Univ. Cambridge

ren lassen. So hatte er insbesondere eine solche Zurückführung bei den elektrischen und magnetischen Größen angegeben, wobei die Grundeinheiten in sehr wunderlichen „Dimensionen“, nämlich mit gebrochenen Potenzexponenten auftreten mußten, die keine verständliche Deutung zuließen.³⁵ Trotzdem wurde die Berechtigung jener unbewiesenen Grundbehauptung von *Maxwell* nicht in Zweifel gezogen. Kurz vor der Zeit meiner energetischen Arbeiten hatte zwischen hervorragenden mathematischen Physikern, insbesondere *Clausius*³⁶ und *Hertz*³⁷ eine merkwürdige Erörterung stattgefunden, aus der sich ergeben hatte, daß man auf Grund von *Maxwells* Voraussetzungen nicht nur ein solches System von Dimensionen für die elektrischen und magnetischen Größen ableiten kann, sondern deren vier, die alle voneinander verschieden und alle gleich richtig oder berechtigt sind.³⁸

Man half und hilft sich damit, daß man je nach Bedarf und Bequemlichkeit das eine oder andere dieser Systeme benutzt und die Werte durch entsprechende Transformationsformeln ineinander überführt, wenn dies nötig [173] oder wünschenswert ist. Damit ist der größte Vorzug des absoluten Systems, seine Eindeutigkeit, verloren.

Für mich war diese Vieldeutigkeit ein Beweis, daß die Grundvoraussetzung des *Maxwellschen* Systems fehlerhaft ist, in solchem Sinne, daß *Zeit*, *Raum* und *Masse* zur Definition der anderen Größen nicht genügend sind. Denn wären sie es, so müßten die elektrischen Dimensionen eindeutig bestimmt werden können, und nicht vierdeutig, wie die Erfahrung lehrt.

Weiter ergibt sich, daß in jeder Gruppe physikalischer Größen solche Größen vorhanden sind, die nur dieser Gruppe angehören, in den anderen aber nie vorkommen. Temperatur gibt es nur in der Wärmelehre, Elektrizitätsmenge nur in der Elektrizität usw. Sie können also unabhängige Einheiten bekommen, ohne daß die eine Feststellung die anderen stört. Auch dies widerspricht der *Maxwellschen* Voraussetzung.

Das Schlußergebnis war folgendes. Es gibt nur eine Größe, welche allen Gebieten voll gemeinsam ist, und dies ist weder *Raum*, noch *Zeit*, noch *Masse*, sondern die *Energie*. Wenn die Maßeinheiten so bestimmt sind, daß dem Gesetz von der Erhaltung der *Energie* genügt ist - was *Maxwell* stillschweigend getan hatte - so kann und muß man in jeder Gruppe eine spezifische Größe frei bestimmen, wodurch mit Hilfe der Einheiten von *Zeit* und *Raum*, soweit sie etwa für die Definition abgeleiteter Größen in Frage kommen, alle anderen Größen des Gebietes eindeutig definiert sind.

Gegen diese Regelung der grundlegenden Frage der absoluten Maße ist kein Einwand erhoben worden, der mir bekannt geworden wäre. Aber auch eine offene Anerkennung wurde vermieden. Die internationalen Feststellungen, die noch unter dem Einfluß der fehlerhaften Lehre *Maxwells* getroffen wurden, sind inzwischen nicht wieder grundsätzlich erörtert worden, während man [174] in den praktischen Anwendungen die Forderungen der *Energetik* stillschweigend erfüllt hat. So ist sachlich

³⁵ vgl. Föppl, A.: Einführung in die *Maxwell'sche* Theorie der Elektrizität. Leipzig : Teubner, 1894. - S. 118 ff.

³⁶ Rudolph Julius Emanuel Clausius (1822-1888), 1869 Prof. f. Physik an der Univ. Bonn

³⁷ Heinrich Hertz (1857-1894), 1885 Prof. f. Physik an der TH Karlsruhe, 1889 Prof. f. Physik an der Univ. Bonn

³⁸ Hertz, Heinrich: Über die Dimensionen des magnetischen Pols in verschiedenen Maasssystemen. In: Ann. d. Physik und Chemie. N.F. 24 (1885), S. 114-118

keine Ursache vorhanden, öffentlich den begangenen Fehler zuzugestehen. Nach meinem Tode wird man einmal die Angelegenheit grundsätzlich in Ordnung bringen, wenn sich ein passender Anlaß dazu findet.

Das Gesetz des Geschehens

In einer zweiten Abhandlung bildete die Erweiterung des bisher nur für Vorgänge, an denen die Wärme beteiligt ist, ausgesprochenen zweiten Hauptsatzes den Mittelpunkt. Dieser Satz besagt, daß die Wärme nie von selbst von niedriger Temperatur zu höherer ansteigt, und die Erweiterung besagt folgendes: Für jede Art der Energie gibt es eine Größe, die der Temperatur bei der Wärme vergleichbar ist, und die nie von selbst von niedrigeren Werten zu höheren ansteigt. Sie kann die „Intensität“ der betreffenden Energie genannt werden. Für die elektrische Energie ist es die Spannung, für die Bewegungsenergie die Geschwindigkeit usw. Von besonderem Interesse war für mich die Frage nach der chemischen Intensitätsgröße. Es ergab sich, daß dieser hochwichtige Begriff von *W. Gibbs*³⁹ unter dem Namen des chemischen Potentials in seinen grundlegenden Arbeiten entwickelt und fortlaufend benutzt worden war. Die Wahl des Namens, der bis dahin nur für entsprechende Größen der elektrischen und der Schwereenergie gedient hatte, läßt erkennen, daß *Gibbs* die Gleichartigkeit dieser Begriffe geläufig war, doch scheint er sich darüber nicht besonders ausgesprochen zu haben.

Hierdurch war die Möglichkeit gegeben, die mancherlei Seiten, welche die thermodynamische Forschung am zweiten Hauptsatz, soweit Wärme in Frage kam, aufgedeckt hatte, auf die gesamte Physik, d. h. auf das gesamte Geschehen auszudehnen und die allgemeine Bedingung auszusprechen, die erfüllt sein muß, damit überhaupt etwas geschieht. Es müssen dazu [175] Intensitätsunterschiede irgendwelcher Energien vorhanden sein.

Die genauere Untersuchung lehrt, daß diese Bedingung zwar notwendig, aber nicht zureichend erscheint. Es gibt (mindestens scheinbare) Ruhezustände, in denen nichts geschieht, obwohl Intensitätsunterschiede vorhanden sind. Beispielsweise ist das chemische Potential des Kohlenstoffs in einem Diamanten, der bekanntlich aus Kohlenstoff besteht, viel höher, als in der ihn umgebenden Luft, mit deren Sauerstoff er sich chemisch verbinden könnte, soweit chemische Voraussetzungen in Frage kommen. Es geschieht nicht bei gewöhnlicher Temperatur wohl aber bei Rotglut, und zwar um so schneller, je höher die Temperatur ist. Hier kommen also Fragen der Zeit zur Geltung und es steht dem nichts entgegen, zu sagen: der Diamant verbrennt tatsächlich auch bei gewöhnlicher Temperatur, nur so überaus langsam, daß ein menschliches Leben bei weitem nicht ausreicht, um meßbare Beträge davon zu beobachten. Nicht einmal geschichtliche Zeiträume von Jahrhunderten und Jahrtausenden würden genügen, abgesehen davon, daß Waagen, um sehr kleine Gewichtsänderungen festzustellen, überhaupt kaum länger als ein Jahrhundert der Menschheit zugänglich geworden sind.

³⁹ Josiah Willard Gibbs (1839-1903), 1871 Prof. f. Math.u. Physik an der Yale Univ. New Haven, Conn.

Die beiden Arten des Perpetuum mobile

Als anschaulichste Fassung dieser Gedankenarbeit kann folgende Betrachtung gelten. Den „ersten Hauptsatz“ oder das Gesetz von der Erhaltung der Energie kann man in der Form aussprechen: ein Perpetuum mobile ist unmöglich, wenn man darunter eine Maschine versteht, welche Arbeit, oder allgemein Energie aus nichts schaffen soll.

Nun kann man sich aber auch ein Perpetuum mobile, d. h. eine gratis arbeitende Maschine denken, ohne daß die von ihr ausgegebene Energie aus nichts erschaffen wird. Sie könnte z. B. aus der Wärme des Weltmeers [176] genommen werden, deren Betrag alle Maschinen der Welt betreiben könnte, ohne viel abzunehmen. Warum geht auch das nicht? Weil dabei die Temperatur des Weltmeeres „von selbst“ sinken oder Wärme von selbst auf höhere Temperatur steigen müßte, was nach dem zweiten Hauptsatz ausgeschlossen ist. Also gibt es begrifflich außer dem Perpetuum mobile erster Art, das dem ersten Hauptsatz widerspricht, noch ein solches zweiter Art, das dem zweiten Hauptsatz widerspricht, und dieser kann auch in der Form ausgesprochen werden: ein Perpetuum mobile zweiter Art ist unmöglich. Dabei erstreckt sich die Unmöglichkeit nicht auf Wärmemaschinen allein, sondern auf alle überhaupt denkbaren Maschinen.

In der Abhandlung von 1892⁴⁰ sind diese und andere Beziehungen grundsätzlich entwickelt, und gegenwärtig, nach einem Menschenalter, wüßte ich daran nichts wesentliches zu ändern, wenn ich auch manches kürzer und übersichtlicher fassen konnte. Nur ein Abschnitt muß gestrichen werden, nämlich der neunte, der die Ableitung der Intensitätsgröße der Wärme enthält und dessen Rechnungsführung fehlerhaft ist.⁴¹ Ich hebe dies besonders hervor, da sich daran nicht unerhebliche Folgen geknüpft haben.

Erschöpfung

Die Ausgestaltung der energetischen Weltauffassung hatte an mein Gehirn ganz besonders große Anforderungen gestellt. Denn es war zum größten Teil reine Kopfarbeit und die wohlthätige Verdünnung durch Handarbeit, wie sie bei meinen früheren vorwiegend experimentellen Untersuchungen stattgefunden hatte, fehlte hier ganz.⁴² So machten sich deutliche Erschöpfungserscheinungen während des Semesters geltend. Ich hatte das Gefühl, als hätte ich „Watte im Kopf“, d. h. das gewohnte selbsttätige Angehen meiner Denkmachine beim Auftreten einer neuen Aufgabe, die dann fast ohne mein Zutun das Ergebnis herausbrachte, wie ein Automat, [177] trat nicht mehr so glatt ein, wie ich es gewohnt war. Sondern die Maschine versagte zu Zeiten oder lief leer, ohne etwas herauszubringen und ich mußte warten, bis wieder einmal eine produktive Stunde kommen wollte.

Da ich damals trotz meiner Erfüllung mit energetischem Denken über die energetischen Bedingungen der geistigen Arbeit noch gar nicht im klaren war, nahm ich

⁴⁰ Ostwald, Wilhelm: Studien zur Energetik. Tl. 2. Grundlinien der allg. Energetik. In: Zeitschr. f. physik. Chemie 10 (1892), Nr. 3, S. 363-386

⁴¹ s. a. Messow, Ulf ; Krause, Konrad: Anmerkungen zu Arbeiten von Wilhelm Ostwald auf dem Gebiet der Thermodynamik. In: diese Mitteilungen, S. 49

⁴² Ostwald bezieht sich auf das WS 1894/95.

diese Erscheinungen nicht physiologisch, wie es richtig gewesen wäre, sondern moralisch, indem ich mir selbst Vorwürfe über mangelnde Leistungsfähigkeit machte, was ein schwerer Fehler war. Mein Vater pflegte uns einzuprägen: der Wille macht alles möglich, und mangelnder Wille wurde „selbstverständlich“, d. h. ohne Prüfung als ethischer Mangel angesehen. So hielt ich es für meine Pflicht, mit dem Willen nachzuhelfen, wo das Gehirn physiologisch versagte und das deutliche Erschöpfungsgefühl mich hätte warnen sollen, daß das Organ bis zur Grenze seiner regelmäßigen Leistungsfähigkeit beansprucht war. Auf diese erzwungene Arbeit muß ich es auch zurückführen, daß die sonst genügend wirksame Selbstkritik versagte und jenen §9⁴³ (S. 176)⁴⁴ durchgehen ließ, den ich bei ganz gesundem Denkkorgan sicher zum Zweck der Besserung zurückgehalten hätte. Denn es bildet sich bei der wissenschaftlichen Arbeit ein Instinkt aus, welcher mit ziemlich großer Zuverlässigkeit lebensfähige Erzeugnisse des Denkens von solchen unterscheidet, welche noch nicht reif sind.

Wider die Atomistik

Die nun folgende Zeit war mit vielfältiger Tätigkeit ausgefüllt, die mich zeitweilig von der reinen Gedankenarbeit abzog, aber an meine Energien anderweitige Ansprüche stellte. Das Hand- und Hilfsbuch,⁴⁵ die analytische Chemie⁴⁶ und die Elektrochemie,⁴⁷ deren Inhalt und Zweck früher (S. 64 und ff.)⁴⁸ beschrieben worden sind, wurden in den Jahren 1892 bis 1895 geschrieben und veröffentlicht; dazu kam die laufende [178] Arbeit an der Zeitschrift und an der neuen Auflage des Lehrbuches. Eine neue Aufgabe erstand mir in der Gründung und Leitung der Elektrochemischen Gesellschaft,⁴⁹ über die alsbald berichtet werden soll.

Alle diese Arbeiten verhinderten mich zwar daran, weitere Abhandlungen zur Energetik zu schreiben, nicht aber, meine nach dieser Seite gerichteten Bestrebungen fortzuführen und zu erweitern. Insbesondere wurde mir klar, wie unverhältnismäßig viel fruchtbarer die Energetik war als die damals fast vollkommen steril gewordene kinetisch-atomistische Lehre, die nach einem kurzen, glänzenden Aufstieg in den sechziger Jahren des neunzehnten Jahrhundert in das Dickicht mathematischer Schwierigkeiten geraten war, das ihr die Bewegungsfreiheit genommen und ihre Anhänger von der Verfolgung neuer experimenteller Wege fast ganz zurückgehalten hatte. Die vielfachen neuen Tatsachen, welche in unserer Zeit die Atomistik über das Gebiet der Hypothesen erfolgreich hinausgehoben haben, lagen damals noch ganz unterhalb der wissenschaftlichen Horizonte. Und obwohl sowohl die Lehre vom os-

⁴³ Hinweis auf die Arbeit von 1892, s. FN 40

⁴⁴ Hinweis im Original auf Ostwald, Wilhelm: Lebenslinien. Bd. 2. Berlin : Klasing, 1927. - S. 176

⁴⁵ Ostwald, Wilhelm: Hand- und Hilfsbuch zur Ausführung physiko-chemischer Messungen. Leipzig : Engelmann, 1893

⁴⁶ Ostwald, Wilhelm: Die wissenschaftlichen Grundlagen der analytischen Chemie : elementar dargestellt. Leipzig : Engelmann, 1894

⁴⁷ Ostwald, Wilhelm: Elektrochemie, ihre Geschichte und Lehre. 1.-14. Lief. Leipzig : Veit & Comp., 1894/1895. (vollständige Werkausgabe 1896)

⁴⁸ Hinweis im Original auf Ostwald, Wilhelm: Lebenslinien. Bd. 2. Berlin : Klasing, 1927. - S. 64; s.a. Mitt. der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft (1997), Nr. 3, S. 23

⁴⁹ Die Gründungsversammlung fand am 21.4.1894 in Kassel statt.

motischen Druck wie die von der elektrolytischen Dissoziation von ihren Urhebern⁵⁰ durchaus atomistisch erdacht und dargestellt waren, fand sich in dem ganzen unabsehbaren Felde ihrer Anwendungen zunächst kein Fall ein, wo das einzelne Atom in Frage kam, sondern nur solche, in denen die Atome als ununterschiedene Maße wirkten. Es traten mit anderen Worten noch nirgend die Probleme der Unstetigkeiten im Gebiet der molekularen Abmessungen 10^{-10} cm, das theoretisch bekannt war, experimentell in die Erscheinung so, daß ein Eingehen darauf wissenschaftlich nicht erfordert, ja kaum berechtigt war. Es sei erinnert, daß die Entdeckung der Röntgenstrahlen, welche die neue Atomistik einleitet, erst 1896 erfolgt ist.⁵¹ [179] Dagegen war eine oberflächliche Art, tatsächliche wissenschaftliche Aufgaben durch willkürliche Annahmen über Atomstellungen und -schwingungen mehr zuzudecken als zu fördern, sehr verbreitet und gereichte meines Erachtens der Wissenschaft zu großem Schaden. Daraus erwuchs mir alsbald die Pflicht, das meine zur Abstellung dieses Schadens zu tun und ich versäumte keine Gelegenheit, auf die Unersprißlichkeit jener Scheinerklärungen hinzuweisen.⁵²

Denn da ich selbst früher überzeugter Angehöriger der kinetischen Atomlehre gewesen war, so lag mir nach Art der Bekehrten sehr viel daran, für meine neue Einsicht Anhänger zu gewinnen. Dies gelang mir aber nur in sehr geringem Maße. Selbst nahestehende wissenschaftliche Freunde, wie *W. Ramsay*,⁵³ versagten mir ihre Gefolgschaft. Die gaben zu, daß ich Recht haben könnte, erklärten aber, ihre Probleme ohne die Mitwirkung der anschaulichen Atombilder nicht erfolgreich bearbeiten zu können und fanden meine Auffassung zu abstrakt, wenn sie auch bereit waren, ihre Berechtigung zuzugeben.

Die Lübecker Naturforscherversammlung

Dieses immer stärkere Hin und Wieder drängte zu einer Auseinandersetzung, welche im Herbst 1895 auf der Naturforscherversammlung in Lübeck stattfand.⁵⁴ Ich hatte einen allgemeinen Vortrag unter dem Titel: Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus angekündigt. Als *Wislicenus*,⁵⁵ welcher die Versammlung als erster Vorsitzender⁵⁶ zu leiten und in solcher Eigenschaft den Vortrag auf die Tagesordnung gesetzt hatte, von mir einiges über den Inhalt erfuhr, fand er sich in seinen wissenschaftlichen Überzeugungen so bedroht, daß er sich alsbald nach ausgiebiger Gegenwirkung umsah. Er versicherte sich nicht ohne Mühe des glänzendsten Gegenredners, der erreichbar war und veranlaßte *Victor Meyer*⁵⁷ zu einem Vortrag, den

⁵⁰ van't Hoff und Arrhenius

⁵¹ Wilhelm Konrad Röntgen (1845-1923), 1888 Ordinarius für Physik in Würzburg, 1900 Prof. f. Physik an der Univ. München. Im allgemeinen wird der 8.11.1895 als Tag des Entdeckens der x-Strahlen genannt.

⁵² siehe insbesondere Referateteil der Zeitschrift für physikalische Chemie

⁵³ Sir William Ramsay (1852-1916), 1887 Prof. f. Chemie am Univ. Coll. London

⁵⁴ 67. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Lübeck, 16.-20.9.1895

⁵⁵ Johannes Wislicenus (1835-1902), 1885 Prof. f. Chemie und Dir. des I. Chem. Laborat. der Univ. Leipzig

⁵⁶ der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte

⁵⁷ Victor Meyer (1848-1897), 1885 Prof. f. Chemie an der Univ. Göttingen

dieser unter dem Titel: [180] Probleme der Atomistik⁵⁸ mit großem Erfolg hielt, obwohl er schon damals schwer mit Erschöpfungerscheinungen infolge übermäßiger Arbeit zu kämpfen hatte.

Um die Angelegenheit der Energetik ausgiebig zu behandeln, war außer meinem Vortrag noch eine Aussprache in den vereinigten Abteilungen Physik und Chemie mit reichlicher Zeit vorgesehen. Es wäre sachgemäß gewesen, den Vortrag vorangehen zu lassen, da er die Grundlage der Erörterungen bilden sollte. *Wislicenus* aber hatte entgegen dem Gebrauch, solche Vorträge tunlichst an den Anfang der Zusammenkunft zu verlegen, für ihn einen der letzten Tage bestimmt, zweifellos damit er so wenig Schaden wie möglich anrichten sollte und dadurch eine geordnete Aussprache unmöglich gemacht. Ich zweifle nicht, daß er damit einer wissenschaftlichen Gewissenspflicht zu genügen geglaubt hat.⁵⁹

Bei der Aussprache fand ich mich vor einer geschlossenen Gegnerschaft. Mein einziger Gesinnungs- und Kampfgenosse war *G. Helm*, Professor an der technischen Hochschule in Dresden, der vor mir eine energetische Auffassung der Wissenschaft angestrebt und in einer Schrift von großer Selbständigkeit des Denkens dargelegt hatte. Von mir trennte ihn aber sein Abscheu vor einer realistischen Auffassung der Energie. So empfand jeder von uns den anderen nur als halben Kampfgenossen, dem gegenüber man Vorsicht walten lassen muß.

Es war das erstmal, daß ich mich persönlich vor einer solchen einmütigen Schar ausgesprochener Gegner befand; später habe ich es noch einige Male erlebt. Gefühle von Bedrückung, Sorge, Angst habe ich bei diesen Besprechungen, die mehrere Zusammenkünfte ausfüllten, niemals gehabt; auch bin ich, soweit meine Erinnerungen reichen, keinem die Antwort schuldig geblieben. Aber [181] zufolge der verkehrten Anordnung des Hauptvortrages konnte die Aussprache keine eigentliche Förderung der Sache selbst bringen, und wie das meist zu sein pflegt, gingen wir auseinander ohne daß einer den anderen überzeugt hätte. Doch glaube ich, daß bei manchem unter den Teilnehmern einzelne Ideen hängen geblieben sein mögen, aus denen später selbständige Gedankenreihen erwachsen sind.

Aus dem Vortrage

Der Grundgedanke jenes Vortrages ist der Nachweis, daß die mechanistische Auffassung der Naturerscheinungen unzulänglich ist und daß sie mit dem Erfolg der Beseitigung der Unzulänglichkeiten durch die energetische ersetzt werden kann.

Den ersten Satz begründete ich auf die Tatsache, daß in allen Gleichungen der Mechanik die Zeit t nur im Quadrat t^2 vorkommt, daß sie also richtig bleiben, ob man die Zeit positiv oder negativ einführt, denn $(+t)^2 = (-t)^2$. Das heißt, jeder durch jene Gleichungen beschriebene Vorgang kann ebensogut vorwärts wie rückwärts verlaufen. Da aber die wirklichen Vorgänge zweifellos nicht umkehrbar sind, da nie ein Mann sich in ein Kind oder eine Eiche in eine Eichel verwandelt hat, so genügen sie nicht, um das allgemeinste aller Verhältnisse der wirklichen Welt darzustellen.

⁵⁸ Meyer, Victor: Probleme der Atomistik. In: Verhandlungen der Ges. Dt. Naturforscher und Ärzte. 67. Versammlung (1895), S. 95-110

⁵⁹ Ostwald hielt den Vortrag am letzten Tag in der 3. Allgemeinen Sitzung am 20.9.1895 zwischen 10.⁰⁰ und 12.⁵⁰ Uhr als letzter Vortragender.

Den zweiten Satz begründete ich damit, daß alles, was wir von der Welt wissen, uns durch die Sinnesorgane vermittelt wird. Damit sich ein solches betätigt, ist ein Energieverkehr zwischen ihm und der Außenwelt notwendig und hinreichend. Somit erfahren wir von der Außenwelt unmittelbar nur ihre Energieverhältnisse und alles, was darüber hinausgeht, ist subjektive Zutat. Und diese Zutat, der innere oder geistige Vorgang ist gleichfalls in letztem Gliede nichts als eine Betätigung der im Gehirn umgesetzten Energie, die keineswegs wie die [182] Mechanistik behauptet, in Bewegungen der Gehirnmolekeln zu bestehen braucht.

Keiner der früheren Begriffe wie Materie, Bewegung, Kraft hat diese ganz allgemeine und gleichzeitig exakte Beschaffenheit wie die Energie, die dazu den unvergleichlichen Vorzug hat, hypothesenfrei zu sein und damit ein letztes wissenschaftliches Ideal zu verwirklichen.

Am lebendigsten wird vielleicht mein Standpunkt durch folgende Stelle aus dem Vortrag gekennzeichnet:

„Aber, höre ich hier sagen, wenn uns die Anschauung der bewegten Atome genommen wird, welches Mittel bleibt uns übrig, uns ein Bild von der Wirklichkeit zu machen? Auf solche Frage möchte ich rufen: Du sollst Dir kein Bildnis oder Gleichnis machen! Unsere Aufgabe ist nicht, die Welt in einem mehr oder weniger verkrümmten oder getrüben Spiegel zu sehen, sondern so unmittelbar, als es die Beschaffenheit unseres Geistes nur irgend erlauben will. Realitäten, aufweisbare und meßbare Größen miteinander in Beziehung zu setzen, so daß, wenn die einen gegeben sind, die anderen gefolgert werden können, das ist die Aufgabe der Wissenschaft und sie kann nicht durch die Unterlegung irgendeines hypothetischen Bildes gelöst werden, sondern nur durch den Nachweis gegenseitiger Abhängigkeitsbeziehungen meßbarer Größen.“

Das Innere der Natur

Die beiderseitigen Gesichtspunkte werden am besten durch folgendes klar gemacht. Ich sagte in der Aussprache: Denken Sie sich einen geschlossenen Kasten, aus dem zwei Hebel an verschiedenen Stellen herausragen; wenn man den einen bewegt, so bewegt sich auch der andere mit einer anderen Geschwindigkeit, z. B. dreimal schneller. Dann sagt die Energetik, daß die Kraft, mit der sich der zweite Hebel bewegt, dreimal kleiner sein muß, als die auf den ersten Hebel einwirkt. Als inneren Mechanismus, welcher die [183] Hebel verbindet, kann man sich unendlich viele verschiedene Einrichtungen denken; das Ergebnis muß wegen des ersten Hauptsatzes der Energetik immer dasselbe sein, falls, wie vorausgesetzt werden soll, keine Energie im Innern des Kastens bleibt. Solange uns aber nur die beiden Hebel zugänglich sind, können wir nichts darüber aussagen, welcher von den tausend möglichen Mechanismen tatsächlich vorhanden ist, und alles Spekulieren darüber ist zwecklos, da wir daraus bezüglich der Hebel nicht mehr erfahren können, als wir schon wissen.

Die Gegner meinten dagegen, es sei auch eine wichtige wissenschaftliche Aufgabe, die verschiedenen Möglichkeiten des inneren Mechanismus sich klar zu machen, denn man könnte doch einmal mehr darüber erfahren.

Ich sagte darauf, daß dies gleichbedeutend mit der Entdeckung anderer Hebel sei, die aus dem „Inneren der Natur“ oder des Kastens nach außen reichen und an denen man alsdann experimentieren könne und müsse.

So kam die Sache auf einen Gegensatz dessen heraus, was man die wissenschaftliche Politik nennen kann. Und da die Politik bekanntlich ein Feld ist, auf dem sich die Gefühle des Gegensatzes um so leidenschaftlicher geltend machen, je schwächer ihre rationale Begründung ist, so ist es kein Wunder, daß auch die Lübecker Verhandlungen von solchen Gefühlen nicht frei waren.

Mein Mitstreiter *G. Helm* litt so stark unter deren Ausdruck auf der Gegenseite, daß er zum Schluß in großer Erregung einen Protest gegen die Behandlung aussprach, die er erfahren hatte. Er sei zu einer wissenschaftlichen Aussprache erschienen, nicht aber zu einer Abschlichtung, wie sie an ihm vorgenommen sei.

Ich meinerseits empfand kein Bedürfnis nach einem Protest. Es war mir eine so geläufige persönliche Erfahrung, daß ein Gegner sich ganz außer Stande sah, meine Auffassung überhaupt in den Rahmen seines [184] Denkens einzuschließen, daß mir nun die gleichzeitige Vervielfachung dieser häufigen Einzelerfahrung nicht besonders imponieren konnte. Zudem betrafen die Einwendungen vielfach Fragen, die ich in meinem Hauptvortrage erledigt hatte (oder doch zu haben glaubte), daß ich immer wieder auf diesen zu verweisen hatte. Die ganze Verhandlung wäre viel fruchtbarer ausgefallen, wenn ihre natürliche Folge nicht durch die „taktische“ Maßregel des Vorsitzenden auf den Kopf gestellt werden wäre.

Bei mir bewirkten diese Erlebnisse zwar die Erkenntnis einzelner Fehler, die ich bei der Vertretung meiner allgemeinen Auffassung des Geschehens gemacht hatte, sie befestigten aber nur meine Überzeugung (die sich bis heute bei mir erhalten hat), daß ich in der Hauptsache mich auf dem rechten Wege befand und befinde. Und wenn ich die inzwischen erfolgte Entwicklung der Wissenschaft ins Auge fasse, so sehe ich, daß diese in den gleichen Weg eingelenkt ist, wenn auch in einer Weise, die ich nicht vorausgesehen hatte.

Spätere Entwicklungen

Wenige Monate hernach entdeckte nämlich *K. W. Röntgen* die nach ihm benannten Strahlen, und im Anschluß hieran entwickelte sich ein neues Gebiet der Physik, durch welches später die körnige Struktur der Stoffe, der Grundgedanke der Atomistik, experimentell erwiesen wurde. Dadurch wurde der bisherigen Unfruchtbarkeit dieser Lehre gründlich abgeholfen und eine Fülle neuer Tatsachen ist im Laufe der Jahre an das Licht gekommen. Hierbei wurde die bis dahin hypothetische Beschaffenheit der Atomlehre beseitigt und diese zu einem Zweig der experimentellen Physik und Chemie gemacht. Ich habe, nachdem die Entwicklung eingetreten war, nicht unterlassen, öffentlich zu erklären, daß damit meine früheren Bedenken gegen die Zweckmäßigkeit der Atomlehre beseitigt waren und [185] ihre wissenschaftliche Berechtigung vermöge ihrer sachlichen Erfolge keinem Zweifel mehr unterliegt.⁶⁰

Die Energetik wird durch diese Vorgänge nicht berührt, denn da sie die allgemeinere Begriffsbildung ist, besteht sie ganz unabhängig davon, ob es Atome gibt oder nicht. Fragt man, ob und wie sie den Kampf ums Dasein, den es auch innerhalb der

⁶⁰ Im Vorbericht der 4. Aufl. des Grundriß der allgem. Chemie. Leipzig : Engelmann, 1909, schreibt Ostwald: „Ich habe mich überzeugt, daß wir seit kurzer Zeit in den Besitz der experimentellen Nachweise für die diskrete oder körnige Natur der Stoffe gelangt sind, welche die Atomhypothese seit Jahrhunderten, ja Jahrtausenden vergeblich gesucht hatte.“

Wissenschaft für die dort betätigten Begriffe gibt, überstanden hat, so darf man sagen: sehr gut. Während infolge der neuen Physik die anderen Größen, die man bisher als unveränderlich ansah, insbesondere die Masse, diese Beschaffenheit haben aufgeben müssen, ist das unbedingte Erhaltungsgesetz nur für die Energie in Geltung geblieben, d. h. sie hat sich als die letzte Realität erwiesen, auf welche die Entwicklung der Wissenschaft hingeführt hat. Und die neuen Theorien haben ihr auch Masse zuschreiben müssen, jene Eigenschaft, die man von jeher als unbedingtes Kennzeichen der „Materie“ angesehen hat. Die Energie hat also die „Materie“ begrifflich verdrängt.

Unmittelbare Folgen

Der Lübecker Vortrag erregte ein erhebliches Aufsehen, das weit über die wissenschaftlichen Kreise hinausging, für die er bestimmt war. Wie er auf diese gewirkt hat, bezeugt eine inzwischen veröffentlichte Stelle aus einem Briefe *Victor Meyers*: „Die Sache war ungemein interessant und ich habe nicht leicht Merkwürdigeres erlebt.“⁶¹ Die Tagespresse war durch den Titel: Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus aufmerksam geworden. Man vermutete eine spiritualistische Wendung und da in weiten Kreisen, von der Orthodoxie durch die Philologie bis weit in die sonst mehr links gerichteten Vertreter der „Geisteswissenschaft“ eine große Angst vor der wissenschaftlichen Weltanschauung besteht, hoffte man in mir einen höchst willkommenen Kampfgenossen aus dem feindlichen Lager begrüßen zu können. Aus einzelnen [186] Andeutungen glaubte ich sogar entnehmen zu können, daß ich Gefahr lief, für diese „Tat“ zum Ehrendoktor der Theologie ernannt zu werden. Doch machten rechtzeitig einige gescheiterte Angehörige dieser Kreise die Entdeckung, daß ihre Sache durch mein Eingreifen nicht besser gestellt wurde, sondern um ein gutes Stück schlechter. Denn das vom wissenschaftlichen Materialismus ungelöst gelassene Problem des Zusammenhanges von Geist und Körper, das von dem überzeugten Materialisten *Du Bois Reymond*⁶² feierlichst für grundsätzlich unlösbar erklärt und deshalb unter die ewigen Welträtsel⁶³ versetzt worden war, verlor im Lichte der Energetik diese unzugängliche Beschaffenheit, da Geist und Körper sich beide dem Oberbegriff Energie einordnen lassen und daher natürlich und grundsätzlich miteinander eng verbunden sein müssen.

Schluß

Die Lübecker Naturforscherversammlung kann in mehrfachem Sinne als ein kritischer Tag für mich und die von mir vertretenen Ansichten bezeichnet werden. Zunächst erweckte sie, wie erwähnt, in weiten Kreisen eine lebhafte Teilnahme an den neuen Gedanken, die sich in das tätige Dasein zu gelangen bemühten und kennzeichnet so in gewissem Sinne den Beginn meiner öffentlichen Anerkennung als Philosoph, der Eigenes zu sagen hatte. Hiermit stand in naher Verbindung eine öffentliche Ab-

⁶¹ Meyer, Richard: Viktor Meyer : Leben und Wirken eines deutschen Chemikers und Naturforschers 1848-1897. Leipzig : Akadem. Verlagsges., 1917. - S. 294 (Große Männer: Studien zur Biologie des Genies 4, hrsg. v. W. Ostwald)

⁶² Emil Du Bois-Reymond (1818-1896), 1855 Prof. f. Physiologie an der Univ. Berlin

⁶³ Du Bois-Reymond, Emil: Die Sieben Welträtsel. Vortrag, gehalten in der öffentl. Sitzung der königl. Akad. d. Wiss. zu Berlin zur Feier des Leibniz'schen Jahrestages am 8.7.1880. 6. Abdr. Leipzig : Veit & Comp., 1891

sage an die Energetik, zu der sich die Physiker *Boltzmann*⁶⁴ und *Planck*⁶⁵ gedrungen fühlten, und die sie in den „Annalen der Physik“ veröffentlichten, beide allerdings aus verschiedenen Gründen.⁶⁶

Boltzmann war überzeugter Anhänger der kinetischen Wärmelehre, die sich inzwischen wissenschaftlich durchgesetzt und ihre frühere Unfruchtbarkeit gegen die gegenteilige Eigenschaft vertauscht hat. Für ihn galt es also, zu beweisen, daß man mit der Kinetik wissenschaftlich weiter kommt, als mit der Energetik, und der kürzeste Weg hierfür war, der Energetik die Existenz-[187]berechtigung abzuspochen. Er begründete dies auf den Nachweis, daß eine von mir mitgeteilte Rechnung mathematisch fehlerhaft sei, womit der stillschweigende Schluß verbunden war, daß es auch mit den allgemeinen, nicht in ein mathematisches Gewand gekleideten Gedanken ähnlich beschaffen sein möchte.

Einen wesentlich anderen Ausgangspunkt hatte *Max Planck*. Er war in einer hervorragenden Jugendarbeit der Energetik selbst sehr nahe gekommen,⁶⁷ hatte aber den Standpunkt nicht verlassen wollen, von dem aus sie nur als eine mathematische Funktion mit sehr interessanten Eigenschaften betrachtet wurde, durch deren Benutzung man schnell und wirksam zur Beherrschung naturgesetzlicher Beziehungen gelangen kann. Einige Jahre früher hatten wir, nämlich *Planck*, *Boltzmann*, *Hertz* und ich auf der Naturforscherversammlung in Halle⁶⁸ eine lebhafte Aussprache gehabt, wo *Planck* und ich gegen *Boltzmann* die Ansicht vertraten, daß in der Anwendung auf Sonderfälle - wir hatten die Gesetze des chemischen Gleichgewichts im Auge, an denen wir damals beide arbeiteten - die thermodynamischen Ansätze viel schneller und sicherer zu experimentell prüfbareren Ergebnissen führen, als kinetische Betrachtungen. Wir machten der Kinetik den Vorwurf, daß sie auf diesem Gebiete trotz mehrfacher Bemühungen, auch von seiten *Boltzmanns*, kein neues Einzelgesetz zutage gefördert habe, während die reine Thermodynamik deren eine ganze Anzahl geliefert hatte. Selbst für die Ableitung bekannter Beziehungen bedürfe die Kinetik eines unverhältnismäßigen mathematischen Aufwandes, wo die Thermodynamik die Sache in einigen Zeilen abtut. Hierfür ließen sich Beispiele aus *Boltzmanns* eigenen Arbeiten anführen.

Boltzmann erwiderte damals nichts Entscheidendes dagegen, gab sich aber keineswegs geschlagen. Vielmehr unterstrich er seine Überzeugung von der Wahrheit der [188] Atomistik mit doppeltem Nachdruck und sagte schließlich: „Ich sehe keinen Grund, nicht auch die Energie als atomistisch eingeteilt anzusehen!“

Mir kam diese Bemerkung im ersten Augenblick wie eine bewußt scherzhafte Übertreibung seines Standpunktes vor und ich lachte demgemäß. Aber im Herzen

⁶⁴ Ludwig Boltzmann (1844-1906), 1902 Prof. f. theoret. Physik an der Univ. Wien

⁶⁵ Max Uwe Ernst Ludwig Planck (1858-1947), 1885 Prof. f. theoret. Physik an der Univ. Kiel, 1892 Prof. f. theoret. Physik an der Univ. Berlin

⁶⁶ Boltzmann, Ludwig: Ein Wort der Mathematik an die Energetik. In Ann. d. Physik u. Chemie. N.F. 57 (1896), S. 39-71; Planck, Max: Gegen die neuere Energetik. ebenda, S. 72-78

⁶⁷ es könnte sich um Planck, Max: Das Prinzip der Erhaltung der Energie. 3. Aufl. Leipzig : Teubner, 1913, handeln

⁶⁸ 64. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Halle/Saale, 21.-25.9.1891. s.a. Planck, Max: Allgemeines zur neueren Entwicklung der Wissenstheorie. In: Verhandlungen der Ges. Dt. Naturforscher und Ärzte. 64. Versammlung. Tl. 2. Abteilungssitzungen (1891), S. 55-61

fühlte ich mich getroffen durch die Kühnheit des Gedankens, und dieser Eindruck war so stark, daß ich das Gespräch bis heute nicht vergessen habe.

Wenn ich nämlich sorgfältiger über diesen Einfall *Boltzmanns* nachgedacht hätte, so hätte ich ihn als eine Vereinigung der Atomistik mit der Energetik warm begrüßen müssen. Mir aber standen damals die Einwände gegen jene so im Vordergrund des Bewußtseins, daß ich die Möglichkeit der Vereinigung nicht einmal als Wunsch ins Auge fassen wollte. Daß trotzdem der Gedanke bei mir haften blieb, ist ein Zeugnis für das eigene Leben wissenschaftlicher Gedanken, die sich des Geistes des Forschers bemächtigen, um ihre logischen Forderungen dort geltend zu machen, selbst wenn zurzeit der Wille das Gegenteil anstrebt.

Ob und wie *M. Planck* sich zu dem Gedanken äußerte, ist mir nicht im Gedächtnis geblieben. Aber seine mutige und eigenartige Begriffsbildung der „Quanten“, die er später zur Deutung der Strahlungserscheinungen, also auf einem ganz anderen Boden entwickelt hat, stellt in ihrer Weise gleichfalls eine Verbindung zwischen Energetik und Atomistik her.

So erweist sich die Wissenschaft zuletzt immer und überall als der wahre Friedensbringer. Und die Kämpfe, von denen auch sie durchaus nicht frei ist, lassen sich als die notwendigen Reibungen auffassen, durch welche die unbeständigen Bestandteile der jeweiligen Gedankenbildungen abgestreift werden, um den blanken Kern wahrer, d. h. fruchtbringender Ideen frei zu machen.

Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus

von Wilhelm Ostwald¹

[155] Es ist zu allen Zeiten darüber geklagt worden, dass über die wichtigsten und grundlegendsten Fragen der Menschheit so wenig Einigkeit herrsche. Nur in unseren Tagen ist diese Klage fast verstummt; wenn auch noch mancherlei Widersprüche vorhanden sind, so darf doch behauptet werden, dass selten zu irgend einer Zeit eine so verhältnismässig grosse Uebereinstimmung in Bezug auf die Auffassung der äusseren Erscheinungswelt vorhanden gewesen ist, wie gerade in unserem naturwissenschaftlichen Jahrhundert. Vom Mathematiker bis zum praktischen Arzt wird jeder naturwissenschaftlich denkende Mensch auf die Frage, wie er sich die Welt „im Inneren“ gestaltet denkt, seine Ansicht dahin zusammenfassen, dass die Dinge sich aus bewegten Atomen zusammensetzen, und dass diese Atome und die zwischen ihnen wirkenden Kräfte die letzten Realitäten seien, aus denen die einzelnen Erscheinungen bestehen. In hundertfältigen Wiederholungen kann man den Satz hören und lesen, dass für die physische Welt kein anderes Verständnis gefunden werden kann, als indem man sie auf „Mechanik der Atome“ zurückführt; Materie und Bewegung erscheinen als die letzten Begriffe, auf welche die Mannigfaltigkeit der Naturerscheinungen bezogen werden muss. Man kann diese Auffassung den wissenschaftlichen Materialismus nennen.

Es ist meine Absicht, meine Ueberzeugung dahin auszusprechen, dass diese so allgemein angenommene Auffassung unhaltbar ist; dass diese mechanische Weltansicht den Zweck nicht erfüllt, für den sie ausgebildet worden ist; dass sie mit unzweifelhaften und allgemein bekannten und anerkannten Wahrheiten in Widerspruch tritt. Der Schluss, der hieraus zu ziehen ist, kann keinem Zweifel unterliegen: die wissenschaftlich unhaltbare Anschauung muss aufgegeben und womöglich durch eine andere und bessere ersetzt werden. Auch die naturgemäss hier aufzuwerfende Frage, ob solch eine andere und bessere Anschauung vorhanden ist, glaube ich bejahen zu sollen. Was ich Ihnen zu sagen habe, hochgeehrte Versammlung, wird sich demnach regelrecht in zwei Theile [156] sondern lassen, den zerstörenden und den aufbauenden. Auch in diesem Falle ist Zerstören leichter als Aufbauen, und die Unzulänglichkeit der üblichen mechanistischen Ansicht wird leichter nachzuweisen sein, als die Zulänglichkeit der neuen, die ich als die energetische bezeichnen möchte. Wenn ich aber alsbald betone, dass diese neue Auffassung bereits auf dem ruhiger Erwägung und rücksichtsloser Prüfung so besonders günstigen Gebiete der experimentellen Wissenschaften sich zu bewähren Gelegenheit gehabt hat, so wird dies, wenn auch nicht die Ueberzeugung von ihrer Richtigkeit, so doch die Anerkennung ihres Anspruchs auf Beachtung begründen können.

¹ Den Vortrag hielt Ostwald auf der 67. Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Lübeck, 16.-20.9.1895, enthalten in: Verhandlungen der Ges. Dt. Naturforscher u. Ärzte. 67. Versammlung (1895), S. 155-168, (Tl. 1, Allgem. Sitzg.)

Die Zahlen in den eckigen Klammern kennzeichnen die Seitenumbrüche im Original.

Es ist vielleicht nicht überflüssig, wenn ich von vornherein betone, dass es sich heute für mich ausschliesslich um eine naturwissenschaftliche Erörterung handelt. Ich gehe grundsätzlich und unbedingt ab von allen Schlüssen, welche aus diesem Ergebnis für andere, ethische und religiöse, Angelegenheiten gezogen werden können. Ich thue dies nicht, weil ich die Bedeutung solcher Schlüsse missachte, sondern weil mein Ergebniss unabhängig von solchen Erwägungen, rein auf dem Boden der exacten Wissenschaft gewonnen worden ist. Auch für die Bearbeitung dieses Bodens gilt das Wort, dass, wer die Hand an den Pflug legt und schauet zurück, für dieses Reich nicht geschaffen ist. Keinem zu Leid oder zu Liebe ist der Naturforscher verpflichtet, zu sagen, was er gefunden hat, und wir dürfen der Kraft der Wahrheit vertrauen, dass ehrliches Suchen nach ihr uns vielleicht vorübergehend, nie aber dauernd vom rechten Wege entfernen kann.

Ich verkenne nicht, dass mein Unternehmen mich in Widerspruch setzt mit Männern, die Grosses in der Wissenschaft geleistet haben, und zu denen wir Alle bewundernd emporschauen. Mögen sie es mir nicht als Ueberhebung auslegen, wenn ich mich in einer so wichtigen Sache mit ihnen in Widerspruch setze. Sie werden es auch nicht Ueberhebung nennen, wenn der Matrose, der den Dienst im Mastkorbe hat, durch den Ruf „Brandung vorn“ den Weg des grossen Schiffes ablenkt, auf welchem er nur ein geringes dienendes Glied ist. Er hat die Pflicht, zu melden, was er sieht, und er würde dieser Pflicht entgegen handeln, wenn er es unterliesse. In solchem Sinne ist es eine Pflicht, deren ich mich heute entledige. Ist doch keiner von Ihnen gehalten, seinen wissenschaftlichen Curs bloss auf meinen Ruf „Brandung vorn“ zu ändern; jeder von Ihnen mag prüfen, ob es Wirklichkeit ist, was mir vor Augen steht, oder ob mich ein Scheinbild täuscht. Da ich aber glaube, dass die besondere Art wissenschaftlicher Beschäftigung, die mein Beruf ist, mich augenblicklich gewisse Erscheinungen deutlicher erkennen lässt, als sie sich von anderen Gesichtspunkten darstellen, so müsste ich es als ein Unrecht betrachten, wenn ich aus äusseren Gründen ungesagt liesse, was ich gesehen habe.

[157] Um uns in der Unendlichkeit der Erscheinungswelt zurechtzufinden, bedienen wir uns immer und überall der gleichen wissenschaftlichen Methode. Wir stellen das Aehnliche zum Aehnlichen und suchen in der Mannigfaltigkeit das Gemeinsame. Auf diese Art wird die stufenweise Bewältigung der Unendlichkeit unserer Erscheinungswelt bewerkstelligt, und es entstehen in aufeinanderfolgender Entwicklung für diesen Zweck immer wirksamere Mittel der Zusammenfassung. Von dem blossen Verzeichnis gelangen wir zu dem System, von diesem zum Naturgesetz, und dessen allgemeinste Form verdichtet sich in den Allgemeinbegriff. Wir nehmen wahr, dass die Erscheinungen der thatsächlichen Welt, so unbegrenzt ihre Mannigfaltigkeit auch ist, doch nur ganz bestimmte und ausgezeichnete Einzelfälle der formell denkbaren Möglichkeiten darstellen. In der Bestimmung der wirklichen Fälle aus den möglichen besteht die Bedeutung der Naturgesetze, und die Gestalt, auf die sich alle zurückführen lassen, ist die Ermittlung einer Invariante, einer Grösse, die unveränderlich bleibt, wenn auch alle übrigen Bestimmungsstücke innerhalb der möglichen und durch das Gesetz ausgesprochenen Grenzen sich ändern. So sehen wir, dass die geschichtliche Entwicklung der wissenschaftlichen Anschauungen sich immer an die Entdeckung und Herausarbeitung solcher Invarianten knüpft; in ihnen

veranschaulichen sich die Meilensteine des Erkenntnisweges, den die Menschheit gegangen ist.

Eine solche Invariante von allgemeiner Bedeutung wurde in dem Begriff der Masse gefunden. Diese liefert nicht nur die Constanten der astronomischen Gesetze, sondern sie erweist sich nicht minder unveränderlich bei den einschneidendsten Aenderungen, denen wir die Objekte der Aussenwelt unterziehen können, den chemischen Vorgängen. Dadurch erwies sich dieser Begriff in hohem Maasse geeignet, zum Mittelpunkte der naturwissenschaftlichen Gesetzmässigkeit gemacht zu werden. Freilich war er an sich zu arm an Inhalt, um zur Darstellung der mannigfaltigen Erscheinungen dienen zu können, und musste deshalb entsprechend erweitert werden. Dies geschah, indem man mit jenem einfach mechanischen Begriffe die Reihe von Eigenschaften, die erfahrungsmässig mit der Masseneigenschaft verbunden sind und ihr proportional gehen, zusammenfliessen liess. So entstand der Begriff Materie, in welchem man alles sammelte, was sinnfällig mit der Masse verbunden war und mit ihr zusammenblieb, wie das Gewicht, wie Raumerfüllung, die chemischen Eigenschaften etc., und das physikalische Gesetz von der Erhaltung der Masse ging in das metaphysische Axiom von der Erhaltung der Materie über.

Es ist wichtig, einzusehen, dass mit dieser Erweiterung eine Menge hypothetischer Elemente in den ursprünglich ganz hypothesefreien Begriff aufgenommen wurde. Insbesondere musste im Lichte dieser [158] Anschauung der chemische Vorgang entgegen dem Augenscheine so aufgefasst werden, dass keineswegs die von der chemischen Aenderung betroffene Materie verschwindet und an ihre Stelle neue mit neuen Eigenschaften tritt. Vielmehr verlangte die Ansicht die Annahme, dass, wenn auch beispielsweise alle sinnfälligen Eigenschaften des Eisens und des Sauerstoffs im Eisenoxyde verschwunden waren, Eisen und Sauerstoff in dem entstandenen Stoffe nichts desto weniger vorhanden seien und nur eben andere Eigenschaften angenommen hätten. Wir sind jetzt an eine solche Auffassung so gewöhnt, dass es uns schwer fällt, ihre Sonderbarkeit, ja Absurdität zu empfinden. Wenn wir uns aber überlegen, dass alles, was wir von einem bestimmten Stoffe wissen, die Kenntnis seiner Eigenschaften ist, so sehen wir, dass die Behauptung, es sei ein bestimmter Stoff, zwar noch vorhanden, hätte aber keine von seinen Eigenschaften mehr, von einem reinen Nonsens nicht sehr weit entfernt ist. Thatsächlich dient uns diese rein formelle Annahme nur dazu, die allgemeinen Thatsachen der chemischen Vorgänge, insbesondere die stoechiometrischen Massengesetze, mit dem willkürlichen Begriffe einer an sich unveränderlichen Materie zu vereinigen.

Aber auch mit dem so erweiterten Begriffe der Materie nebst den erforderlichen Nebenannahmen kann man die Gesammtheit der Erscheinungen nicht umfassen, nicht einmal im Anorganischen. Die Materie wird als etwas an sich Ruhendes, Unveränderliches gedacht; um mit diesem Begriffe die Darstellung der beständig sich verändernden Welt zu ermöglichen, muss er noch durch einen anderen, davon unabhängigen ergänzt werden, welcher diese Veränderlichkeit zum Ausdruck bringt. Ein solcher Begriff war auf das erfolgreichste von *Galilei*, dem Schöpfer der wissenschaftlichen Physik, ausgebildet worden: es war die Conception der Kraft, der constanten Bewegungsursache. *Galilei* hatte für die veränderlichen Erscheinungen des freien und abgeleiteten Falles eine hochwichtige Invariante entdeckt; durch den Ansatz der an sich beständigen Schwerkraft, deren Wirkungen sich unaufhör-

lich summiren, hatte er die vollständige Darstellung dieser Vorgänge ermöglicht. Und von welcher Tragweite dieser Begriff war, erwies sich dann durch *Newton*, der mit seiner Idee, dass die gleiche Kraft als Function der Entfernung zwischen den Himmelskörpern wirksam sei, die Gesammtheit der sichtbaren Sternenwelt wissenschaftlich erobert hatte. Es war insbesondere dieser Fortschritt, welcher die Ueberzeugung erweckte, dass auf die gleiche Weise, wie die astronomischen, auch alle anderen physischen Erscheinungen sich durch die gleichen Hülfsmittel darstellen lassen müssten. Als dann vollends am Anfange unseres Jahrhunderts durch die Bemühungen einer Anzahl, insbesondere französischer, hervorragender Astronomen sich ergeben hatte, dass das *Newton'sche* Gravitationsgesetz nicht nur die Bewegungen der Himmelskörper in grossen Zügen darzustellen ver-[159]mochte, sondern dazu noch die weit eingehendere Prüfung der zweiten Annäherung bestand, indem auch die kleinen Abweichungen von den typischen Bewegungsformen, die Störungen, sich mit gleicher Sicherheit und Genauigkeit aus dem gleichen Gesetz berechnen liessen, da musste das Zutrauen in die Ausgiebigkeit dieser Auffassung in ganz ausserordentlichem Maasse gesteigert werden. Was lag näher, als die Erwartung, dass die Theorie, die in so vollkommener Weise die Bewegungen der grossen Weltkörper darzustellen vermocht hatte, auch das rechte, ja einzige Mittel sein müsste, um auch die Vorgänge in der kleinen Welt der Atome der wissenschaftlichen Herrschaft zu unterwerfen? So entstand die mechanistische Auffassung der Natur, nach welcher alle Erscheinungen, zunächst der unbelebten Natur, in letzter Instanz auf nichts, als die Bewegung von Atomen nach gleichen Gesetzen, wie sie für die Himmelskörper erkannt worden waren, zurückzuführen sind. Dass diese Auffassung von dem Gebiete des Anorganischen alsbald auf das der belebten Natur übertragen wurde, war eine notwendige Consequenz, nachdem einmal erkannt worden war, dass die gleichen Gesetze, welche dort gelten, auch hier ihre unverbrüchlichen Rechte in Anspruch nehmen. Ihren klassischen Ausdruck fand diese Weltanschauung in der *Laplace'schen* Idee der „Weltformel“, mittelst deren den mechanischen Gesetzen gemäss jedes vergangene und zukünftige Ereignis auf dem Wege strenger Analyse sollte abgeleitet werden können. Es sollte dazu ein Geist erforderlich sein, der zwar dem menschlichen weit überlegen, ihm aber doch wesensgleich und nicht grundsätzlich von ihm verschieden wäre.

Man bemerkt gewöhnlich nicht, in welch ausserordentlich hohem Maasse diese allgemein verbreitete Ansicht hypothetisch, ja metaphysisch ist; man ist im Gegentheil gewöhnt, sie als das Maximum von exacter Formulirung der thatsächlichen Verhältnisse anzusehen. Dem gegenüber muss betont werden, dass eine Bestätigung der aus dieser Theorie fliessenden Consequenz, dass alle die nicht mechanischen Vorgänge, wie die der Wärme, der Strahlung, der Elektrizität, des Magnetismus, des Chemismus, thatsächlich mechanische seien, auch in keinem einzigen Falle erbracht worden ist. Es ist keinem Einzigen dieser Fälle gelungen, die thatsächlichen Verhältnisse durch ein entsprechendes mechanisches System so darzustellen, dass kein Rest übrig blieb. Zwar für zahlreiche Einzelerscheinungen hat man mit mehr oder weniger Erfolg die mechanischen Bilder geben können; wenn man aber versucht hat, die Gesammtheit der auf einem Gebiete bekannten Thatsachen mittelst eines solchen mechanischen Bildes vollständig darzustellen, so hat sich immer und ausnahmslos ergeben, dass an irgend einer Stelle zwischen dem wirklichen Verhalten der Erscheinungen und dem,

welches das mechanische Bild erwarten liess, ein unlöslicher Widerspruch vorhanden [160] war. Dieser Widerspruch kann lange verborgen bleiben; die Geschichte der Wissenschaft lehrt uns aber, dass er früher oder später unweigerlich zu Tage tritt, und das einzige, was man von solchen mechanischen Bildern oder Analogien, die man mechanische Theorien der fraglichen Erscheinungen zu nennen pflegt, mit völliger Sicherheit sagen kann, ist, dass sie jedenfalls einmal in die Brüche gehen werden.

Ein ausgezeichnetes Beispiel für diese Verhältnisse bietet die Geschichte der optischen Theorien. Solange die gesammte Optik nicht mehr als die Erscheinungen der Spiegelung und Brechung umfasste, war ihre Darstellung durch das von Newton aufgestellte mechanische Schema möglich, nach welchem das Licht aus kleinen Theilchen bestehen sollte, die, von dem leuchtenden Körper geradlinig ausgeschleudert, nach den Gesetzen bewegter und vollkommen elastischer Massen sich verhielten. Dass eine andere mechanische Ansicht, die von *Huygens* und *Euler* vertretene Schwingungstheorie, in dieser Beziehung genausoviel leistete, konnte zwar gegen die Alleingültigkeit der ersten Ansicht misstrauisch machen, vermochte ihr aber die Herrschaft nicht zu rauben. Als dann die Erscheinungen der Indifferenz und Polarisation entdeckt wurden, erwies sich das mechanische Bild *Newton's* als ganz ungeeignet, und das andere, die Schwingungstheorie, galt als erwiesen, da aus deren Voraussetzungen wenigstens die Hauptsachen der neuen Gebiete ableitbar waren.

Auch das Leben der Schwingungstheorie als einer mechanischen Theorie ist ein begrenztes gewesen, denn in unseren Tagen ist sie ohne Sang und Klang zu Grabe getragen und von der elektromagnetischen Lichttheorie abgelöst worden. Secirt man den Leichnam, so tritt die Todesursache deutlich zu Tage: auch sie ist an ihren mechanischen Bestandtheilen zu Grunde gegangen. Der hypothetische Aether, dem man die Aufgabe, zu schwingen, auferlegte, musste diese unter ganz besonders schwierigen Bedingungen erfüllen. Denn die Polarisationserscheinungen verlangten unbedingt, dass die Schwingungen transversale sein mussten; solche setzen aber einen starren Körper voraus, und die Rechnungen *Lord Kelvin's* haben schliesslich ergeben, dass ein Medium mit solchen Eigenschaften, wie sie der Aether haben müsste, überhaupt nicht stabil ist, also, wie daraus unvermeidlich zu schliessen ist, keine physische Existenz haben kann. Wohl um der jetzt angenommenen elektromagnetischen Lichttheorie ein gleiches Schicksal zu ersparen, hat der unvergessliche *Hertz*, dem diese Theorie so viel verdankt, ausdrücklich darauf verzichtet, in ihr etwas anderes zu sehen, als ein System von sechs Differentialgleichungen. Dieser Schlusspunkt der Entwicklung spricht viel eindringlicher, als ich es irgend könnte, gegen die Erspriesslichkeit der früher eingehaltenen theoretischen Wege im mechanistischen Gebiete.

Das Ergebnis unserer bisherigen Betrachtungen ist zunächst ein rein [161] negatives: wir haben gelernt, wie es nicht zu machen ist, und es erscheint von geringem Nutzen, solche verneinenden Resultate vorzuführen. Indessen dürfen wir schon hier einen Gewinn verzeichnen, der Vielen von Ihnen nicht werthlos erscheinen wird. Wir finden auf unserem Wege die Möglichkeit, eine Ansicht kritisch zu beseitigen, welche ihrerzeit ein nicht geringes Aufsehen und Vielen der Betheiligten eine grosse Sorge gemacht hat. Ich meine die weitbekannten Darlegungen, welche der berühmte Physiologe der Berliner Universität, *Emil du Bois-Reymond*, zuerst vor 23 Jahren gelegentlich der Leipziger Naturforscherversammlung und später in einigen weiteren, viel

gelesenen Schriften bezüglich der Aussichten unserer zukünftigen Naturerkenntnis gemacht hat, und welche in dem viel commentirten „ignorabimus“ gipfeln. In dem langen Streite, welcher sich an diese Rede geknüpft hat, ist, soviel ich sehen kann, *du Bois-Reymond* allen Angriffen gegenüber sachlich der Sieger geblieben, denn alle seine Gegner sind von derselben Grundlage ausgegangen, aus der er sein *ignorabimus* folgerte, und seine Schlüsse stehen ebenso sicher da, wie jene Grundlage. Diese Grundlage, welche inzwischen von keinem in Frage gestellt worden war, ist die mechanistische Weltanschauung, die Annahme, dass die Auflösung der Erscheinungen in ein System bewegter Massepunkte das letzte Ziel ist, welches die Naturerklärung erreichen könne. Fällt aber diese Grundlage, und wir haben gesehen, dass sie fallen muss, so fällt mit ihr auch das *ignorabimus*, und die Wissenschaft hat wieder freie Bahn.

Ich glaube nicht, hochgeehrte Versammlung, dass Sie dies Ergebnis mit Verwunderung aufnehmen werden; denn wenn ich nach meinen Erfahrungen urtheilen soll, so hat kaum ein Naturforscher ernsthaft an das *ignorabimus* geglaubt, wenn man sich auch nicht veranschaulicht hat, in welchem Schlusse das Unhaltbare jenes Schlusses gelegen hat. Wohl aber dürfte der Gewinn der negativen Kritik der mechanistischen Weltauffassung, der in der formellen Beseitigung jenes drohenden Gespenstes liegt, doch für manchen Denker, der der unentrinnbaren Logik der *du Bois'schen* Beweisführung nichts entgegenzusetzen hatte, von einigem Werth sein.

Was hier der Anschaulichkeit wegen in Bezug auf jene besonderen Erörterungen dargelegt worden ist, gilt aber beträchtlich weiter: die Beseitigung der mechanistischen Weltconstruction trifft die Grundlage der gesammten materialistischen Weltauffassung, dies Wort im wissenschaftlichen Sinne genommen. Erscheint es als ein vergebliches, bei jedem einzelnen ersthaften Versuche kläglich gescheitertes Unternehmen, die bekannten physikalischen Erscheinungen mechanisch zu deuten, so ist der Schluss unabweisbar, dass dies um so weniger bei den unvergleichlich viel verwickelteren Erscheinungen des organischen Lebens gelingen kann. Die gleichen prinzipiellen Widersprüche machen auch hier geltend, alle Naturerscheinungen liessen sich in [162] letzter Linie auf mechanische zurückführen, darf nicht einmal als eine brauchbare Arbeitshypothese bezeichnet werden: sie ist ein blosser Irrthum.

Am deutlichsten tritt dieser Irrthum gegenüber der folgenden Thatsache in die Erscheinung. Die mechanischen Gleichungen haben alle die Eigenschaft, dass sie die Vertauschung des Zeichens der Zeitgrösse gestatten. Das heisst, die theoretisch vollkommen mechanischen Vorgänge können ebenso gut vorwärts, wie rückwärts verlaufen. In einer rein mechanischen Welt gäbe es daher kein Früher oder Später im Sinne unserer Welt; es könnte der Baum wieder zum Reis und zum Samenkorn werden, der Schmetterling sich in die Raupe, der Greis in ein Kind verwandeln. Für die Thatsache, dass dies nicht stattfindet, hat die mechanistische Weltauffassung keine Erklärung und kann wegen der eben erwähnten Eigenschaft der mechanischen Gleichungen auch keine haben. Die thatsächliche Nichtumkehrbarkeit der wirklichen Naturerscheinungen beweist also das Vorhandensein von Vorgängen, welche durch mechanische Gleichungen nicht darstellbar sind, und damit ist das Urtheil des wissenschaftlichen Materialismus gesprochen.

Wir müssen also, dies scheint sich mit vollkommener Gewissheit aus diesen Betrachtungen zu ergeben, endgültig auf die Hoffnung verzichten, uns die physische

Welt durch die Rückführung der Erscheinungen auf eine Mechanik der Atome anschaulich zu deuten. Aber, höre ich hier sagen, wenn uns die Anschauung der bewegten Atome genommen wird, welches Mittel bleibt uns übrig, uns ein Bild der Wirklichkeit zu machen? Auf solche Frage möchte ich Ihnen zurufen: Du sollst Dir kein Bildniss oder irgend ein Gleichniss machen! Unsere Aufgabe ist nicht, die Welt in einem mehr oder weniger getrübt oder gekrümmten Spiegel zu sehen, sondern so unmittelbar, als es die Beschaffenheit unseres Geistes nur irgend erlauben will. Realitäten, aufweisbare und messbare Grössen miteinander in bestimmte Beziehung zu setzen, so dass, wenn die einen gegeben sind, die anderen gefolgert werden können, das ist die Aufgabe der Wissenschaft, und sie kann nicht durch die Unterlegung irgendeines hypothetischen Bildes, sondern nur durch den Nachweis gegenseitiger Abhängigkeitsbeziehungen messbarer Grössen gelöst werden.

Unzweifelhaft ist dieser Weg lang und mühsam, doch ist er der einzige zuverlässige. Aber wir brauchen ihn nicht mit bitterer Entsagung für unsere Person und in der Hoffnung zu gehen, dass er einmal unsere Enkelkinder auf die ersehnte Höhe führen wird. Nein, wir selbst sind die Glücklichen, und die hoffnungsvollste wissenschaftliche Gabe, die das scheidende Jahrhundert dem aufdämmenden reichen kann, ist der Ersatz der mechanischen Weltanschauung durch die energetische.

Hochgeehrte Versammlung! Ich lege an dieser Stelle das grösste Gewicht darauf, zu betonen, dass es sich hier keineswegs um etwas un-[163]bedingt Neues, erst unseren Tagen Gegebenes handelt. Nein, ein halbes Jahrhundert lang befinden wir uns im Besitz, ohne uns dessen bewusst gewesen zu sein. Wenn irgendwo das Wort: „geheimnisvoll offenbar“ zugetragen hat, so ist es hier: täglich konnten wir es lesen, und wir verstanden es nicht.

Als vor nun 53 Jahren *Julius Robert Mayer* zuerst die Aequivalenz der verschiedenen Naturkräfte oder, wie wir heute sagen, der verschiedenen Energieformen entdeckte, hat er bereits einen wesentlichen Schritt in der entscheidenden Richtung gethan. Aber nach einem stets wiederkehrenden Gesetz im Denken der Allgemeinheit wird eine neue Erkenntnis nie so rein und ungetrübt aufgenommen, wie sie dargeboten wird. Der Empfänger, welcher den Fortschritt nicht innerlich erlebt, sondern von aussen entgegengenommen hat, strebt vor allem darnach, das Neue, so gut es geht, an das Vorhandene anzuschliessen. So wird der neue Gedanke gestört, und wenn auch nicht gerade verfälscht, so doch seiner besten Kraft beraubt. Ja, so wirksam ist diese Denkeigentümlichkeit, dass sie auch den Entdecker selbst nicht frei lässt; so hat *Kopernikus'* gewaltige Geisteskraft zwar ausgereicht, Sonne und Erde in ihren Bewegungen die Plätze tauschen zu lassen, nicht aber, um auch die Bewegungen anderer Wandelsterne in ihrer Einfachheit aufzufassen; für diese behielt er die überkommene Theorie der Epicyklen bei. Aehnliches findet sich auch bei *Mayer*. So bestand, wie fast immer, die Arbeit der nächsten Generation nicht darin, einfach die Ergebnisse der neuen Erkenntnis zu ernten, sondern vielmehr darin, die unwillkürlichen, nicht zur Sache gehörigen Zuthaten Stück für Stück wieder zu beseitigen, bis dann schliesslich der Grundgedanke in seiner ganzen schlichten Grösse erscheinen möchte.

Auch in unserem Falle lässt sich eine solche Entwicklung erkennen. Nachdem *J. R. Mayer* das Aequivalenzgesetz aufgestellt hatte, war sein Gedanke der äquivalenten Umwandelbarkeit der verschiedenen Energieformen in seiner Einfachheit zu

fremdartig, um unmittelbar aufgenommen zu werden. Vielmehr haben die drei Forscher, denen wir bezüglich der Durchführung des Gesetzes am meisten zu Dank verpflichtet sind, haben *Helmholtz*, *Clausius* und *William Thomson* alle drei das Gesetz dahin „deuten“ zu müssen geglaubt, dass alle verschiedenen Energiearten im Grunde dasselbe, nämlich mechanische Energie seien. Auf diese Weise wurde das erzielt, was als das dringendste erschien: ein unmittelbarer Anschluss an die mechanistische Naturauffassung; eine entscheidende Seite des neuen Gedankens aber ging dabei verloren.

Es hat eines halben Jahrhunderts bedurft, um die Einsicht reifen zu lassen, dass diese hypothetische Zuthat zu dem Energiegesetz keine Vertiefung der Einsicht war, sondern ein Verzicht auf ihre bedeutsamste Seite: ihre Freiheit von jeder willkürlichen Hypothese. Und auch nicht [164] die Erkenntnis dieses methodischen Umstandes, sondern das schliessliche Misslingen aller Versuche, die übrigen Energieformen befriedigend mechanisch zu deuten, ist für den gegenwärtigen Fortschritt, soweit er zur Zeit überhaupt zur Geltung gelangt ist, der entscheidende Grund zum Aufgeben der mechanischen Deutung gewesen.

Sie werden ungeduldig sein, hochgeehrte Versammlung, zu erfahren, wie es denn möglich sein soll, mittelst eines solchen abstracten Begriffes, wie es die Energie ist, eine Weltanschauung zu gestalten, die an Klarheit und Anschaulichkeit mit der mechanischen verglichen werden kann. Die Antwort soll mir nicht schwer fallen. Was erfahren wir denn von der physischen Welt? Offenbar nur das, was uns unsere Sinneswerkzeuge davon zukommen lassen. Welches ist aber die Bedingung, damit eines dieser Werkzeuge sich bethätigt? Wir müssen die Sache wenden, wie wir wollen, wir finden nichts Gemeinsames, als das: Die Sinneswerkzeuge reagiren auf Energieunterschiede zwischen ihnen und der Umgebung. In einer Welt, deren Temperatur überall die unseres Körpers wäre, würden wir auf keine Weise etwas von der Wärme erfahren können, ebenso wie wir keinerlei Empfindung von dem constanten Atmosphäredrucke haben, unter dem wir leben; erst wenn wir Räume anderen Druckes herstellen, gelangen wir zu seiner Kenntniss.

Gut; dies werden Sie zuzugeben bereit sein. Aber Sie werden nicht auf die Materie daneben verzichten wollen, denn die Energie muss doch einen Träger haben. Ich aber frage dagegen: warum? Wenn alles, was wir von der Aussenwelt erfahren, deren Energieverhältnisse sind, welchen Grund haben wir, in eben dieser Aussenwelt etwas anzunehmen, wovon wir nie etwas erfahren haben? Ja, hat man mir geantwortet, die Energie ist doch nur etwas Gedachtes, ein Abstractum, während die Materie das Wirkliche ist! Ich erwidere: Umgekehrt! Die Materie ist ein Gedankending, das wir uns, ziemlich unvollkommen, construiert haben, um das Dauernde im Wechsel der Erscheinungen darzustellen. Nun wir zu begreifen anfangen, dass das Wirkliche, d. h. das, was auf uns wirkt, nur die Energie ist, haben wir zu prüfen, in welchem Verhältnis die beiden Begriffe stehen, und das Ergebnis ist unzweifelhaft, dass das Prädikat der Realität nur der Energie zugesprochen werden kann.

Diese entscheidende Seite der neuen Anschauung tritt vielleicht deutlicher hervor, wenn ich hier die vorliegende Begriffsbildung Ihnen in kürzestem geschichtlichen Abriss vorführe. Wir haben bereits gesehen, dass der Fortschritt der Wissenschaft sich in der Auffindung immer allgemeinerer Invarianten kennzeichnet, und ich habe auch darauf hingewiesen, wie die erste dieser unveränderlichen Grössen, die Masse,

sich zur Materie, d. h. der mit Volumen, Gewicht und chemischen Eigenschaften ausgestatteten Masse, erweitert hat. Doch war offenbar von vornherein dieser Begriff nicht genügend, um die Erscheinungen in ihrer [165] unaufhörlichen Veränderlichkeit zu decken, und man fügte seit *Galilei* den der Kraft hinzu, um dieser Seite der Welt gerecht zu werden. Doch ging der Kraft die Eigenschaft der Unveränderlichkeit ab, und nachdem in der Mechanik in der lebendigen Kraft und der Arbeitsgrösse Functionen entdeckt worden waren, welche sich als partielle Invarianten auswiesen, entdeckte *Mayer* in der Energie die allgemeinste Invariante, welche das ganze Gebiet der physischen Kräfte beherrscht.

Dieser geschichtlichen Entwicklung gemäss blieben Materie und Energie neben einander bestehen, und alles, was man von ihrem gegenseitigen Verhältnis zu sagen wusste, war, dass sie meist mit einander vorkommen, oder dass die Materie der Träger oder das Gefäss der Energie sei.

Sind denn nun aber Materie und Energie wirklich etwas von einander Verschiedenes, wie etwa Körper und Seele? Oder ist nicht vielmehr das, was wir von der Materie wissen und aussagen, schon in dem Begriff der Energie enthalten, so dass wir mit dieser einen Grösse die Gesamtheit der Erscheinungen darstellen können? Nach meiner Ueberzeugung kann die Antwort nicht zweifelhaft sein. Was in dem Begriff der Materie steckt, ist erstens die Masse, d. h. die Capacität für Bewegungsenergie, ferner die Raumerfüllung oder die Volumenergie, weiter das Gewicht oder die in der allgemeinen Schwere zu Tage tretende besondere Art von Lagenenergie, und endlich die chemischen Eigenschaften, d. h. die chemische Energie. Es handelt sich immer nur um Energie, und denken wir uns deren verschiedene Arten von der Materie fort, so bleibt nichts übrig, nicht einmal der Raum, den sie einnahm, denn auch dieser ist nur durch den Energieaufwand kenntlich, welchen es erfordert, um in ihn einzudringen. Somit ist die Materie nichts, als eine räumlich zusammengeordnete Gruppe verschiedener Energien, und alles, was wir von ihr aussagen wollen, sagen wir nur von diesen Energien aus.

Was ich hier darzulegen mich bemühe, ist so wichtig, dass Sie mir verzeihen werden, wenn ich der Sache noch von einer anderen Seite näher zu kommen suche. Gestatten Sie mir, hochgeehrte Versammlung, dafür das drastischste Beispiel zu nehmen, das ich eben finden kann. Denken Sie sich, Sie bekämen einen Schlag mit einem Stocke! Was fühlen Sie dann, den Stock oder seine Energie? Die Antwort kann nur eine sein: der Stock ist das harmloseste Ding von der Welt, solange er nicht geschwungen wird. Aber wir können uns auch an einem ruhenden Stocke stossen! Ganz richtig: was wir empfinden, sind, wie schon betont, Unterschiede der Energiezustände gegen unsere Sinnesapparate, und dabei ist es gleichgültig, ob sich der Stock gegen uns oder wir uns gegen den Stock bewegen. Haben aber beide gleiche und gleichgerichtete Geschwindigkeit, so existirt der Stock für unser Gefühl nicht mehr, denn er kann nicht mit uns in Berührung kommen und einen Energieaustausch bewerkstelligen.

[166] Diese Darlegungen zeigen, wie ich hoffe, dass in der That alles, was man bisher mit Hülfe der Begriffe Stoff und Kraft darzustellen vermochte, und noch mehr, sich mittelst des Energiebegriffes darstellen lässt; es handelt sich nur um eine Uebertragung von Eigenschaften und Gesetzen, die man jenen zugeschrieben hatte, auf diese. Ferner aber erlangen wir den sehr grossen Gewinn, dass die Widersprüche,

welche jener Auffassungsweise anhafteten, und auf welche ich in dem ersten Theile meiner Darlegungen hingewiesen habe, hier nicht auftreten. Indem wir keinerlei Voraussetzung über den Zusammenhang der verschiedenen Energiearten unter einander machen, als den durch das Erhaltungsgesetz gegebenen, gewinnen wir die Freiheit, die verschiedenen Eigenschaften objectiv zu studiren, welche diesen verschiedenen Arten zukommen, und können dann durch die rationelle Betrachtung und Ordnung dieser Eigenschaften ein System der Energiearten aufstellen, welches uns genau die Aehnlichkeiten, wie die Unterschiede derselben erkennen lässt und uns daher wissenschaftlich viel weiter führt, als die Verwischung dieser Unterschiede durch die hypothetische Annahme ihrer „inneren“ Gleichheit es thun kann. Ein gutes Beispiel für das, was ich hier andeuten will, finden wir in der kinetischen Hypothese über den Gaszustand, die sich gegenwärtig noch einer ziemlich allgemeinen Anerkennung erfreut. Nach dieser entsteht der Druck eines Gases durch die Stösse seiner bewegten Theilchen. Nun ist ein Druck eine Grösse, welche keine räumliche Richtung besitzt: ein Gas drückt nach allen Richtungen gleich stark; ein Stoss rührt aber von einem bewegten Dinge her und diese Bewegung besitzt eine bestimmte Richtung. Somit kann eine dieser Grössen gar nicht unmittelbar auf die anderen zurückgeführt werden. Die kinetische Hypothese umgeht diese Schwierigkeit, indem sie künstlich die dem Stosse zukommende Richtungseigenschaft wieder hinausschafft durch die Annahme, die Stösse erfolgten nach allen Richtungen gleichförmig ohne Unterschied. In diesem Falle gelingt die künstliche Anpassung der Eigenschaften der verschiedenen Energien. In anderen ist sie aber nicht möglich. So sind z. B. die Factoren der elektrischen Energie, die Spannung und die Elektrizitätsmenge, Grössen, welche ich polare zu nennen vorschlagen möchte; d. h. sie werden durch einen Zahlenwerth nicht allein gekennzeichnet, sondern besitzen auch ein Zeichen, dergestalt, dass zwei gleiche Grössen entgegengesetzten Zeichens sich zu Null addiren und nicht zum doppelten Werth. In der Mechanik sind solche rein polare Grössen nicht bekannt: dies ist der Grund, warum es nicht gelingen will, eine auch nur einigermaassen durchführbare mechanische Hypothese für die elektrischen Erscheinungen zu finden. Sollte sich eine mechanische Grösse mit Polarisations-eigenschaften aufstellen lassen - was vielleicht nicht unmöglich und jedenfalls einer eingehenden Untersuchung werth ist -, so hätten wir auch das Material, um wenigstens einige Seiten der Elek-[167]trik mechanisch zu „veranschaulichen“. Freilich lässt sich auch hier mit Sicherheit sagen, dass es sich nur um einige Seiten handeln wird, und dass die ausnahmslose Unvollkommenheit aller mechanischen Hypothesen sich auch hier zeigen und die vollständige Durchführbarkeit des Bildes verhindern wird.

Wenn nun aber auch wirklich sich die Gesetze der Naturerscheinungen auf die Gesetze der entsprechenden Energiearten zurückführen lassen, welchen Vortheil haben wir davon? Zunächst den sehr erheblichen, dass eine hypothesenfreie Naturwissenschaft möglich wird. Wir fragen nicht mehr nach den Kräften, die wir nicht nachweisen können, zwischen den Atomen, die wir nicht beobachten können, sondern wir fragen, wenn wir einen Vorgang beurtheilen wollen, nach der Art und Menge der aus- und eintretenden Energien. Diese können wir messen, und alles, was zu wissen nöthig ist, lässt sich in dieser Gestalt ausdrücken. Welch ein enormer methodischer Vorzug dies ist, wird Jedem klar werden, dessen wissenschaftliches Gewissen unter der unaufhörlichen Verquickung zwischen Thatsachen und Hypothesen gelitten hat,

welche die gegenwärtige Physik und Chemie uns als rationelle Wissenschaft darbietet. Die Energetik ist der Weg, auf welchem die so vielfach missverständene Forderung *Kirchhoff's*, die sogenannte Naturerklärung durch die Beschreibung der Erscheinungen zu ersetzen, ihrem richtigen Sinne nach erfüllt werden kann. Mit dieser Voraussetzunglosigkeit der energetischen Wissenschaft ist gleichzeitig eine methodische Einheitlichkeit verbunden, die, wie ohne Zögern gesagt werden darf, bisher noch nie erreicht war. Auf die philosophische Bedeutung dieses einheitlichen Princips in der Auffassung der natürlichen Erscheinungen habe ich bereits hingewiesen; es liegt in der Natur der Sache, darf aber doch wohl auch noch besonders ausgesprochen werden, dass durch diese philosophische Vereinheitlichung auch ganz ungemein grosse Vortheile bezüglich des Lehrens und Verstehens der Wissenschaft sich ergeben. Um nur ein Beispiel anzuführen, so können wir behaupten, dass alle Gleichungen ohne Ausnahme, welche zwei oder mehr verschiedene Arten von Erscheinungen auf einander beziehen, nothwendig Gleichungen zwischen Energiegrößen sein müssen; andere sind überhaupt nicht möglich. Dies ist eine Folge davon, dass neben den Anschauungsformen Raum und Zeit die Energie die einzige Grösse ist, welche den verschiedenen Gebieten, und zwar allen ohne Ausnahme, gemeinsam ist: man kann also zwischen verschiedenen Gebieten überhaupt nichts anderes einander gleichsetzen, als die in Frage kommenden Energiegrößen.

Ich muss mir leider versagen, hier darauf einzugehen, wie dadurch gleichzeitig eine Unzahl von Beziehungen, die zum Theil schon bekannt waren, zum Theil neu sind, unmittelbar hingeschrieben werden können, während man früher sie durch mehr oder weniger umständliche Rech-[168]nungen ableiten musste. Ebensovienig kann ich Ihnen die neuen Seiten auseinandersetzen, welche die schon früher, wenn auch nicht so vollständig bekannten anderen Sätze der Thermodynamik, des ausgedehntesten Theils der Energetik, im Lichte der allgemeinen energetischen Betrachtungen gezeigt haben. Alle diese Dinge müssen ja so sein, wenn das, was ich Ihnen vorher über die Bedeutung der neuen Anschauungsweise gesagt habe, begründet gewesen sein soll. Hierauf brauche ich nicht wieder zurückzukommen.

Aber eine schliessliche Frage möchte ich aufzuwerfen nicht unterlassen. Wenn es einmal gelingt, eine bedeutende und fruchtbringende Wahrheit in ihrer ganzen schlichten Grösse zu erfassen, so ist man nur zu leicht geneigt, in ihrem Kreise auch gleich alles beschlossen zu sehen, was überhaupt in dem Gebiete in Frage kommt. Diesen Fehler sieht man täglich in der Wissenschaft begehen, und die Meinung, deren Bekämpfung ich die Hälfte der mir zugebilligen Zeit gewidmet hatte, ist ja gerade aus einem solchen Irrthume entstanden. Wir werden uns also alsbald zu fragen haben: Ist die Energie, so nothwendig und nützlich sie auch zum Verständnis der Natur ist, auch zureichend für diesen Zweck? Oder gibt es Erscheinungen, die durch die bisher bekannten Gesetze der Energie nicht vollständig dargestellt werden können?

Hochgeehrte Versammlung! Ich glaube der Verantwortlichkeit, die ich heute durch meine Darlegungen ihnen gegenüber übernommen habe, nicht besser gerecht werden zu können, als wenn ich hervorhebe, dass diese Frage mit Nein zu beantworten ist. So immens die Vorzüge sind, welche die energetische Weltauffassung vor der mechanistischen oder materialistischen hat, so lassen sich schon jetzt, wie mir scheint, einige Punkte bezeichnen, welche durch die bekannten Hauptsätze der Energetik nicht

gedeckt werden, und welche daher auf das Vorhandensein von Principien hinweisen, die über diese hinausgehen. Die Energetik wird neben diesen neuen Sätzen bestehen bleiben. Nur wird sie künftig nicht, wie wir sie noch heute ansehen müssen, das umfassendste Princip für die Bewältigung der natürlichen Erscheinungen sein, sondern wird voraussichtlich als ein besonderer Fall noch allgemeinerer Verhältnisse erscheinen, von deren Form wir zur Zeit allerdings kaum eine Ahnung haben können.

Hochgeehrte Versammlung! Ich fürchte nicht, durch das, was ich eben gesagt habe, den Werth des geistigen Fortschritts, von dem vorher die Rede war, herabgesetzt zu haben; ich meine, ich habe ihn etwas erhöht. Denn wieder einmal ist es uns entgegengetreten, dass die Wissenschaft nie und nirgends eine Grenze ihres Fortschritts anerkennen kann und darf, und das mitten unter den Kämpfen um einen neuen Besitz das Auge nicht blind dafür werden soll, dass hinter dem Boden, dessen Eroberung es eben gilt, noch weite Flächen sich dehnen, die später einmal auch genommen werden müssen. Der früheren Zeit mochte es hingehen, wenn der Staub und Rauch des Kampfes ihr den Blick in die engen Grenzen des Kampfplatzes gebannt hielt. Heute ist das nicht mehr gestattet; heute schiessen wir mit rauchlosem Pulver - oder sollten es wenigstens thun - und haben daher mit der Möglichkeit auch die Pflicht, nicht den Fehlern früherer Epochen zu verfallen.

„Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus“ - Bemerkungen zu Wilhelm Ostwalds Lübecker Rede im Jahre 1895

Jan-Peter Domschke

Wilhelm Ostwald galt schon lange vor seinem Lübecker Vortrag als einer der „Energetiker“ unter den Naturwissenschaftlern. Seine Antrittsvorlesung in Leipzig im Oktober 1887 widmete er dem Thema: „Die Energie und ihre Wandlungen“, und die „Studien zur Energetik“ erschienen im Jahre 1892. Zu diesen Publikationen gab es vor allem aus dem Lager der „Atomisten“ durchaus kritische Stellungnahmen, von einer philosophischen Debatte kann man dennoch nicht sprechen, denn es ging den beteiligten Naturwissenschaftlern in erster Linie um Prinzipien und methodologische Fragen in den von ihnen vertretenen Wissenschaftsdisziplinen.

Wohl kaum einer der öffentlichen Auftritte Wilhelm Ostwalds ist später so bekannt geworden wie die Lübecker Rede des namhaften Gelehrten. Von diesem Zeitpunkt an wandte sich Wilhelm Ostwald mehr und mehr philosophischen Fragestellungen in den Naturwissenschaften zu. Er selbst stellte später seine Hinwendung zur Philosophie als einen „natürlichen Wachstumsvorgang in seinem Geiste“¹ dar. Der Gelehrte bestreitet aber, daß er an einem „Scheideweg“ gestanden habe: „Sondern ich war über die Richtung meiner Fortbewegung niemals im Zweifel und etwaige Erwägungen bezogen sich höchstens auf die Frage, wie geschwind ich fortzuschreiten sollte oder konnte.“²

Mit einer solchen Intention, und sie dürfte mit dazu beigetragen haben, daß er 1906 seinen Lehrstuhl in Leipzig aufgab, stand Ostwald keineswegs allein. Nach einer langen Periode des Stillstands in der Naturphilosophie, einer mehr oder weniger großen „Enthaltbarkeit“ vieler Naturwissenschaftler von philosophischen Fragen, war es die sich immer mehr erweisende Unzulänglichkeit des bisher von den meisten Naturwissenschaftlern angenommenen Weltbildes, einem Vorgang, der dann in die sogenannte „Krise der Physik“ einmündete, der letztlich zur Wiederbelebung, vor allem der Naturphilosophie, führen mußte. Der verständliche Stoßseufzer des Naturwissenschaftlers E. v. Rindfleisch in Lübeck „Ein Stoff, der sich selbst bewegt - das wäre die Lösung! Das wäre auch die einzige menschenmögliche Vorstellung der gesuchten Einheit. Aber einen Stoff, der sich selbst bewegt, kennt die Naturforschung nicht!“³ zeigt an, wie sehr die mechanistische Denkweise das Denken der Wissenschaftler in dieser Zeit noch beeinflusste.

Die jährlich stattfindende Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte galt als eine der bedeutendsten wissenschaftlichen Tagungen in Europa, und ein Beitrag mit der Überschrift: „Die **Überwindung** des wissenschaftlichen Materialismus“ konnte sich des Interesses der Öffentlichkeit sicher sein. Der äußere Anlaß, sich in einem Vortrag grundsätzlich zu äußern, dürfte für Ostwald der vom Vorstand Deut-

¹ Ostwald, Wilhelm: Lebenslinien. Bd 2. Berlin : Klasing, 1927. - S. 214

² Ebenda. S. 214

³ von Rindfleisch, E.: Neovitalismus. In: Verhandlungen der Ges. Dt. Naturforscher und Ärzte. 67. Versammlung (1895), S. 118 (Tl. 1, Allgem. Sitzg.)

scher Naturforscher und Ärzte schon 1894 erbetene Bericht über die Entwicklung der „Energetik“ gewesen sein. Der Verfasser dieser Darlegung, Professor Georg Helm von der Technischen Hochschule Dresden, hatte bereits vorab Auszüge veröffentlicht, diese kannte auch Wilhelm Ostwald.⁴ In Lübeck sollte die schon jahrelang geführte Diskussion über „Energetik“ fortgesetzt und, wenn möglich, zu einem gewissen Abschluß geführt werden. Hinter den Kulissen gab es aber auch Überlegungen, diese Problematik gar nicht oder nur kurz zu erörtern.⁵ Die Einordnung des Ostwaldschen Vortrages in die Sitzung des letzten Tages ist solchen Überlegungen geschuldet, denn zu einer dem Gegenstand angemessenen ausführlicheren Debatte kam es tatsächlich nicht. Obwohl sich Wilhelm Ostwald sehr gewissenhaft auf seinen Vortrag in Lübeck vorbereitet hatte, zeitigte die Rede für den Gelehrten weit unangenehmere Folgen als erwartet, selbst gute Freunde und wohlmeinende Kollegen kritisierten ihn, die erhoffte Anerkennung blieb weitgehend aus.⁶

Der Vortrag „Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus“ gliedert sich in zwei Abschnitte, schon in der Ankündigung sprach Ostwald von einem zerstörenden und einem aufbauenden Teil.⁷ Der erste Teil diente der Analyse der in den Naturwissenschaften dominierenden Vorstellungen über den Atomismus, den Masse- und den Materiebegriff. Möglicherweise war Wilhelm Ostwald die Tragweite seiner Bemerkungen nur zum Teil bewußt, denn er stellt in seinem Referat fest: „Es ist vielleicht nicht überflüssig, wenn ich von vornherein betone, daß es sich heute für mich ausschließlich um eine naturwissenschaftliche Erörterung handelt.“⁸

Ostwald legte seinen Zuhörern zuerst dar, was er unter „wissenschaftlichem Materialismus“ verstand: „Vom Mathematiker bis zum praktischen Arzt wird jeder naturwissenschaftlich denkende Mensch auf die Frage, wie er sich die Welt ‘im Inneren’ gestaltet denkt, seine Ansicht dahin zusammenfassen, daß die Dinge sich aus bewegten Atomen zusammensetzen, und daß diese Atome und die zwischen ihnen wirkenden Kräfte die letzten Realitäten seien, aus denen die einzelnen Erscheinungen bestehen. ... Man kann diese Auffassung den wissenschaftlichen Materialismus nennen.“⁹ Der Autor setzte dann den „wissenschaftlichen Materialismus“ mit dem Mechanizismus gleich und formulierte seinen grundlegenden Einwand: „Die mechanischen Gleichungen haben alle die Eigenschaft, daß sie die Vertauschung der Zeichen der Zeitgröße gestatten. Das heißt, die theoretisch vollkommen mechanischen Vorgänge können ebenso gut vorwärts, wie rückwärts verlaufen. In einer rein mechanischen Welt gäbe es daher kein Früher oder Später im Sinne unserer Welt; ... Die tatsächliche Nichtumkehrbarkeit der wirklichen Naturerscheinungen beweist ... das Vorhandensein von Vorgängen, welche durch mechanische Gleichungen nicht darstellbar sind, und damit ist das Urteil des wissenschaftlichen Materialismus gespro-

⁴ Vgl. Domschke, Jan-Peter: Die Rezeption der philosophischen und wissenschaftstheoretischen Auffassungen Wilhelm Ostwalds in der marxistisch-leninistischen Philosophie. Leipzig, Karl-Marx-Universität Leipzig, Dissertation B, 1989. - S. 48 ff.

⁵ Vgl. Ostwald, Wilhelm: Lebenslinien. Band 2, a. a. O., S. 179 f.

⁶ Vgl. FN 4

⁷ Vgl. Ostwald, Wilhelm: Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus. In: Verhandlungen der Ges. Dt. Naturforscher und Ärzte. 67. Versammlung (1895), S. 155-168, (Tl. 1, Allgem. Sitzg.)

⁸ Ebenda. S. 156

⁹ Ebenda. S. 155

chen.“¹⁰ Wilhelm Ostwald behauptete außerdem, daß der „wissenschaftliche Materialismus“ für die Konstituierung wissenschaftlicher Theorien nicht notwendig sei: „Dem gegenüber muß betont werden, daß eine Bestätigung der aus dieser Theorie fließenden Konsequenz, daß alle die nicht mechanischen Vorgänge, wie die der Wärme, der Strahlung, der Elektrizität, des Magnetismus, des Chemismus, tatsächlich mechanische seien, auch in keinem einzigen Falle erbracht worden ist.“¹¹ Den Abschluß des kritischen Teils bildete die Kritik am dominierenden Materiebegriff, „... in welchem man alles sammelte, was sinnfällig mit der Masse verbunden war und mit ihr zusammenblieb, wie das Gewicht, wie Raumerfüllung, die chemischen Eigenschaften etc. Und das physikalische Gesetz von der Erhaltung der Masse ging in das metaphysische Axiom von der Erhaltung der Materie über.“¹² Daraus schlußfolgerte Wilhelm Ostwald, daß nur durch den „... Ersatz der mechanischen Weltanschauung durch die energetische ...“¹³ die geschilderten Ungereimtheiten zu beheben seien.

Ein solches „energetisches“ Weltbild mußte nach seiner Auffassung folgende Grundzüge aufweisen:

- „Wenn alles, was wir von der Außenwelt erfahren, deren Energieverhältnisse sind, welchen Grund haben wir, in eben dieser Außenwelt etwas anzunehmen, wovon wir nie etwas erfahren haben?“¹⁴
- „...das Ergebnis ist unzweifelhaft, daß das Prädikat der Realität nur der Energie zugesprochen werden kann.“¹⁵
- „Somit ist die Materie nichts, als eine räumlich zusammengeordnete Gruppe verschiedener Energien, und alles, was wir von ihr aussagen wollen, sagen wir nur von diesen Energien aus.“¹⁶
- „Die Sinneswerkzeuge reagieren auf Energieunterschiede zwischen ihnen und der Umgebung.“¹⁷
- „Die ‘Energetik’ ist der Weg, auf welchem die so vielfach mißverständene Forderung Kirchhoffs, die sogenannte Naturerklärung durch die Beschreibung der Erscheinungen zu ersetzen, ihrem richtigen Sinne nach erfüllt werden kann.“¹⁸

Um für das Vorgetragene zu einer gerechteren Beurteilung als viele Kollegen Ostwalds zu gelangen, genügt es nicht, die einzelnen Polemiken und gelegentlichen Zustimmungen losgelöst voneinander zu betrachten. Wilhelm Ostwald hatte nämlich Fragen gestellt, deren Beantwortung gegen Ende des Jahrhunderts an Dringlichkeit gewann. Es ging um die Weltanschauung der Naturwissenschaftler, um ihr Weltbild und um die Erkenntnismöglichkeiten in den Naturwissenschaften.

Zur Situation in der Naturphilosophie bemerkt Gernot Böhme sehr zutreffend, daß sich die Naturwissenschaft im 19. Jahrhundert verselbständigte und damit eine Natur-

¹⁰ Ebenda. S. 162

¹¹ Ebenda. S. 159

¹² Ebenda. S. 157

¹³ Ebenda. S. 162

¹⁴ Ebenda. S. 164

¹⁵ Ebenda. S. 164

¹⁶ Ebenda. S. 165

¹⁷ Ebenda. S. 164

¹⁸ Ebenda. S. 167

philosophie entstand, die sich als Konkurrenzunternehmen, als spekulativer Vorlauf von Naturwissenschaft, als Begründung und Überhöhung von Naturwissenschaft verstand: „So konnte es nicht ausbleiben, daß die romantische und idealistische Naturphilosophie sich mit manchen ihrer Aussagen auf Gebiete wagte, die inzwischen der Zuständigkeit der Naturwissenschaft unterstanden,- und sich blamierte.“¹⁹

Die akademische Philosophie dagegen habe sich dem Humanum zugewandt und die Frage „Was ist Natur?“ in der Zuständigkeit der Naturwissenschaft belassen. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hätten philosophierende Naturwissenschaftler aber dann „einen neuen Typ von Naturphilosophie“ entwickelt: „Diese Naturphilosophie, die sich als induktive Metaphysik oder materialistische Naturphilosophie verstand, akzeptierte naturgemäß die Selbständigkeit der Naturwissenschaft und ihre alleinige Zuständigkeit für die Frage, was Natur sei. Sie versuchte, die Ergebnisse der Naturwissenschaft verallgemeinernd und überhöhend, zu einem naturwissenschaftlichen Weltbild zu kommen. Diese Auffassung, für die Namen wie Ludwig Büchner, Haeckel und Ostwald stehen, wird in diesem Band (*gemeint ist das Buch „Klassiker der Naturphilosophie: von den Vorsokratikern bis zur Kopenhagener Schule“*. D. Verf.) nicht repräsentiert, weil sie durch eine zu enge Bindung an den jeweiligen Stand der Wissenschaft sich selbst dazu verdammt, mit dem Fortschritt der Wissenschaft zu veralten.“²⁰

Tatsächlich verbreitete sich seit der Mitte des 19. Jahrhunderts unter den Naturwissenschaftlern die von Ostwald als „wissenschaftlicher Materialismus“ bezeichnete philosophische Richtung. Zu ihren Hauptverfechtern zählten der Zoologe und Geologe Carl Vogt (1817-1895), der Arzt Ludwig Büchner (1824-1899) und der Arzt und Physiologe Jacob Moleschott (1822-1893). Einen großen Leserkreis fand zum Beispiel Ludwig Büchners 1855 erstmals erschienenes und immer wieder neu aufgelegtes Werk „Kraft und Stoff“. Unter wissenschaftlicher Denkweise verstanden diese „Materialisten“ die Anwendung der Methoden und Prinzipien der Naturwissenschaften auf alle Gebiete. Mit der sehr eingeschränkten Sichtweise einer wesentlich mechanistisch verstandenen Naturwissenschaft wurden Deduktionen weitgehend verworfen und die Induktion verabsolutiert. Die Vertreter dieser Strömung teilten andererseits den verbreiteten Optimismus, daß die Wissenschaft und die Technik die sozialen Probleme, und das in dieser Zeit drückendste war die rasch anwachsende Proletarisierung, lösen werden. Sie bemühten sich, die neuesten Erkenntnisse der Naturwissenschaft für das philosophische Denken fruchtbar zu machen, andererseits fielen sie mit ihren Argumenten nicht selten auf die Positionen der französischen Enzyklopädisten zurück. Es gehört zweifellos zu den Verdiensten dieser Richtung, daß sie unter anderem die Evolutionstheorie Darwins popularisierte. Es ist aber nicht zu übersehen, daß die Anhänger dieser Strömung in ihren Schlußfolgerungen oft Behauptungen aufstellten, die viel zu weit gingen. Neben sozialdarwinistischen Postulaten findet man die gelegentlich auch lächerlich anmutenden Übertragungen mechanizistischer Thesen auf die Sozial- und Geisteswissenschaften. Damit ebneten

¹⁹ Böhme, Gernot: Einleitung: Einer neuen Naturphilosophie den Boden bereiten. In: *Klassiker der Naturphilosophie : von den Vorsokratikern bis zur Kopenhagener Schule*. München : Beck, 1989. - S. 8 f.

²⁰ Ebenda. S. 9

Büchner und andere ungewollt sogar wissenschaftsfeindlichen und irrationalistischen Theorien den Weg. Die Angriffe auf den „wissenschaftlichen Materialismus“ aus der Philosophie und der Politik waren allerdings zumeist Anfeindungen. Hinter den Polemiken standen nicht selten klerikale Ideologen, staatstreue Philosophen, resignierende Alt-48er und Menschen, die glaubten, daß die Natur- und Technikwissenschaftler die Verursacher zahlreicher gesellschaftlicher Übel seien.

Man kann es manchem Naturwissenschaftler kaum verdenken, daß er an den ideologischen Parteikämpfen der Kontrahenten nur wenig Geschmack fand. Einen Ausweg schienen die Thesen des Positivismus zu bieten. Seit 1830 propagierte Auguste Comte (1798-1857) die „positive“ Philosophie, von der sich auch Wilhelm Ostwald beeindruckt zeigte. Comte forderte, vom Gegebenen, dem Tatsächlichen, vom „Positiven“, auszugehen und die Frage nach dem Wesen oder der Ursache des Gegebenen aus der Philosophie zu verbannen. Alles, was wir tun könnten, sei, die uns in der Form der Erscheinung gegebenen Tatsachen als solche hinzunehmen, den Versuch zu unternehmen, sie nach bestimmten Gesetzen zu ordnen, aus den erkannten Gesetzen die zukünftigen Erscheinungen vorauszusehen und uns danach einzurichten. Das Bekenntnis zum wissenschaftlichen Denken favorisierte den Positivismus bei vielen Naturwissenschaftlern als wissenschaftliche Philosophie, denn er wandte sich vehement gegen jede Spekulation, und der Rückzug auf die Beschreibung von Phänomenen beendete scheinbar manche innerwissenschaftliche Polemik um Theorieentwicklung und Hypothesenbildung.

Vor diesem Hintergrund war die Diskussion um die „Energetik“ mehr als nur eine Episode. Wilhelm Ostwald hatte richtig erkannt, daß aller Mechanizismus, auch die mechanische Atomistik, für die Begründung der weltanschaulichen Auffassungen nicht mehr genügte und die neuen Entwicklungen in der Naturwissenschaft eine Korrektur erzwangen. Für ihn konnte das nur die „energetische Weltauffassung“ sein.

Auf die Lübecker Rede reagierten zuerst die Naturwissenschaftler. Schon in der Aussprache zu Ostwalds Vortrag meldeten Ludwig Boltzmann, Max Planck, Paul Volkmann und andere ihren energischen Widerspruch an. Der Physiker Arnold Sommerfeld hebt vor allem die Rolle Ludwig Boltzmanns hervor: „Das Referat über die ‘Energetik’ hatte Helm - Dresden, hinter ihm stand Wilhelm Ostwald, hinter beiden die Naturphilosophie des nicht anwesenden Ernst Mach. Der Opponent war Boltzmann. ... Wir damals jüngeren Mathematiker standen alle auf der Seite Boltzmanns, ...“²¹

Boltzmann vertrat nicht nur seine naturwissenschaftlichen Überzeugungen, sondern bezog in die Kritik der Ostwaldschen „Energetik“ die philosophischen Vorstellungen des Physikers Ernst Mach mit ein. Dazu hatte Ostwald allerdings selbst beigetragen, indem er sich zur „Denkrichtung“ Machs bekannte. Es ging in diesem Zusammenhang nicht mehr um die Frage, mit Hilfe welcher wissenschaftlichen Methode die objektive Realität besser verstanden werden könnte, sondern darum, wie real das Objekt jeder wissenschaftlichen Untersuchung sei. Boltzmanns ungewöhnlich harsche Reaktion beruhte einerseits auf der Furcht, daß Ostwald einen Weg beschritten haben könnte, der die reale Existenz der von der Wissenschaft zu untersuchenden

²¹ Sommerfeld, Arnold: Ludwig Boltzmann. In: Wiener Chemiker-Zeitung (1944), Nr. 3/4, S. 25

Gegenstände zumindest in Frage stellte, und andererseits trat Boltzmann für sein wissenschaftliches Lebenswerk ein, das er durch die „Energetik“ bedroht sah. Im Bezug auf die Physik erklärte Boltzmann, daß die Schwierigkeiten der mechanischen Interpretation neuer Sachverhalte in der Thermodynamik und im Elektromagnetismus vorübergehend und überwindbar seien. Die Probleme berechtigten es seiner Meinung nach nicht, das „alte“ Weltbild durch ein „neues“ ersetzen zu wollen. Er betonte: „Die mechanischen Systeme bestehen aus materiellen Punkten ...“²² Die logische Widersprüchlichkeit der „Energetik“ sah Boltzmann im Schließen von der Masse auf die Energie: $W_{\text{kin}} = 1/2 mv^2$

Als Philosophie hielt Boltzmann die „Energetik“ für schädlich, weil sie zum Solipsismus führen könnte.²³ Er interpretiert sie allerdings gegenteilig: „Ob man die Masse oder die Energie als das Existierende (Substantielle) bezeichnet, dürfte, da man doch mit allem die alten Vorstellungen verbindet, kaum wesentlicher sein, als ob man dem absoluten Maßsysteme die Massen- oder Energieeinheit zugrundelegt.“²⁴ Für das Verhältnis der Philosophie Wilhelm Ostwalds zu der von Mach kam er zu dem Schluß, daß jener Ernst Mach nur halb verstanden habe: „Mach wies darauf hin, daß uns bloß der gesetzmäßige Verlauf unserer Sinneswahrnehmungen und Vorstellungen gegeben ist, daß dagegen alle physikalischen Größen, die Atome, Moleküle, Kräfte, Energien usw. bloße Begriffe zur ökonomischen Darstellung und Veranschaulichung dieser gesetzmäßigen Beziehungen unserer Sinneswahrnehmungen und Vorstellungen sind. ... Ostwald verstand von diesem Satze nur die eine Hälfte, daß die Atome nicht existieren; er fragte sofort: ‘Ja, was existiert denn sonst?’ und gab darauf die Antwort, die Energie sei eben das Existierende. Meines Dafürhaltens ist diese Antwort ganz dem Sinne Machs entgegen, der die Energie gerade so, wie die Materie für einen symbolischen Ausdruck gewisser zwischen den Wahrnehmungen bestehender Beziehungen, gewisser Gleichungen zwischen den gegebenen psychischen Erscheinungen halten muß.“²⁵

Exemplarisch beschreibt der Physiker den Konflikt an der Atomtheorie, indem er die Differentialgleichungen als „... Symbole für atomistische Vorstellungen ...“²⁶ auffaßt und sich gegen die Behauptung wendet, daß man nur die „Erlebnisse“ beschreiben könne: „Die Differentialgleichungen der mathematisch-physikalischen Phänomenologie sind offenbar nichts als Regeln für die Bildung und Verbindung von Zahlen und geometrischen Begriffen, diese aber sind wieder nichts anderes als Gedankenbilder, aus denen die Erscheinungen vorhergesagt werden können.“²⁷

Im wesentlichen folgte auch Paul Volkmann den Auffassungen Boltzmanns, aber er lehnte Ostwalds Kritik am (mechanizistischen) Atomismus nicht rundweg ab, son-

²² Boltzmann, Ludwig: Ein Wort der Mathematik an die „Energetik“. In: Annalen der Physik und Chemie. N.F. 57 (1896), S. 44

²³ Boltzmann, Ludwig: Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in den Naturwissenschaften. In: Annalen der Physik und Chemie. N.F. 60 (1897), S. 231-247

²⁴ Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften. Braunschweig, 1979. - S. 368

²⁵ Boltzmann, Ludwig: Zur „Energetik“. In: Annalen der Physik und Chemie. N.F. 58 (1896), S. 595-598

²⁶ Boltzmann, Ludwig: Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in den Naturwissenschaften. In: Annalen der Physik und Chemie. N.F. 60 (1897), S. 235

²⁷ Ebenda. S. 232

dem schrieb in einer Replik gegen Boltzmann: „Die Stärke der Theorien beruht, von diesem Standpunkt aus gesehen, ebensowohl in dem, was sie von der Natur wiedergeben, wie in dem, was sie nicht wiedergeben. Dadurch wird präzise zum Ausdruck gebracht, welche Bedingungen für eine Erscheinung wesentlich, welche unwesentlich sind; und darauf kommt es an.“²⁸

Später benutzten die wenigen Kritiker Ostwalds aus dem Lager der Philosophen und der ihnen Nahestehenden zwar auch die Argumentation Boltzmanns, aber die „Energetik“ geriet auch mehr und mehr zwischen die Fronten der verschiedenen weltanschaulichen, ideologischen und politischen Richtungskämpfe. Ein Indiz dafür sind die zahlreichen unsachlichen Auseinandersetzungen mit und um Wilhelm Ostwald an der Philosophischen Fakultät. An dieser war, im Vergleich zu anderen europäischen Universitäten, die Dominanz der Philosophen und Philologen besonders groß, ein Umstand, den Wilhelm Ostwald nicht nur beklagte, sondern gegen den er auch auf vielfältige Weise protestierte. Die Leipziger Gegner Ostwalds haben ihm weder die Lübecker Rede noch die „Vorlesungen über Naturphilosophie“ verziehen.

Typisch für die Art der philosophischen Erörterung der „Energetik“, und letztlich folgt auch G. Böhme dieser Interpretation, war die Zuordnung Wilhelm Ostwalds zu den „Materialisten“. Für Wilhelm von Schnehen, einem Schüler des 1906 verstorbenen Eduard von Hartmann, war Ostwald nicht auf dem Weg zur „richtigen“ Philosophie, sondern ein „Materialist“ im neuen Gewande. In der wahrscheinlich 1907 verfaßten Broschüre mit dem Titel „Energetische Weltanschauung? Eine kritische Studie mit besonderer Rücksicht auf W. Ostwalds Naturphilosophie“ stellte er fest, daß für Ostwald die „Energie“ dasjenige sei, was in bestimmten philosophischen Richtungen die „Materie“ sein sollte, aber die „Energie“ setze sich aus Faktoren zusammen und könne deshalb keine Grundgröße sein.²⁹ „In der Tat tauchen denn auch bei Ostwald all die alten Rätselfragen des Lebens mit den alten unzulänglichen Antworten wieder auf.“³⁰ Er kritisierte außerdem den von W. Ostwald eingeführten Begriff der „Nervenenergie“, die das menschliche „Bewußtsein“ hervorbringe, denn damit werde der Unterschied zwischen „Körperwelt“ und „Gedankenwelt“ verwischt.³¹

Der weitaus angeseheneren Philosoph Max Weber ist im Grunde der gleichen Meinung, wenn er es auch höflicher formuliert: „Ostwald ist in seinen Informationsquellen sehr schlecht beraten gewesen und hat außerdem, durch Hineinmischung seiner praktischen Lieblingspostulate auf allen möglichen politischen (wirtschafts-, kriminal-, schulpolitischen usw.) Gebieten in die, bei rein wissenschaftlicher Fragestellung streng sachlich auf die kausale Tragweite der energetischen Beziehungen und die methodische Tragweite der energetischen Begriffe zu beschränkende Untersuchung, seiner eigenen Sache nur geschadet.“³²

²⁸ Volkmann, Paul: Über notwendige und nicht notwendige Verwerthung der Atomistik in der Naturwissenschaft. In: Annalen der Physik und Chemie. N.F. 61 (1897), S. 203

²⁹ Vgl. von Schnehen, Wilhelm: Energetische Weltanschauung? Eine kritische Studie mit besonderer Rücksicht auf W. Ostwalds Naturphilosophie. Leipzig : Thomas, [1907?]. - S. 59

³⁰ Ebenda. S. 82

³¹ Ebenda. S. 114 ff.

³² Weber, Maximilian: „Energetische“ Kulturtheorien (1909). In: Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre. Tübingen, 1922. - S. 400 f.

Einer der immer wieder von den Philosophen kritisierten Mängel der „Energetik“, wie sie Ostwald vertrat, war die aus ihrer Sicht willkürliche Benutzung des Begriffes „Energie“. So behauptete J. Stickers, daß Ostwald den Energiebegriff in sieben verschiedenen Bedeutungen verwende.³³ A. Dochmann bemängelte zum Beispiel die „schwankenden Begriffsbildungen“ und die „stark abweichenden Definitionen“. Ostwald spreche immer „sicheren Tons von seinem Systeme“ und breche durch „Einschränkungen“ und „Reservationen“ jeder Kritik die Spitze ab.³⁴

Die meisten Philosophen hielten allerdings den Streit um die „Energetik“ und damit die Diskussion naturphilosophischer Problemlagen für eine Auseinandersetzung zwischen Dilettanten. Deshalb fand in der philosophischen Literatur auch die „Energetik“ Wilhelm Ostwalds nur wenig Beachtung. Hinzu kam, daß Ostwald nicht selten als Gegner der professionellen Philosophen auftrat und deren elitäres Philosophieverständnis beklagte.

Wie für die „Energetik“ insgesamt gilt auch für die Lübecker Rede, daß die Kritiker Wilhelm Ostwald vor allem die Übertragung des naturwissenschaftlichen Energiebegriffes in die Philosophie vorwarfen. Dadurch habe dieser die philosophische Diskussion nur verwirrt und keineswegs bereichert.

Trotz des Mißerfolges von Lübeck blieb Wilhelm Ostwald sich selbst treu. Wenige Jahre später hielt er seine berühmten Vorlesungen zur Naturphilosophie in Leipzig vor mehr als 400 Zuhörern. Auch die Herausgabe der „Annalen der Naturphilosophie“ ab 1902 waren ein Ergebnis der intensiven Beschäftigung mit philosophischen Problemstellungen, und im Jahre 1904 wird Ostwald als Naturphilosoph zum Internationalen Gelehrten-Kongreß anläßlich der Weltausstellung nach St. Louis (USA) eingeladen.

Natürlich darf trotz allen Respektes nicht übersehen werden, daß der philosophierende Wilhelm Ostwald auch Ungereimtheiten produziert hat. Erinnert sei hier an die „Nervenenergie“ und die „Glücksformel“. Außerdem offenbaren viele Schriften Ostwalds, daß er sich mit dem philosophischen „Handwerkszeug“ kaum auskannte. Damit begünstigte Ostwald manchmal auch ungewollt jene, die behaupteten, daß die Naturwissenschaftler unfähig seien, neue Ideen in die Philosophie einzubringen, weil ihre Methoden für die Philosophie völlig untauglich seien. Mit der Rede in Lübeck hat Wilhelm Ostwald zwar nicht die erwartete Resonanz gefunden, dennoch muß man aus heutiger Sicht diesen Versuch schon deshalb wertschätzen, weil damit die weltanschaulichen Probleme der Naturwissenschaftler und die Naturphilosophie mehr in das Blickfeld der Öffentlichkeit rückten.

³³ Stickers, J.: Was ist Energie? - eine erkenntnistheoretische Untersuchung der Ostwaldschen „Energetik“. Berlin : Schnippel, 1913. - S. 97 f.

³⁴ Dochmann, A.: F. W. Ostwalds „Energetik“. Bern, 1908. - S. 41 (Berner Studien zur Philosophie und ihrer Geschichte ; 62)

Anmerkungen zu Arbeiten von Wilhelm Ostwald auf dem Gebiet der Thermodynamik

Konrad Krause und Ulf Messow

Herrn Professor Dr. Konrad Quitzsch zum 65. Geburtstag gewidmet

Wilhelm Ostwalds Beitrag für die Entwicklung der Thermodynamik und speziell der Chemischen Thermodynamik beschränkt sich nicht nur auf thermodynamische Arbeiten und Begriffe, Regeln und Aussagen, die bis heute mit seinem Namen verbunden sind. Ebenso förderlich für das Gebiet der Thermodynamik war sein Wirken als Organisator wissenschaftlicher Kommunikation, als Gründer der „Zeitschrift für physikalische Chemie“ und als Autor von Lehrbüchern. Darüber hinaus hat W. Ostwald Geräte und Apparate entworfen, die die Meßpraxis bereicherten. Durch solche vielseitigen Aktivitäten konnte er seinen Mitarbeitern interessante Untersuchungsgegenstände aufzeigen und zur selbständigen Bearbeitung überlassen, was den gesamten Forschungsprozeß an seinem Institut immer wieder in Gang setzte. Nicht weniger wichtig sind seine Leistungen als Übersetzer, durch die schwer zugängliche Literatur erschlossen und auf breiter Basis in den Prozeß der Wissenschaftsentwicklung einbezogen werden konnte. Diese distributive Seite in Ostwalds wissenschaftlicher Tätigkeit gleichermaßen zu würdigen, entspringt unserer Auffassung, nach der eine Wissenschaft nicht nur ihr unmittelbares Ergebnissystem in Form von Fachbegriffen, Regeln, Gesetzen u.a. Fachinhalten umfaßt, sondern auch die wissenschaftliche Kommunikation, den Forschungsprozeß und seine soziale Komponente. Aus solcher Sicht ist auch der umfangreiche Briefwechsel hervorzuheben, den W. Ostwald geführt hat; insbesondere mit Max Planck waren meist thermodynamische Fragen Gegenstand des Meinungs austausches. W. Ostwald hatte auch frühzeitig die Bedeutung der thermodynamischen Arbeiten von Willard Gibbs für die Wissenschaftsentwicklung erkannt. Durch die Übersetzung und die Herausgabe der „Thermodynamischen Studien“ von Gibbs setzte Ostwald die heuristische Wirkung dieser bahnbrechenden Arbeiten im deutschsprachigen Publikationsraum frei.

1. Zur Entstehung der Chemischen Thermodynamik

Allgemein gilt der engere Zeitraum um 1887 als das Geburtsjahr der Physikalischen Chemie. 1887 wurde nicht nur die „Zeitschrift für physikalische Chemie“ gegründet, sondern Wilhelm Ostwald trat am 1. Oktober auch seine Professur für Physikalische Chemie und seine Tätigkeit als Direktor des Zweiten chemischen Laboratoriums in Leipzig an.¹ Neben der Kinetik und der Elektrochemie ist die Chemische Thermodynamik eine der klassischen Säulen der Physikalischen Chemie.

¹ Messow, Ulf ; Krause, Konrad: Physikalische Chemie in Leipzig. Leipzig : Leipziger Universitätsverlag, 1998

Ihre Entwicklung basierte auf einer Vielzahl empirischer und theoretischer Vorleistungen.²

Zu ihnen zählen die Gesetze zum Verhalten idealer Gase, von denen wichtige Impulse für weiterführende theoretische Modellierungen und für energetische Betrachtungen in Verbindung mit den Begriffen Arbeit und Wärme ausgegangen sind.

Zum Verhalten idealer Gase: Unabhängig voneinander untersuchten Robert Boyle (1627-1691) um 1662 und Edmé Mariotte (1620-1684) die Abhängigkeit des Druckes idealer Gase von ihrem Volumen bei konstanter Temperatur. Louis-Joseph Gay-Lussac (1778-1850) stellte fest, daß das Volumen eines idealen Gases der Temperatur proportional ist : $V = \text{const.} \cdot T$.

John Dalton (1766-1844) formulierte das Partialdruckgesetz, nach dem sich der Gesamtdruck in einem Gasgemisch aus der Summe der Partialdrücke jedes einzelnen Gases ergibt. Solche Erkenntnisse brachten das Verhalten eines Systems mit dem seiner einzelnen Bestandteile in einen Zusammenhang.

Amadeo Avogadro (1776-1865) erkannte, daß das Volumen eines idealen Gases proportional der Teilchenzahl N (bei konstantem p und T) ist: $p \cdot v = N \cdot \text{const.} \cdot T$.

Zu Wärmeerscheinungen: Benjamin Thompson (1753-1814) - der spätere Graf von Rumford - beobachtete beim Bohren von Kanonenrohren, daß Wärme durch mechanische Bewegung („Reibungsarbeit“) entsteht. Er folgerte daraus, daß es keinen besonderen „Wärmestoff“ (Phlogistontheorie) gibt. James Prescott Joule (1818-1889) gelang um 1843 der experimentelle Nachweis der Äquivalenz von Wärme und Arbeit. Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) und Pierre Simon (1749-1827) bestimmten zahlreiche spezifische Wärmen einzelner Stoffe und Reaktionsenergien. Die Kalorimetrie wird als Meßmethode weiterentwickelt und erlangt eine zunehmende Bedeutung.

Zum Energiebegriff: Bereits 1840 formulierte German Henry Heß(1802-1850) den Satz der konstanten Wärmesummen. Der Arzt und Naturforscher Julius Robert Mayer (1814-1878) bestimmte 1842 das mechanische Wärmeäquivalent, und er entdeckte, daß der Satz von der Erhaltung der Kraft (Energie) ein allgemeines Naturgesetz ist.³

Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894) erweiterte den Energieerhaltungssatz auf andere Energieformen und gab ihm eine mathematische Form.⁴

Zum Kreisprozeßkonzept, Temperatur- und Entropiebegriff: Der Ingenieur Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832) publizierte 1824 in seiner Arbeit „Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen“⁵ theoretische Erkenntnisse zum Wirkungsgrad von Wärmekraftmaschinen und führte den Kreisprozeß als ein analytisch-methodisches Mittel zur Lösung thermodynamischer Fragestellungen ein. Seine Überlegungen

² Bittrich, Hans-Joachim: Ursprung und Entwicklung der physikalischen Chemie. In: Mitt. der W.-Ostwald-Gesellschaft zu Großbothen e.V. (1996), Nr. 1, S.11

³ Mayer, R.: Die Mechanik der Wärme. Leipzig : Engelmann, 1911 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften 180)

⁴ von Helmholtz, Hermann: Über die Erhaltung der Kraft. Leipzig : Engelmann, 1889 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften 1)

⁵ Carnot, Sadi: Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen. Leipzig : Engelmann, 1909 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften 37)

beruhen zumindest zu dieser Zeit noch auf der Vorstellung eines Wärmestoffes, der beim „Fall“ von einer höheren zu einer tieferen Temperatur mechanische Energie freisetzt, ohne selbst verbraucht zu werden („Satz von der Erhaltung des Wärmestoffes“).

William Thomson (1824-1907) - seit 1892 als Lord Kelvin bekannt -, führte unter Nutzung Carnotscher Erkenntnisse eine von der Thermometersubstanz unabhängige Temperaturskala ein. Von Lord Kelvin stammt auch die folgende Formulierung des Zweiten Hauptsatzes der Wärmelehre (Thermodynamik):

„Es ist unmöglich, nur durch Abkühlung eines Körpers Arbeit zu gewinnen.“

1850 erschien von Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822-1888) die Publikation: „Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen“;⁶ 1865 führte er den Begriff „Entropie“ ein und postulierte:

„Wärme kann nicht von selbst von einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen.“

Von Clausius stammt auch die Formulierung:

„Die Energie der Welt ist konstant; ihre Entropie strebt einem Maximum zu.“

Neben die Energie tritt die Entropie als ein grundlegender Begriff der Thermodynamik, mit dem auch die Definition der Begriffe „freie Energie“ und „freie Enthalpie“ möglich wurde.

Zur Affinität: Die Frage, warum Stoffe überhaupt miteinander reagieren, ist so alt wie die Chemie und damit ihr zentrales Problem. Eine Beantwortung führte zu Begriffen wie der „Triebkraft“ chemischer Reaktionen, zur Affinität und zur Verwandtschaftslehre. Erste Erkenntnisse dazu wurden in sogenannten Verwandtschaftstabellen zusammengefaßt, in denen bestimmte Stoffe nach einem abgestuften Reaktionsverhalten geordnet waren. Als einer der ersten nutzte Geoffrey 1718 solche Rangtabellen. So beurteilte man z.B. die „Stärke“ (was den Kraftbegriff assoziierte) von Säuren danach, ob sie in der Lage waren, andere Säuren aus ihren Salzen zu verdrängen. Die Stellung eines Stoffes in solchen Tabellen basierte auf empirischen Erkenntnissen.

Seit der Mitte des 18. Jahrhunderts dienten zur Erklärung der Affinität auch Abstoßungs- und Anziehungskräfte der Atome. Dadurch wurde der „Kraftbegriff“ auch in chemische Betrachtungen eingeführt. Ein Vertreter dieses Denkansatzes war der schwedische Chemiker Torbern Bergmann. Der Ausdruck „stark“ in Verbindung mit z.B. der Säurestärke war bei ihm noch ganz im Sinne von „entweder - oder“ gemeint. Die Verdrängung wurde „total“ gedacht („alles oder nichts“). Später hingegen publizierte Claude-Louis Berthollet (1748-1822) Vorstellungen zur Affinität, die auf dem Prinzip der „Massenwirkung“ beruhten (1801). Nach ihm wurden alle Reaktionsteilnehmer mit ihrem jeweiligen massenmäßigen Anteil an der Gesamtmasse aller Reaktionsteilnehmer in die Überlegungen einbezogen. Ist eine Reaktion zum Stillstand gekommen (z.B. Gleichgewicht), so sind noch alle Reaktionsteilnehmer, allerdings mit anderen Masseanteilen, vorhanden. Es kommt so während der Reaktion zu einem „Spiel“ hin und her wirkender Kräfte, *„deren Ergebnis immer das war, daß jeder zu*

⁶ Clausius, Rudolf: Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen. Leipzig : Engelmann, 1898 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften 99)

seinem Recht kam, der stärkere Stoff erhält mehr, der schwächere weniger, aber keiner erhält alles, und keiner geht leer aus“ (Ostwald). Diesen Denkansatz haben später die norwegischen Forscher Cato Maximilian Guldberg (1836-1902) und Peter Waage (1833-1900) aufgegriffen und zum Massenwirkungsgesetz (1867), einem zentralen Gesetz der Chemischen Thermodynamik, weitergeführt.

Julius Thomsen (1826-1909) und Marcelin Pierre Eugène Berthelot (1827-1907) brachten später die chemische Triebkraft einer Reaktion mit der entwickelten Wärme in Zusammenhang. Sie haben die Affinitätslehre so mit der Thermochemie, mit energetischen Vorstellungen und mit einer meßbaren Größe verbunden.

Diese historischen Anmerkungen zur Entstehung verschiedener thermodynamischer Theorien belegen, daß bis gegen Ende des vorigen Jahrhunderts, auch durch hier nicht erwähnte Arbeiten von Black und Rankine, so wichtige Begriffe wie Temperatur, Wärme, Arbeit, Energie, Entropie, freie Energie und freie Enthalpie eingeführt waren. Die Unterscheidung zwischen „Temperatur“ und „Wärme“ machte den Weg für eine wissenschaftliche Wärmelehre (Thermodynamik) frei.

Die klassische, in der Physik begründete Thermodynamik einfacher Körper (Systeme) war durch die bekannten Hauptsätze der Wärmelehre zu einem vorläufigen Abschluß gekommen. Nun setzte der Versuch ein, diese thermodynamischen Erkenntnisse auch zur Beschreibung von Stoffwandlungsprozessen zu nutzen. Erste Untersuchungsobjekte waren Aggregatzustandsänderungen, Phasen- und Lösungsvorgänge sowie die Dissoziation fester Stoffe.

Später gelang es, auch das in der „Massenwirkung“ verwurzelte Verhalten für die theoretische Erklärung der chemische Verwandtschaft weiterzuführen und sie zahlenmäßig durch thermodynamische Begriffe (wie z.B. maximale Arbeit, freie Energie, freie Reaktionsenthalpie) zu charakterisieren. Ziel einer Chemischen Thermodynamik ist, die „Triebkraft“ einer Gesamtreaktion zu erkennen und sie über die Beiträge der einzelnen Reaktionsteilnehmer (partielle molare Größen) zu erfassen. Zugleich suchte man nach Kriterien zur Beurteilung des Verlaufs chemischer Reaktionen in Verbindung mit Begriffen wie Gleichgewicht, Zwang und Freiwilligkeit. Das erforderte die Auseinandersetzung mit dem unscharfen Begriff „Kraft“ (z.B. in Begriffsbildungen wie Anziehungskraft, Abstoßungskraft, lebendige Kraft, Lebenskraft - vis vitalis, elektromotorische Kraft, Triebkraft u.a.). W. Ostwald äußerte sich dazu in seiner Antrittsvorlesung, gehalten am 23. November 1887 in der Aula der Universität Leipzig zum Thema „Die Energie und ihre Wandlungen“, wie folgt:

„In der Chemie insbesondere hat der Kraftbegriff nur Schaden angerichtet. So lange man chemische ‘Kräfte’ zu messen suchte, wollte die Verwandtschaftslehre keine Fortschritte machen.“⁷

Zustands- und Prozeßgrößen: Die Notwendigkeit, zwischen Zustand und Prozeß sowie zwischen Zustands- und Prozeßgrößen (Austauschgrößen) sauber zu unterscheiden, führte durch die Nutzung analytisch-mathematischer Formalismen zum totalen Differential und den Zustandsgrößen. Hier haben vor allem die Arbeiten von Hermann von Helmholtz (1821-1894) und Josiah Willard Gibbs (1839-1903) entscheidende Fortschritte gebracht. Da in den thermodynamischen Überlegungen von

⁷ Ostwald, Wilhelm: Abhandlungen und Vorträge allgemeinen Inhalts (1887-1903). Leipzig : Veit & Comp., 1904. - S.187 -206

Gibbs auch die Masse als Variable auftritt, konnten theoretische Erkenntnisse auf stoffliche Systeme mit mehreren Teilnehmern übertragen werden. Zugleich entstand mit dem von Gibbs eingeführten Begriff des chemischen Potentials eine neuartige Denkweise in der Chemischen Thermodynamik. Seitdem sind das Carnotsche Kreisprozeßkonzept und das Gibbssche Konzept der chemischen Potentiale auch die grundlegenden strukturellen Leitideen für die Hochschullehre der Chemischen Thermodynamik.⁸

2. Ostwaldsche Arbeiten auf dem Gebiet der Chemischen Thermodynamik

2.1. Empirisch - thermodynamische Arbeitsgebiete

Vom Inhalt her kann man das Gesamtschaffen von W. Ostwald grob in mehrere Abschnitte einordnen. In seinen frühen Arbeiten befaßte er sich zunächst mit dem Problem der Affinität (Dorpat, Riga), später mit der Elektrochemie und Katalyse (Leipzig) und parallel dazu mit dem Versuch, vom zentralen Begriff der Energie ausgehend nicht nur naturwissenschaftlichen Fragen (Leipzig) nachzugehen, sondern auch naturphilosophische Überlegungen anzustellen⁹ und eine Farbenlehre zu entwickeln (Großbothen).

Bekanntlich wurde das Interesse Wilhelm Ostwalds an der Chemie besonders durch ein Buch von Adolph Stöckhardt¹⁰ geweckt. In der Ausgabe aus dem Jahre 1847 stellte Stöckhardt die Affinität in einer Verwandtschaftstabelle dar (Abb.1, S. 54).

Als junger Chemiker versuchte Ostwald nach Ansätzen zur Deutung der Affinität. In seinen 54 Publikationen, die in der Zeit von 1875 bis 1887 (Dorpat, Riga) erschienen sind, befaßte er sich in wenigstens 45 mit der Affinität.¹¹ Dazu gehören auch die Magisterarbeit von 1875¹² und die Doktorarbeit von 1878.¹³

Im seinem 1887 in Leipzig erschienenen „Lehrbuch der allgemeinen Chemie“ ist der gesamte Band 2 der Verwandtschaftslehre gewidmet (910 Seiten). Ostwald versuchte zur Erklärung der Affinität einer Reaktion (z.B. beim Zusammengeben einer Säure mit einer Base oder bei Reaktionen zwischen Salzen und Säuren) zunächst von der dabei zu beobachtenden Volumenänderung (Ausdehnung oder Kontraktion) auszugehen. Er verbesserte Pyknometer, und er konstruierte in Riga einen Apparat zum Konstanthalten der Reaktionstemperatur (Urthermostat), dessen Funktionsprinzip auf einer regelungstechnischen Überlegung beruhte.

⁸ Kortüm, G.: Einführung in die chemische Thermodynamik. Vorwort. Weinheim : Verl. Chemie, 1963

⁹ Niedersen, Uwe: 100 Jahre Energetik - Wilhelm Ostwalds energetische Sendung. In: Wiss. Zeitschr. d. Univ. Halle 35 (1986), Nr. 6, S. 123-134

¹⁰ Stöckhardt, Adolph: Die Schule der Chemie. Braunschweig : Vieweg, 1847

¹¹ Bibliographische Übersicht 1875-1887. In: Mitt. der W.-Ostwald-Gesellschaft zu Großbothen e.V. (1996), Nr. 2, S. 32

¹² Ostwald, Wilhelm: Über die chemische Massenwirkung des Wassers. Auszugsweiser Abdruck. In: Journal f. prakt. Chemie. N.F. 12 (1875), S. 264-270

¹³ Ostwald, Wilhelm: Volumchemische und optisch-chemische Studien. Dorpat : Laakmanns Buchdruckerei, 1878

Affinität zum Sauerstoff. Metalleide. Affinität zum Wasserstoff.

Fig. 103.



Abb. 1: Affinität von Metalloiden zu Sauerstoff und Wasserstoff

„Die Größe der Kreise soll die Verwandtschaft zum Sauerstoffe, die der Vierecke die Verwandtschaft zum Wasserstoffe versinnlichen. Man wird leicht finden, daß die Freundschaft der Metalloide für den Wasserstoff in dem Maaße zunimmt, als die für den Sauerstoff abnimmt, und umgekehrt.“¹⁰

Einer der ersten, der Affinitäten über die Messung der Änderung physikalischer Größen auch quantitativ zu erfassen versuchte, war Gladstone. Später haben J. Thomsen¹⁴ und M. Berthelot¹⁵ kalorimetrische Messungen mit dem Affinitätsproblem gekoppelt. W. Ostwald knüpfte in seinen Arbeiten zunächst an die von Tissier (1859) eingeführte volumchemische Methode an, die auf Volumenänderungen bei der Reaktion beruhte. Später versuchte er, auch die Änderung des Brechungskoeffizienten

¹⁴ Thomsen, Julius: Thermochemische Untersuchungen. In: Ann. der Physik und Chem. 5. R. 138 (1869), S. 72

¹⁵ Berthelot, Marcelin: Recherches calorimétriques sur l'état des corps dans les dissolutions. In: Ann. chim. phys. 4. Ser. 29 (1873), S. 433-514

VOLUMCHEMISCHE
UND
OPTISCH-CHEMISCHE STUDIEN.



Behufs Erlangung des Grades
eines
Doctors der Chemie
verfasst und mit Genehmigung
Einer Hochverordneten physiko-mathematischen Facultät der Kaiserlichen
Universität Dorpat
zur öffentlichen Vertheidigung bestimmt

von

Wilhelm Ostwald,
Mag. chem.

Ordentliche Opponenten:
Dr. Joh. Lemberg. — Prof. Dr. Arth. von Oettingen. — Prof. Dr. Carl Schmidt.



Dorpat.

DRUCK VON H. LAAKMANN.

1878.

Abb. 2: Titelblatt der „Doktorarbeit“ aus dem Jahre 1878

zienten während einer Reaktion heranzuziehen. Vor allem aber verband er seine theoretischen Überlegungen mit dem Prinzip von Berthollet - Guldberg - Waage (Massenwirkung). Im gewissen Sinne ist die Massenwirkung Ausdruck eines „Koexistenzprinzips“, nach dem jeder Reaktionsteilnehmer gemäß seinem Masseanteil in die „Triebkraft der Reaktion“ eingeht und auch im Gleichgewicht, natürlich nun mit veränderten Stoffanteilen, immer noch präsent ist. H. Rose hatte schon 1847 darauf hingewiesen,¹⁶ daß bei Reaktionen in wäßrigen Lösungen wie z.B. zwischen Natriumchlorid und Schwefelsäure, auch vom Lösungsmittel ein Einfluß auf die Reaktion ausgeht. So übt das Lösungsmittel Wasser schon allein durch seine Gegenwart auf die eigentliche Umsetzung eine Massenwirkung aus. Ostwald greift auch diesen Gedanken auf. In seiner Arbeit „Volumchemische Studien - III. Massenwirkung des Wassers“¹⁷ schreibt er auf Seite 321:

„Die Guldberg-Waagesche Theorie der chemischen Verwandtschaft setzt die Intensität dieser Kraft proportional dem Produkt der auf einander wirkenden Massen. Es muß dann, wenn es sich um eine Wechselwirkung zwischen zwei Stoffen oder Verbindungen handelt, zu jedem Verhältnis derselben ein anderes existieren, welches die gleiche Intensität der chemischen Kraft besitzt. Nennt man die chemische Masse des einen Stoffes m , die des anderen n , so ist die Affinität $= k m n$, wo k eine Konstante ist. Der gleiche Werth der Affinität $k m n$ aber wird erhalten, wenn man dem ersten Stoff die Masse n und dem zweiten die Masse m ertheilt.“

Auf der Grundlage der volumchemisch und optisch-chemisch gewonnenen Meßwerte stellte Ostwald spezifische (relative) Affinitätskoeffizienten für Säuren und Basen fest. So findet man z.B. in seiner Doktorarbeit eine Affinitätstabelle für Säuren,¹⁸ die wir hier als Beispiel wiedergeben (Tabelle 1).

Tabellen solcher Art stellen gegenüber den früheren Verwandtschaftstabellen einen Fortschritt dar, weil bei der Berechnung das Massenwirkungsprinzip einbezogen wurde. Die Zahlenwerte der relativen Affinität der einzelnen Säuren lassen sich natürlich mit heute üblichen Angaben in Tabellenwerken nicht in einen direkten Zusammenhang bringen. Aber auch meßtheoretisch wird ein Fortschritt erreicht, weil die Rangreihe nicht allein durch qualitative Beobachtungen, sondern quantitativ durch Volumenänderungen oder Änderungen des Brechungsindex bestimmt ist.

Im Zweiten chemischen Laboratorium (1887-1897) der Universität Leipzig setzte Ostwald zunächst Untersuchungen zur Affinität auf der Grundlage von Leitfähigkeitsmessungen, die er schon in Riga begonnen hatte, fort. Die Vergleichbarkeit von Ergebnissen wurde jedoch erschwert, weil das Wasser in Leipzig weniger Fremdbestandteile (vor allem Ammoniak) gegenüber Riga enthielt. In Leipzig erlangen die Ionentheorie von Arrhenius und die van't Hoff'sche Lösungstheorie zunehmend zur Erklärung der Beobachtungen an Bedeutung (Zeit der „Ionier“). Ostwald fand hier

¹⁶ Rose, Heinrich: Über den Einfluß des Wassers bei chemischen Zersetzungen. In: Ann. der Physik und Chem. 82 (1851), S. 545-560

¹⁷ Ostwald, Wilhelm: Volumchemische Studien. 3. Über Massenwirkung des Wassers. In: Journal f. prakt. Chemie. N.F. 22 (1880), S. 305 -322

¹⁸ Ostwald, Wilhelm: Volumchemische und optisch-chemische Studien. Dorpat : H. Laakmanns Buchdruckerei, 1878. - S. 35

Säure	Relative Affinität
Salpetersäure	100,0
Salzsäure	98,0
Trichloressigsäure	80,0
Dichloressigsäure	33,0
Monochloressigsäure	7,0
Glycolsäure	5,0
Ameisensäure	3,9
Milchsäure	3,3
Essigsäure	1,23
Propionsäure	1,04
Buttersäure	0,98
Isobuttersäure	0,92

Tabelle 1: Relative Affinitäten nach W. Ostwald¹⁸

auch eine mathematische Gleichung für das später nach ihm benannte Verdünnungsgesetz, das er allerdings schon früher verbal ausgedrückt hatte:

$$\frac{a^2}{(1-a)v} = k$$

a ist das Verhältnis zwischen der Leitfähigkeit μ_v bei der Verdünnung v und der Grenzleitfähigkeit μ_∞ bei unendlicher Verdünnung

In seiner 1888 am Zweiten chemischen Laboratorium fertiggestellten Schrift „Über die Affinitätsgrößen organischer Säuren und ihre Beziehungen zur Zusammensetzung und Konstitution derselben“, die als Abhandlung der „Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften“ in Leipzig erschien (15. Nr. II), schreibt Ostwald unter 1.:

„Es hat sich auf Grund der in hohem Grade zweckmässigen und ausgiebigen Hypothesen von Arrhenius und van't Hoff der Einfluß der wechselnden Verdünnung auf die Leitfähigkeit und somit auf die Reaktionsfähigkeit der Elektrolyte überhaupt und insbesondere der Säuren qualitativ und quantitativ in völlig zureichender Weise darstellen lassen, dergestalt, dass in der fraglichen Gleichung nur eine von der Natur der Säure abhängige Konstante auftritt. Diese Konstante genügt also, um den Stoff durch alle Verdünnungen in Bezug auf seine Affinitätseigenschaften zu kennzeichnen.“

Zur Berechnung dieser Konstanten war es notwendig, die Grenzleitfähigkeiten der Elektrolyten μ_∞ bei extremer Verdünnung zu bestimmen, wofür Ostwald auch ein geeignetes Verfahren entwickelte.¹⁹

Im „Grundriss der Allgemeinen Chemie“ vermerkt W. Ostwald in der 6. Auflage von 1920 (Verlag Theodor Steinkopff) auf Seite 611 zum Verdünnungsgesetz:

¹⁹ Ostwald, Wilhelm: Electrochemische Studien. 6. Über die Beziehungen zwischen der Zusammensetzung der Ionen und ihrer Wanderungsgeschwindigkeit. In: Zeitschr. f. physik. Chem. 2 (1888), Nr. 11, S. 840-851

„Diese Formel enthält eine einzige Konstante k, welche von der Natur des Stoffes bestimmt wird, und diese Konstante ist das gesuchte Maß der chemischen Verwandtschaft unter den vorhandenen Bedingungen.“

Später werden in Leipzig Arbeiten zur Löslichkeit, zum Schmelzverhalten, zur Dampfspannung sowie zu Beziehungen zwischen dem osmotischem Druck und der Erniedrigung der Dampfspannung der verschiedensten Stoffe durchgeführt. Von solchen Messungen sowie der Ermittlung von Molekulargewichten aus der Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung gingen auch Anregungen dafür aus, wie man Eigenschaften der Stoffe systematisieren kann.²⁰ Ostwald schlug vor, zwischen additiven, kolligativen und konstitutiven Eigenschaften zu unterscheiden.²¹

„[Additive Eigenschaften] sind von der Beschaffenheit, dass ihr Wert bei chemischen Verbindungen als die Summe der entsprechenden Werte der Bestandteile sich darstellt; sie haben zur Atomtheorie geführt, d.h. zu der Annahme, dass die Bestandteile in den Verbindungen noch als solche fortexistieren.“

Die kolligativen Eigenschaften haben die Eigentümlichkeit, dass der Zahlenwert derselben, unabhängig von der Zahl und Beschaffenheit der Bestandteile, für gewisse Komplexe gleich groß ist. Sie haben zur Molekulartheorie geführt, d.h. zu der Annahme, dass die Bestandteile der chemischen Verbindungen zunächst bestimmte gleichartige Gruppen oder Systeme bilden, welche eine selbständige Existenz führen, und aus denen sich die sichtbaren und wägbaren Stoffe aufbauen.“

Endlich gibt es aber eine dritte Gruppe von Eigenschaften, welche weder additiv noch kolligativ sind, da sie auch bei gleich zusammengesetzten Stoffen verschiedene Werte annehmen können. Sie haben zu der Annahme geführt, dass die Eigenschaften der Stoffe ausser von der Natur und Anzahl der zusammensetzenden Atome noch von einem anderen Umstände beeinflusst werden, als welchen man die seit Berzelius Vorgänge die verschiedene Anordnung der Atome innerhalb der Molekel, die Konstitution, ansieht.“

Möglicherweise hat der Umstand, daß es zu Ostwalds Zeiten mit Hilfe einfacher „energetischer“ Meßverfahren nicht möglich war, Aussagen über die Stellung von Atomen im Molekül zu machen, seine damalige Ablehnung der hypothetischen Nutzung von Atomvorstellungen in der wissenschaftlichen Arbeit bewirkt. Sie gipfelte schließlich in der in seinem „Lübecker“ Vortrag so bedeutsam wie verhängnisvollen Ablehnung des Atombegriffs überhaupt.

Die Wortschöpfung „kolligative Eigenschaft“ geht auf einen Vorschlag von Wilhelm Wundt, dem berühmten Leipziger Psychologen und Philosophen zurück, der nicht selten mit W. Ostwald zu einem Gedankenaustausch zusammenkam. Ostwald hatte zunächst die Bezeichnung „kumulative Eigenschaft“ vorgeschlagen.²²

Aus jener Zeit stammt auch der heute übliche Terminus „Ostwaldscher Löslichkeitskoeffizient“ zur Kennzeichnung des Verhältnisses der Konzentration eines Gases zwischen der Gas- und Flüssigphase.

²⁰ Ostwald, Wilhelm: Arbeiten des Physikalisch-chemischen Instituts der Universität Leipzig 1887-1896. Leipzig : Engelmann, 1897

²¹ Ostwald, Wilhelm: Über die Affinitätsgrößen organischer Säuren und ihre Beziehungen zur Zusammensetzung und Konstitution derselben. In: Abh. der Königl. Sächs. Ges. der Wissenschaften. Math.-phys. Kl. 15 (1889), Nr. 11; zitiert nach Abdruck in Z. phys. Chem. 3 (1889), Nr. 3-5, S. 414

²² Ostwald, Wilhelm: Lebenslinien. Bd. 2. Berlin : Klasing, 1927. - S. 90

Ostwald schuf eine Typenübersicht von Totaldampfdruckkurven binärer²³ und ternärer Gemische,²⁴ und er führte den Begriff der „unüberschreitbaren Linie“ ein.

In der Publikation „Studien über die Bildung und Umwandlung fester Körper“²⁵ aus dem Jahre 1897 formulierte Ostwald auf Grund experimenteller Beobachtungen die Regel des stufenweisen Überganges eines Stoffes höheren Energieinhalts in den energieärmeren Zustand (Ostwaldsche Stufenregel).²⁶

Die Entstehung grobkörniger Niederschläge, die gegenüber feinkörnigen eine geringere Oberflächenenergie besitzen, bezeichnet man heute noch als „Ostwald-Reifung.“

2.2. Publikationen allgemeinerer Art zur Thermodynamik

Als Mitglied der Kgl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften in Leipzig, in der W. Ostwald seit dem 23. Dezember 1887 ordentliches Mitglied war, veröffentlichte er z.B. insgesamt 23 Abhandlungen, von denen sich lediglich 7 im engeren Sinne mit thermodynamischen Problemen befassen (wie z.B. zur Affinität, zur chemischen Fernwirkung, zur Energetik, zur Thermochemie der Ionen, zur Umwandlung und Bildung fester Körper, zum Dampfdruck ternärer Gemische).

In zahllosen Publikationen naturwissenschaftlicher, naturphilosophischer und kulturwissenschaftlicher Art hat W. Ostwald jedoch in einer mehr übergreifenden Weise immer wieder auch auf den gesellschaftlich-kulturellen Wert der „Energie“ verwiesen. Bis heute ist deswegen sein Name mit dem energetischen Imperativ verbunden. Seine formale Übertragung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse in den kulturellen, sozialen und gesellschaftlichen Bereich führen ihn mitunter zu Anschauungen, denen man nur schwer folgen kann.

Während der 1. Hauptsatz der Wärmelehre als eine energetische Bilanzgleichung zu verstehen ist, wird durch den 2. Hauptsatz die Richtung natürlichen Geschehens und die besondere Spezifik der „Wärmeenergie“ herausgestellt. Die mit dem spontanen Verlauf natürlicher Prozesse verbundene „Abwertung“ von Energie bringt W. Ostwald mit der Dissipation in einen Zusammenhang. Auf ihre Wirkung ging er auch in seiner Rede „Das Problem der Zeit“ anlässlich der Einweihung des Physikalisch-chemischen Instituts an der Universität Leipzig am 3. Januar 1898 ein, in der er die Dissipation mit der Zeit und dem Richtungssinn natürlicher Vorgänge verbindet (irreversible Prozesse). Nicht zuletzt war es Max Planck, der Ostwald immer wieder darauf hingewiesen hatte, den irreversiblen Vorgängen eine größere Aufmerksamkeit zu widmen. M. Planck, der an der Festveranstaltung teilnahm, wird

²³ Ostwald, Wilhelm: Betrachtungen über die Dampfdrucke gegenseitiger löslicher Flüssigkeiten. In: Ann. d. Phys. u. Chem. N.F. 63 (1897), S. 336-341

²⁴ Ostwald, Wilhelm: Dampfdrucke ternärer Gemische. In: Abh. Königl. Sächs. Ges. der Wissenschaften 25 (1900), S. 413-453

²⁵ Ostwald, Wilhelm: Studien über die Bildung und Umwandlung fester Körper. In: Zeitschr. f. physik. Chem. 22 (1897), S. 289-330

²⁶ Symposium „100 Jahre Ostwaldsche Stufenregel“. In: Mitt. der W.-Ostwald-Gesellschaft zu Großbothen e.V. (1997), Nr. 4

sicher die nun von Ostwald entwickelte neue Sichtweise zustimmend zur Kenntnis genommen haben.

Ostwalds Auffassungen und Schlußfolgerungen zur Dissipation hat in jüngster Zeit Kurt Reiprich²⁷ analysiert und die Unzulässigkeit von formalen Übertragungen in den sozialen Bereich herausgestellt. Der Dissipationsbegriff ist bis in die Gegenwart Gegenstand thermodynamischer und sozialwissenschaftlicher Überlegungen geblieben (z.B. im Zusammenhang mit dissipativen Strukturen).²⁸

Von W. Ostwald stammt auch der Vorschlag, eine Maschine, deren Wirkungsprinzip gegen den 2. Hauptsatz der Thermodynamik verstößt, ein „Perpetuum mobile zweiter Art“ zu nennen.²⁹ Allerdings muß man betonen, daß Ostwalds Leistung in diesem Zusammenhang in einer gelungenen Wortschöpfung für einen thermodynamischen Sachverhalt und seiner Einordnung in übergreifende energetische Fragen besteht.

Ein „Perpetuum mobile erster Art“ würde Energie aus dem „Nichts“ schöpfen und damit im Widerspruch zum I. Hauptsatz der Wärmelehre stehen. Ein „Perpetuum mobile zweiter Art“ hingegen stände im Widerspruch zum II. Hauptsatz. Eine derartige Maschine würde einen „Wärmefluß“ von einem Reservoir mit der tieferen Temperatur zu einem Reservoir mit einer höheren Temperatur voraussetzen: Solch ein von selbst verlaufender Prozeß ist jedoch bisher nicht beobachtet worden.

Insbesondere mit dem Versuch, der Rankineschen Energiebetrachtung³⁰ und der Helmschen Energetik³¹ eine größere Bedeutung beizumessen, hat W. Ostwald selbst in die damit aufgeworfenen wissenschaftlichen Auseinandersetzungen eingegriffen. Dabei wirkte sich für ihn ohne Zweifel nachteilig aus, daß in der damaligen Ausbildung von Chemikern nicht tiefer in Probleme der höheren Mathematik eingeführt wurde. Ostwald befand sich daher gegenüber Physikochemikern, die ihrer fachlichen Herkunft nach Physiker waren (wie z.B. Planck, Boltzmann oder Nernst), in der mathematisch-analytischen Behandlung der Energetik in einer wesentlich ungünstigeren Position. Wie er auch an anderer Stelle freimütig zugegeben hat, war er sich dieser „Bildungslücke“ durchaus bewußt. Seine Neigung, diesen Mangel durch die Überbetonung von zumeist nicht zulässigen Analogiebetrachtungen und durch rhetorische Gewandtheit auszugleichen, war so nicht selten berechtigter Angriffspunkt seiner Kontrahenden. Auch in dem Energetiker Georg Helm (1851-1923; seit 1906 ordentlicher Professor für angewandte Mathematik am Polytechnikum in Dresden; heute Technische Universität) fand er keinen echten Mitstreiter, da dieser Ostwalds in die Naturphilosophie führenden Gedanken ablehnte. Das galt besonders für die Ostwaldsche These, nach der die „Materie“ eine Fiktion sei und letztlich nur die „Energie“ eine reale Existenzgrundlage haben sollte. Ostwalds Denken wurde zudem von dem Bemühen orientiert, bisher in der Denkgeschichte ungelöste Dualismen (z.B. zwischen „Leib“ und „Seele“, „Körper“ und „Geist“ beziehungsweise „Materie“ und

²⁷ Reiprich, Kurt: Das Ostwaldsche Dissipationsgesetz - pro und kontra. In: Mitt. der W.-Ostwald-Gesellschaft zu Großbothen e.V. (1996), Nr. 2, S. 51

²⁸ Prigogine, I.: Vom Sein zum Werden. 2. Aufl. München : Piper, 1980. - S. 89 ff.

²⁹ Ostwald, Wilhelm: Studien zur Energetik. Tl. 1. In :Zeitschr. f. physik. Chem. 9 (1892), Nr. 5, S. 367

³⁰ Rankine, William: On the General Law of the Transformation of Energie. In: Phil. Mag. 4. Ser. 5 (1853), Nr. 30, S. 106-117

³¹ vgl. Zeitschr. f. Math. u. Physik 35 (1890), S. 307

„Energie“) durch einen Monismus zu überwinden. So führte er in seinem „Lübecker Vortrag“ aus:

„Aber Sie werden nicht auf die Materie daneben verzichten wollen, denn die Energie muß doch einen Träger haben. Ich aber frage dagegen: warum? Wenn alles, was wir von der Aussenwelt erfahren, deren Energieverhältnisse sind, welchen Grund haben wir, in eben dieser Aussenwelt etwas anzunehmen, wovon wir nie etwas erfahren haben? Ja, hat man mir geantwortet, die Energie ist doch nur etwas Gedachtes, ein Abstractum, während die Materie das Wirkliche ist! Ich erwidere: Umgekehrt! Die Materie ist ein Gedankending, das wir uns, ziemlich unvollkommen, konstruiert haben, um das Dauernde im Wechsel der Erscheinungen darzustellen. Nun wir zu begreifen anfangen, dass das Wirkliche, d. h. das, was auf uns wirkt, nur die Energie ist, haben wir zu prüfen, in welchem Verhältniss die beiden Begriffe stehen, und das Ergebnis ist unzweifelhaft, dass das Prädicat der Realität nur der Energie zugesprochen werden kann.“³²

Dieser Vortrag löst bis in die Gegenwart Diskussionen aus. Er fand seinerzeit unter Naturwissenschaftlern wenig Resonanz. Auch ein von Ostwald in diesem Vortrag geforderter Verzicht auf die „Atomvorstellung“ hätte eine Vielzahl theoretischer Ansätze unmöglich gemacht, die bereits anerkannt waren (z.B. kinetische Gastheorie). Sicherlich hat der damalige übertriebener Hang zur „Reduktion“ von Erklärungsmodellen auf die Mechanik bewegter Teilchen diese Haltung Ostwalds ausgelöst.

So brachte der Versuch, den Dualismus zwischen „Materie“ und „Energie“ zu überwinden, Ostwald in eine schwierige Situation, die letztlich zu seiner „Isolation“ führte. Schließlich endete die Energetik, wie Max von Laue in seinem Buch „Geschichte der Physik“³³ schrieb, wie „manche Irrtümer infolge des Aussterbens ihrer Vertreter.“

Unmittelbar nach dem „Lübecker Vortrag“ haben L. Boltzmann³⁴ und M. Planck³⁵ Gegenartikel verfaßt.

3. Ostwald als Übersetzer und Herausgeber thermodynamischer Arbeiten

3.1. Thermodynamische Arbeiten in der Klassikerreihe

W. Ostwald begründete 1889 die nach ihm benannte Reihe „Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften“. Er war bis 1893 auch Herausgeber. Unter seiner Leitung erschienen in dieser Reihe insgesamt 92 Originalarbeiten, von denen 17 von ihm selbst kommentiert, mit Anmerkungen versehen, in einigen Fällen auch übersetzt wurden. Schon allein mit der Begründung der Klassikerreihe, die bis heute Quelle wichtiger originaler Arbeiten der Wissenschafts- und Kulturgeschichte ist, hätte sich W. Ostwald ein bleibendes Verdienst erworben.

³² Ostwald, Wilhelm: Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus. In: Verhandlungen der Ges. Dt. Naturforscher u. Ärzte. 67. Versammlung (1895), S.164

³³ von Laue, Max: Geschichte der Physik. 4. Aufl. Berlin : Ullstein, 1959. - S.100 (Ullstein Buch 222)

³⁴ Boltzmann, Ludwig: Ein Wort der Mathematik an die Energetik. In: Wiedemanns Ann. N.F. 57 (1896), S. 39

³⁵ Planck, Max: Gegen die neuere Energetik. In: Wiedemanns Ann. N.F. 57 (1896), S. 72

In der Reihe „Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften“ erschienen auch die drei für die wissenschaftliche Begründung der Thermodynamik fundamentalen Arbeiten von Carnot, Clausius und Mayer.

Ostwald selbst hat die Publikation von Sadi Carnot aus dem Jahr 1824 „Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen“ übersetzt (1. Auflage 1892), mit Anmerkungen versehen und als Heft 37 herausgegeben.

Für die in Wärmekraftmaschinen ablaufenden Kreisprozesse führte W. Ostwald die Bezeichnung „Maschinenkreisprozesse“ ein.

Auch die Originalarbeit von Rudolf Clausius aus dem Jahr 1850 „Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen“ erschien 1898 in der „Klassikerreihe“ (1. Auflage). Herausgeber war M. Planck.

Mit zwei Abhandlungen von Robert Mayer zur Mechanik der Wärme folgte 1911 - diesmal herausgegeben von A. J. von Oettingen - das dritte fundamentale Werk der Thermodynamik.

Einer der ersten, der thermodynamische Überlegungen auf chemische Vorgänge übertragen hat, war August Horstmann (1842-1903). Horstmann publizierte schon 1869 eine Arbeit mit dem Titel „Dampfspannung und Verdampfungswärme des Salmiaks“ (Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft zu Berlin).

Eine Würdigung erfuhr Horstmanns Wirken 1903 durch das Erscheinen des Heftes Nr. 137 „Abhandlungen zur Thermodynamik chemischer Vorgänge“.

3.2. Thermodynamische Studien von Josiah Willard Gibbs

Am 26. April 1887 schrieb W. Ostwald an J. W. Gibbs einen Brief, in dem er ihn um Mitarbeit in seiner „Zeitschrift für physikalische Chemie“ bittet.³⁶ Zugleich äußert er den Wunsch, thermodynamische Publikationen von Gibbs in Deutschland zu veröffentlichen. Nach einem längeren Briefwechsel stimmte Gibbs schließlich dem Vorhaben zu, und 1892 erschien das Buch „Thermodynamische Studien“ von J. Willard Gibbs beim Verlag von Wilhelm Engelmann in Leipzig in der Übersetzung von W. Ostwald.

Im Abschnitt „Definitionen und Eigenschaften der Fundamentalgleichungen“³⁷ werden die Größen Ψ (heute freie Energie f) und ξ (heute freie Enthalpie g) durch Umstellen der Fundamentalgleichung in der Energiedarstellung wie folgt gewonnen (es bedeuten in heute bevorzugter Schreibweise: t die Temperatur T , ε die innere Energie, η die Entropie, χ die Enthalpie, μ das chemische Potential):

„Für Massen, welche nur einem isotropen Zwang unterworfen sind, ist indessen eine Gleichung zwischen $\varepsilon, \eta, v, m_1, m_2, \dots, m_n$ eine Fundamentalgleichung.“

³⁶ Körber, Hans-G. (Hrsg.): Aus dem wissenschaftlichen Briefwechsel Wilhelm Ostwalds. Tl. 1. Berlin : Akademie-Verl., 1961. - S. 89

³⁷ Gibbs, Josiah W.: Thermodynamische Studien. Leipzig : Engelmann, 1892. - S. 102

Es sei

$$\Psi = \varepsilon - t \eta \dots \quad (87)$$

... wir erhalten hieraus durch Differentiation und Vergleichung mit (86)³⁸

$$d\Psi = - \eta dt - p dv + \mu_1 dm_1 + \mu_2 dm_2 + \dots + \mu_n dm_n \quad (88)$$

Wenn daher Ψ als Funktion von $t, v, m_1, m_2, \dots, m_n$ bekannt ist, können wir $\eta, p, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ ausgedrückt durch dieselben Veränderlichen, bestimmen.

Setzen wir alsdann für Ψ in unsere ursprüngliche Gleichung einen Werth aus Gleichung (87), so haben wir wiederum wie früher $n + 3$ unabhängige Beziehungen zwischen $2n + 5$ Veränderlichen. Es sei

$$\chi = \varepsilon + p v \quad (89)$$

dann folgt durch (86)

$$d\chi = t d\eta + v dp + \mu_1 dm_1 + \mu_2 dm_2 + \dots + \mu_n dm_n \quad (90)$$

Ist somit χ als Funktion von $\eta, p, m_1, m_2, \dots, m_n$ bekannt, so können wir $t, v, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ ausgedrückt durch dieselben Veränderlichen bestimmen. Durch Elimination von χ können wir wie früher $n + 3$ unabhängige Beziehungen zwischen den $2n + 5$ Veränderlichen erhalten. Es sei

$$\xi = \varepsilon - t \eta + p v \quad (91)$$

Und in dem Abschnitt „Ueber die Grössen Ψ, χ, ξ “³⁹ ist zu lesen:

„Die Grösse Ψ wurde für eine homogene Masse definiert durch die Gleichung

$$\Psi = \varepsilon - t \eta \quad (105)$$

Wir können diese Definition auf jedes beliebige materielle Gebilde ausdehnen, welches überall eine gleiche Temperatur besitzt. Vergleichen wir zwei Zustände des Gebildes von gleicher Temperatur, so haben wir

$$\Psi - \Psi' = \varepsilon' - \varepsilon - t(\eta' - \eta) \quad (106)$$

Nehmen wir an, daß das Gebilde aus dem ersten Zustande in den anderen ohne Aenderung der Temperatur und durch einen unkehrbaren Vorgang, bei welchem W die vom Gebilde gethane Arbeit und Q die empfangene Wärme ist, so haben wir

$$\varepsilon' - \varepsilon = W - Q \quad (107)$$

$$\text{und } t(\eta' - \eta) = Q \quad (108)$$

Hieraus folgt

$$\Psi - \Psi' = W \quad (109)''$$

Bemerkenswert ist, daß Gibbs die Änderung der freien Energie nur für isotherme Vorgänge diskutiert, obwohl das nicht zwingend aus dem mathematischen Formalismus für Zustandsgrößen folgt.

Allgemein gilt nämlich gemäß der Differentiationsregeln (mit heute üblichen Symbolen) für $f = u - Ts$:

$$df = du - T(s) ds - s(T) dT$$

Die Änderung der freien Energie ist, wie aus Gl. (88) im Zitat von Gibbs hervorgehen könnte, nicht automatisch an die Variablen T und v gebunden. Jeder Änderungsbetrag einer Zustandsgröße läßt sich grundsätzlich z.B. durch zwei beliebige intensive Variable eindeutig bestimmen.

Durch die Beschäftigung mit solchen Gleichungen wurde W. Ostwald in seiner Auffassung bestärkt, daß sich grundsätzlich Energieausdrücke durch das Produkt von

³⁸ Gl. (86) wurde von Gibbs in der Form entwickelt: $d\varepsilon = t d\eta - p dv + \mu_1 dm_1 + \mu_2 dm_2 + \dots + \mu_n dm_n$ (86)

³⁹ siehe FN 37, S. 106

zwei Faktoren darstellen lassen ($pv, Ts, \sigma A$). Er knüpfte an Überlegungen von Rankine und Helm an, die für solche Faktoren die Bezeichnung Intensitätsfaktor und Kapazitätsfaktor verwendeten. Wie W. Ostwald in seiner Selbstbiographie beschreibt, förderte die Übersetzungsarbeit sein energetisches Denken, und als Entstehungsjahr der Energetik gibt er 1892 an. Fortan versuchte Ostwald, das Denkprinzip der Aufspaltung der Energie in zwei Faktoren auf alle möglichen Energiearten zu übertragen. So bezeichnete er z.B. in der Gleichung $h = u + pv$ das Produkt pv als Volumenenergie mit der Intensitätsgröße p und der Kapazitätsgröße v . Die Volumenenergie war für ihn eine eigenständige Energieart (wie z.B. die mechanische Energie, die Wärmeenergie u.a.). Seiner Arbeit „Studien zur Energetik“⁴⁰ ist die nachstehende Zusammenstellung entnommen:

Energie	Kapazität	Intensität
A. Bewegungsenergie	Masse Bewegungsgröße	Geschwindigkeitsquadrat Geschwindigkeit
B. Raumenergie a. Distanzenergie b. Flächenenergie c. Volumenenergie	Strecke Fläche Volumen	Kraft Flächenspannung Druck
C. Wärmeenergie	Wärmekapazität oder Entropie	Temperatur
D. Elektrische Energie	Elektrizitätsmenge	Potential
E. Magnetische Energie	Menge des Magnetismus	Magnetisches Potential
F. Chemische Energie	Verbindungsgewicht	Chemisches Potential oder Affinität
G. Strahlende Energie	Absorptions- resp. Emissionsgröße	Intensität der Strahlung

Tabelle 2: W. Ostwalds Systematik von Energieformen

4. Zum Briefwechsel mit Max Planck und zur Notwendigkeit der Unterscheidung von Prozeßgrößen, Zustandsgrößen und ihren Änderungsbeträgen

In dem von H.-G. Körber⁴¹ herausgegebenen wissenschaftlichen Briefwechsel von W. Ostwald umfassen die Briefe 38 bis 71 die Korrespondenz mit M. Planck. In diesen Briefen werden vor allem thermodynamische Fragestellungen - meist kontrovers - angesprochen (z.B. zum Kern des 2. Hauptsatzes, zu reversiblen und irreversiblen Prozessen, zum Energiebegriff, zum Entropiebegriff, zur Volumenenergie u.a.).

Im Brief vom 27. April 1892 (Nr. 49) bedankte sich Planck für das Buch „Thermodynamische Studien“ von W. Gibbs, das gerade erschienen war und das ihm Ostwald überlassen hatte. Planck betont, daß ihm diese Lektüre Ostwalds Beweg-

⁴⁰ Ostwald, Wilhelm: Studien zur Energetik. Tl. 2. In: Zeitschr. f. physik. Chem. 10 (1892), Nr.3, S.369

⁴¹ Körber, Hans-G. (Hrsg.): Aus dem wissenschaftlichen Briefwechsel Wilhelm Ostwalds. Tl. 1. Berlin : Akademie-Verl., 1961. - S. 33 bis 69

gründe für sein energetisches Denken verständlicher gemacht hat. Er schreibt aber auch mit Bezug auf Publikationen von Ostwald:

„Indessen kann ich Ihnen nicht verhehlen, daß ich gegen Ihre Darstellung, u. zwar nicht bloß gegen die Zweckmäßigkeit, sondern gegen die Correktheit, schwere Bedenken hege. ...

Ein zweiter Punkt, der mir aufgefallen ist, u. den ich für nicht minder wichtig halte, ist folgender: Bei der Besprechung der Volumenenergie ertheilen Sie dieser Größe verschiedene Werthe, je nachdem der Druck constant oder variabel ist (p. 30 ff.). Sie scheinen also anzunehmen, daß die Volumenenergie gar nicht durch den augenblicklichen Zustand des Systems allein bestimmt ist, sondern außerdem noch davon abhängt, wie dieser Zustand geändert wird. Damit ist aber die Existenz der Volumenenergie überhaupt aufgehoben. Denn eine Energie ist eine Größe, die nur von dem augenblicklichen Zustand des Systems abhängt, nicht aber von der Art, wie das System in diesen Zustand gelangt ist, noch von der Art, wie es später seinen Zustand ändert. Auf dieser Eigenschaft der Energie beruht ihre ganze Bedeutung, ohne sie würde auch das Princip von der Erhaltung der Energie illusorisch. Will man also im Anschluß an Gibbs eine Volumenenergie definieren (wogegen ich jedoch die größten praktischen Bedenken hege) so kann das nur durch das Produkt - pv geschehen, nicht aber durch das Integral $-\int pdv$, welches überhaupt keine bestimmte

Funktion darstellt. Die Wichtigkeit der Unterscheidung zwischen solchen Größen, die durch den Zustand des Systems selber bestimmt sind (Energie), Entropie*), Volumen u.s.w.) u. solchen, die erst durch die Geschichte des Systems bestimmt sind (äußere Arbeit, Wärmetönung u.s.w.) hat sich seit Clausius ununterbrochen in der Wärmetheorie gezeigt.*

**) bis auf eine additive Constante, die nichts wesentliches ändert“*

In diesem Brief macht Planck darauf aufmerksam, daß es für ein Verständnis der Thermodynamik notwendig ist, zwischen Funktionswerten, den daraus hergeleiteten physikalischen Zustandsgrößen, einer Änderung von Zustandsgrößen sowie solchen Größen zu unterscheiden, deren Betrag von der Prozeßführung abhängig ist. Als Prozeßgrößen werden die Arbeit und die Wärmetönung direkt erwähnt. Sie sind demnach Größen zur Erfassung des Austausches von Energie, auf die der Formalismus für Zustandsgrößen nicht zutrifft.

Auch im Brief Nr. 68 vom 5. Oktober 1898 sprach sich Planck erneut gegen den Begriff „Volumenenergie“ aus, und er machte wieder auf den physikalischen Unterschied von $-pv$ und $-\int pdv$ aufmerksam, weil Ostwald für beide Ausdrücke die Bezeichnung „Volumenenergie“ benutzte.

Die mit dem Begriff „Volumenenergie“ verbundene Spezifik führt noch heute zu Verwirrungen im physikalischen Verständnis von pv .

So findet man im Lehrbuch „Physikalische Chemie“⁴² die Formulierung:

⁴² Schwabe, Kurt: Physikalische Chemie. Bd. 1. Berlin : Akademie-Verl., 1975. - S. 42

„Man definiert daher als neues Maß für den Energieinhalt die innere Energie abzüglich Volumenarbeit, die Enthalpie

$$h = u + pv.“$$

Hier ist das Produkt der Funktionswerte pv sogar als Arbeit bezeichnet, und es wird nicht zwischen dem „Absolutbetrag“ einer Größe und ihrer Änderung im Sinne von $d(pv) = vdp + pdv$ (Zustandsgröße, Prozeßgröße/Austauschgröße) unterschieden. Zugleich wird ein Verständnis dieser Formulierung erschwert, weil zusätzlich Vorzeichenkonventionen mitgedacht werden, die vor Angabe der Gleichung nicht direkt ausgesprochen sind. Ein anderes Beispiel lautet:⁴³

„Unter Enthalpie verstehen wir den Energieinhalt plus äußere Arbeit:

$$H = U + PV.“$$

Wegen solcher mathematisch „unsauberen“ Formulierungen bei W. Ostwald sah sich M. Planck auch zu seiner bereits erwähnten Publikation veranlaßt, die 1896 in Wiedemanns Annalen, N.F. Bd. 57 mit den Titel: „Gegen die neuere Energetik“ erschien. Sicher war diese Publikation auch eine Reaktion auf Ostwalds „Lübecker Vortrag“ (vgl. in diesem Heft S. 29). Bereits am 27. Dezember 1895 hatte Planck in einem Brief Ostwald das Erscheinen dieser Publikation angekündigt. Er schrieb weiter:

„Bei aller sachlichen Schärfe habe ich mich immer bemüht deutlich hervortreten zu lassen, daß ich gegen eine Richtung, und nicht gegen Personen kämpfe, unter Anderem dadurch, daß ich weder Ihren noch irgend eines Energetikers Namen in die Untersuchung verflochten habe.“

Natürlich ist der mit den Zustandsgrößen freie Energie f , freie Enthalpie g , innere Energie u und Enthalpie h verbundene mathematische Formalismus sehr abstrakt. Der Meinungsaustausch zwischen Planck und Ostwald macht zudem deutlich, daß ein mathematischer Formalismus noch keine physikalische Theorie ist. Denn es wäre z.B. durchaus möglich, das Produkt $-pv$ (großes Potential $\omega = -pv$) wie eine Zustandsgröße zu behandeln, da das Differential $d(pv)$ ein totales Differential ist. Für Planck gibt es jedoch Gründe, das nicht zu tun, die nicht aus dem mathematischen Formalismus, sondern aus dem physikalischen Sachverhalt kommen. Auf Begriffe wie Temperatur, Wärme, Arbeit, Energie und Entropie stößt man nicht einfach durch logisches Schließen, sondern in einem widersprüchlichen Prozeß, der Irrwege enthält und der natürlich vor allem auf Kreativität und Intuition beruht. Allerdings einmal aufgefunden, werden solche zentrale Begriffe in logische und mathematische Strukturen eingeordnet, und sie erlangen dadurch eine neuartige Qualität (z.B. wenn man erkennt, daß die Temperatur T in Verbindung mit dq integrierender Nenner ist und damit der Ausdruck dq/T mit einer neuen Zustandsgröße beziehungsweise ihrer Änderung, der man z.B. den Namen Entropie gab, in Zusammenhang gebracht werden kann). Insofern geht auch vom mathematischen Formalismus eine heuristische Wirkung aus. Die gewonnenen Ergebnisse müssen jedoch stets auf ihre physikalische Semantik hin analysiert werden.

Da die Begriffe „totales Differential“ und physikalische Zustandsgröße miteinander verknüpft sind, kann man andererseits mit Hilfe eines Kreisprozesse überprüfen,

⁴³ Kattaneck, S. und Grundke, E.: Technische Reaktionsführung. Chemische Thermodynamik. Lehrbrief 2. Magdeburg : Techn. HS, Abt. Fernstudium. 1963. - S. 20

ob dz das Differential einer Zustandsgröße ist, weil ihr Integral in einem Kreisprozeß den Wert „Null“ hat: $\oint dz = 0$.

Damit ist grundsätzlich die Möglichkeit gegeben, sich neben typischen Maschinenkreisprozessen, wie sie Ostwald in Verbindung mit Carnots Arbeit bezeichnete, auf dem mathematischen Formalismus des totalen Differentials beruhende Kreisprozesse auszudenken und für unterschiedliche Zwecke zu nutzen.

Angeregt durch die Kontroverse zwischen Ostwald und Planck haben die Autoren einen Modell-Kreisprozeß entwickelt, aus dem zur Verdeutlichung der Planckschen Kritik hier einige berechnete Werte wiedergegeben sind.

Er besteht, wie aus Abb. 3 zu ersehen ist, aus 5 (reversiblen) Teilprozessen, die zwischen jeweils 2 Nachbarpunkten der insgesamt 5 eingezeichneten Zustandspunkte verlaufen.

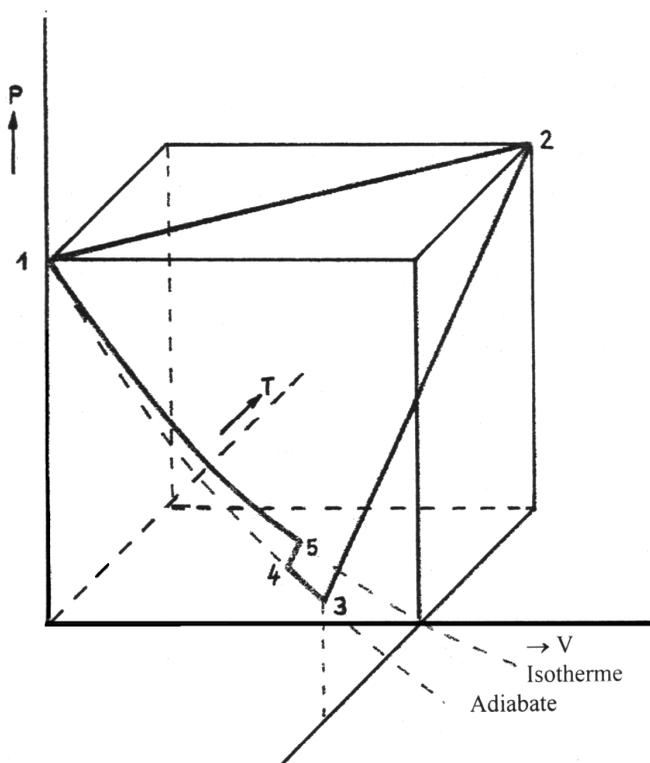


Abb. 3: Prinzipskizze des Kreisprozesses (nicht maßstäblich)

Als System wurde ein zweiatomiges Gas mit der Objektmenge $n = 0,3$ mol gewählt. Durch die Berücksichtigung der Translations- und Rotationsfreiheitsgrade für ein ideales, zweiatomiges Gas lassen sich um den nicht bekannten Zahlenwert der Konstanten u_0 korrigierte „absolute“ Beträge für die innere Energie berechnen:⁴⁴

$$u = 2,5 n R T + u_0$$

Da sich bei der Differenzbildung Δu zwischen den Absolutwerten für zwei Zustände des Systems die Konstante u_0 heraushebt, ist die Rechnung mit „korrigierten Absolutwerten“ zulässig. „Echte“ Absolutwerte kann man für die innere Energie nicht ermitteln.

Die Zustandsgrößen p , v und T sind für den jeweiligen Zustand (Zu. 1, Zu. 2, Zu. 3, Zu. 4, Zu. 5) in Tabelle 3 zusammengestellt. Die 5 Teilprozesse sind:

- Von Zu. 1 nach Zu. 2: Isobare Erwärmung
- Von Zu. 2 nach Zu. 3: Isochore Abkühlung bis zu dem Druck p_3 , der so gewählt ist, daß die Punkte 1 und 3 auf einer Adiabaten liegen
- Von Zu.3 nach Zu.4: Adiabatische Kompression auf v_4
- Von Zu.4 nach Zu.5: Isochore Erwärmung auf T_5 , so daß die Zustandspunkte 5 und 1 auf einer gemeinsamen Isothermen liegen
- Von Zu.5. nach Zu.1: Isotherme Kompression vom Volumen v_5 wieder auf v_1

Die entsprechend berechneten „absoluten“ Werte der einzelnen Zustandsgrößen für die Zustände 1 bis 5 enthält die Tabelle 3.

	Zustand 1	Zustand 2	Zustand 3	Zustand 4	Zustand 5
T in K	272,984	682,416	189,218	206,883	272,948
p in MPa	0,68090	0,68090	0,18878	0,25801	0,34044
v in 10^{-3} m^3	1,0	2,5	2,5	2,0	2,0
u in J	1702,3	4255,7	1179,9	1290,1	1702,3
h in J	2383,2	5957,9	1651,9	1806,1	2383,2
pv in J	-680,9	-1702,3	-472,0	-516,0	-680,9
s in J/K	17,749	25,748	17,749	17,749	19,478
f in J	-3142,9	-13316,6	-2178,4	-2381,9	-3614,9

Tabelle 3: Kennzeichnung der Zustände, der Absolutwerte und der fiktiven Absolutwerte für ausgewählte Zustandsgrößen; die Vorzeichen sind durch die systembezogene (egoistische) Konvention bedingt

Aus den Angaben der Tabelle 3 lassen sich für einzelne Teilprozesse die in der Tabelle 4 aufgeführten Differenzbeträge entnehmen.

⁴⁴ Messow, Ulf ; Krause, Konrad ; Quitzsch, Konrad: Zur Interpretation thermodynamischer Zustandsgrößen mit der Methode des Kreisprozesses. In: Zeitschr. f. Physik. Chem. N.F. 269 (1988), S. 433-440

	Δf	Δu	$-\int_A^E p(v)dv$	$-\int_A^E v(p)dp$
isobar 1-2	-10173,8	2553,4	-1021,3	0
isochor 2-3	+11138,2	-3075,7	0	1230,3
adiabatisch 3-4	-203,5	110,2	110,2	-154,2
isochor 4-5	-1233,0	412,2	0	-164,9
isotherm 5-1	+472,0	0	472,0	-472,0

Tabelle 4: Ausgewählte Werte für Differenzen der 5 Teilprozesse

Wie mit den Angaben nach Tabelle 4 nachzuprüfen ist, ergibt z.B. die Summe der Differenzwerte der freien Energie Δf sowie der innere Energie Δu über alle 5 Teilprozesse den Wert „Null“. Damit ist numerisch belegt, daß f und u Zustandsgrößen sind.

Die Summe für die „Arbeitsbeträge“ der Teilprozesse $-\int_A^E p(v)dv$ und $-\int_A^E v(p)dp$ ist jedoch von „Null“ verschieden, womit unser Zahlenbeispiel zeigt, daß die Plancksche Kritik berechtigt ist.

Zwischen $p v$ und $-p \int dv$ besteht eben ein grundlegender Unterschied.

„Will man also im Anschluß an Gibbs eine Volumenenergie definieren (wogegen ich jedoch die größten praktischen Bedenken hege)“, so schrieb Planck an Ostwald, „so kann das nur durch das Produkt $-p v$ geschehen.“

Aus Tabelle 4 geht auch hervor, daß die Änderung(!) der freien Energie $\Delta f = 442 \text{ J}$ mit der Volumenänderungsarbeit $-\int_A^E p(v)dv$ des isothermen Prozesses zahlenmäßig

übereinstimmt. Die anschauliche physikalische Interpretation der Differenz (!) der freien Energie mit diesem Arbeitsbetrag ist der Grund, warum man f bevorzugt auf isotherme Prozesse bezieht. Aber auch für nichtisotherme Prozesse ist grundsätzlich eine Berechnung von Δf möglich, die dann jedoch zu schwer interpretierbaren energetischen Ausdrücken führt:⁴⁵

$$\Delta f = n C_v (T_E - T_A) - T_E n C_v \ln T_E / T_A - s_A (T_E - T_A) - nRT \ln v_E / v_A$$

A: Anfangszustand

E: Endzustand

Ausschlaggebend für die Diskussion der berechneten Absolut- und Änderungsbeiträge der freien Energie für unterschiedliche Prozeßbedingungen (isobar, isochor, adiabatisch, isotherm) mit Hilfe des vorgeschlagenen allgemeinen Kreisprozesses war,

⁴⁵ ebenda, S. 438

neben der bekannten Volumenänderungsarbeit $dw = - p(v) dv$ auch von einer „Druckänderungsarbeit“ $dw = - v(p) dp$ auszugehen.

5. Freie Energie und Affinitätsbetrachtungen

Eine thermodynamische Problemstellung, mit der sich W. Ostwald in seiner wissenschaftlichen Arbeit ausführlich beschäftigt, war die Affinität. Allgemeine Fortschritte in den Erklärungsansätzen erlaubte der Begriff der freien Energie beziehungsweise der freien Enthalpie. Hermann von Helmholtz (1821-1894) führte in seinen „Vorlesungen über Theorie der Wärme“ in dem Kapitel „Die freie Energie und die Anwendung ihres Begriffes“ diese wie folgt ein.⁴⁶ Nach der auch heute noch üblichen Verknüpfung des ersten und zweiten Hauptsatzes heißt es (ϑ ist die Temperatur):

„Nun kann man weiterhin auch noch andere Auffassungen herleiten.

Auf beiden Seiten von (71) $dU = \vartheta dS - p dv$ werde addirt $S d\vartheta$, so folgt

$$dU + S d\vartheta = d(S \vartheta) - p dv$$

oder durch Zusammenfassung der vollständigen Differentiale, welche keinen weiteren Factor haben:

$$d(U - S\vartheta) = - p dv - S d\vartheta$$

Jetzt nehmen wir wieder die alten Urvariablen v und ϑ an, und führen eine neue Zustandsfunction ein durch die Bezeichnung:

$$H = U - S \vartheta \quad (72)''$$

Zur physikalischen Bedeutung der Änderung der freien Energie führt er an anderer Stelle aus:

„Lassen wir einen Körper sich von einem Anfangsvolumen v_o zu einem Endvolumen v_i isotherm ausdehnen, so ist die dabei geleistete äußere Arbeit, wie aus (73a) unmittelbar ersichtlich:

$$pdv = H_o - H_i \quad (74)$$

wo die beiden H -Werthe die constante Temperatur als Parameter enthalten.“

Und weiter heißt es:

„Die wichtigste Seite der Bedeutung von H ist die durch (74) gegebene, daß die Arbeit welche der Körper gegen äußeren Druck leistet, bei isothermen Aenderungen gleich ist der Abnahme von H

H ist die äußere Arbeitsfähigkeit bei isothermen Prozessen; die aus H gewonnene mechanische Arbeit ist unmittelbar verwandelbar in jede beliebige Form, der durch H repräsentierte innere Arbeitsvorrath des Körpers ist also ohne Temperaturänderung frei verwandelbar. H ist aber nicht die ganze innere Energie des Körpers, da diese gleich

$$U = H + \vartheta S;$$

es existiert also vielmehr noch ein anderer Theil ϑS der Gesamtenergie, welcher ohne Temperaturänderung nicht wirksam werden kann. Unter diesen Umständen habe ich geglaubt, dieses Verhältnis am besten bezeichnen zu können dadurch, daß

⁴⁶ von Helmholtz, Hermann ; Richarz F. (Hrsg.): Vorlesungen über Theorie der Wärme. Leipzig : Barth, 1903

ich für die Function H den Namen 'freie Energie des Körpers' gewählt habe; d.i. derjenige Theil, welcher ohne Temperaturänderung unmittelbar ins Leben treten, Veränderungen und mechanische Arbeit hervorbringen kann.“

Der von Helmholtz mit dem Attribut „frei“ versehene Energiebetrag kann natürlich, wie die isotherme Kompression vom Zustand 5 zum Zustand 1 im diskutierten Modellkreisprozeß zeigt, nur als prozeßbezogener Änderungsbetrag von f anschaulich verstanden werden.

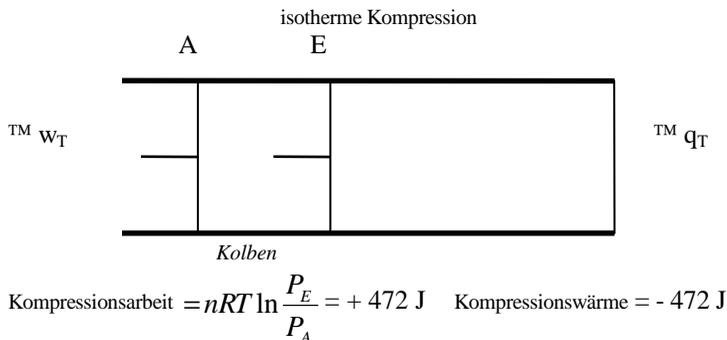


Abb. 4: Darstellung der isothermen Kompression vom Zustand 5 (Ausgangszustand) zum Zustand 1 (Endzustand)

$$f_1 - f_5 = - 3142,9 \text{ J} - (- 3614,9 \text{ J}) = \Delta f = + 472 \text{ J} = w_T$$

$$T_{S1} - T_{S5} = 4845,2 - 5317,2 = T \Delta S = - 472 \text{ J}$$

Die zentrale Bedeutung der freien Energie und der freien Enthalpie für den Chemiker ist durch die Möglichkeit einer Vorhersage des Reaktionsablaufes und der Verknüpfung von $\Delta_R G^0$ mit der Gleichgewichtskonstanten K gegeben. In einer der ersten Arbeiten zu dieser Thematik wies Ostwald die Übereinstimmung der chemischen zu der entsprechenden „elektrischen“ Gleichgewichtskonstanten nach.⁴⁷

Carl Knüpfper fertigte im Zweiten chemischen Laboratorium im Jahre 1898 bei Bredig/Ostwald zudem eine Dissertation „Chemisches Gleichgewicht und elektromotorische Kraft“ an. Er belegte die Identität der analytisch oder elektrisch bestimmbar Gleichgewichtskonstanten.⁴⁸

Während seiner Assistentenzeit bei Ostwald verfaßte Max Bodenstein (1871-1944) eine Arbeit, die bis heute grundlegend für die moderne Affinitätsauffassung ist. Er schrieb zur physikalischen Bedeutung der freien Energie im Zusammenhang mit der Affinität 1904:⁴⁹

⁴⁷ Ostwald, Wilhelm: Die Dissociation des Wassers. In: Zeitschr. f. physik. Chem. 11 (1894), Nr. 4, S. 521-528

⁴⁸ Knüpfper, Carl: Chemisches Gleichgewicht und elektromotorische Kraft. Leipzig, Univ. Philos. Fak., Inaug.-Diss. 1898

⁴⁹ Bodenstein, Max: Reaktionsgeschwindigkeit und freie Energie. In: Zeitschr. f. physik. Chem. 49 (1904), S. 61

„Für die treibende Kraft ein Mass zu finden, ist allerdings wahrscheinlich nicht sehr schwierig; wir wissen dass eine chemische Reaktion nur in dem Fall stattfindet, wenn sie mit der Abnahme der freien Energie der verschwindenden Stoffe verbunden ist. Dies ist nur gegeben durch:

$$RT \ln \frac{c_a^{n1} c_b^{n2}}{c_a^{n1'} c_b^{n2'}} - RT \ln K$$

Die freie Energie, oder vielmehr eine ihr proportionale Intensitätsgrösse, ist demnach ein Mass für die treibende Kraft der chemischen Vorgänge, und die einzige noch etwa zu diskutierende Frage wäre die, ob die Form - $RT \ln K$ oder irgend eine abgeleitete die zweckmässigste in der Praxis sei.“

Generell setzt sich die freie Reaktionsenthalpie aus verschiedenen reaktionsbezogenen Arbeitsbeträgen zusammen.

Nur in dem Sonderfall der isothermen Expansion oder Kompression entsprechen Arbeitsbeträge der Änderung der freien Energie oder der freien Enthalpie.

Grundsätzlich kann aber die Affinität einer Reaktion nicht allein aus Volumenänderungen bestimmt werden, wie dies Wilhelm Ostwald in seinen frühen Arbeiten versuchte.

Bei isotherm und isobar geführten Reaktionen wird die freie Reaktionsenthalpie allein durch die „chemische Massenwirkung“ der Reaktionsteilnehmer in Form des Exponentialausdruckes $RT \ln Q_{\text{ungl.}}$ bestimmt, der sich während des Reaktionsverlaufs stetig ändert und unter Gleichgewichtsbedingungen zum Zahlenwert der anschaulichen Gleichgewichtskonstanten führt, mit der die freie Standardreaktionsenthalpie auch zahlenmäßig zugänglich ist.

Gesellschaftsnachrichten

Wir gratulieren:

- **zum 90. Geburtstag**
Herrn Prof. emer. Dr. Georg Brauer, Freiburg
- **zum 75. Geburtstag**
Herrn Prof. emer. Dr. Hans-Joachim Bittrich, Merseburg
- **zum 65. Geburtstag**
Herrn Prof. Dr. Konrad Quitzsch, Leipzig

Wenn diese Angaben unvollständig sind, bitten wir um Entschuldigung. Leider liegen dem Vorstand nicht alle Geburtsdaten vor.

Wir begrüßen als neues Mitglied

Herrn Dipl.-Ing. Volker Jonas, Leipzig

Ausgetreten ist

Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Claus Bode, Leipzig

Veranstaltungsankündigungen

- **28. März 1998** 14 Uhr 34. Großbothener Gespräch
Organische Ferromagnete - Wunsch oder Realität?
Referent: Herr Prof. Dr. Egon Fanghänel, Universität Halle-Wittenberg
- **30. Mai 1998** 14 Uhr
Anfänge der physikalischen Chemie und heutige Nukleinsäureforschung
Referent: Herr Prof. Dr. Löber, Jena

Die Veranstaltungen finden auf dem Landsitz „Energie“ in 04668 Großbothen, Grimmaer Str. 25 statt.

Sonstiges

Am 19. Januar 1998 fand auf dem Landsitz „Energie“ in Großbothen ein Treffen führender Vertreter sächsischer Hochschulen und des Staatsministeriums für Wissenschaft und Kunst des Freistaates Sachsen zur künftigen Nutzung des Landsitzes als Tagungsstätte der sächsischen Universitäten und Hochschulen statt. Es wurden die weiteren Verfahrensschritte und Vorschläge zur Erweiterung der Kapazität beraten. Eine nächste Gesprächsrunde ist Mitte März vorgesehen.



Am 9. Januar 1998 verlieh der Rektor der Universität Leipzig, Herr Prof. Dr. Bigl, dem Institut für Physikalische und Theoretische Chemie anlässlich des hundertjährigen Jubiläums seiner Gründungsfeier den Namen „Wilhelm Ostwald“.

In diesem Zusammenhang publizierte die Zeitschrift der Universität Leipzig in der Rubrik FORUM ihrer Februar-Ausgabe 1998 unter der Überschrift „Pro und Kontra Wilhelm Ostwald“ folgenden Beitrag:

Nachdem bereits der Senat in seiner Sitzung am 8. April 1997 seine Zustimmung gegeben hatte, beschloß das Konzil der Universität Leipzig auf seiner Sitzung am 22. Oktober 1997 (bei einer Gegenstimme und zwei Stimmenthaltungen) auf Antrag der Fakultät für Chemie und Mineralogie die Verleihung des Namens „Wilhelm Ostwald“ an das Institut für Physikalische und Theoretische Chemie zu dessen 100. Gründungsfeier (s. auch den Beitrag von K. Krause und U. Messow im Heft 7/97). Da vor der Entscheidung des Konzils keine Argumente, welche gegen eine solche Namensgebung sprechen würden, vorgebracht wurden, hatte Altmagnifizenz

Weiss in einem Gespräch mit Prof. Dr. Kurt Nowak, Institut für Kirchengeschichte, angeregt, diese Gegenstimme in einem Beitrag für die Diskurs-Rubrik FORUM der Universitätszeitschrift hörbar (lesbar) zu machen. Ein entsprechendes Manuskript von Prof. Nowak lag dann Mitte November 1997 vor mit der ausdrücklichen Zustimmung des Autors, den Text vor der Drucklegung dem mit der Namensverleihung direkt befaßten Personenkreis zur Kenntnis zu bringen. Als Fachvertreterin hatte der neugewählte Rektor Prof. Dr. Bigl, Frau Prof. Dr. Ortrun Riha, Direktorin des Karl-Sudhoff-Institutes für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften, um Stellungnahme gebeten.

Nach dieser Einführung brachte die Universitätszeitschrift den Beitrag Prof. Dr. Kurt Nowaks: „Wilhelm Ostwald - Von der Chemie zum Gehirn der Welt“ und daran anschließend einen Beitrag von Frau Prof. Dr. Ortrun Riha: „Im Kontext eines allgemeinen Fortschrittsglaubens“.



Die „Chemische Technik“ widmet ihr Heft 6/1997 der 100. Wiederkehr der Gründung des „Physikalisch-chemischen Instituts“ und des „Laboratoriums für angewandte Chemie“ der Universität Leipzig.



Aus gegebenem Anlaß möchte der Vorstand der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft nochmals darüber informieren, daß die Herausgebervereinbarung zwischen der Ostwald-Gesellschaft und der fuchs-informationsaufbereitung und -verbreitung Leipzig einen ermäßigten Bezugspreis der Zeitschrift „Chemische Technik“ für unsere Mitglieder vorsieht. Interessenten wenden sich bitte direkt an die Redaktion: fiav, Coppistr. 4a, D-04129 Leipzig.

Autorenverzeichnis

Prof. Dr. habil. Jan Peter Domschke
Hochschule für Technik und Wirtschaft
Mittweida
Technikumsplatz 1
09648 Mittweida

Prof. Dr. habil. Konrad Krause
Thaerstr. 48
04120 Leipzig

Prof. Dr. Ulf Messow
Universität Leipzig
Inst. f. theoret. u. physik. Chemie „Wilhelm Ostwald“
Linnéstr. 2
04103 Leipzig



LANDSITZ ENERGIE

Großbothen/Sachsen

des sächsischen Nobelpreisträgers

Wilhelm Ostwald

- seit 90 Jahren ein Ort kreativen Arbeitens

Sie finden beste Arbeitsbedingungen für:

- Seminare
- Trainings
- Tagungen
- Workshops
- Klausurtagungen
- Studienaufenthalte

Die Tagungsstätte
Haus „Glückauf“

bietet Ihnen modern ausgestattete Arbeitsräume und Gästezimmer (7 Einzel- und 3 Doppelzimmer) für mehrtägige Besprechungen in kleinerem Kreis.

Die Tagungsstätte
Haus „Werk“

eignet sich mit seinem großen Veranstaltungsraum (für ca. 60 Personen), zwei Seminarräumen und einer Cafeteria besonders für Tagesveranstaltungen.

Die beiden Tagungshäuser liegen in einem weitläufigen, abwechslungsreichen Park und zeichnen sich durch persönliche Atmosphäre, unaufdringlichen Komfort und ein historisches Ambiente aus.

Unsere Gäste schätzen diese Abgeschiedenheit für ungestörtes Arbeiten und kommen gern wieder.

Bei Bedarf können Gästezimmer im Ort vermittelt werden.

Wir empfehlen Ihnen auch einen Besuch der musealen Räume im
Haus „Energie“

Rufen Sie an: Dr. Hansel, Tel.: 034384/7 12 83

e-mail-Adresse: ostwald.energie@t-online.de

Internet-Adresse: <http://wilhelm-ostwald.de>

Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft zu Großbothen, Grimmaer Str. 25, 04668 Großbothen

Ostwald ~ Gedanken

Energie ist Arbeit
und alles, was aus Arbeit entsteht.



Der energetische Imperativ
ist auf alle ethischen Probleme anzuwenden.
Die brennendste Frage unserer Zeit: die Frage des Pazifismus. ...
Der gegenwärtige Zustand des bewaffneten Friedens ist
ein unhaltbarer, allmählich unmöglich werdender Zustand.
Er fordert von den einzelnen Nationen ungeheure Opfer,
welche die Ausgaben für Kulturzwecke bedeutend übertreffen,
ohne, daß dadurch irgendwelche
positiven Werte gewonnen werden ...
Denn der Krieg ist ... von allen möglichen Mitteln,
Willensgegensätze aufzulösen, das unzweckmäßigste,
ist die schlimmste Energie-Vergeudung.
Die Philosophie der Werte, Verlag Kröner, S. 312



Wissenschaftliche Sprache -
ein technisches Problem im höchsten Sinne ...
wichtigstes Verkehrsmittel,
nach geringstem Energieaufwand zu entwickeln.
Das große Elexier, 1920, S. 81



Wenn wir Energie brauchen -
und es gibt in der ganzen Welt keinen Vorgang,
bei dem wir sie nicht brauchten -,
so müssen wir sie irgend woher nehmen
und sie mit Arbeit oder Geld
(kapitalisierter Arbeit)
bezahlen.