Königl. Kaiser Wilhelms-Gymnasium mit Realgymnasium
in Trier.
Wissenschaftliche Beilage zum Jahresbericht 1909/10.

Energie, Entropie, Weltanfang, Weltende.

Von

Prof. Dr. Kaspar Isenkrahe.

Trier.
Buchdruckerei von Jacob Lintz.
No. 644. 1910.

9tr
8 (1910)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Königl. Kaiser Wilhelms-Gymnasium mit Realgymnasium
in Trier.
Wissenschaftliche Beilage zum Jahresbericht 1909/10.

Energie, Entropie, Weltanfang, Weltende.

Von

Prof. Dr. Kaspar Isenkrahe.

Bibliothek des Städt. Gymnasiums * Düsseldorf *

Trier.
Buchdruckerei von Jacob Lintz.
No. 644. 1910.

644a

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

UNIVERSITÄTS- UND LANDESBIBLIOTHEK DÜSSELDORF

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Inhalt.

		Seite
I.	Einleitendes	5
II.	Das Unveränderliche in der Natur	6
III.	Die Energie und ihre Faktoren	9
IV.	Entropie	13
V.	Der Intensitätsfaktor der Energie	17
VI.	Erste notwendige Voraussetzung bei Benutzung des Entropieaguments	22
VII.	Zweite notwendige Voraussetzung	25
VIII.	Dritte notwendige Voraussetzung	29
IX.	Vierte notwendige Voraussetzung	36
X.	Schluß auf das Weltende. Asymptote	42
XI.	Schluß auf den Weltanfang. Gefahr einer „petitio principii“	46
XII.	Geometrische Veranschaulichung	49
XIII.	Veranschaulichung durch analytische Ableitungen	52
XIV.	Drei Beweisführungen zur Ausschaltung des vierten Falles	56
XV.	Die Beweisführung Dressel's	65
XVI.	Fünfte und sechste notwendige Voraussetzung. Schluß	75
	Literaturverzeichnis	79

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

I. Einleitendes.

Der als hervorragender Physiker bekannte Jenenser Professor Felix Auerbach hat vor einiger Zeit unter dem Titel: „Die Weltherrin und ihr Schatten" einen Vortrag über Energie und Entropie veröffentlicht, den er mit folgenden blühenden Sätzen einleitet:

„Ueber allem, was sich im unendlichen Raume, im Strome der dahinfließenden Zeit abspielt, thront die Energie als Göttin, als Königin, hier gebend und dort nehmend. Wahllos, in lauterster Gerechtigkeit, übt sie allenthalben ihre Macht aus; das winzige Stäubchen und den genialen Menschen bestrahlt sie mit ihrem ruhigen, sich ewig gleichbleibenden Glanze. — Wo aber Licht ist, da ist auch Schatten: und der Schatten, den die Weltherrin Energie hinter sich wirft, ist tief und schwarz, vielgestaltig und vielbeweglich. Es ist, als ob er ein selbständiges Leben hätte, als ob er sich gar anmaßte, seinerseits die Welt zu regieren, und wahrlich nicht in demselben Sinne, wie die Energie. Bei seiner Betrachtung kann man eine trübe Ahnung nicht bemeistern: der Schatten ist der böse Dämon, der zu beeinträchtigen, wenn nicht gar zu verderben suchen wird, was der strahlende Dämon in das Dasein an Großem, Schönem und Gutem hineinzutragen sich bemüht. Wir nennen den bösen Dämon Entropie, und es hat sich herausgestellt, daß er wächst und wächst, daß er langsam aber sicher seine bösartigen Tendenzen entfaltet. Welche Beruhigung — so muß man fragen — kann uns die Verfassung (d. h. das Gesetz von der Erhaltung der Energie) gewähren, wenn ohne Unterlaß Kräfte tätig sind, um sie zu untergraben? Was kann die Energie auf die Dauer nutzen, wenn ihr Schatten, je mehr die Welt fortschreitet, je mehr es Abend wird auf Erden, länger und länger wird, um schließlich alles in finstere Nacht zu hüllen? — Wir alle stehen unter dem Schutze der Energie, und wir alle sind dem schleichenden Gifte der Entropie preisgegeben. Sollte es nicht auch für uns, an welchem Teile des Weltgebäudes, an welchem Teile des Menschheitsideales wir auch tätig sein mögen, die Mühe lohnen, uns mit dem Wesen jener beiden Dämonen vertraut zu machen, uns ihr Wirken näher zu betrachten? . . ." —

In der Tat muß man diese „Betrachtung" als eine in hohem Grade interessante und mühelohnende ansehen, um so mehr noch deswegen, weil zu dem hier betonten naturwissenschaftlichen Interesse an dem „Wesen" der Energie und Entropie ein anderes, weit stärkeres hinzugetreten ist, nämlich das religiöse.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die christliche Apologetik hat sich insbesondere der Entropie bedient, um aus einem gewissen, auf die Entropie bezüglichen Lehrsatze der mechanischen Wärmelehre Schlüsse zu ziehen auf Anfang und Ende der Welt, und hieraus wieder weitere Schlüsse auf das Dasein und Wirken eines außerweltlichen Schöpfers. — Wie nicht anders zu erwarten, haben solche apologetische Bemühungen viele Reden hin und her, für und gegen im Gefolge gehabt. Dabei führten ungenügende Kenntnis der physikalischen Tatsachen, Mißverständnisse, vorgefaßte Meinungen und voreilige Hast zu mancherlei bedauerlichen Irrtümern, die auf den erstrebten Zweck nur schädigend einwirken konnten. Schon bezüglich der Grundfrage, ob das sogenannte „Entropieargument" im Dienste der Apologetik überhaupt exakt verwendbar sei, standen die extremsten Parteivertreter sich so schroff gegenüber, daß hüben mit entschiedenem „ja!", drüben mit ebenso entschiedenem „nein!" geantwortet wurde.[1]) Nachdem ich früher schon einige Male Anlaß gehabt, in Bezug auf gewisse Einzelheiten in den apologetischen Beweisführungen mancherlei wichtige Bedenken zu begründen, möchte ich nunmehr in einer besonderen Abhandlung die physikalischen Voraussetzungen untersuchen, unter denen der Entropiebeweis möglich erscheint.

II. Das Unveränderliche in der Natur.

„In der Erscheinungen Flucht den ruhenden Pol" zu suchen, Beharrendes, Unveränderliches zu entdecken in der unermeßlichen Fülle des Veränderlichen: dieses Streben hat allezeit die wichtigste Aufgabe und zugleich den größten Reiz der exakten Naturwissenschaften ausgemacht. Hochbedeutsame Erfolge dieser Bemühungen liegen vor auf drei verschiedenen Gebieten.

Eine erste Großtat war Galileis Entdeckung des mechanischen Beharrungsgesetzes; erst hiermit begann die theoretische Naturlehre sich zu einer „exakten" Wissenschaft zu entwickeln. Dieses Gesetz räumte mit dem alters her vererbten Irrtum auf, daß jedem bewegten Körper das Streben zur Ruhe innewohne, und daß er demnach, sich selbst überlassen, auch von selbst zur Ruhe komme. — Entschuldbar freilich war jene Täuschung, denn sie beruhte auf einer augenscheinlichen und allgemeinen Erfahrung. Aber, wie es in so vielen Hinsichten geschehen ist, diese Erfahrung stützte sich auf oberflächliche, durchaus ungenügende Beobachtungen und erwies sich bei schärferer Aufmerksamkeit als falsch. Da wurde denn das alte sogenannte „Trägheitsgesetz" durch das seitdem fruchtbarste aller mechanischen Prinzipien ersetzt, welches aussagt: Jede bewegte Masse zeigt, sich selbst über-

[1]) Über den Streit der Meinungen findet man interessante Äußerungen z. B. bei P. Dressel: „Der Gottesbeweis auf Grund des Entropiesatzes" in den „Laacher Stimmen" 1909, S. 150 ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

lassen, durchaus kein Streben zur Ruhe, sondern beharrt in ihrem Bewegungszustande; sie behält nämlich sowohl die Richtung als auch die Geschwindigkeit ihres Ortswechsels bei, und nur durch Gewalt kann sie zur Ruhe, kann sie überhaupt zu irgend welcher Aenderung ihres Bewegungszustandes gebracht werden.

Daß diese Grundeigenschaft der Beharrung im Bewegungszustande noch so sehr oft mit dem Namen „Trägheit" (vis inertiae) und das darauf bezügliche Gesetz mit dem alten Namen „Trägheitsgesetz" bezeichnet wird, ist bedauerlich wegen der mannigfachen Fehlschlüsse, zu denen diese Benennung Anlaß gegeben hat. Das Wort „träge" ist zu sehr der Mißdeutung[1]) ausgesetzt. Wird einem Objekt oder Subjekt als kennzeichnende Eigenschaft die „Trägheit" zugeschrieben, so neigt man zweifellos eher zu der Annahme, es strebe nach Ruhe, als sich zu denken, es ließe sich von seiner vorhandenen Bewegungsschnelligkeit und Bahnrichtung nur mit Gewalt abbringen. Man sollte deswegen den mißverständlichen Namen vermeiden und das Gesetz bei jeder Erwähnung nur als das „Beharrungsgesetz der Mechanik" bezeichnen. —

Aus dieser einmal festgelegten mächtigen Wurzel nun keimte später die Entdeckung noch anderer mechanischer Beharrlichkeiten heraus, z. B. das Gesetz von den sogenannten „freien Achsen", welches uns die

---

[1]) Gutberlet's Äußerung („Der Kosmos," Paderborn 1908, S. 23): „Das Lebendige ist allerdings nicht wie der tote Stoff dem Trägheitsgesetz unterworfen; das Leben besteht gerade in der Selbstbewegung" ist mindestens sehr mißverständlich. Denn auch das Lebendige ist dem Trägheitsgesetz unterworfen. — Warum stürzt ein lebendiger Kutscher kopfüber vom Bock, wenn die scheu gewordenen Pferde mit dem Wagen gegen einen Chausseebaum gerannt sind? Ist das etwa „Selbstbewegung," hervorgegangen aus einer Betätigung seines „Lebens"? Gewiß nicht! Die Peitsche flog auch mit und war doch nichts Lebendiges. Lediglich aus „Trägheit" ist der Kutscher mitsamt der Peitsche und mitsamt dem Sitzkissen nach vorn herausgeflogen. Lebendes und Totes behielt die Richtung und Geschwindigkeit der Bewegung, die der Wagen und sein Inhalt hatte, solange bei, bis der Baum oder der Erdboden dieselbe zwangsweise vernichtete oder wenigstens veränderte. — Solche Gründe oder Anlässe zur Abänderung der Folgen des einfachen Beharrungsgesetzes brauchen aber nicht immer außerhalb, wie das beim Chausseebaum der Fall ist, sie können auch innerhalb eines bewegten Körpers selbst liegen, und zwar nicht minder bei toten als bei lebenden Objekten. Eine angeheizte Lokomotive, die unglücklicherweise führerlos fährt, eine abgeschossene Bombe, die mit Zeitzünder versehen ist, eine Höllenmaschine mit aufgezogenem Uhrwerk usw. sind tote Dinge, die dem „Trägheitsgesetz" unterworfen sind und doch in sich selbst die mechanischen und chemischen Gründe tragen, zufolge deren die Wirkung dieses Gesetzes unter Umständen verändert wird. So sind auch die lebendigen Körper dem Trägheitsgesetz unterworfen und tragen in sich die Gründe, zufolge deren die Wirkung dieses Gesetzes unter Umständen verändert wird. Ob bei den lebenden Körpern diese Gründe ebenfalls bloß physikalischer und chemischer, oder aber von noch anderer Art sind, das ist eine Sache für sich. Eben darin besteht die bekannte Streitfrage, die sich an den Begriff des „Vitalismus" knüpft. Auch das heiß umfochtene „Willens-Problem" streift daran an. Die allgemeine Herrschaft des „Trägheits-" oder Beharrungsgesetzes jedoch wird nicht umgestoßen durch die Tatsache, daß es im Reiche der leblosen sowohl wie der belebten Natur Kraftantriebe gibt, die seine Folgen bei einzelnen Körpern unter Umständen abändern oder aufheben können.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

regelmäßige Wiederkehr der Jahreszeiten erklärt und zur Erfindung des „Kreiselkompasses“ geführt hat. Sodann der berühmte Satz von der Erhaltung der Schwingungsebene, der es Foucault ermöglichte, die Richtigkeit des Kopernikanischen Weltsystems durch einen physikalischen Versuch im geschlossenen Raume nachzuweisen.

Ein zweites Reich des Unveränderlichen wurde durch Lavoisier eröffnet, als er die Chemie unter die Herrschaft der Wage stellte und erstere damit zu einer exakten Wissenschaft heranbildete. Er begründete den Satz: die Summe des Stoffes im Weltall bleibt stets dieselbe; oder in anderer Form: durch keinen natürlichen Vorgang wird Materie erzeugt oder vernichtet. — Mehr als ein Jahrhundert ist seit Lavoisier's — bekanntlich schrecklichem — Ende verflossen. Naturforscher aller Länder haben den Satz von der „Konstanz der Masse“ nachgeprüft und in Millionen von Versuchen bestätigt gefunden. — Stellten sich denn niemals irgend welche Abweichungen heraus?

Im Jahre 1893 wurden von Landolt Berichte veröffentlicht über Versuche, bei denen eine Gewichtsverminderung der an gewissen chemischen Vorgängen beteiligten Substanzen gemessen worden war. Diese unter Beobachtung aller wissenschaftlich begründeten Vorsichtsmaßregeln wiederholt angestellten Experimente hat Heydweiler 1901 fortgesetzt und ist zu gleichen Ergebnissen gekommen. Das große Aufsehen, welches die Aussagen beider Forscher allgemein erregten, forderte zu einer Erklärung der beobachteten Tatsachen auf. Man hat eine solche aber nicht finden wollen in der Annahme, daß bei den angestellten Versuchen Masse vernichtet worden sei, sondern glaubt eher, daß „irgend welche bei der Reaktion ins Spiel tretende Kräfte die Schwerkraft beeinflußt haben“ [1]) — falls nicht schließlich doch etwaige Beobachtungsfehler oder möglicherweise die Durchlässigkeit des Glases für gewisse Gase an dem so gänzlich unerwarteten Ergebnis die Schuld tragen. Die Konstanz der Stoffmenge in der Welt gilt also noch immer als eine genügend sichere Tatsache.

Das dritte Objekt, bei dem man die Unveränderlichkeit, und zwar die der Gesamtmenge, ermittelt zu haben glaubt, wird mit dem Namen

---

[1]) So Auerbach a. a. O. S. 44. Gutberlet bringt in seinem „Kosmos“ S. 14 ff. einen längeren von Hermes in der N. Fr. Presse 1906, 19. Juli veröffentlichten Bericht über die Experimente von Landolt u. Heydweiler sowie über die Erklärungsversuche derselben. — Das Gegenteil des Verschwindens, nämlich die Entstehung neuer Materie haben einige annehmen zu müssen geglaubt, als von der Emanation des Radiums zuerst verlautete. Auch bei dem sogenannten „Januariuswunder“ in Neapel (vergl. Sperindeo, G. Dr. „Il miraculo di s. Gennaro“ S. 63) hat man von einer Aufhebung des Gesetzes von der Konstanz der Materie gesprochen, weil dort beobachtet wurde, daß ein in gläsernem Gefäß aufbewahrter Stoff zu bestimmten Zeiten sein Gewicht vermehrte. Indessen wird hierbei auch der Platzwechsel einer gewissen Substanz behauptet. Und daß die objektive Tatsache, um welche es sich dort handelt, überhaupt unter Beobachtung aller nötigen Vorsichtsmaßregeln und möglichster Fernhaltung von Fehlerquellen festgestellt sei, kann meines Erachtens bis jetzt noch nicht als sicher angenommen werden.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

„Energie“ bezeichnet. Was das Wort bedeutet, erklärt Chwolson[1]) durch den Satz: „Wenn ein Körper oder eine Gruppe von Körpern fähig ist, Arbeit zu leisten, so sagen wir, daß sie Energie besitze.“ — Weil diese Größe und die daran anzuknüpfenden Erwägungen für den Zweck der vorliegenden Schrift von ganz besonderer Wichtigkeit sind, so erfordern sie einen Abschnitt für sich.

III. Die Energie und ihre Faktoren.

Ueber die Energie findet man vornehmlich drei Aussagen aufgestellt, nämlich:

1) Die Energie eines Körpers oder eines Systems von Körpern ist eine eindeutige und stetige Funktion seines Zustandes, d. h. der Gesamtheit derjenigen physikalischen Eigenschaften, welche durch die gegenseitige Lage und Geschwindigkeit aller seiner Teile bestimmt werden.

2) Energie kann weder entstehen noch vergehen; jedoch kann die Energie von einer Form in eine äquivalente Menge von Energie einer anderen Form verwandelt werden.

3) Die Uebergänge von Energie aus einer Form in eine andere können nicht alle in gleicher Vollständigkeit vor sich gehen, sondern sind an gewisse Bedingungen geknüpft.

Als verschiedene Formen der Energie werden angeführt u. a. die mechanische, optische, akustische, elektrische, magnetische, thermische und chemische. Man teilt sie in zwei große Klassen, in die kinetische oder aktuelle und die statische oder potentielle Energie. Vielfach ist aber auch schon die Ansicht ausgesprochen worden, es sei „wahrscheinlich, daß eine potentielle Energie in der Welt überhaupt nicht existiert, daß es nur eine Energie der Bewegung (also die kinetische) gebe, und daß in allen Fällen, wo das Vorhandensein von Energie uns von einer bestimmten Anordnung der Körper abzuhängen (also die Energie statisch, potentiell zu sein) scheint, wir es in Wirklichkeit doch mit einer Bewegungsform zu tun haben, wobei uns freilich noch nicht bekannt ist, was sich bewegt und welcher Art der Charakter der Bewegung ist“ [2]).

Ist dem so, dann stellt die Gesamtenergie der Welt eine Summe dar von Produkten, die zusammengesetzt sind aus zwei verschiedenartigen Faktoren. Den ersten bildet die Masse m eines jeden Gegenstandes, der sich bewegt, den zweiten die Geschwindigkeit[3]) v dieser

---

[1]) Chwolson, Lehrbuch der Physik, I, S. 118.

[2]) So Chwolson a. a. O. I. S. 127. — Der „Entropiebeweis“ kann sich auf diese Meinung aber noch durchaus nicht etwa stützen als auf eine feststehende Tatsache. Vgl. S. 37.

[3]) Die Geschwindigkeit ist aber noch kein einfacher Begriff. Er wird abgeleitet aus dem Begriff der Streckenlänge und der Zeit.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Bewegung. Dieser wird dem Massenfaktor entweder in der ersten oder in der zweiten Potenz beigefügt, so daß einerseits das Produkt mv, andererseits das Produkt mv^2 entsteht; letzteres pflegt aus gewissen Gründen halbiert zu werden. Das Produkt mv wird mit dem besonderen Namen „Bewegungsgröße" bezeichnet, das Produkt $\frac{1}{2}mv^2$ heißt „lebendige Kraft" oder „Wucht". — Daß die Summe der Bewegungsgrößen unveränderlich sein muß, läßt sich aus der Konstanz der Masse, dem mechanischen Beharrungsgesetz (Trägheitsgesetz) und den räumlichen Beziehungen zwischen den in Betracht kommenden Bewegungen ableiten. Wesentlich ist dabei, daß v, die erste Potenz der Geschwindigkeit, mit einem die Richtung der Bewegung bestimmenden Vorzeichen behaftet, also eine relative, vom benutzten Koordinatensystem abhängige Größe ist.

Auf dem gleichen Fundament baut sich auch noch eine weitere Unveränderlichkeit auf, die ausgesprochen wird in dem Satze: der Schwerpunkt irgend eines von außen nicht beeinflußten Massensystems behält die Richtung und Geschwindigkeit seiner Bewegung bei, wie immer auch die Teile des Systems unter dem Einfluß ihrer gegenseitig aufeinander ausgeübten Kräfte durcheinander fliegen mögen. — Hierbei ist noch zu beachten, daß der „Schwerpunkt" eines Massensystems ein Punkt im Raume ist, dessen Existenz gar nicht abhängt von der Frage, ob es eine „Schwerkraft" überhaupt gibt; er kann auf rein geometrische Art bestimmt werden.

Anders als bei der „Bewegungsgröße" verhält sich die Sache bei der „lebendigen Kraft", die erst eigentlich als das Maß der „Energie" eines bewegten Körpers betrachtet wird. Weil hierbei die Geschwindigkeit in der zweiten Potenz auftritt, ist sie von der durch das Vorzeichen sich kundgebenden Relativität befreit und erscheint als eine absolute Größe, die nicht von der Wegrichtung, sondern im allgemeinen nur von der Weglänge und der zur Zurücklegung des Weges verbrauchten Zeit bestimmt wird.

Dementsprechend ist auch die Begründung des Satzes von der Konstanz der Energiesumme eine ganz andere, als die Ableitung des Satzes von der Konstanz der Bewegungsgröße. Für gewisse Vorgänge in der Natur, die man „konservative Prozesse" nennt, läßt sich der Satz noch rein theoretisch ableiten. In seiner Allgemeinheit erfaßt beruht er aber lediglich auf physikalischen Erfahrungen [1]), auf Beobach-

---

[1]) Genaueres hierüber habe ich in der Vorrede zum „Rätsel von der Schwerkraft", Braunschweig 1879, S. X ff. sowie in der Broschüre: „Ueber die Fernkraft usw.", Leipzig 1889, S. 15 Anm. mitgeteilt. — Chwolson „Lehrbuch" I, S. 127) sagt: „Das eingehende Studium der uns umgebenden Erscheinungen hat uns zur Entdeckung des Prinzips von der Erhaltung der Energie geführt." — Pfaundler schreibt (Lehrbuch der Physik 1898, II S. 517): „Clausius hat durch eine kühne Verallgemeinerung den Satz von der Erhaltung der Energie in der Form ausgesprochen: „Die Energie des Weltalls ist konstant." Wir können dies weder bestreiten noch beweisen und wollen stets eingedenk sein, daß die Physik eine

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tungen und Experimenten, insbesondere auf solchen, bei denen Energie aus einer Form in eine andere übergeführt wird.

Die Zerlegung der kinetischen Energie in den Massen- und den Geschwindigkeitsfaktor ist übrigens nicht die einzig mögliche; man hat Anlaß genommen, noch ganz andere Zerlegungen zu machen, und hat den einzelnen Faktoren auch noch ganz andere Benennungen beigelegt.

Auerbach bezeichnet sie (a. a. O. S. 33 und 51) als „Extensitäts und Intensitätsfaktor", bemerkt aber dabei: „Die wirkliche Angabe der Energiefaktoren ist nicht immer ganz leicht und zwar meist deshalb nicht, weil man das Produkt auf mehrere Arten zerlegen kann und nicht recht weiß, welcher man den Vorzug geben soll. Die kinetische Energie der sichtbaren Bewegung, die durch den Ausdruck $\frac{1}{2}mv^2$ dargestellt wird, wird man z. B. in m (Extensitätsfaktor) und $\frac{1}{2}v^2$ (Intensitätsfaktor) zerlegen wollen; aber mv und $\frac{1}{2}v$ sind ebenfalls zwei Faktoren, die obiges Produkt liefern; ähnliche Zweifel können bei der Wärme auftauchen u. s. w."

Ostwald zerlegte die Energie in zwei Faktoren, die er „Intensitätsfaktor" und „Kapazitätsfaktor" nannte. Letzterem legte Helm zuerst den Namen „Quantitätsfaktor" bei, später nannte er ihn „Extensitätsfaktor". [1])

Dressel geht noch einen Schritt weiter, indem er [2]) ausführt:

Erfahrungswissenschaft ist, deren sichere Kenntnisse nur soweit reichen, als ihre Beobachtungen reichen. — Dressel (Lehrbuch der Physik, Freiburg 1905, I, S. 38) findet die Begründung des Satzes von der Konstanz der Energie in einer „weit ausgedehnten Induktion", nicht also in einer Deduktion aus anderen physikalischen Prinzipien oder aus abstrakten Denkgesetzen. — Poincaré schreibt („Wissenschaft und Hypothese", Leipzig 1906, S. 131): „Niemand bezweifelt, daß das Prinzip von der Erhaltung der Energie eine experimentelle Tatsache ist. Aber wer gibt uns denn das Recht, dem Prinzip eine größere Allgemeinheit und größere Genauigkeit beizulegen als den Experimenten, die zum Beweise desselben gedient haben?" — Niemand hat dieses Recht; niemand kann es uns geben. — Robert Mayer, der erste Verkünder des Energiegesetzes hat allerdings die Meinung gehabt, er könne dasselbe deduktiv ableiten. Diese irrige Ansicht weist u. a. Helm („Die Lehre von der Energie" Leipzig 1887, S. 25) nachdrücklich zurück mit den Worten: „Mayer's Ableitung des Energieprinzips ist eine deduktive . . . ‚A priori läßt sich beweisen, so meint er, und durch die Erfahrung überall bestätigen, daß die verschiedenen Kräfte ineinander sich verwandeln lassen.' — Derartigen Aussprüchen gegenüber muß aber betont werden, daß Mayers Ausgangssätze ‚causa aequat effectum' und ‚ex nihilo nihil fit' keineswegs logische Wahrheiten sind, weder analytische Urteile noch synthetische a priori. A priori steht nur die Gesetzlichkeit der Naturvorgänge vor aller Erfahrung fest. Daß an einer Stelle der Kette ihrer Umformungen die Energie immer unter ganz bestimmten Bedingungen verschwände, würde dem a priori Gegebenen nicht widersprechen, sondern widerspricht der Erfahrung . . ." Und S. 41 zieht Helm das Ergebnis: „Wir können nur einen Beweis des Energiegesetzes anerkennen, einen induktiven." — Leute, die das Energiegesetz deduktiv beweisen zu können oder bewiesen zu haben behaupten, gibt es heutzutage vielleicht nur noch unten den Philosophen.

[1]) Vgl. Chwolson Lehrbuch d. Phys. III, S. 501.

[2]) Dressel, Ludwig S. I. „Elementares Lehrbuch der Physik nach den neuesten Anschauungen." I. S. 257.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

„Wir finden, daß in den mechanischen Energien drei Faktoren maßgebend sind, der Quantitätsfaktor, der die Quantität oder den Umfang des energetischen Zustandes mißt, an welchen die Energie gebunden ist; der Intensitätsfaktor, welcher angibt, wieviel Arbeitseinheiten die Einheit des energetischen Zustandes bei der gegebenen Intensität zu leisten vermag, und die Kapazität oder das Fassungsvermögen des materiellen Substrats für die betreffende Energieform, das bestimmt wird durch die Zustandsmenge bei der Intensität 1. Bezeichnen wir diese Faktoren durch M, J und C, so gelten für die verschiedenen Formen der mechanischen Energie E die Grundgleichungen:

$$M = C \cdot J;\ E = \tfrac{1}{2} M \cdot J = \tfrac{1}{2} C \cdot J^2 = \tfrac{1}{2} M^2 \cdot \tfrac{1}{C}.\text{“}$$

Wir werden in späteren Abschnitten aus besonderen Anlässen noch mehrmals genötigt sein, auf die Faktoren der Energie näher einzugehen. Hier aber dürfen wir nicht unterlassen, auf eine gewisse Auffassung des Energiebegriffs hinzuweisen, die unter den namhaftesten Naturforschern Vertreter hat und einer restlosen Zerlegung der Energie in mechanische Faktoren entschieden zu widerstreben scheint. — Oder läßt sich denn etwa das „Uebersinnliche“, das „Seelische“ hinstellen oder herstellen als Produkt, d. h. als Multiplikationsergebnis aus mechanischen Faktoren? — Nun finde ich aber z. B. bei Helm in seinem schon erwähnten Buche von 1887 S. 15 über das Wesen der Energie folgende Erörterung: „Die Erscheinungsformen der Energie gehören der Sinnenwelt an, aber sie selbst steht über diesen Formen, wie die platonische Idee über den Dingen. Der Energiebegriff wird von seinen klarsten Vertretern als ein Begriff begrüßt, der den Tatsachen gerecht wird und doch so hoch über ihnen steht, daß er die Gefahr einer neuen Substantiierung ausschließt. Wir reden von Beseelung, wo es gilt, vereinzelte Daseinsäußerungen zu einer Einheit zusammenzufassen; diese logische Beziehung hat die Energie mit der Seele gemein: wer sich also die Energie als Substanz (wie das Agens als Stoff, die Ursache als Kraft) denken wollte, müßte wohl bis zu animistischen Vorstellungen, bis zum Geisterspuk zurückkehren, um die Reichhaltigkeit ihrer Formen darzustellen. — Im Grunde genommen hat sich ja von dem Uebersinnlichen des Energiebegriffs auch die mechanische Auffassung nicht losmachen können . . . Wenn insbesondere alle Naturerscheinungen als Bewegungserscheinungen eines Stoffes, des Aethers, erklärt werden, wie das zuerst Euler versuchte, so sind zwar diese Bewegungen sinnlich vorstellbar, aber das Bewegte ist ein Uebersinnliches.[1]) — Von solchem Standpunkte aus erscheint die mechanische Weltbetrachtung als ein Spezialfall, von hier aus hat sich der Energiegedanke aufschwingen können über die Mechanik.“

[1]) Würde der Sachverhalt nicht vielleicht richtiger dargestellt durch das Wort „Untersinnliches“? — Die Elementarbestandteile des Aethers befinden sich unterhalb der Grenze, die den Wahrnehmungen durch unseren Gesichts- und Tastsinn gesetzt ist. Das Wort „übersinnlich“ ist mehrdeutig und seine Anwendung daher mißverständlich.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wer das für richtig hält, wird wohl darauf verzichten müssen, die Energie erschöpfend in Faktoren zu zerlegen. Denn die hierbei in Betracht kommenden Faktoren sind sämtlich mechanischer Natur; sie bestehen aus einer gewissen Menge von Massen-, Längen- und Zeiteinheiten. Und jedes Ergebnis, das sich aus diesen Faktoren durch Multiplikation herstellen läßt, ist und bleibt etwas ganz und gar Mechanisches und vermag sich mit keinem Flügel „über die Mechanik emporzuschwingen". Verzichten muß daher die Energie entweder auf ein solches Emporschwingen oder auf die Eigenschaft, sich erschöpfend in Faktoren zerlegen zu lassen.

IV. Entropie.

Ein Liter atmosphärischer Luft wiegt unter gewöhnlichen Verhältnissen beinahe 1,3 Gramm. Denken wir uns ein kleines Zimmer von drei Meter Länge, Breite und Höhe, so stellt die darin befindliche Luft eine Stoffmenge dar von ungefähr 35 Kilogramm, wiegt also soviel wie sieben zehnpfündige Kanonenkugeln zusammen. Die Zimmerluft besteht aus sehr kleinen Körperchen, Moleküle genannt, die bei gewöhnlicher Temperatur mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von fast 500 Metern in der Sekunde nach allen Richtungen durch den Raum fliegen. Diesen Molekülen wohnt demnach im ganzen dieselbe Energie, dieselbe Wucht bei, wie den sieben Kanonenkugeln, wenn letztere soeben mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 500 Metern abgeschossen worden sind.

Wie soll in einem solchen Zimmer, solchem Anprall ausgesetzt, ein Mensch am Leben bleiben? Wie halten die Wände ihn aus? —

Wenn der Wind eine Geschwindigkeit von 45 Metern in der Sekunde hat, so nennt man ihn schon nicht mehr Sturm, sondern Orkan. Nun brauchten aber die Teilchen der sogenannten windstillen Luft gar nicht schneller zu fliegen, als sie unter gewöhnlichen Verhältnissen immer tun, dann würde diese Bewegung einen mehr als zehnmal stärkeren Orkan darstellen — unter der einzigen Bedingung, daß sie alle nach ein und derselben Richtung hin sich bewegten. Die Energie der stillen Luft ist genau so groß, wie die des verzehnfachten Orkans, aber sie bringt doch nicht dieselben Wirkungen hervor. Warum nicht?

Sie befindet sich in einem Zustande, den man im Vergleich zu der Energie des verzehnfachten Orkans oder der abgeschossenen Kanonenkugeln als einen „Zustand der teilweise entwerteten Energie" bezeichnet.

Völlig wertlos ist sie aber noch keineswegs. Unter Umständen kann sie sogar noch erhebliche physikalische Wirkungen hervorbringen.

Sie kann in einen mit kälterer Luft erfüllten Raum einströmen und dabei einen „Ventilator" drehen. Sie kann eine Scheibe biegen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und zerbrechen, wenn hinter oder unter ihr die Luft ausgepumpt wird, kann einen elektrischen Strom an den Lötstellen zweier verschiedener Metalle erzeugen, wenn die entgegengesetzten Lötstellen kälter sind und dergleichen. —

Fragt man: Wovon hängt es denn ab, ob oder wie sehr eine bestimmte, an irgend einem Ort des Raumes gesammelte oder in irgend einem Körper vorhandene Energiemenge als entwertet, oder besser als minder verwertungsfähig betrachtet werden muß? so ist zu antworten: Das hängt ab von der Fähigkeit dieser Energiemenge, auf andere Energieträger überzugehen oder in andere Energieformen umgewandelt zu werden. Diese Fähigkeit pflegt man auch den „Nutzbarkeitsgrad" der Energie zu nennen. Und wenn man sich das Mindermaß dieser Nutzbarkeit als eine besondere Größe vorstellt, so trifft diese Vorstellung ungefähr zu auf das, was Clausius Mitte der 60er Jahre des vorigen Jahrhunderts zuerst mit dem Namen „Entropie" bezeichnete, und was seit dieser Zeit Physiker, Philosophen und Theologen angelegentlichst beschäftigt hat.

Wenn man bei einem und demselben Energiebetrag unter den verschiedenen Formen der Energie Zustände größerer und Zustände geringerer Verwertbarkeit unterscheidet, und wenn solche Energieformen sich auch ineinander umwandeln können, so ist damit noch keineswegs gesagt und gesichert, daß bei derlei Vorgängen der Prozeß einer wirklichen Entwertung sich vollziehe. Denn mit dem Tausch der Form kann immerhin auch ein gewisser Wertetausch verbunden sein, so beschaffen, daß das Ergebnis für die Gesamtheit der beteiligten Energieformen keine eingetretene Entwertung bedeutet, keinen Verlust an „Nutzbarkeit" oder an „Verwandlungsfähigkeit" der Energie. Wenn ein solcher Verlust oder eine Entwertung — dieses Wort im Sinne eines stattgefundenen Aktes gedacht — behauptet wird, so ist das eine Sache für sich. Wir werden finden, daß die Richtigkeit dahingehender Behauptungen von gewisser Seite bestritten wird. Clausius allerdings bejahte sie, und er war schon nicht der erste Vertreter dieser Ansicht. Denn lange vor ihm hatte „der große und vielseitige Franzose Sidi Carnot" um das Jahr 1824 über die Entwertung der Energie einen Satz aufgestellt, der wie Emil du Bois-Reymond[1]) sagte, „das Weltall mit eisigem Stillstande bedroht". Und 1852 hatte William Thomson über dieselbe Sache geschrieben.[2])

Welche Bedeutung hat das Wort „Entropie" denn eigentlich? Auerbach übersetzt es mit „Zerstreuungsgrad"[3]), Helm mit „Maß der Unordnung"[4]), Dressel mit „Verwandlungsinhalt"[5])

---

[1]) „Die Grenzen des Naturerkennens." Leipzig 1882, S. 13. —

[2]) Helm, „Die Energetik ꝛc." S. 92 zitiert: „Proc. Roy. Soc. Edinburgh". April 1852. Phil. Mag. Okt. 1852. Papers I, S. 511.

[3]) „Die Weltherrin und ihr Schatten," S. 36. —

[4]) „Die Lehre von der Energie", Leipzig 1887, S. 50. —

[5]) „Lehrbuch der Physik", S. 380.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und fügt hinzu: „Dieser Begriff wird verschieden gedeutet. Dem einen ist er nur eine mathematische Beziehung, wie etwa die Größe π in der Geometrie, dem andern eine wirkliche physikalische Zustandsgröße. Die letztere Auffassung vertritt Maxwell und mit ihm wohl die Mehrzahl der Physiker, wiewohl es schwer fällt, sich von dieser Zustandsgröße eine klare Vorstellung zu bilden."

Diese Schwierigkeit hängt zusammen mit der vielbeklagten Schwierigkeit, in den sogenannten „zweiten Hauptsatz der Thermodynamik" eine deutliche und vollständige Einsicht zu bekommen, in denjenigen Lehrsatz also, der überhaupt zur Aufstellung des Entropiebegriffs erst hingeführt hat.

Wer sich in dieses Kapitel der Physik hineinarbeiten will, hat in der Tat keine leichte Aufgabe vor sich. Chwolson schildert im dritten Bande seines hervorragenden Physikbuches diese Mühsal (S. 481) folgendermaßen: „Hierin (in diesem Lehrstoffe) liegt eine ganz außerordentliche Schwierigkeit für den Anfänger . . . Besonders schwierig aber wird die Lage des Lernenden dann, wenn er, unbefriedigt durch das eine Lehrbuch, zu einem oder gar mehreren anderen greift. Er findet die allerverschiedenste Behandlungsweise und nur in den endgültig abgeleiteten Gleichungen eine gewisse Uebereinstimmung. Vor allem findet er aber, daß die als Ausgangspunkt dienenden, dogmatisch hingestellten Sätze in den Lehrbüchern in so hohem Maße verschieden lauten, daß es ihm kaum möglich ist, auch nur eine entfernte Verwandtschaft zwischen diesen Sätzen aufzufinden. Zugleich mit den Ausgangspunkten ändert sich dann auch der ganze Aufbau des wissenschaftlichen Gebäudes."

Den Grund dieser sehr unbequemen Mannigfaltigkeit findet Chwolson darin, daß die verschiedenen Formen, in die der zweite Hauptsatz eingekleidet worden ist, nur Ausflüsse seien eines noch unbekannten, tiefer liegenden Gesetzes, von welchem er sagt: „Es existiert unzweifelhaft ein umfassendes Weltgesetz A, welches aussagt, in welchen Richtungen der Ablauf der physikalischen Erscheinungen möglich, und in welchen er unmöglich ist. Und es handelt sich darum, erstens dieses zentrale Gesetz zu finden und sodann zweitens, von ihm ausgehend, auf deduktivem Wege alle möglichen Folgen zu ziehen . . . Wir wissen von dem Gesetz A nur, daß es existiert, und daß sich in ihm einer der gewaltigsten und tiefsten, vielleicht der gewaltigste und tiefste Gedanke ausdrückt, und wir hoffen, daß der menschliche Geist fähig ist, denselben zu erfassen." Aber „wir können nicht absolut überzeugt sein, daß er überhaupt je gefunden wird, daß sein Verständnis dem menschlichen Geiste zugänglich ist. Es könnte ja sein, daß das Wesen des zweiten Hauptsatzes mit solchen Eigenschaften der Welt als Ganzem oder der Materie verknüpft wäre, die sich gänzlich außerhalb unseres Horizontes befinden." —

Auch Auerbach spricht in seiner mehrmals erwähnten Schrift das Urteil aus, daß neben dem Gesetz von der Erhaltung der Energie noch ein anderes, wichtigeres Gesetz existieren müsse. Er findet,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

es sei eigentlich „zu verwundern, daß man überhaupt versuchen konnte, sich mit dem Erhaltungsgesetz zu gute zu geben. Was ist denn Naturgeschehen? — Was ist denn das Gemeinsame aller Ereignisse, aller Vorgänge im Weltall? — Offenbar Veränderung. Was sich ändern kann, ist außerordentlich vielerlei, der Ort im Raume, die Geschwindigkeit und die Richtung der Bewegung, Druck, Form, Farbe . . . Alle diese Veränderungen erfolgen, ohne daß die Stoffmenge und die Energiemenge sich dabei ändert, sie erfolgen unter Wahrung des Erhaltungsprinzips. Erfolgen sie aber auch aus Anlaß des Erhaltungsprinzips? — Sicherlich nicht; denn die Forderung desselben wird doch am einfachsten dadurch erfüllt, daß überhaupt nichts geschieht . . . Wenn es also nach dem Erhaltungsprinzip allein ginge, so brauchte in der Welt gar nichts zu geschehn. Und damit zeigt dieses Prinzip sich uns in seinem wahren Lichte: es ist, bei all seiner großartigen Bedeutung, doch im Grunde von negativem Charakter, indem es aussagt: bei allen Veränderungen in der Natur bleibt Stoff- und Energiemenge ungeändert. Es ist also eigentlich recht sonderbar, wenn man auf die Frage nach dem Grundgesetz aller Veränderungen in der Natur antwortet: Stoff- und Energiemenge ändern sich nicht. . . . Das Erhaltungsprinzip hat lediglich die Bedeutung, daß nichts gegen sein Gebot geschehen darf; es hat nicht die Bedeutung, daß aus ihm heraus, auf seine Initiative wirklich etwas geschähe. Es ist Aufsichtsbehörde, nicht Unternehmerin. Es ist von regulativem, nicht von produktivem Charakter . . . Gibt es denn neben dem Erhaltungsprinzip nicht auch ein Veränderungsprinzip? Ein Prinzip, welches angibt, wann in der Welt etwas geschieht und was alsdann geschieht? warum dies und nicht vielleicht grade das Gegenteil geschieht?“ —

Diese Ueberlegung läuft bei Auerbach genau wie bei Chwolson auf den „zweiten Hauptsatz“ hinaus.

Wie heißt denn dieser so überaus wichtige Satz?

Chwolson gibt in seiner ausführlichen Erörterung desselben [1]) eine ganze Reihe von Formen an, in die er von verschiedenen hervorragenden Physikern eingekleidet worden ist, und diese Einkleidungen lauten so außerordentlich abweichend, daß man ohne eingehendste Untersuchung nicht auf den Gedanken kommt, solche Aussagen bezögen sich auf ein und dasselbe Gesetz.

Sidi Carnot leitete die ganze Entwickelung ein mit dem Satze: „Der ökonomische Koeffizient eines zwischen einem Erwärmer und einem Kühler sich vollziehenden umkehrbaren Kreisprozesses, d. h. das Verhältnis der Arbeit zu der vom Erwärmer auf den Kühler übergehenden Wärme ist unabhängig von der Art, d. h. von der Substanz des Körpers, welcher den Kreisprozeß vollzieht.“

Clausius stellte (1850) das Axiom auf: „Wärme kann nicht von selbst von einem kälteren auf einen wärmeren Körper übergehen.“

---

[1]) Chwolson, Lehrbuch, S. 485 ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

William Thomson behauptete zuerst (1851): „Es ist unmöglich, mit Hilfe der unbelebten Materie von irgend einem Teile der Materie dadurch Arbeit zu erhalten, daß man sie unter die Temperatur des kältesten der sie umgebenden Körper abkühlt.“ — Im folgenden Jahre formulierte er seinen berühmten Satz von der „dissipation of energy“, indem er sagte: „Die in der Welt vorhandene Energie strebt nach Zerstreuung, d. h. nach dem Uebergang in gleichmäßig verteilte Wärmeenergie.“ In dieser Form sollte der „zweite Hauptsatz“ das Entwickelungsgesetz der unserer Betrachtung zugänglichen Welt sein.

Pfaundler sprach den Gedanken aus, daß „die Materie, als Trägerin der Energie, welche außerhalb der Materie nicht existiert, nach Entwertung strebe, die Energie dagegen strebe nach Entartung“.

Boltzmann erklärte den zweiten Hauptsatz dahin, daß derselbe die Entwickelung der Naturprozesse kennzeichne als „ein Streben des Weltalls nach dem Uebergange von weniger wahrscheinlichen Zuständen zu wahrscheinlicheren“. Auch den Begriff der „Entropie“ bringt er mit dieser Anschauung in sehr enge Verbindung, indem er zeigt, daß „der Logarithmus der Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Zustandes bis auf eine Konstante identisch sei mit der Entropie“.

Ostwald faßte die Sache wieder von einem etwas anderen Gesichtspunkte auf, indem er sagte: „Von allen möglichen Umwandlungen tritt diejenige wirklich ein, die den größtmöglichen Umsatz ergibt.“

Chwolson gibt dem zweiten Hauptsatz folgende Form: „Die Entropie eines isolierten Systems von Körpern kann nicht abnehmen, sie bleibt unverändert bei umkehrbaren Prozessen und nimmt zu bei nicht umkehrbaren, welche sich in diesem System vollziehen.“ Dann fährt er fort: „Den Lehrsatz von der Entropie eines isolierten Systems verallgemeinernd, sprach Clausius den Satz aus: ‚Die Entropie des Weltalls strebt einem Maximum zu.‘ Eine derartige Verallgemeinerung ist jedoch nicht zulässig, da sie die Grenzen der uns zugänglichen Naturerkenntnis übersteigt.“

Helm formulierte 1887 folgendes Gesetz: „Jede Energieform hat das Bestreben von Stellen, in welchen sie in höherer Intensität vorhanden ist, zu Stellen niederer Intensität überzugehen.“ — Da dieses Helm'sche Gesetz für die folgenden Erwägungen von besonderer Wichtigkeit ist, müssen wir auf die Grundlage desselben, nämlich auf den im vorigen Abschnitte schon erwähnten „Intensitätsfaktor“ der Energie etwas näher eingehen.

V. Der Intensitätsfaktor der Energie.

In seinem vorhin angeführten trefflichen Lehrbuch der Physik bespricht auch P. Dressel das Helm'sche Gesetz und zwar in folgendem

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Zusammenhange. Er sagt (I. S. 258): „Alle obigen Beispiele zeigen uns, daß das Eintreten einer Energieverschiebung stets abhängig ist von der Bedingung einer Intensitätsdifferenz an den beiden Stellen, zwischen denen die Verschiebung geschah. Dieser Umstand ist es, der den Intensitätsfaktor vor den beiden anderen Energiefaktoren (dem Quantitätsfaktor und dem Kapazitätsfaktor) auszeichnet und in jeder Energieform leicht auffinden läßt. Der Intensitätsunterschied bedingt aber nicht bloß die Möglichkeit und den Anfang der Energieverschiebung, er regelt auch den Verlauf. Denn erstens bestimmt er immer die Richtung der Verschiebung, die stets von der Stelle höherer Intensität zur Stelle niederer Intensität geht. Dieses bringt das Intensitätsgesetz von Helm zum Ausdruck: ‚Jede Energieform hat das Bestreben von höherer zu niederer Intensität überzugehen'. Er gibt ferner das Maß für die Kraft, mit welcher der Verschiebungsvorgang sich vollzieht, und für die Größe der die Verschiebung stets begleitenden Arbeit. Beides wächst und sinkt porportional mit der Differenz $J_1 - J_2$."

Daran schließt Dressel (II, S. 1034) eine wichtige Folgerung, indem er ausführt: „Alle Energieverschiebungen und die sie begleitenden Energieverwandlungen sind an die vom Intensitätsgesetz verlangte Bedingung geknüpft. Sie erfolgen also von selbst immer in einer Richtung, in welcher der Unterschied im Intensitätsgrade zwischen den vorhandenen Energiegrößen der betreffenden Form sich vermindert. Alle Energien suchen also, wenn wir jede Form derselben einzeln ins Auge fassen, sich auf gleiche Intensität zu bringen. Mit dieser Intensitätsausgleichung vermindert sich aber auch fortwährend der realisierbare Arbeitswert einer jeden Energieart. . . . Der faktisch zu realisierende Wirkungswert wird dargestellt durch das Produkt aus dem Quantitätsfaktor und der Intensitätsdifferenz, um welche die betreffende Energie tatsächlich noch sinken kann. . . . Sofern also die Naturvorgänge auf Energieverschiebungen zurückzuführen sind, drängen alle Energien mit dem Streben nach Ausgleichung der Intensitätsunterschiede auch notwendig zu einem Ende alles natürlichen Geschehens hin. . . . In diesem Punkte stimmen wir mit Auerbach überein, wenn er schreibt: ‚Der Ausgleich der Niveauformen-Differenzen (der Energie), der das Gesamtergebnis alles Naturgeschehens ist, und durch das Eingreifen des Menschen nur im einzelnen, nicht im ganzen aufgehalten werden kann, erfolgt mit einer den vorhandenen Differenzen proportionalen Geschwindigkeit, also, da diese Differenzen abnehmen, allmählich immer langsamer; der Endzustand, in welchem die Wirkungsfähigkeit Null ist, wird also asymtotisch erreicht.'"

Deutlich erkennt man schon hieraus, daß die Größe $J_1 - J_2$, die Differenz der Intensitätsfaktoren, den Angelpunkt der ganzen Betrachtung bildet. Zwar wird in den vorstehenden Worten die Beziehung zwischen dem „zweiten Hauptsatz" in der Helm'schen Fassung und dem kosmischen Zielpunkt nur erst flüchtig angedeutet, aber mit desto

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

größerem Nachdruck hebt Dressel sie hervor in der Seite 6 schon erwähnten apologetischen Abhandlung. Was oben vom „Ende alles natürlichen Geschehens“ gesagt ist, wird dort vervollständigt und nach der Seite der Vergangenheit hin ergänzt mit den Worten (S. 158): „Die zweite Folgerung aus dem Energie- und Entropiesatz lautet: Die Welt hat einen zeitlichen Anfang.“

Da Dressel's dort gegebene Begründung dieses Satzes mir gewisse Bedenken erregte, nahm ich Anlaß, ihn bezüglich einiger Punkte um Aufklärung zu bitten, worauf er in liebenswürdiger Weise eine Anzahl von Briefen an mich richtete, aus denen er mir erlaubt hat, einzelne Stellen in vorliegender Arbeit anzuführen. — Im Verlauf dieser Erörterungen kam schon bald der beim Helm'schen Gesetz — auf welches D. sich auch brieflich wiederholt berief — zu Grunde gelegte Begriff des „Intensitätsfaktors“ an die Reihe, der nach meiner Ansicht an einer sehr unbequemen Vieldeutigkeit, also auch an Unbestimmtheit leidet, und über den ich gerade bei D. die beste Aufklärung zu erlangen hoffte, da er ihn häufiger als andere von mir eingesehene physikalische Autoren anführt und benutzt. So trug ich ihm denn folgendes vor:

„Zu welcher Art von physikalischen Größen gehört dieser Faktor? Welches ist überhaupt die Dimension des Intensitätsfaktors?

Auf Seite 251 Ihres Lehrbuches lese ich: ‚Der Faktor v mißt den Intensitätsgrad der Energie.‘ Danach ist seine Dimension $= [LT^{-1}]$.

Auf Seite 249 und 250 wird der Intensitätsfaktor ‚durch die Zahl der Dyn gemessen‘. Danach ist seine Dimension $= [MLT^{-2}]$.

Auf Seite 257 steht: ‚. . . Der Intensitätsfaktor, welcher angibt, wieviel Arbeitseinheiten die Einheit des energetischen Zustandes . . . zu leisten vermag.‘ Hiernach sollte man annehmen, daß die Dimension des Intensitätsfaktors die Dimension der Arbeit, also $= [ML^2T^{-2}]$ sei.

Dasselbe ist auch zu schließen aus Ihrem Satze S. 267: ‚Es bestimmt also die Größe $\frac{1}{2}mv^2$ die Wärmeintensität eines Körpers, sie bildet den Intensitätsfaktor.‘ Ferner S. 469: ‚Tatsächlich pflegt man den Wert des Intensitätsfaktors nach der in Erg gemessenen Arbeit zu bestimmen.‘

Nicht übereinstimmend damit ist S. 257 die Gleichung $E = \frac{1}{2}MJ$; Denn hiernach muß $J = v^2$ sein, weil nach S. 42 $E = \frac{1}{2}Mv^2$ ist. Danach hätte der Intensitätsfaktor der Energie die Dimension $[L^2T^{-2}]$. Auf letzteres Ergebnis zielt auch die Stelle S. 399 hin, wo es heißt: ‚Gibbs nannte die Größe μ, deren Dimension nach obiger Definition ein Geschwindigkeitsquadrat ist, das thermodynamische Potential, Ostwald das chemische Potential, Helm bezeichnet sie als chemische Intensität.‘

Da hätten wir also viererlei verschiedene Begriffe von viererlei Dimensionen: $[LT^{-1}]$, $[L^2T^{-2}]$, $[MLT^{-2}]$ und $[ML^2T^{-2}]$. Und jede

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dieser Größenarten kann mit dem Namen Intensitätsfaktor und dem Buchstaben J bezeichnet sein.

Wenn nun das ‚Intensitätsgesetz' von der Differenz der Intensitätsfaktoren spricht und aussagt, daß das Maß der Verschiebung der Energie proportional der Größe $J_1 - J_2$, sei, so ist nicht klar, was damit in jedem Einzelfalle eigentlich gemeint ist, und ob stets dasselbe gemeint ist. Insbesondere wird die Sache auch noch dann bedenklich, wenn man nach S. 251 unter J die Geschwindigkeit v versteht. Denn v ist bekanntlich mit einem Vorzeichen behaftet, kann in Komponenten zerlegt werden, und diese sind von der Wahl des Koordinatensystems abhängig. —

Wollte man ferner außer den Energieverschiebungen auch noch die Energieumwandlungen in Betracht ziehen, so würde die Benutzung der Differenz $J_1 - J_2$ wegen der verschiedenen Bedeutungen der Größe J erst recht dunkel erscheinen" [1]).

Zu meiner Ueberraschung und meinem großen Bedauern erhielt ich darauf von Herrn Dressel unter dem 20. 8. 09 eine Antwort, worin es u. a. hieß: „Ihr Brief enthält so gelehrte Fragen und Bemerkungen, daß ich mich außer Stande fühle, dieselben zu beantworten. Seit fünf Jahren habe ich mich mit wissenschaftlicher Physik nicht mehr eingehend beschäftigt und finde jetzt, daß meine Begriffe über die Fundamentalgrößen, auf welche Sie Bezug nehmen, verschwommen und unsicher geworden sind". Dann wies er in dankenswerter Weise auf zwei Bücher von Helm hin, einerseits auf die vorhin schon erwähnte, im Jahre 1887 erschienene „Lehre von der Energie", andererseits auf „die Energetik in ihrer geschichtlichen Entwickelung", die 1898 erschienen ist. — In dem erstgenannten Buche habe ich über den dargelegten Punkt keine Aufklärung gefunden, in letzterem aber las ich u. a. S. 300 f., daß Ostwald 1892 in den „Leipziger Berichten" den im Helmschen Gesetz enthaltenen Gedanken „für einen oft vorkommenden besonderen Fall weiter ausgeführt" habe. Dieser Fall besteht darin, daß „nur zwei Energieformen in Betracht zu ziehen" seien, deren Intensitätsfaktoren mit J_1 und J_2 bezeichnet werden. Nun sondert Ostwald aus der Größe J_2 den Faktor k heraus, den er mit dem Namen „Maschinenfaktor" bezeichnet, dergestalt, daß $J_2 = -k J_1$ wird. Das Produkt $k J_1$ nennt er „reduzierte Intensität" und konstruiert mit Hilfe desselben ein „verallgemeinertes Intensitätsgesetz." Insofern nun der

[1]) Um den hier vorgetragenen Gedanken dem Laien verständlicher zu machen, kann folgendes Beispiel dienen: Bei einer Lokomotive verwandelt sich die in der Kohle schlummernde Energie und nachher die im heißen Wasserdampf enthaltene Triebkraft durch Vermittelung des Zylinderkolbens in diejenige Wucht, die der fahrende Eisenbahnzug besitzt. Sagte man nun: Das Maß für die „Kraft", mit welcher diese „Energieverschiebung und die sie begleitende Energieumwandlung" sich vollzieht, sei proportional der Differenz $J_1 - J_2$, und bedeutete dabei J_1 eine Größe von ganz anderer „Dimension" als J_2, dann läge darin eine ähnliche Vernunftwidrigkeit, als wenn man sagen wollte, dieses „Maß" sei „proportional" demjenigen Rest, der übrig bleibt, nachdem man 90 Meter von 100 Grad Celsius abgezogen hat.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Faktor k eine bloße Ziffer bedeutet, sind die Größen J_1 und J_2 von gleicher Dimension und können unbeanstandet addiert oder subtrahiert werden. Im entgegengesetzten Falle ist k eine Größe anderer Art und bewirkt, daß J_1 und J_2 gleichartig werden, dann also auch additiv oder subtraktiv vereinigt werden dürfen. Trotzdem bleibt die Hauptschwierigkeit ungelöst, nämlich die Frage, welche Schlüsse aus diesem „verallgemeinerten Gesetz" gezogen werden dürfen in all den Fällen, wo es sich bei Naturprozessen um eine Verwandlung von Energieformen handelt.

Um in dieser wichtigen Sache, so weit es irgend möglich schien, zu voller Klarheit zu kommen, habe ich mich sodann auch noch an den Herrn Geh. Hofrat Helm in Dresden selbst gewandt und ihm den auf vorliegenden Punkt bezüglichen Inhalt meines Briefwechsels mit P. Dressel mitgeteilt. Darauf erhielt ich eine sehr freundliche Antwort, in der meine Ausführungen über die große Verschiedenartigkeit des Intensitätsfaktors bestätigt wurden u. a. mit den Worten: „Die Intensität bezeichnet ganz verschiedene Dinge. Gewiß, sie ist etwa eine Abstraktion von der Höhe des Begriffs ‚Vektor', und je größer der Umfang, desto kleiner der Inhalt des Begriffs." —

Eben darin kann man einen Nachteil erblicken. Denn je geringeren „Inhalt" eine Begriffsbestimmung hat, um so weniger Bestimmungsstücke sind da, um so unbestimmter, vieldeutiger, mißverständlicher ist die Vokabel bei ihren verschiedenen Anwendungen.

Ueber die Behandlung derjenigen Fälle, in denen Intensitätsfaktoren von ungleicher Dimension vorkommen, also bei Energie-Umwandlungen, hieß es in dem Briefe: „Den Gedanken, Intensitäten verschiedenartiger Energieformen voneinander zu subtrahieren, habe ich sicher nie geäußert." Und bezüglich der Aussage von Dressel: „Er (nämlich der Intensitätsunterschied) gibt ferner das Maß für die Kraft, mit welcher der Verschiebungsvorgang sich vollzieht", schrieb H.: „Ich habe nirgends eine solche Kraft meßbar definiert, sondern nur von einem Bestreben der Energieformen geredet, von höherer zu niederer Intensität überzugehen, ohne den Versuch zu machen, dieses Bestreben zu messen."

Meine Auffassung von der Ostwald'schen „Verallgemeinerung" bestätigte Helm mit den Worten: „In der Formel $dE = J\,dM + J^1\,dM^1$ für die Umwandlung zweier Energieformen, und daher in Ostwald's Maschinenfaktor, kommen freilich Intensitäten verschiedener Formen, also verschiedener Dimensionen vor, und Sie führen ja selbst aus, daß dies dort unbedenklich ist." Sobald es sich aber darum handelt, eine solche Formel anzuwenden, um das Maß der Kraft oder der Arbeit festzustellen, die bei der Umwandlung zweier Energieformen verbraucht wird, werden wir im Stich gelassen. Denn auf meine bestimmte Frage, ob die Kraftformel $K = (J_1 - J_2)\,\lambda$ und die Arbeitsformel $A = (J_1 - J_2)\,\mu$ „auch solchen Fällen angepaßt werden können, in denen Intensitätsfaktoren von verschiedener Dimension in Betracht kommen, und welche Umgestaltungen dazu nötig seien", antwortete Helm ebenso bestimmt; „Diese Formeln passen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nur für Energieübertragungen oder, „wie Dressel sagt, Energieverschiebungen, nicht für Umwandlungen." —

Dies das Ergebnis der Verhandlung über die Intensitätsfaktoren der Energie, die Grundpfeiler des Intensitätsgesetzes. Wir werden später aus einem anderen Gedankengange heraus noch einmal auf dieselben und auch auf meinen brieflichen Gedankenaustausch mit P. Dressel zurückzukommen haben.

VI. Erste notwendige Voraussetzung bei Benutzung des Entropieaguments.

Selbstverständlich hat das ganze von der Entropie hergenommene Beweisverfahren gar keinen Untergrund, wenn nicht zunächst feststeht, daß in der Weltentwickelung Prozesse vorkommen, bei denen die Entropie überhaupt zunimmt. Diese Aussage wird denn auch von den Apologeten vorausgesetzt, sie wird als eine zweifelfreie Tatsache hingestellt und in der Regel auf die Autorität von Clausius oder von William Thomson oder beider gestützt. Aber, daß sie wirklich wahr und richtig sei, liegt doch noch keineswegs so einfach und glatt auf der Hand, wie meistens angenommen wird.

Was steht denn im Wege?

Bei derjenigen Energieart, die unter dem Namen Wärme von den übrigen unterschieden wird, hat es eine eigene Bewandtnis mit dem sogenannten „Quantitätsfaktor", demjenigen, der mit dem schon besprochenen „Intensitätsfaktor" zusammen den ganzen Energiebetrag ausmacht. Wo es sich nicht um Wärme, sondern um andere Arten der Energie handelt, zeigt dieser Quantitätsfaktor durchweg die sehr wichtige Besonderheit, daß er bei allen Energieverschiebungen konstant bleibt. Bei den chemischen Vorgängen z. B. ist er die konstante „in Gramm ausgedrückte Stoffmenge [1])". Bei der kinetischen Energie ist er die konstante Bewegungsgröße mv. Bei elektrischen Ladungen und Entladungen ist er die Elektrizitätsmenge, die trotz mannigfachster Verschiebungen immer konstant bleibt. Wenn man nun die Wärmeverschiebungen den allgemeinen Energiegesetzen unterordnet, dann tritt deutlich zu Tage, daß der „Quantitätsfaktor" dabei nichts anderes ist, als grade die „Entropie", daß also konsequenterweise die Entropie ebenfalls als eine konstante Größe zu behandeln ist.

Ueber diesen wichtigen aber vielfach außer Acht gelassenen Punkt äußert Dressel, nachdem er eine längere mathematische Entwickelung vorausgeschickt, sich (S. 389) folgendermaßen: „Hiernach ist also der Quotient aus irgend einer Wärme und aus der Temperatur, bei der sie von einem Gase aufgenommen wird, numerisch gleich derjenigen Wärme, die zur Arbeit noch absolut verfügbar ist, wenn man

---

1) Dressel, Lehrbuch, S. 399.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

das Gas durch adiabatische Ausdehnung auf die Temperatur von einem Grad bringt. Dieses ist aber genau die Beziehung, durch welche bei allen anderen Energien der „Quantitätsfaktor" bestimmt wird. Denn so oft man einen Energievorrat irgendwelcher Form durch Arbeitsleistung auf die Intensität 1 bringen kann, ohne dabei von der Energieform etwas auf andere Körper abfließen oder aus diesen etwas zufließen zu lassen, so bleibt der Quantitätsfaktor konstant. . . . Der schwer faßbare Begriff der thermodynamischen Entropie erhielte somit bei energetischer Betrachtung der Wärmevorgänge den ganz bestimmten Charakter eines Quantitätsfaktors der Wärmeenergie, den ihm schon Zeuner zu geben suchte. Soll er als solcher dem Quantitätsfaktor der anderen Energien gleichen, so muß er bei Wärmeverschiebungen konstant bleiben. . . . Helm wagte noch nicht, die Analogie so weit auszudehnen, wiewohl er wiederholt betont, daß er die Vermehrung der Entropie durch die Clausiussche Schlußweise nicht für bewiesen betrachte. O. Wiedeburg, der entschiedenste Verfechter der energetischen Wärmetheorie, trägt aber kein Bedenken, jede Vermehrung von S (d. h. von der Entropie) bei Wärmeverschiebung zu leugnen und dem bisherigen Entropiesatz den Satz entgegenzustellen; ‚Die Entropie einer Welt für sich ist konstant.'"

Auch einen Vergleich Mach's führt Dressel an, worin gesagt wird, die Entropie verhalte sich „wie das Wasser auf einer Mühle, welches nach getaner Arbeit noch in gleicher Menge wie früher vorhanden ist, nur auf einem tieferen Niveau". Trotzdem meint Dressel, der „Beweis dafür, daß die Entropie unter allen Umständen, auch in den nicht umkehrbaren Prozessen eine konstante Größe sei, habe nicht einwandfrei erbracht werden können". Einen Hinweis auf solche „Einwände," der zum Vorteil der Apologetik wertvoll gewesen wäre, hat er diesen Worten nicht beigefügt. —

Helm selbst spricht nicht von Einwänden, sondern sagt nur aus, daß „Wiedeburg's Formel noch nicht nach allen Richtungen geprüft sei, und daß es verfrüht wäre, die entscheidungsvolle Konsequenz als eine abgemachte Wahrheit hinzustellen", aber, so fährt er[1]) fort, „das ist gewiß, daß aus den unzweifelhaften Formulierungen des zweiten Hauptsatzes, die bisher schon so oft bezweifelte Vermehrung der Entropie nicht mit Notwendigkeit folgt".

Bereits an einer früheren Stelle (S. 125) hat Helm seine hier wiedergegebene Aussage über das Clausiussche Entropiegesetz auf mehrfache Weise begründet. Dort heißt es u. a.: „Aber damit (d. h. mit dem von Clausius vorgetragenen Beweisverfahren) ist nur bewiesen, daß, wenn ein System aus einem Gleichgewichtszustande in einen anderen adiabatisch (d. h. ohne Wärmezufuhr und ohne Wärmeabfluß) übergegangen ist, die Entropie nicht abgenommen haben kann.

---

[1]) Helm, Energetik, S. 318.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Denn die Formel 8 (womit Clausius seine analytische Untersuchung abschließt) gilt ja nur für den Fall, daß die mit 1 und 2 bezeichneten Zustände (d. h. der Anfangs- und der Endzustand bei einem thermischen Prozeß) auch umgekehrt erreichbar sind, und der Begriff „Entropie" ist überhaupt nur für solche Zustände definiert. Zu dem bezüglich des ersten Satzes (die Energie der Welt ist konstant) geäußerten, im Begriff „Welt" liegenden und schon längst von Mach („Erhaltung der Arbeit", Prag 1872, S. 36 und „Wärmelehre" Leipzig 1896, S. 338) erhobenen Bedenken kommt also hier ein sachliches, im Entropiebegriff begründetes hinzu. Die Entropie der uns bekannten Körper können wir nur angeben, wenn ein jeder in einem Zustande des Gleichgewichts ist, die Entropie eines Systems solcher Körper nur, wenn sich das System im Gleichgewicht befindet. Gleichgewicht ist nun aber in dem Teil des Universums, der uns interessiert, nie vorhanden, und wäre es einmal vorhanden, so — interessierte uns die Sache nicht mehr. . . . Außer auf diese prinzipiellen Einwände ist noch auf einen mathematischen Fehler hinzuweisen, der bei der Benutzung des zweiten Hauptsatzes unterläuft. Da S (die Entropie) bei adiabatischen Vorgängen nicht abnehmen kann, bei umkehrbaren adiabatischen Vorgängen aber konstant bleibt, so hat man geschlossen, daß es bei nicht umkehrbaren adiabatischen Vorgängen steige. Dieser Schluß ist aber unberechtigt, denn man weiß nicht, ob etwa N mit abnehmendem dQ (N und dQ sind zwei in der Clausiusschen Gleichung enthaltene Größen) gegen Null konvergiert; man weiß nur, daß es nicht negativ wird. Es könnte aber sehr wohl sein, daß bei allen adiabatischen Prozessen mit dQ auch N und dS verschwänden, wie das jüngst von Wiedeburg wahrscheinlich gemacht worden ist. Die Clausiussche Schlußweise beweist weiter nichts, als daß S bei adiabatischen Vorgängen nicht abnehmen kann. Obes konstant ist oder wächst, bleibt auf diesem Wege schlechthin unerledigt." —

Ersichtlich steht also der physikalische Satz von der Vermehrung der Entropie bei denjenigen Vorgängen im Gebiet der Wärmelehre, die man als „nicht umkehrbare Prozesse" bezeichnet, durchaus nicht unangefochten da, sondern wird von ernst zu nehmenden Männern der Wissenschaft mit sachlichen Gründen bekämpft. Will daher die Apologetik das Entropieargument zu ihren Schlußfolgerungen benutzen, so bedarf sie dazu als einer

Ersten Voraussetzung der Aussage:

> Der Satz, daß bei gewissen Naturprozessen die Entropie vermehrt wird, ist richtig. Alle gegen ihn geltend gemachten Gründe können als unrichtig nachgewiesen werden.

Um diese Voraussetzung annehmbar zu machen, wird der Apologet sich mit den von beachtenswerter Seite vorgebrachten Gegengründen auseinandersetzen müssen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

VII. Zweite notwendige Voraussetzung.

Viele Seen gibt's, denen andauernd Wasser zufließt; ist es gewiß, daß darum ihr Spiegel stets höher steigt? — Keineswegs, manches Zugeflossene fließt wieder ab, manches verdunstet, manches sickert ein.

Wenn sich Naturprozesse vollziehen, welche die Entropie vermehren, kommen nicht etwa auch solche vor, die eine Abnahme derselben zur Folge haben? Kann der Betrag der Abnahme den der Zunahme nicht erreichen? —

Kein Geringerer als Maxwell hat einmal die Idee ausgesprochen: Falls Wesen existierten, die innerhalb eines Gases die Flugrichtung der Molekel so zu beeinflussen vermöchten, daß deren Bahnen etwas gleichstimmiger würden, als sie sonst sind, so müßte die Entropie abnehmen.

Helmholtz ging einen wesentlichen Schritt weiter, indem er den Lebewesen überhaupt die Eigenschaft zuschrieb, bei der Bildung der sehr komplizierten Eiweißmolekel eine Arbeit zu leisten, die mit einer Verminderung der Entropie verbunden sei. Dieser Gedanke ist von der Naturforschung wiederholt aufgegriffen und variiert worden. Sehr wie ein vorsichtiger Mann drückt sich z. B. Grimsehl[1]) aus: „Wir dürfen aber nicht vergessen, daß ein solcher Schluß (auf das stetige Anwachsen der Entropiesumme in der Welt) schon aus dem Grunde voreilig wäre, weil wir gar nicht wissen, ob es außer den uns bekannten Energieformen nicht noch solche gibt, die sich unserer Beobachtung bisher völlig entzogen haben. Wir wissen ferner nicht, ob es berechtigt ist, diese Schlüsse, die sich nur auf die Energieformen des leblosen Geschehens beziehen, auch auf die Energieformen des Lebens anzuwenden."

Auerbach schätzt den Helmholtz'schen Gedanken so hoch ein, daß er sogar eine Definition des Begriffs „Leben" daraus herleiten möchte. Er sagt (Weltherrin und ihr Schatten S. 53): „Helmholtz knüpft an diese Betrachtungen die interessante Bemerkung, daß da, wo die Möglichkeit einer Einwirkung auf die einzelnen Molekel gegeben wäre, (der Maxwell'sche Gedanke), das Entropieprinzip hinfällig werden würde. Das könnte also vielleicht der Fall sein bei der auf feinsten Strukturverhältnissen beruhenden Lebenserscheinungen, und man besäße denn endlich einmal ein nicht bloß graduelles Kriterium für die Lebenserscheinungen: die Ungültigkeit des Entropieprinzips."

P. Dressel kommt in seinem Aufsatz in den „Laacher Stimmen" auf die Helmholtz'sche Idee gelegentlich zu sprechen. Er sagt: „Es muß deshalb (d. h. weil die Energieformen das allgemeine Streben zeigen, schließlich in Wärme aufzugehen und diese sich nach allen Seiten auszubreiten sucht) die wirkliche Leistungsfähigkeit der vorhandenen, ihrer Quantität nach konstanten Energie in der leblosen Welt stetig ab-

[1]) Grimsehl, „Lehrbuch der Physik", Leipzig 1909, S. 316.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nehmen. Andererseits sehen wir uns vergebens[1]) nach Prozessen um, welche von selbst erfolgen und die gesamte Leistungsfähigkeit wieder erhöhen könnten." Dann macht er hierzu die Fußnote: „In den Lebewesen nehmen die Energieänderungen zum Teil eine entgegengesetzte Richtung, indem sie aus Stoffen einer niedrigeren Leistungsfähigkeit Stoffe einer höheren Leistungsfähigkeit erzeugen, z. B. aus Kohlensäure, Stickstoff und Wasser das überaus wirkungsfähige Eiweiß. Gegenüber der Gesamtheit der Energiewandlungen in der unbelebten Welt spielen die umgekehrt laufenden Prozesse der Lebewelt eine sehr untergeordnete Rolle. Sie vermögen die Energieentwertung durch jene nicht aufzuhalten, sondern nur zu verlangsamen." —

Man sieht, daß die Beweiskraft dieser Aussage abhängt von der Rolle, die überhaupt die Lebewesen im Vergleich zu den leblosen Dingen in der Welt spielen. Bekanntlich gibt es darüber unter den Naturforschern und Philosophen (Hylozoismus) ganz entgegengesetzte Meinungen. Die von den verschiedenen Standpunkten aus geltend gemachten Gründe haben eigentlich aber überhaupt noch keine solide Unterlage, so lange das „Kriterium" nicht außer Zweifel steht, durch welches das Lebendige vom Leblosen in Schärfe unterschieden werden kann. Daß es an einem solchen, allgemein anerkannten, bisher noch mangelt, geht aus den vorhin angeführten Worten Auerbach's hervor, in denen er aussprach, daß der Helmholtz'sche Gedanke „endlich einmal" ein solches Kriterium darstellen könnte.

Ohne Zweifel wundert sich mancher zu hören, daß kein durch Beobachtung des Objekts feststellbares Kriterium bekannt und als solches anerkannt sein solle, welches die sichere Entscheidung gestattet, ob das Ding etwas Lebendiges sei oder nicht.

Aber dabei ist vieles zu bedenken. Zunächst einmal, daß es zahllose Tier- und Pflanzenarten gibt, bei denen ein Zustand täuschendsten Scheintodes, ein Zustand langandauernder Leblosigkeit (Ei, Same, Spore etc.) eine normale Zwischenstufe bildet bei der Entwickelung des individuellen Lebens oder des Lebens der Art. Dann aber darf man hauptsächlich nicht außer Acht lassen, daß all unsere Objektbeobachtung ganz und gar abhängig ist von der Leistungsfähigkeit unserer Sinnesorgane und der instrumentalen Bewaffnung derselben. Unsere Sinnenschärfe aber hat eine Grenze, und die Macht der Instrumente hat auch eine Grenze. Beide Grenzen liegen wesentlich im Gebiet des körperlich Kleinen. Hat nun das Reich des Lebens auch eine untere Grenze im Gebiet des körperlich Kleinen? — Und wo liegt diese denn? —

Längst ist man zur Erklärung gewisser physiologischer bezw. pathologischer Tatsachen zu der Ueberzeugung gekommen, daß es noch Lebewesen geben muß, die kleiner sind als alles, was wir selbst bei den schärfsten mikroskopischen Vergrößerungen heutzutage erkennen können. Und da das Längenmaß der Lichtwellen bekanntlich schon die unüberschreitbare Grenze bildet für die Steigerung der Leistungsfähigkeit eines Mikroskops oder „Ultramikroskops", so ist bisher keine Hoffnung abzu-

[1]) Grade das wird bestritten.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sehen, daß wir bei Beobachtung der Naturobjekte jemals werden mit Bestimmtheit angeben können: Dies oder das kann nicht mehr lebendig sein oder kann nichts Lebendiges mehr enthalten.

Aber vielleicht setzt die Temperatur dem Leben Grenzen? —

Für die Hitze mag das eher gelten, für die Kälte aber ist es sehr fraglich, wenn man nicht etwa den sogenannten „absoluten Nullpunkt" als Grenze annehmen will, der übrigens selber fraglich ist. In der Tat muß man die Zähigkeit, mit der gewisse Lebewesen der Kälte trotzen, eine geradezu erstaunliche nennen; sie übersteigt alle vorgefaßten Meinungen. So haben Paul und Prall, wie Arrhenius[1]) mitteilt, durch Versuche festgestellt, daß vegetative Formen von Staphylokokken in trockenem Zustande, nachdem sie vier Monate hindurch derjenigen Temperatur ausgesetzt waren, die dem Siedepunkt der flüssigen Luft entspricht (195 Grad unter Null) noch gar keine merkliche Abnahme ihrer Lebensfähigkeit zeigten. „Das ist, so sagt Arrhenius weiter, ein besonders schönes Beispiel, wie außerordentlich stark konservierend die große Kälte auf die Erhaltung des Lebens wirkt."

Im Weltenraume zwischen den Sonnensystemen herrscht wahrscheinlich eine noch größere, und so könnten wohl gewisse kleine Wesen durch die zwischen den Weltkörpern liegenden Räume fliegen und dabei leben und am Leben bleiben. Dieser Gedanke ist ja schon mehrfach ausgesprochen worden. —

Aber in der Menge und Fülle des Lebendigen in der Welt ist nicht die einzige Ursache gelegen, die der Energieentwertung verhindernd in den Weg tritt, sondern es sind bisher noch drei andere als solche bezeichnet worden: die radioaktiven Substanzen, die Flucht der Gaspartikel und der Strahlungsdruck.

Das Radium bietet einstweilen des Rätselhaften noch sehr viel. Was auf die Vermutung geführt hat, es könne vielleicht die Rolle eines Sammlers zerstreuter Energie spielen, ist seine beharrliche Ausgabe von Licht, von Wärme und von elektrischer Kraft. Dieser Ausgabe, die geradezu enorm ist und in quantitativem Verhältnis ihres Gleichen in der Welt nicht hat, von der überdies innerhalb mehrjähriger Beobachtung noch keine völlig zweifelfreie Verminderung feststellbar war: sollte ihr denn keine andauernde Energie-Einnahme gegenüberstehen?

Könnte als solche nicht etwa dienen das Verschlucken von „dissipierter", sonst verzettelter Energie, die im Radiumkörper in geordnetere, wirkungsfähigere Formen umgebildet wird? — Wenn es doch schon überhaupt Mittel und Vorrichtungen in der Welt gibt, die durch ihre Tätigkeit das Entropierad stellenweise zum Rückwärtsgehen treiben können, wenn also die Existenz solcher Apparate keinen Widerspruch bildet mit den Gesetzen des Weltgeschehens: warum soll denn das

[1]) Arrhenius, Svante „Die Vorstellung vom Weltgebäude im Wandel der Zeit", S. 186.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

„lebende Protoplasma" gerade das einzige derartige Gebilde sein müssen? —

Indessen von so ungewissen Dingen sei ganz abgesehen, es kommen hier noch zwei andere in Betracht, deren Natur und Wirksamkeit bekannter ist.

Svante Arrhenius hat mehrfach darauf hingewiesen, daß in den Bewegungsvorgängen der Gase eine Ursache gelegen sei, zufolge deren der Entropiebetrag der Welt vermindert wird. — Es ist unbestreitbar, daß ein Projektil sich trotz der Gravitation von der Erde auf Nimmerwiedersehen entfernen muß, wenn seine Geschwindigkeit einen durch Rechnung genau festzustellenden Grenzwert überschreitet. Nun besitzen aber die Partikel eines gasförmigen Körpers, wie früher schon erwähnt, eine große Durchschnittsgeschwindigkeit, welche für die verschiedenen Gasarten und für verschiedene Temperaturen berechnet worden ist. Aber nicht alle Teilchen haben die gleiche Bewegungsschnelligkeit; bei den einen kann sie tausendmal größer sein als bei den andern, ohne daß der berechnete Durchschnittswert darum größer oder kleiner zu sein braucht. Wenn daher ein Weltkörper gasförmig oder mit einer Gashülle umgeben ist, so können sich von seiner Außenseite ungezählt viele Teilchen loslösen, die durch ihre Schnelligkeit die Zentripetalkraft überwinden und davonfliegen. In dieser Hinsicht macht nun Arrhenius besonders auf jene zahllosen Himmelskörper aufmerksam, die wir Nebelflecke nennen. Von ihnen sagt er (a. a. O. S. 162): „Sie besitzen die merkwürdige Eigenschaft, sich bei der Aufnahme von außen zustrahlender Wärme auszudehnen und abzukühlen. Bei der Ausdehnung werden diejenigen Gasmoleküle, die die größte Geschwindigkeit haben, ausgestoßen und durch andere Gasmassen aus den inneren, mehr konzentrierten Teilen des Nebelflecks ersetzt. Auf diese Weise werden unter Abnahme der Entropie immer größere Energiemengen in diesen wegströmenden Gasmassen, die sich auf naheliegenden Sternen sammeln, angehäuft."

An einer anderen Stelle (S. 180) heißt es: „Im großen ganzen muß die Entropie einen fast unveränderlichen Wert behalten. Auf der einen Seite wird dieser durch die Strahlung der Sonnen nach den kalten Nebeln hin beständig vermehrt, auf der anderen durch den Abgang der schnellsten Moleküle der leichten Nebelgase aus den Gasmassen, und deren Anhäufung auf dichteren Ansammlungen von Materie fortwährend vermindert."

Wieder an einer anderen Stelle kombiniert er die auf der Eigengeschwindigkeit beruhende Flucht des Gasmolekel noch mit anderen physikalischen Antrieben, die ihrerseits die Wirkung unterstützen, insbesondere auch mit dem vorhin schon erwähnten „Strahlungsdruck". Er schreibt (S. 170 f.): „Spencer glaubte offenbar, daß bei der Konzentration der Materie auf Grund der gegenseitigen Annäherung der Körper potentielle Energie verloren gehe, beim Zerstreuen der Materie potentielle Energie wieder aufgespeichert wird — mit Bewegungsenergie ist das Verhältnis umgekehrt. . . . Sicherlich hat Spencer

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

in der Hauptsache recht, aber da die Physiker keinerlei zerstreuende Kräfte, wie Spencer sie forderte, kannten, so blieben seine Worte unbeachtet. Jetzt aber sind diese Kräfte wohlbekannt; sie sind hauptsächlich in den sprengstoffähnlichen Körpern angehäuft, die sich infolge hohen Drucks und hoher Temperatur in den inneren Teilen der Sonnen bilden. Dazu kommt während des Nebelfleckstadiums die Wärmeabsorption des Staubes in den dünnen Gashüllen, die infolge gesteigerter Molekularbewegung nach allen Richtungen des Raumes verstreut werden, um schließlich die Energie der in der Nähe befindlichen schweren Massen, besonders der Sterne, zu vermehren. Dieser Prozeß wirkt in erster Linie dem sogenannten Wachsen der Entropie, oder mit anderen Worten, dem Ausgleich der Temperatur zwischen den Himmelskörpern entgegen und verhindert das Eintreffen des Wärmetodes. Außerdem haben wir den Strahlungsdruck, der die Partikelchen von den Sonnen hinweg durch den Raum führt."

Diese von einem strahlenden Körper ausgehende Druckwirkung ist eine nicht mehr zu bezweifelnde Tatsache. P. Dressel berichtet darüber[1]) u. a.: „Lebedew ist es 1901 gelungen, den von einem elektrischen Bogenlicht ausgeübten Druck nicht bloß unzweifelhaft darzutun, sondern ihn auch zu messen. Er fand einen Druck $= 3{,}1 \cdot 10^{-5}$ Dyn auf die Flächeneinheit." Andere Physiker haben die Druckwirkung anderer Strahlenquellen und Strahlenarten untersucht und gemessen. —

Da Svante Arrhenius sich auf dem Gebiete der Physik und Chemie als Pfadfinder erwiesen, hat sein Name in der Naturwissenschaft einen guten Klang. Man darf seine hier mitgeteilten Gedanken und Theorien daher nicht ganz unbeachtet lassen und einfach mit Stillschweigen übergehen, sondern kann erst nach bündiger Widerlegung derselben mit Zuversicht über sie hinweg weiter argumentieren.

Die Beweiskraft des Entropieaguments erscheint nach Vorstehendem wesentlich abhängig auch von folgender

zweiten Voraussetzung: Es gibt entweder überhaupt keine Prozesse in der Welt, durch welche die Entropie vermindert wird, oder wenn es solche gibt, so ist doch der Gesamtbetrag der Verminderung geringer als der der Entropievermehrung. Gegenteilige Erwägungen sind als untriftig nachweisbar bez. nachgewiesen.

VIII. Dritte notwendige Voraussetzung.

In seiner apologetischen Schrift „der Kosmos" leitet Gutberlet auf S. 30 eine Erörterung über die Frage: „Ist das Weltall begrenzt oder unbegrenzt?" mit folgenden Worten ein:

„Die Frage über Begrenztheit oder Unbegrenztheit des Weltalls hat für den Philosophen wie für den Naturforscher gleich hohe Be-

[1]) Lehrbuch der Physik, II, S. 1011.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

deutung. Für den Philosophen entscheidet sich mit ihrer Lösung zugleich die wichtigere Frage: Ist das Universum notwendig und unerschaffen oder kontingent und hervorgebracht? Für den Naturforscher hängt von dieser Frage die Lösung des großen, in neuerer Zeit soviel verhandelten Problems von der Entropie, dem Stillstand der Weltprozesse ab. Denn ohne Erkenntnis der Endlichkeit der Weltmasse läßt sich kein begrenzter Kräftevorrat und also auch keine Erschöpfung desselben in der Natur behaupten. Darum hat man auch in der mannigfachsten Weise versucht, ein Urteil über die Grenzen der Welt oder deren Fehlen sich bilden zu können. Diese Versuche können auf drei zurückgeführt werden: Erstens man versucht auf rein empirischem Wege bis zu den Grenzen des Sternensystems vorzudringen. Zweitens man will die Frage auf rein spekulativem Wege entscheiden, indem man z. B. etwa zeigt, daß der Begriff einer unendlichen Größe, einer unendlichen Menge von Himmelskörpern in sich widersprechend sei. Drittens kann man den empirisch-spekulativen Weg, spezieller den naturwissenschaftlich mathematischen einschlagen, indem man zeigt, daß unendlich große oder unendlich viele Massen den Existenz- und Wirkungsbedingungen wirklicher Körper nicht entsprechen können.

Den ersten und zweiten Weg, die Begrenztheit der Welt darzutun, halten wir für nicht ganz sicher; dagegen führt der dritte ganz zwingend zu der Annahme einer begrenzten Welt. Sehen wir uns diese Versuche etwas näher an. . . ."

Da es uns hier nur auf bündige Beweise ankommt, Gutberlet aber bei dem ersten und zweiten die Bündigkeit schon selbst vermißt, so brauchen wir uns mit seiner Darstellung derselben nicht näher zu beschäftigen. Zahlreiche, teils von ihm, teils von anderen Schriftstellern herrührende, durchweg auf das nämliche Ziel gerichtete, in ihrem Gedankeninhalte aber verschiedene Darlegungen habe ich übrigens bereits in mehreren Abhandlungen [1]) eingehend erörtert. Es handelt sich also zunächst noch um die dritte Beweismethode Gutberlet's. Bei dieser stützt er sich auf zwei Argumente, erstens auf die ursprünglich von Olbers herrührende Theorie, daß „der ganze Himmel ebenso hell sein müßte wie die Sonne", wenn die Menge der Sonnen unendlich wäre, zweitens auf gewisse Folgerungen, die gezogen worden sind aus der Annahme, daß das Newton'sche Attraktionsgesetz strengste Gültigkeit habe, und daß es diese Gültigkeit auch behalten müsse, wenn es auf unendlich große Massen und unendlich große Entfernungen [2]) angewendet wird.

---

[1]) „Natur und Offenbarung, 1906, S. 706 ff., 1907, S. 450 ff. und 1909, S. 194 ff.

[2]) Aufgefallen ist mir, daß Gutberlet selbst, und zwar sogar in demselben Buche („der Kosmos", S. 129) eine Stelle bringt, deren Wortlaut gegen die Triftigkeit dieses Argumentes spricht. Dort heißt es: „Schon unser Sonnensystem ist so weit von dem nächsten Fixsterne entfernt, daß von einer gegenseitigen Beeinflussung nicht die Rede sein kann." Wenn das wahr ist, dann darf man doch auch nicht reden von einer „gegenseitigen Beeinflussung" durch Gravitation!

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Beide Argumente sind in verschiedenartiger Weise auch von anderen Autoren schon vorgetragen worden; überhaupt hat das letzte Jahrzehnt eine ganze Anzahl von Untersuchungen hervorgebracht, die sich mit den in Rede stehenden Fragen eindringlichst beschäftigen. In dem von der Königl. schwedischen Akademie der Wissenschaften in Stockholm herausgegebenen „Archiv" befindet sich ein Aufsatz von Arrhenius[1]), der über eine Reihe solcher Arbeiten kritischen Bericht erstattet und auch die beiden von Gutberlet geltend gemachten Beweisstücke prüft. Er gibt Gründe an, weshalb diese durchaus nicht „ganz zwingend" sind, und spricht schließlich, alles in allem erwogen, seine Ueberzeugung dahin aus, daß die materielle Welt keine räumlichen Grenzen habe. Seine Erörterungen sind zu umfangreich, als daß ich sie im Rahmen der gegenwärtigen Abhandlung wiedergeben könnte; es muß daher genügen, auf diese schon ihres angesehenen Verfassers wegen jedenfalls beachtenswerte Schrift hinzuweisen.

Um dieselbe vorliegende Frage hat auch Gockel in einem vortrefflichen Buche[2]) sich angelegentlichst bemüht. Der Aufsatz von Arrhenius ist aber darin, weil erst später veröffentlicht, noch nicht erwähnt. Derselbe harrt einstweilen, soviel mir bekannt, überhaupt noch der Widerlegung, und bevor eine solche in bündiger Weise erfolgt ist, kann man nicht mit Zuversicht behaupten, daß die von Gutberlet formulierte Frage: „Ist das Weltall begrenzt oder unbegrenzt?" durch die von ihm vorgetragenen Gründe für das erstere Prädikat endgültig entschieden sei.

Nun liegt aber auch noch ein anderer Beweisversuch für die Begrenztheit des materiellen Weltalls vor, den wir ebenfalls schon wegen des verdienten und angesehenen Mannes, von dem er herrührt, nicht unerwähnt lassen dürfen, der zudem auch aus sachlichen Gründen vollste Beachtung verdient. P. Dressel nämlich hat in seiner mehrmals erwähnten „Laacher" Abhandlung nicht versäumt, auf die Notwendigkeit eines Beweises für die Endlichkeit des Universums nachdrücklich hinzuweisen und trägt eine eigenartige Begründung dieser These vor.

Zunächst aber, bevor ich dieselbe bringe, muß ich bezüglich der Worte „endlich" und „unendlich" bemerken, daß diese Vokabeln leider vielerlei ganz verschiedene Bedeutungen haben, und daß in Folge dessen sehr häufig eine schlimme Verwirrung der Gedanken entsteht. Bei einem und demselben Satze, in dem die genannten Worte vorkommen, können zwei Leute zugleich Recht haben, obschon der eine ihn bejahend, der andere verneinend ausspricht. Daher ist es zur Erleichterung und Sicherung des Verständnisses nützlich, die Worte „endlich" und „unendlich" bei ihrer jedesmaligen Anwendung sinngemäß zu ersetzen durch andere und zwar eindeutige Vokabeln[3]). Handelt es sich z. B.

[1]) Arrhenius, Svante: „Zur Frage nach der Unendlichkeit der Welt." Arkiv för Matematik, Astronomie och Fysik, Bd. 5, Nr. 12. Upsala und Stockholm 1908.

[2]) Gockel, Schöpfungsgeschichtliche Theorien, Cöln 1907.

[3]) Vergl. hierzu meine Abhandlung „Über die Terminologie des Endlichen und Unendlichen", Nat. u. Offenbg., 1905, S. 130 ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

um die „Endlichkeit", insofern sie sich auf die Ausdehnung des betrachteten Gegenstandes bezieht, so wollen wir nicht fragen, ob er endlich sei oder nicht, sondern ob er „räumlich vollständig begrenzt" sei oder nicht. Handelt es sich hingegen um die „Endlichkeit", insofern eine Menge von Einzeldingen gezählt wird ohne oder mit absehbarem Ende dieses Zählverfahrens, dann wollen wir die Frage stellen: Ist die Menge „restfrei abzählbar" oder nicht? — Damit eine Menge „restfrei abzählbar" genannt werden könne, muß sie demjenigen, der sie betrachtet, erstens die Einsicht gewähren, daß sie überhaupt in irgend einer Ordnung das Zählen gestattet, was keineswegs bei allen Mengen der Fall ist, zweitens die Einsicht, daß beim Abzählen irgend einmal ein „Element", ein Einzelding, an die Reihe kommen muß, hinter welchem kein weiteres, noch nicht berücksichtigtes Element mehr übrig ist. „Nicht restfrei abzählbar" hingegen, oder positiv ausgedrückt: „restbewahrend, restbehaltend, restbleibend abzählbar" ist eine solche Menge, bei der man zwar das Geschäft des Zählens überhaupt beginnen und nach Gefallen fortsetzen kann, jedoch durch die besondere Eigenschaft der betr. Menge zu der Einsicht gebracht wird, daß, mag man sie ordnen wie man will, hinter jedem beliebigen Element immer noch weitere, nicht berücksichtige Elemente dem Zählgeschäfte sich darbieten.

Auch die Benutzung des Wortes „Zahl" ist bedenklich, weil der Sinn dieser Vokabel mehrfach so aufgefaßt wird, daß nur restfrei abzählbare Mengen darunter verstanden werden. Solange diese Eigenschaft also noch nicht feststeht, sondern erst bewiesen werden muß, ist es rätlich, das Wort „Zahl" zu vermeiden und an dessen Stelle den unbedenklicheren Ausdruck „Menge" zu gebrauchen.

Unter Anwendung dieser schärferen Terminologie (ich setze Dressel's eigene Ausdrucksweise jedesmal in Klammern dahinter) lautet die erwähnte Gedankenreihe folgendermaßen:

„Die wirkliche Körperwelt setzt sich zusammen aus einer bestimmten Menge (Zahl) festgeballter oder nebelartiger Himmelskörper, von denen jeder räumlich vollständig begrenzt ist und nur sein kann (eine begrenzte Ausdehnung hat und nur haben kann), aus den Atmosphären der Himmelskörper und aus der zwischen denselben befindlichen Weltmaterie. Die Himmelskörper bilden auch nur eine restfrei abzählbare Menge (sind auch nur in begrenzter Zahl vorhanden). Das dürfte schon der Augenschein nahe legen. Wenigstens steht der Astronom Newcomb nicht an rundweg zu behaupten: Die Ansammlung von Sternen, die wir Universum nennen, ist räumlich vollständig begrenzt (ist in ihrer Ausdehnung begrenzt). Mit Gewißheit erkennen wir dies aber, wenn wir die Gesamtheit, um die es sich handelt, genauer betrachten. Denn die existierende Sternenwelt ist eine völlig bestimmte Gesamtheit tatsächlich vorhandener Einzelkörper, also diskreter Einheiten. Das Verhältnis dieser Gesamtheit zur Einheit muß deshalb auch ein ganz bestimmtes Vielfaches, eine begrenzte Summe von Eins sein. Dieses aber ist nichts anderes, als eine restfrei abzählbare

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Menge (eine endliche, angebbare ganze Zahl), ganz gleichgiltig, ob wir alle die Einzelkörper wirklich zählen können oder nicht. Aus dem gleichen Grunde müssen wir auch die Vielheit der letzten Körperbestandteile, Atome, Elektronen, in den einzelnen Himmelskörpern, in ihren Atmosphären und in der intrastellaren[1]) Weltmaterie für eine restfrei abzählbare Menge (für begrenzt) ansehen. Mag die Zahl dieser Teilchen auch noch so groß sein und unsere Fassungskraft übersteigen, so ist sie doch nur eine restfrei abzählbare Menge (nur eine endliche)."

Hierzu heißt es noch in einer Fußnote u. a.: „Man wende nicht ein, das Gesagte gelte nur dann, wenn man die Gesamtheit als eine restfrei abzählbare (endliche) voraussetze, nicht aber, falls man sie als eine nicht restfrei abzählbare (unendliche oder unbegrenzte) denke. Wir gehen vielmehr von der sicheren Tatsache aus, daß die Gesamtheit der Einzelkörper eine völlig bestimmte ist. Eine solche Gesamtheit von Einzelkörpern besagt aber notwendig ein bestimmtes begrenztes Vielfaches der Einheit." —

Dressel verteidigt sich hier gegen den etwaigen Vorwurf einer „petitio principii". Klar ist, daß er die „Endlichkeit" nicht mit deutlichen Worten voraussetzt, um die „Endlichkeit" zu beweisen. Aber hat er sie nicht etwa „implicite" vorausgesetzt? — Vorausgesetzt und als zugestanden angenommen hat er ja beim Weltall die Eigenschaft, daß sie eine völlig bestimmte Gesamtheit sei. Wenn er nun in der eben zitierten Anmerkung selbst erklärt, eine völlig bestimmte Menge — in seiner Auffassung dieses Wortes — „besage" schon ein begrenztes Vielfaches der Einheit, besage also ebensoviel als eine restfrei abzählbare Menge von Einheiten, dann hat er die oben erwähnte Menge von Himmelskörpern oder Körperbestandteilen in demselben Augenblicke, wo er sie eine „völlig bestimmte Gesamtheit" nannte, auch schon als eine „restfrei abzählbare" taxiert, und seine Meinung, er habe von vornherein weder das eine noch das andere angenommen, da beides noch in Frage sei, ist irrtümlich. Ausgeschlossen war vielmehr von vornherein „das andere", zwar nicht „expressis verbis", aber automatisch ausgeschlossen durch die Wahl des Wortes „völlig bestimmt" und durch seine Auffassung von der Bedeutung dieses Ausdrucks.

Diese seine Auffassung sucht Dressel auch dadurch noch zu stützen, daß er den gegenteiligen Begriff „unbestimmt" und eine Beziehung zwischen diesem und einer „unendlichen Gesamtheit" hervorhebt. Er sagt: „Eine[2]) unendliche Gesamtheit wird ohne Grenzen vermehrt gedacht und bleibt deshalb in bezug auf ihr Verhältnis zur Einheit unbestimmt."

---

[1]) Gibt es nur eine „intrastellare", nicht auch eine ultrastellare „Weltmaterie"? Wenn die „intrastellare" irgendwo im freien Raume „stabil" aufhörte, wäre es z. B. physikalisch unmöglich, daß sie unter irgend einem Druck stehen könnte, auch nicht unter dem „Strahlendruck", von welchem im vorigen Abschnitt schon die Rede gewesen ist.

[2]) Aber nicht jede!

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Hier haben wir augenscheinlich das vor uns, was von vielen Philosophen unter dem Namen eines „Indefinitum" dem „Infinitum" als Gegensatz gegenüber gestellt zu werden pflegt. Aber, wenn es auch Gedankengänge geben mag, in denen von einer endlos wachsenden Menge und deren „unbestimmtem" Verhältnis zur Einheit die Rede ist, und wenn solche Mengen auch mit dem Namen „unendliche" (meistens genauer: potentiell unendliche) bezeichnet werden, so ist damit noch ganz und gar nicht gesagt oder gar bewiesen, daß es keine Mengen gibt, die „unendlich", d. h. nicht restfrei abzählbar sind, ohne daß sie überhaupt noch vermehrt zu werden brauchen!

Wir stoßen hier auf den alten Streit über das „aktual Unendliche". In früheren Schriften bin ich wiederholt näher darauf eingegangen, kann das aber hier nicht wieder tun. Nur möchte ich zur Erklärung der Sache einmal fragen:

Wieviel verschiedene Wellenlängen gibt es zwischen den Tönen a und b, zwischen den Spektrallinien C und D?

Wieviel verschiedene Richtungen hat der Blitzableiter eines Kirchturms tatsächlich gehabt, indessen er sich von 2 bis 3 Uhr mit der Erde um deren Achse drehte?

Wieviel voneinander verschiedene Winkel haben die beiden Zeiger einer Pendule „actualiter" miteinander gebildet, wenn die Uhr von Mittag bis Mitternacht gegangen ist und dann stillstand? —

Zu wachsen brauchen diese Mengen durchaus nicht und sind doch schon „unendlich", d. h. sie können, wie man deutlich sieht, nicht ohne bleibenden Ueberrest abgezählt werden.

Sind es aber auch „bestimmte" Mengen? —

Ich habe ja für jede von ihnen ein scharfes Bestimmungsstück angegeben: zwischen a und b, zwischen C und D, zwischen 2 und 3 Uhr, zwischen Mittag und Mitternacht!

Sind es aber auch „vollständig bestimmte" Mengen? —

Diese Frage kann niemand beantworten, wenn der Fragende nicht zuvor gesagt hat, was er unter diesem Ausdruck versteht, d. h. was seiner Meinung nach erforderlich ist, damit einer Menge dieses Prädikat beigelegt werden könne. Wenn nun P. Dressel erklärt, nach seinem Sprachgebrauch gehöre dazu, daß die betr. Menge ein „bestimmtes begrenztes Vielfaches der Einheit" sei, dann muß man sich dahin entscheiden, daß obige Mengen keine „vollständig bestimmten" Mengen seien. Und so würde, wenn D. diese seine Worterklärung gleich zu Anfang seines Beweises schon aufgestellt hätte, von allen Leuten, die die Menge der Himmelskörper oder der Körperbestandteile für nicht restfrei abzählbar halten oder die auch nur noch unsicher darüber sind, selbstverständlich kein einziger seinem grundlegenden Satze von der „völlig bestimmten Gesamtheit diskreter Einheiten" zugestimmt haben, und dann wären alle weiteren Schritte D's. schon von vornherein aussichtslos und vergeblich.

Aber dennoch, man muß es gestehen, hat Dressel's Gedankengang etwas Bestechendes. Wenn er den Pfeiler hinstellt: „Die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

existierende Sternenwelt ist eine völlig bestimmte Gesamtheit tatsächlich vorhandener Einzelkörper," so mag der Leser denken: Warum soll ich das nicht zugeben? Sie ist doch ganz bestimmt da, sie hat ihre bestimmten Eigenschaften, gehorcht ihren bestimmten Gesetzen; ob wir diese kennen oder nicht, ist ja gleichgültig, ob wir die Einzelkörper oder deren Bestandteile kennen oder nicht, ist auch gleichgültig. Die Gesamtheit der materiellen Dinge ist einfach ganz bestimmt da als das, was sie eben ist und so wie sie eben ist.

Hat man dann aber die Bestimmtheit zugegeben, und wird einem nachher die Dressel'sche Auffassung dieses Wortes auseinandergelegt, so sitzt man tatsächlich in der Schlinge und kann sich schließlich nur dadurch herauslösen, daß man seine anfängliche Zusage rückgängig macht und erklärt: Nein, in diesem Sinne ist die „Bestimmtheit" oder „vollständige Bestimmtheit" durchaus noch keine „sichere Tatsache", sondern soll grade noch erst bewiesene werden [1]). — —

Schon einmal ist im Jahre 1906, und zwar von Ernst Eugen Söhner in „Natur und Offenbarung" der Versuch gemacht worden, aus der „Bestimmtheit" auf die „Endlichkeit" zu schließen. Söhner faßte jedoch die Sache temporal auf und ging überhaupt in ganz anderer Weise vor. Ueber ähnliche Versuche Gutberlet's wird später noch zu reden sein.

Ganz allgemein aber wird man sich bei jedem derartigen Unternehmen deutlich vor Augen halten müssen: Wer von einem Objekt aussagt, es sei „bestimmt" oder auch es sei „völlig bestimmt", der hat damit allein noch gar keinen klaren und zu sicheren Folgerungen benutzbaren Gedanken ausgesprochen. Man muß die Merkmale angeben, die das Geschäft des „Bestimmens" besorgen; die generellen und die speziellen, die kennzeichnenden, die unterscheidenden Merkmale, überhaupt die sogenannten „Bestimmungsstücke" sind aufzuzählen. Denn aus ihnen erst ergibt sich die Eigenart und der Grad der „Bestimmtheit"; sie erst liefern die brauchbare Grundlage, auf der sichere Schlüsse gebaut werden können, sie könnten den hier in Betracht kommenden wichtigen Schluß auf die Begrenztheit des Universums überhaupt erst ermöglichen.

---

[1]) Das „Verhältnis" der Gesamtheit zur Einheit — ein Begriff, den D. ebenfalls in seinem Beweise benutzt — ist übrigens im Grunde ein Gedankending, welches aus der Zweizahl der Komponenten (Gesamtheit — Einheit) in seiner richtigen Einzahl (das Verhältnis) erst dann zustande kommt, wenn ein genügend denkfähiges Wesen diese beiden Komponenten zu einem Gedanken verkoppelt. Ob nun diese Koppelung zuletzt auf eine „endliche angebbare Zahl" hinausläuft oder nicht, das ist allerdings, wie D. richtig sagt, unabhängig davon, „ob wir alle die Einzelkörper wirklich zählen können oder nicht", es ist aber abhängig von der Frage, ob das denkfähige Wesen, welches jenes „Verhältnis" zu denken sich bemüht, bei Erwägung der Eigenschaften der betr. „Gesamtheit" zu der Einsicht gelangt, sie lasse sich in einer gewissen Anordnung so durchmustern, daß nach einem gewissen Element kein weiteres, noch nicht berücksichtigtes, mehr übrig bleibt. Bevor das denkende Wesen diese Erkenntnis — oder etwa die gegenteilige — gewonnen, ist es gar nicht in der Lage zu sagen, ob das „Verhältnis der Gesamtheit zur Einheit" durch eine „endliche angebbare ganze Zahl" abgebildet werden kann oder nicht.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Dressel's Argumentation scheint mir die vorhin erwähnte Aussage Gutberlet's zu bestätigen, daß der „rein spekulative" Weg, d. h. ein solcher, der sich wesentlich auf Auseinanderlegung der Begriffe stützt, nicht geeignet sei, die Weltendlichkeit durch einen vollauf überzeugenden Beweis darzutun. So lange der letztere aber nicht vorliegt, geht dem Entropiebeweise ein, wie allerseits anerkannt wird, unentbehrliches Kettenglied ab. Dieser bedarf zu seiner Bündigkeit notwendig der

Dritten Voraussetzung: Die materielle Welt ist endlich, d. h. sie besteht aus einer restfrei abzählbaren Menge von Elementarteilen, und die gegenteilig geltend gemachten Gründe sind als untriftig nachgewiesen.

IX. Vierte notwendige Voraussetzung.

Unentbehrlich für das Entropieargument ist die dritte Voraussetzung deswegen, weil ohne sie weder von dem Gesamtvorrat des Weltalls an Energie noch an Entropie ausgesagt werden kann, daß er eine endliche, eine restfrei abzählbare Menge von Einheiten enthält, aber hinreichend für diesen Zweck ist sie noch keineswegs, weil ja die Frage übrig bleibt, ob selbst in einer endlichen Welt dieser Vorrat nicht dennoch unendlich sein könne. Daher finden sich denn auch mehrfach Versuche vor, diese Eventualität durch einen besonderen Beweis als unmöglich darzutun.

So schreibt z. B. Gutberlet („Der Kosmos", S. 122): „Der Kraftvorrat (in der Welt) hängt von der Masse und der Geschwindigkeit ab. Es gibt zwar auch Kräfte, welche ohne Bewegung den Körpern inhärieren, wie die Elastizität, die Gravitation. Aber sie stellen bloß potentielle Energie dar. Nur kinetische Energie kann Naturprozesse bewirken; die lebendige Kraft $= \frac{1}{2} mv^2$, gemessen durch das Produkt aus der Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit, ist im Natur- und Weltgange wirksam. Im übrigen führt die mechanistische Naturerklärung auch die Elastizität, Schwere und alle sogen. ruhenden Kräfte auf Bewegungen zurück. Nun ist aber in der Welt weder unendliche Masse noch unendlich schnelle Bewegung vorhanden." —

Die Folgerung hieraus kann dann so entwickelt werden: Da m endlich und v endlich, so ist auch $\frac{1}{2} mv^2$ endlich, und da die Menge solcher Produkte ebenfalls endlich ist, so ist der Gesamtbetrag an „lebendiger Kraft" endlich. Außer dieser, der „kinetischen", kann aber keine andere Form von Energie „Naturprozesse bewirken", also ist der gesamte in der Welt vorhandene Vorrat von Energie, der Naturprozesse bewirken kann, endlich. —

Woher nun aber Gutberlet weiß, daß „nur kinetische Energie Naturprozesse bewirken könne", sagt er nicht. In der

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

heutigen Physik hält man bekanntlich jede Form von Energie für fähig, Arbeit zu leisten[1]), jede Arbeitsleistung ist aber eine Energieverschiebung, und jede Energieverschiebung ist ein „Naturprozeß". Darum wird man dem Satze, daß die kinetische die einzige zur Bewirkung von Naturprozessen befähigte Energie sei — zumal wenn er, wie hier, ohne Grundangabe dasteht — zuzustimmen kaum geneigt sein.

Die Beifügung, daß es eine gewisse „mechanistische" Naturerklärung gebe, welche sowohl die Schwere und Elastizität, als auch alle übrigen „ruhenden Naturkräfte auf Bewegung zurückführe", ist wohl dahin zurechtzubiegen, daß diese Naturerklärung es sich zum Ziele gesetzt hat, solches zu tun. Denn weder Gutberlet noch sonst irgend jemand wird behaupten wollen, das „Zurückführen" sei eine in der Gegenwart soweit fertige Tatsache, daß man bereits einen bündigen Beweis darauf stützen könne.

In der Tat ist ja diese „mechanistische" Hypothese, die alle Naturerscheinungen durch Bewegungen materieller Substanzen zu erklären strebt und daher auch oft „kinetische" Theorie genannt wird, noch keineswegs allgemein als die einzig berechtigte anerkannt. So schreibt z. B. Ostwald[2]) (derselbe, der bei der letzten Verteilung der Nobelpreise einen solchen für seine hervorragenden wissenschaftlichen Leistungen erhalten hat, also doch wohl nicht zu den Männern gehört, die man einfach unbeachtet lassen darf): „. . . Dies hängt mit der . . Vorstellung zusammen, daß alle Naturerscheinungen sich schließlich als Bewegung von Materie auffassen lassen. Während des größeren Teils des neunzehnten Jahrhunderts hat diese Vorstellung . . . nahezu unbestritten gegolten. Gegenwärtig macht sich zunehmend die Erkenntnis geltend, daß es sich hierbei nur um eine unbewiesene Vermutung gehandelt hat, deren Wahrscheinlichkeit zudem täglich geringer wird."

Sehr vorsichtig äußert sich über dieselbe Frage auch P. Dressel[3]) folgendermaßen: „Man stellt hie und da die dynamische, die kinetische und die energetische Naturerklärung einander gegenüber und behauptet, die erste und älteste derselben sei durch die zweite verdrängt worden und die zweite werde ebenso mit der Zeit der dritten weichen müssen. Im Hinblick auf die oben erläuterten Gründe können wir einer solchen Auffassung nicht beipflichten. Jede dieser drei Richtungen hat ihre Berechtigung. . . . . Nachdem zu Anfang des 19. Jahrhunderts die kinetische Deutung der optischen Erscheinungen und seit der zweiten Hälfte desselben die kinetische Theorie der Wärme reges Leben in die theoretische Physik gebracht hatten, wurde die dyna-

---

[1]) Siehe die Definition der „Energie" S. 9. Man könnte fast auf die Vermutung kommen, Gutberlet's Aussage („nur" etc.) sei veranlaßt worden durch ein Mißverständnis bzl. des Wortes „potentiell", welches in der Energetik in einem etwas anderen Sinne gebraucht wird, als in der scholastischen Philosophie.

[2]) Ostwald, Grundriß der Naturphilosophie, S. 148.

[3]) Dressel, Lehrbuch, S. 1030.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mische Betrachtungsweise mehr und mehr durch die kinetische zurückgedrängt. . . . . Allmählich wich jedoch die erste Ueberschätzung der Kinetik einer nüchternen und weniger einseitigen Betrachtung." —

Klugerweise hat denn auch Dressel selbst den Satz, daß der Gesamtbetrag der Weltenergie ein endlicher sei, gar nicht auf die schmale Schulter der kinetischen Theorie gestützt. Außerdem legt er fast mehr Ton auf die Entropie als auf die Energie, indem er [1]) folgendermaßen argumentiert: „Ist die Welt endlich, so ist auch die in ihr vorhandene Entropie von endlicher Größe. Die Entropie hat wie die Energie ihren eigentlichen Sitz nicht in den Körpern als Gesamtmassen, sondern in ihren kleinsten Teilchen. Die Atome, welche die eigentlichen Stoffindividuen darstellen, müssen wir unseren heutigen Kenntnissen zufolge als die eigentlichen Akteure in dem großartigen Naturschauspiele betrachten, das im Laufe der Weltperioden früher sich abgewickelt hat und in der Zukunft sich noch fortsetzen wird. Von ihrem unmittelbaren Eingreifen nehmen wir allerdings nichts wahr, weil wir sie selbst wegen ihrer Kleinheit einzeln nicht mit Augen sehen können. Die unseren Sinnen sich darbietenden Naturerscheinungen sind nur das Ergebnis ihrer Zusammenwirkung. Selbstverständlich können die verschiedenen Kraftanlagen als physikalische Zustandsgrößen, sowie die ihnen entsprechenden Energie- und Entropiebeträge, welche in jedem einzelnen dieser minimalen Körperbestandteile in jedem Augenblicke enthalten sind, auch nur winzig kleine Größen sein. Sind ja ihre Summen, welche in den greifbaren Körpern vorkommen und von Physikern gemessen werden können, immer von bestimmtem endlichen Werte. Da nun auch die Zahl der Bestandteile, mag sie auch über unzählbare Milliarden mal Milliarden hinausgehen, wieder nur eine endliche sein kann, so folgt, daß die Summe der in der Welt heute vorhandenen Energie- und Entropiemenge eine endliche ist." —

Der Lebensnerv dieser Beweisführung steckt in dem Satze: „Sind ja ihre Summen, welche in den greifbaren Körpern vorkommen und von den Physikern gemessen werden können, immer von bestimmtem endlichem Werte." Und diese Aussage soll gelten von den Energie- und Entropiebeträgen. —

Zunächst hat mich am meisten gewundert, daß Dressel behauptet, der Entropiebesitz eines „greifbaren Körpers" könne von den Physikern ausgemessen werden, und dabei erhalte man „bestimmte endliche Werte". Es fällt nämlich schwer, diese kategorische Behauptung in Einklang zu bringen mit der ebenso kategorischen in seinem Lehrbuch S. 380: „Die Größe der in einem Körper vorhandenen Entropie läßt sich nur relativ bestimmen, indem man dieselbe auf jene Entropie bezieht, welche der Körper in einem willkürlich gewählten Nor-

[1]) Dressel, Abhandlung in den Laacher Stimmen, S. 157.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

malzustand besitzt." Diese letztere Aussage Dressel's: „nur relativ" muß ich für richtiger halten als die erstere, denn ich finde sie bestätigt durch eine klare Stelle bei Chwolson[1]), worin er am Schlusse einer mathematischen Ableitung fortfährt: „Aus dem Gesagten erhellt, daß die Entropie des Körpers (es ist von irgend einem gegebenen Körper die Rede) ebensowenig bestimmt werden kann, wie seine Energie, denn wir kennen nicht denjenigen Zustand des Körpers, für welchen S = o ist. Man kann nur von der Differenz der Werte der Entropie für zwei Zustände des Körpers reden."

Hiernach bleibt es eine dunkle Sache, auf welchen Grund hin Dressel die Gesamtmenge der in einem „greifbaren Körper" vorhandenen Entropie als eine von den Physikern meßbare, bestimmte endliche Größe hinstellt.

Chwolson leugnet aber, wie aus seinen Worten hervorgeht, überdies noch die Meßbarkeit der totalen Energiemenge eines Körpers und erhebt damit auch in diesem Punkte gegen Dressel's obige Behauptung offenen Widerspruch.

Damit steht er übrigens nicht allein da.

Zunächst finde ich bei D. selbst[2]) die Stelle: „Die Wärmemenge ist dem Gesagten zufolge als wahre Wärme die Energie der ungeordneten Bewegung kleinster Teilchen, von denen wir sehr wenig wissen, als gesamte Wärme aber eine dreifache Energie, deren Komponenten sehr ungleich sich verhalten, und von denen uns wieder die innere statische Energie nur sehr unvollkommen bekannt ist." —

Da jeder „greifbare Körper" aber Wärmeenergie besitzt (der absolute Nullpunkt ist ja bisher noch nie erreicht worden), so besitzt er auch einen Betrag an innerer statischen Energie, der uns in der Tat „sehr unvollkommen bekannt ist". — Welcher Physiker hätte den je ausgemessen?

Zweitens möchte ich nochmals an einen Ausspruch des als Naturforscher hochgeschätzten P. Braun erinnern, den ich schon einmal[3]) erwähnt habe, und worin über die vielerlei einem Körper innewohnenden Kräfte gesagt ist: „Von diesen allen wissen wir wohl das eine, daß sie nicht auf Gravitation zurückgeführt werden können, im übrigen wissen wir über ihr Wesen nichts, und es gibt auch unter den größten Gelehrten nicht einen, der darüber etwas Plausibles angeben könnte[4])."

Das lautet auch nicht sehr hoffnungsvoll für den Versuch, die Gesamtenergie eines Körpers erschöpfend zu messen, aber immerhin haftet den Worten Braun's noch eine Dunkelheit an, weil er das vieldeutige und unbestimmte Wort „Wesen" gebraucht.

---

[1]) Chwolson, Lehrbuch, III, S. 512.
[2]) Dressel, Lehrbuch, I, S. 374.
[3]) Natur und Offenbarung, 1906, S. 713.
[4]) Braun, Kosmogonie, S. 290.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Der dritte Zeuge, den ich für die Richtigkeit von Chwolson's Ausspruch, soweit er sich auf die Energie bezieht, noch beibringen kann, ist einer unserer allergrößten Physiker, William Thomson, der bekanntlich wegen seiner ganz hervorragenden Verdienste 1892 zum Lord Kelvin ernannt wurde [1]). Von ihm gibt Helm in seiner „Lehre von der Energie" eine Stelle wieder, die sich auf die „gesamte Eigenenergie eines Körpers" bezieht. Er sagt (S. 35): „Die ganze Bedeutung dieser Funktion erkannt zu haben, ist Thomson's Verdienst, welcher sie im fünften Teile seiner Abhandlung „On the dynamical theory of heat" [2]) folgendermaßen einführt: „Als gesamte Eigenenergie eines Körpers sollte man den mechanischen Wert aller Wirkungen definieren können, die der Körper durch Wärmeaussendung und Ueberwindung von Widerständen hervorbringen würde, wenn man ihn auf das äußerste abkühlte und ihn unter Verhinderung der Wärmebewegung in ihm sich unbegrenzt zusammenziehen bezw. ausdehnen ließe (je nachdem nämlich die zwischen seinen Teilen wirkenden Kräfte anziehend oder abstoßend sind). Aber bei unseren gegenwärtigen mangelhaften Kenntnissen über vollkommene Kälte und über die Natur der Molekülarkräfte können wir 1. die gesamte Eigenenergie für keinen Teil der Materie bestimmen und 2. nicht sicher sein, daß sie für einen endlichen Teil der letzteren unendlich groß ist." —

Was hier unter 1. ausgesagt wird, stimmt mit Chwolson, Braun sowie mit Dressel's „Lehrbuch der Physik" inhaltlich ganz überein und spricht gegen die in Dressel's vorerwähnter „Laacher Abhandlung" enthaltenen Behauptung, daß die Physiker im Stande seien, die Summe der in einem greifbaren Körper vorhandenen Energie zu messen. Die auf diesen Grund gebauten Folgerungen D.'s verlieren somit ihren Halt.

Was aber unter 2. gesagt ist, möge man genauer besehen. Mir flößte es den Verdacht ein, daß entweder Helm unzutreffend übersetzt habe oder daß ein Druckfehler vorliege. — Da es für den Zweck meiner vorliegenden Untersuchung wichtig schien, den wirklichen Sachverhalt festzustellen und damit der wahren Meinung Thomson's, die ich in diesem Ausspruch vermutete, auf den Grund zu kommen, so habe ich bei Helm in Dresden angefragt. Ich schrieb ihm: „Welchen Sinn hat diese Betonung der Unsicherheit? — Will Thomson damit sagen: Es könnte vielleicht jemand die Meinung gehabt oder geäußert haben, daß die gesamte Energie eines endlichen Teils der Materie unendlich sei, das aber scheint mir unsicher? — Oder will er umgekehrt sagen: Jemand könnte der Meinung sein, daß die gesamte Eigenenergie eines endlichen Teils der Materie auch nur einen endlichen Betrag zu besitzen im Stande sei, und das halte ich für unsicher, eben weil unsere gegenwärtigen Kenntnisse noch zu mangelhaft sind? Die letztere Alternative scheint mir die richtige zu sein. Ist dem so?

[1]) Gerade auf seine Autorität pflegt man ja hinzuweisen, wenn man das Gesetz von der „dissipation of energy" für die Apologetik verwertet.

[2]) Helm zitiert: Math. phys. Papers I, 292.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

— Dann aber dürfte in der Aussage Nr. 2 das Wörtchen „nicht" oder „nicht etwa" eigentlich nicht fehlen, so daß sie, sinngemäß ergänzt, heißen müßte: „ . . und nicht sicher sein, daß sie für einen endlichen Teil der letzteren nicht etwa unendlich groß ist."

Hierauf entgegnete mir Ghrt. Helm: „Betreffs der Stelle aus Thomson haben Sie vollkommen recht. Sie steht im 5. Teil der Abhandlung On the dynamical theory of heat, die in den 1. Band der Math. and physical Papers aufgenommen ist und lautet: ‚. . . but in our presence state of ignorance regarding perfect cold and the nature of molecular forces, we cannot determine this total mechanical energy for any a portion of matter, nor ewen can we be sure that it is **not** infinitly great for a finite portion of matter.'"

In diesen Worten ist Thomson's Auffassung der vorliegenden Frage deutlich niedergelegt; sie besagen: Daß der in einem endlichen Teile der Materie vorhandene Gesamtbetrag von Energie nicht unendlich sei, davon haben wir kein sicheres Wissen.

Wenn wir nunmehr das Ergebnis unserer vorstehenden Besprechung kurz zusammenfassen, so können wir feststellen:

Gutberlet hat seinen Beweis gestützt auf die Hypothese, daß einzig und allein die kinetische Form der Energie Naturprozesse bewirken könne. Diese Annahme darf aber nicht als eine feststehende Tatsache gelten, sie entspricht auch nicht den physikalischen Anschauungen der Jetztzeit, und schon darum wirkt der darauf gegründete Beweis nicht überzeugend.

Dressel verläßt sich darauf, daß der in den „greifbaren Körpern" vorhandene Betrag an Energie sowie an Entropie von den Physikern erschöpfend gemessen werden könne. Da auch das von Seiten der zuständigen Wissenschaft bestritten wird, erscheint sein Beweis nicht bündig.

Wenn nun jemand etwa denkt: Mögen immerhin diese vorgetragenen Beweise — und vielleicht ein Dutzend andere sonstwo vorfindliche — an Mängeln leiden, so wird dadurch die Richtigkeit der Behauptung zwar gewiß nicht dargetan, aber offenbar doch auch noch nicht zerstört. Der aufgestellte Satz kann trotz alledem vollkommen wahr sein. Und vielleicht ist es sogar ganz selbstverständlich und für einen hellen Kopf klar auf der Hand liegend, daß eine endliche Menge von Materie keine unendliche Menge von Energie beherbergen kann. So was muß sich doch schließlich auch ohne Beweis einsehen lassen!

In der Tat, wer diese These als selbstverständlich richtig einsieht, bedarf für seine Person keines Beweises mehr, er kann aber doch keinem andern Menschen übel nehmen, wenn der sie als nicht selbstverständlich betrachtet. Und wenn ein so hervorragender Mann und klarer Geist wie William Thomson sie als nicht[1]) selbstverständlich erklärt,

[1]) Dieses Urteil hat noch um so mehr Gewicht, als Thomson grade von apologetischen Schriftstellern nicht nur als ein Mann von ganz hervorragender Klarheit und Schärfe des Verstandes, sondern auch als

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dann dürfte es doch wohl gewagt sein, auf ihre Selbstverständlichkeit einen apologetischen Beweis aufbauen zu wollen, der strenge Bündigkeit und dauerhafte Ueberzeugungskraft beansprucht.

Demnach muß man von jedem, der mit dem Entropieargument einwandfrei arbeiten will, im Falle er die drei ersten notwendigen Voraussetzungen schon als zutreffend dargetan hat, weiter verlangen, daß er als richtig nachweist auch noch die

Vierte Voraussetzung: Die in einer endlichen Menge von Materie enthaltene Gesamtmenge von Energie kann in keinem Falle von unendlichem Betrage sein. Zweifel daran und entgegenstehende Behauptungen sind durch einwandfreie Gründe widerlegbar.

X. Schluß auf das Weltende. Asymptote.

Auf Grund der bisher besprochenen Voraussetzungen kann man die Gesamtbeträge der in der Welt vorhandenen Energie und Entropie als restfrei abzählbare Mengen von Einheiten betrachten. Durch die letztere Menge ist die erstere in Bezug auf „Nutzbarkeit" oder „Verwandlungsfähigkeit" herabgemindert worden, und aus der Endlichkeit beider ergibt sich sofort, daß auch der Rest, d. h. der übrig gebliebene Vorrat an „nutzbarer" Energie in der Welt ebenfalls eine endliche Größe sein muß — Der weitere Schritt des apologetischen Beweises besteht nun darin, daß man aus der Voraussetzung Nr. 2, die das andauernde Wachstum der Entropie ausspricht, die zwingende Folgerung zieht: Der Betrag an nutzbarer Energie muß mit dem Fortschritt der Zeit stetig abnehmen. An diese aber knüpft sich dann der berühmte, vielerörterte Schluß auf den sogenannten „Wärmetod", auf das „Ende der Welt".

Der Schluß auf den „Weltanfang" ist ganz andersartig. Indem wir uns diesen für die folgenden Abschnitte vorbehalten, wollen wir im gegenwärtigen bloß den Schluß auf das Ende ins Auge fassen, mit dem sich ja nicht allein Apologeten, sondern auch Vertreter der Naturwissenschaften vielfach beschäftigt haben.

Großes Aufsehen erregte z. B. schon vor Jahrzehnten die bereits erwähnte Aeußerung Emil du Bois-Reymond's in seinem berühmten Vortrage über „die Grenzen des Naturerkennens", daß „Carnot's Satz die Welt mit ewigem Stillstand bedrohe".

---

leuchtendes Beispiel eines gottgläubigen Naturforschers hingestellt wird. Da letzteres so gut wie ersteres mit vollem Recht geschieht, so ist ein etwaiger Verdacht, daß seine obige Aussage nicht unbefangen und vorurteilslos, sondern vielleicht von einer religionsfeindlichen Absicht beeinflußt sein könnte, gänzlich ausgeschlossen. Vgl. hierzu u. a. P. Kneller S. J. „das Christentum und die Vertreter der neueren Naturwissenschaft" S. 31 ff. und den Artikel von Prof. Braig in der „Literarischen Rundschau" 1910, S. 64.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Seitdem hat man diesen Gedanken, wenn auch nicht gerade mit Berufung auf Carnot, dann auf Clausius oder Thomson, hundertfältig wiederholt. Andere lehnten sich dagegen auf. Schließlich haben diejenigen, die ich für die besonnensten Verfechter des Entropieaguments halte, von einer „asymptotischen" Annäherung an den sogenannten „Wärmetod" gesprochen.

Anfangs wurde der ganzen Beweisführung auch weiter nichts zu Grunde gelegt, als die vorerwähnte Aussage, daß der Betrag an nutzbarer Energie sich fortwährend vermindere, und daraus allein schloß man schon tapfer, daß er nach Verlauf einer endlichen, d. h. restfrei abzählbaren Menge von Zeiteinheiten gänzlich aufgezehrt sein müsse.

Bei einer früheren Besprechung[1]) derartiger Beweisführungen stellte ich die Frage auf: „Versteht es sich denn etwa schon von selbst, daß jede endliche Größe, die nachweisbar fortwährend abnimmt, nach Verlauf eines endlichen Vorganges müsse zu Null geworden sein?" — Dann zeigte ich durch Beispiele, daß sich dies durchaus nicht von selbst versteht; hierbei sind nämlich drei Fälle möglich: Je nach dem Gesetz, dem die Abnahme gehorcht, erreicht die abnehmende Größe entweder nach einer begrenzten Anzahl von Schritten tatsächlich die Null, oder zweitens sie nähert sich der Null immer mehr, je länger oder öfter das Subtraktionsverfahren stattfindet, ohne sie aber bei irgend einer noch so langen Dauer oder noch so großen Zahl der Verminderungen jemals wirklich zu erreichen, oder drittens, sie ist überhaupt nicht im Stande, trotz beliebiger Fortsetzung des Verfahrens unter einen bestimmten, von Null verschiedenen positiven Wert herabzusinken, so daß sie nicht einmal diesen wirklich erreichen kann, geschweige die Null. — Zu entscheiden, welcher von diesen drei Fällen eintritt, ist nur derjenige in der Lage, dem über das Gesetz der Wertabnahme Genügendes bekannt ist.

Von diesem entscheidenden Gesetze, sofern es sich um die nutzbare Weltenergie handelt, wird nun in der Tat eine wichtige Aussage gemacht und vielfach als richtig angenommen; man sagt nämlich, es laute dahin, daß die aufeinander folgenden Verluste an nutzbarer Energie — dieser Vorgang wird auch vergleichsweise als ein „Altern" der Welt bezeichnet — mit zunehmender Langsamkeit erfolge.

So heißt es z. B. bei Dressel am Schlusse des Lehrbuches S. 1035: „Dieses Altern erfolgt mit zunehmender Langsamkeit und wird durch unabsehbare Zeiten noch dauern. In diesem Punkte stimmen wir mit Auerbach überein, wenn er schreibt: ‚Der Ausgleich der Niveauformen-Differenzen (der Energie), der das Gesamtergebnis alles Naturgeschehens ist und durch das Eingreifen des Menschen nur im einzelnen, nicht im ganzen aufgehalten werden kann, erfolgt mit einer den vorhandenen Differenzen proportionalen Geschwindigkeit, also, da diese Differenzen abnehmen, allmählich immer langsamer; der Endzustand, in welchem die Wirkungsfähigkeit Null ist, wird also asymptotisch erreicht.'" —

[1]) Natur und Offenbarung, 1906, S. 714.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Bezüglich der letzten Worte dieses Zitats darf nicht übersehen werden, daß die Ausdrucksweise „asymptotisch erreichen" zwar mitunter gebraucht wird, aber eine ungenaue Darstellung des Sachverhalts und sogar einen Widerspruch enthält. Die Bedeutung des Wortes „asymptotisch" schließt durch das alpha privativum den Begriff des „Erreichens" ja geradezu aus! — Ein „Endzustand, in welchem die Wirkungsfähigkeit Null ist", kann eben niemals „erreicht" werden. —

Die asymptotische Annäherung wird u. a. auch von Gockel[1]) behauptet mit den Worten: „Die Entwertung der vorhandenen verwertbaren Energie geht asymptotisch vor sich, d. h. die Abnahme der noch für Bewegungsvorgänge verwendbaren Energie wird um so langsamer, je kleiner die Menge der noch vorhandenen verwendbaren ist." Aber auch G. faßt das kennzeichnende Wort nicht genügend scharf auf, wenn er den Schluß zieht: „Dieses Ende (nämlich, „daß die Bewegungen im Weltall einmal ein Ende nehmen") wird vielleicht erst in einer unvorstellbar langen Zeit erreicht." — Geht die Entwertung asymptotisch vor sich, so wird eine „Ende" sicherlich niemals „erreicht".

Interessant ist der Schlußsatz Gockel's: „Lange vor diesem Weltentod kann ein Erdentod, wenigstens eine Erstarrung der Erde, alles organische Leben auf ihr unmöglich gemacht haben. Vielleicht — und mit dieser Vermutung lasse ich der Phantasie allerdings die Zügel schließen — mögen dann auf einem andern Planeten Bedingungen eingetreten sein, welche das Dasein menschenähnlicher Wesen dort ermöglichen." —

Ebensowenig wie Dressel und Gockel leugnet auch Gutberlet die asymptotische Annäherung an die Null. Er behandelt diese Frage in eigenartiger Weise folgendermaßen[2]): „Es ist ja wahr, daß theoretisch gesprochen der Ausgleich der Spannungsdifferenzen nie vollständig erreicht werden kann. . . . Der Ausgleich zweier ungleich großen Bewegungen erfolgt um so stärker, je größer die Intensitätsdifferenz ist; er wird um so langsamer, je mehr sich die Differenzen ausgleichen. Wenn also auch die Differenzen immer kleiner und kleiner werden, die Zeitdauer wird immer größer; da man also in der Verlangsamung keinen Endpunkt bezeichnen kann, so auch nicht einen Nullpunkt des Ausgleichs. Auch mathematisch ist die asymptotische Natur des Ausgleichs leicht verständlich. . . ."

Dieser „theoretischen" Betrachtung stellt er dann aber eine „praktische" gegenüber. Er mischt „zwei verschiedene Flüssigkeiten, die in zwei Gefäßen enthalten sind, etwa Wein und Wasser", miteinander und fragt: „Wie viele Mischungen sind vorzunehmen, bis in beiden Gefäßen Wasser und Wein in gleichen Verhältnissen sich finden?" Darauf gibt er die Antwort: „Weil immer ein aliquoter Teil der Differenz zum Ausgleich gebracht wird, so kommt man nie auf Null, und darum findet theoretisch gesprochen, nie ein vollständiger Ausgleich statt, er nähert sich

[1]) Gockel, Schöpfungsgeschichtliche Theorien, S. 141.
[2]) Gutberlet, Der Kosmos, S. 94.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nur asymptotisch einer völligen Homogenität. Praktisch genügen aber einige Mischungen, um den Ausgleich herzustellen." — Hiernach fährt G. fort: „Bestände jene bloß asymptotische Annäherung in der Natur in Wirklichkeit, so hätten wir gar keine Gleichheit von thermischen, elektrischen Zuständen der Materie, selbst in dem kleinsten Raume nicht. In der Atmosphäre entstehen fortwährend Differenzen in der Erwärmung, die sich aber naturnotwendig, namentlich in nächster Nähe, auszugleichen suchen. Wäre dies nur asymptotisch möglich, so könnte zu keiner Zeit ein Kubikmillimeter als gleich warm in seinen Teilen angesehen werden, wie dies doch die Physiker tun und tun dürfen, weil auch die feinsten Thermometer eine Differenz in so kleinem Raume nicht aufweisen können." —

Daß die praktische Messung von Temperaturdifferenzen eine Grenze hat, die außer von mehreren andern Umständen auch von der Größe der Meßinstrumente abhängt, ist allen Physikern wohl bewußt, aber noch keiner hat, soviel ich weiß, daraus geschlossen, daß Differenzen, die mit den bisher konstruierten „feinsten Thermometern" nicht mehr nachgewiesen werden konnten, auch nicht mehr „in der Natur in Wirklichkeit beständen", oder daß sie keine physikalischen Vorgänge mehr herbeiführen könnten.

Gutberlet fährt fort: „Doch auch zugegeben, es bliebe auch nach unermeßlicher Zeit eine Spur von unausgeglichenen Spannkräften in der Welt: Dieselben wären schließlich so minimal, daß sie nur den schwächsten Lebensprozeß zu unterhalten vermöchten. Menschliche Existenz mit ihrem so starken Energieverbrauch wäre nicht möglich."

Dieser Schluß hängt offensichtlich u. a. an der Voraussetzung, die menschliche Anpassungsfähigkeit an äußere Lebensbedingungen habe eine Grenze, die auch bei langsamsten Uebergängen nicht überschritten werden könne. Über diesen Punkt tritt G. in eine Polemik gegen Stern ein, der gesagt hat: „Mit fortschreitender Kultur bedarf es zum Leben immer weniger Energie." Aber dieser Streit liegt neben der Sache, um welche sich es hier handelt, nämlich um die Frage, inwiefern das Entropieargument zu einem zwingenden Schluß auf das Ende der Weltentwicklung führe. Ein Ende der menschlichen Nachkommenschaft bedeutete zunächst ja noch keineswegs das Ende alles Lebendigen, und ob die Anpassungsfähigkeit des Lebendigen an veränderten äußeren Bedingungen irgendwo eine Grenze finde, ist wiederum eine andere Frage.

Insofern aber die Apologetik hier in Betracht kommt, ist noch ein Gedanke erwägenswert, den Gockel bei einem andersartigen Anlaß folgendermaßen zum Ausdruck bringt: „Zu weit zu gehen in dieser Hinsicht scheint mir P. Braun, wenn er die Erde bei einem Zusammenstoß mit einem Kometen von Blausäure überschüttet werden läßt. Ich glaube, daß man mit solchen Spekulationen der Erklärung der Lehre der Heiligen Schrift vom Weltuntergang keinen guten Dienst erweist." (a. a. O. S. 134.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wie wenig der Untergang alles Lebens in eisiger Erstarrung, herbeigeführt durch Entwertung der Energie und Dissipation aller Wärme in den Weltenraum, dieser Lehre entspricht, davon kann man sich in dem Doppelheft Nr. 19 und 20 der unter dem Titel „Glauben und Wissen" herausgegebenen „volkstümlichen Apologie auf wissenschaftlicher Grundlage" überzeugen. Dasselbe ist von P. Joh. Rademacher im Münchener Volksschriftenverlag unter dem Titel: „Der Weltuntergang" veröffentlicht worden. —

Noch ein weiterer Punkt scheint mir erwähnenswert. Alle genannten Schriftsteller, die von asymptotischer Annäherung gesprochen haben, berücksichtigen dabei nur die Annäherung an die Null. Wenn aber eine endliche Größe sich andauernd vermindert und die Verminderungen immer kleiner und kleiner werden, so ist — wie früher schon erwähnt — auch eine solche asymptotische Annäherung möglich, die nicht die Null zur Grenze hat, sondern irgend einen über der Null liegenden positiven Wert. Diese Möglichkeit kann gar nicht bezweifelt werden, und es wäre wohl zu wünschen, daß die Vertreter des Entropieargu-ments auch sie nicht ganz mit Stillschweigen übergingen.

XI. Schluß auf den Weltanfang. Gefahr einer „petitio principii".

Wir lenken unseren Blick jetzt rückwärts und stellen die Frage, ob es in der Vergangenheit einen Zeitpunkt muß gegeben haben, der als Anfang der Weltentwickelung gelten kann. Das Problem heißt also nicht: Welcher Zeitpunkt war das? sondern: Hat es überhaupt einen solchen gegeben? Und grade der Umstand, daß letzteres, nicht ersteres, Gegenstand der Frage ist, macht besondere Vorsicht nötig.

Ich möchte in dieser Hinsicht auf einen sehr zutreffenden Ausspruch Dressel's hinweisen, zu dem er in einer Anmerkung[1]) Anlaß nimmt, und der die Bedeutung eines methodischen, für die ganze Betrachtung maßgebenden Grundsatzes hat. Dressel schreibt dort: „Die oben gezogene Schlußfolgerung kann durch den Umstand nicht beeinträchtigt werden, daß wir über den tatsächlichen Zustand am Anfang der Naturprozesse noch vollständig im unklaren sind. Wir gehen ja bei unserem Beweisgange nicht vom Urzustande der Welt, sondern von dem heutigen uns bekannten Zustande aus und stützen uns . . . auf die allgemeinen, überall und alle Zeit geltenden Energiegesetze."

Das ist in der Tat die einzige zulässige Betrachtungsweise. Als Ausgangspunkt dienen kann durchaus nicht der problematische Zustand der Welt am Anfang der Naturprozesse, sondern nur der heutige, uns bekannte Zustand.

Wenn das Entropieargument helfen soll um zu beweisen, daß die Welt einen Anfang gehabt hat, so darf man die Annahme, sie habe

[1]) Dressel, Abhandlung in den Laacher Stimmen, S. 159.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

einen Anfang gehabt, selbstverständlich bei diesem Beweise nicht schon als richtig voraussetzen, und zwar darf man das weder direkt noch indirekt, weder offensichtlich noch versteckt tun. — Eine solche versteckte Benutzung der unzulässigen Annahme liegt z. B. schon darin, daß man von einem bestimmten Ausgangspunkt der Weltentwickelung oder von einem Beginn der Entropie u. dergl. nicht bloß gelegentlich redet, sondern solche Begriffe als etwas Selbstverständliches oder Gegebenes zum Beweise benützt.

Sobald das geschieht, ist die „petitio principii" fertig; denn, daß die Welt einen Anfangszustand und ihre Entwickelung einen Ausgangspunkt überhaupt gehabt habe, gehört zum „Demonstrandum", es soll durch den zu liefernden Beweis erst dargetan werden. — Liegt dieser einmal fertig vor, dann mag man hinterher mit solchen Begriffen und Vorstellungen operieren, soviel man will, aber nicht früher.

Man halte diese Bemerkung, so selbstverständlich sie sich ausnehmen mag, nicht für überflüssig; denn die Versuchung zu der gekennzeichneten versteckten petitio principii ist in der Tat außerordentlich groß, und schon sonst sehr vorsichtige Schriftsteller sind ihr unterlegen. Ich hatte früher bereits einmal Anlaß [1]) auf einen derartigen Fehler in der vortrefflichen „Kosmogonie" von P. Braun aufmerksam zu machen, auf den versteckten Trugschluß nämlich, daß der Begriff „Ausgangszustand der Weltenwickelung" benutzt wurde, um zu beweisen, daß das Dasein der Welt überhaupt begonnen habe.

Ein zweites Beispiel derselben petitio principii finde ich bei Gutberlet, wo er [2]) schreibt: „Es läßt sich zeigen, daß keine Bewegung von Ewigkeit sein kann. Nehmen wir an (man merke sich die folgende Grundvoraussetzung:) die Bewegung der Sonne solle von Ewigkeit sein, so wäre dieselbe nach vorne endlos (mit dem Worte „nach vorne" ist hier gemeint: rücksichtlich der Vergangenheit endlos, d. h. einfach: anfanglos), und bis jetzt wäre eine unendliche Zeit verflossen. Nun liegt aber kein Widerspruch darin, daß auch ein lebendes Wesen von bestimmter Lebensdauer seinen Lebensprozeß gleichzeitig mit der Sonnenbewegung begann. . . ."

„Begann"? — Aber wieso denn? — Die Sonnenbewegung hat doch nach der Grundvoraussetzung überhaupt nicht „begonnen", sie ist ja als „von Ewigkeit her", als anfanglos angenommen worden. Das „lebende Wesen" hingegen soll seinen Lebensprozeß „begonnen" haben. Und nun werden diese beiden Aussagen zusammengekoppelt durch das Wort „gleichzeitig"! Dadurch wird der „Beginn" unter der Hand hineingeschmuggelt in das per hypothesin Anfangslose. — Die petitio principii liegt versteckt, aber sie ist da.

Noch etwas versteckter, aber dennoch erkennbar liegt der Fehler vor in einem Beweise, den Gutberlet an einer anderen Stelle [3]) vorträgt. Dort teilt er die Weltentwicklung in zwei Abschnitte ein,

---

[1]) Natur u. Offenbarung, 1906, S. 717.
[2]) Gutberlet, Apologetik, 1888, S. 150.
[3]) Gutberlet, Der Kosmos, S. 59 ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

deren erster vom „Urgasball“ bis zum „feuerflüssigen Zustande“, der zweite vom „Schlußpunkte dieses Stadiums“ bis zur Gegenwart reichen soll. Dann fährt er fort: „Eine jede höhere Stufe der Entwickelung verlangt eine ganz bestimmte Zeit, die von der Beschaffenheit der Stoffe, ihrer Anfangsdisposition und den treibenden Kräften abhängt. Es wurde also eine ganz bestimmte Zeit erfordert, bis die Materie sich aus dem gasförmigen oder übergasförmigen zum feuerflüssigen Zustande entwickelte. Diese Zeit mag sehr lange gedauert haben, Millionen oder Billionen von Jahren, es war aber eine durch die Art der Entwickelung und Beschaffenheit der Elemente und der wirkenden Kräfte ganz genau bestimmte endliche Zeit.“ —

Diese Endlichkeit ist das Zubeweisende. Gestützt wird sie, ähnlich wie wir das früher schon anderswo gefunden haben [1]), auf die Eigenschaft der „Bestimmtheit“.

Und worauf wird denn die Bestimmtheit gestützt?

Gutberlet sagt, die fragliche Zeitdauer werde „ganz genau bestimmt“ durch mehrere Momente, und als solche hat er aufgeführt erstens „die Beschaffenheit der Stoffe“, zweitens ihre „Anfangsdisposition“, drittens die „treibenden Kräfte“.

Von Nr. 1 und Nr. 3 will ich hier der Kürze halber nicht reden, aber wie verhält sich die Sache mit Nr. 2? —

„Die Anfangsdisposition“ ist diejenige Disposition, welche die Stoffe, aus denen die Welt besteht, besitzen am „Anfang“, nämlich am Anfang der „Weltentwickelung“.

Hat denn die Weltentwickelung einen „Anfang“, genommen? — Ist das nun nicht wieder gerade die Behauptung, die noch erst bewiesen werden soll? — —

Die Trugschlüsse schleichen sich ein, ohne daß man es merkt. So lange der Anfang der Welt Gegenstand des zu führenden Beweises ist, darf man keinen Begriff und keine Vorstellung benutzen, die erst zustande kommt, wenn wir die Anfänglichkeit zu Grunde legen. Wir müssen daher, um die petitio principii zu vermeiden, gemäß dem richtigen Ausspruch Dressel's vom gegenwärtigen gegebenen Augenblick ausgehen, und ebenso, wie wir von da aus unsere Ausschau in die Zukunft richten an der Hand der Naturgesetze, soweit diese uns bekannt sind, müssen wir auch an der Hand derselben Gesetze unsere Rückblicke in die Vergangenheit wandern lassen. Ob wir dabei überhaupt zu einem temporalen Schlußpunkt, zu einer restfrei abzählbaren Menge von Zeiteinheiten, ob wir zu einem „Beginn“ der Weltentwickelung, zu einem „Anfangszustand“ oder einer „Anfangsdisposition“ kommen oder nicht, das müssen die Gründe entscheiden, die in dem zu führenden Beweise vorgetragen werden. Sofern der Beweis sich also auf das Entropieargument stützen soll, müssen diese Gründe sich ergeben aus den Gesetzen, die uns über die Entropie bekannt sind, und von denen weiterhin noch die Rede sein wird.

---

[1]) Vgl. S. 32 f.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

XII. Geometrische Veranschaulichung.

Wenn zwei Größen so miteinander verknüpft sind, daß der Wert der ersten von dem Wert der zweiten — wie z. B. die Drehungsgeschwindigkeit der Windmühlenflügel von der Stärke des Windes — abhängig ist und durch ihn bestimmt wird, so nennt man die erste bekanntlich eine Funktion der zweiten. Ist das Gesetz dieser Abhängigkeit bekannt, so kann man den Gedankeninhalt desselben auf zweifache Weise veranschaulichen, entweder durch eine Gleichung, die beide Größen als Variable enthält und in ihrer algebraischen Form den Zwang genau ausspricht, durch welchen die Werte der einen an die Werte der anderen gebunden sind, oder veranschaulichen durch eine Kurve, deren sämtliche Punkte ihrer Lage nach bestimmt sind durch je zwei aufeinander senkrechte Maßstrecken, die man Koordinaten nennt. Diese Koordinaten stellen dann durch ihre Länge, d. h. durch die Anzahl ihrer Linieneinheiten die paarweise zusammengehörigen Werte der beiden von einander abhängigen Größen dar.

Allgemein bekannt sind die Thermometrographen und Barometrographen, welche automatische Zeichnungen liefern. Bei den Kurven des ersteren Apparats gibt die horizontale Koordinate die Anzahl der Zeiteinheiten an, die von einem festgewählten Anfangspunkte bis zu einem gewissen Moment verflossen sind, während die vertikale Koordinate die Anzahl der Wärmegrade angibt, welche die Luft in eben diesem Momente besitzt.

Gäbe es nun einen Apparat, der in jedem Augenblick die in der Welt vorhandene Menge von nutzbarer Energie aufzeichnete, einen Energometrographen also, und träte dieser Apparat im gegenwärtigen Augenblicke in Tätigkeit, so müßten wir auf Grund unserer früheren „Voraussetzungen" sagen: Die Kurve, die er im Laufe der Zeit aufzeichnen wird, ist eine fallende. — Gäbe es einen gleichen Apparat für die Entropie, so würde die Kurve dieses Entropometrographen eine steigende sein.

Nehmen wir nun den Fall an, daß die Gesamtenergie des Weltalls, die ja nach dem bekannten Konstanzgesetz weder vermehrt noch vermindert werden kann, eine restfrei abzählbare Menge von Einheiten darstelle, dann sind wir in der Lage, uns von der Weltentwickelung, soweit nutzbare Energie und Entropie in Frage kommen, ein anschauliches Bild zu entwerfen.

Wir zeichnen zwei horizontale parallele Linien und denken uns dieselben so weit voneinander entfernt, daß ihr Abstand genau ebensoviele beliebig gewählte Linieneinheiten enthält, als die gesamte Weltenergie Energieeinheiten hat. Diese Anzahl heiße W. Nun muß offenbar sowohl die Kurve der nutzbaren Energie als auch die Entropiekurve sich stets zwischen diesen beiden Parallelen aufhalten, denn beide Größen können höchstens bis an diese Grenzen heranreichen, aber weder über den Gesamtbetrag W hinaus steigen, noch unter die Null herabsinken. Ferner ist einleuchtend, daß die Mengen der nutzbaren Energie und der

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Entropie zusammen in jedem Augenblick gleich der konstanten Weltenergie sein müssen, daß daher die erste Kurve überall genau so weit von der unteren Parallele entfernt bleibt, als die zweite Kurve von der oberen Parallele, die Kurven liegen also symmetrisch.

Wenn wir uns nun denken, der Registrierapparat habe schon so lange gearbeitet, als die Welt existiert, dann dürfen wir behaupten, daß beide Kurven sich irgendwo schneiden.

Wo denn?

Schneiden müssen sie sich bei demjenigen Zeitmoment, in welchem genau die Hälfte der Gesamtenergie noch nutzbar geblieben ist, während die andere Hälfte der Entropie angehört. Von diesem charakteristischen Zeitpunkte aus gehen die Kurven auseinander nach derjenigen Richtung hin, welche uns die zukünftige Zeit symbolisiert, sagen wir nach rechts. Sie gehen aber auch nach der entgegengesetzten, linksseitigen Richtung hin auseinander, welche die Vergangenheit darstellt. Mit diesen Worten ist nun aber keineswegs gesagt, daß der Durchschnittspunkt etwa gerade der Gegenwart entsprechen müßte, er kann vielmehr ebensogut auch ein vergangener oder ein zukünftiger Moment sein; niemand vermag seine Lage zu bestimmen. Was hier als rechte und linke Seite bezeichnet wurde, bedeutete vielmehr bloß, von ihm aus gesehen, die Richtung nach der Zukunft, bez. nach der Vergangenheit.

Nach rechts hin steigt die Entropiekurve über die andere hinauf, nach links hin sinkt sie unter dieselbe hinab. Der Gegenwartspunkt muß aber doch auch irgendwo liegen, und er verschiebt sich mit wachsender Zeit. Von ihm aus gesehen, gehört alles nach links liegende wirklich der Vergangenheit an, und was ein Prophetenauge nach rechts hin sehen könnte, ist Zukunft.

Nun die Hauptsache: In welcher Beziehung stehen diese Kurven zu dem Problem von Weltanfang und Ende? —

Wenn die Kurve der nutzbaren Energie, die nach der positiven Seite hin fortwährend fällt, irgend einmal die untere horizontale Parallele erreicht, dann zeigt die Länge der Strecke, vom Gegenwartspunkt bis zu diesem Treffpunkt gerechnet, die Zeitdauer an, die bis zum tatsächlichen Aufzehren aller nutzbaren Energie noch verfließen wird. Das Ende der Weltentwickelung würde durch diesen Moment gekennzeichnet sein. Erreicht diese selbe Kurve, während sie nach der negativen Seite hin fortwährend steigt, irgend einmal die obere horizontale Parallele, so bezeichnet sie auf dieser einen in der Vergangenheit liegenden Zeitpunkt, an welchem die nutzbare Energie der Gesamtenergie gleich war. Dieser Punkt bedeutet unter Zugrundelegung der Voraussetzungen Nr. 1 und 2 den Anfang der Energieentwertung. Wir brauchten also von der bezeichneten Kurve nur soviel Kenntnis zu haben, um schließen zu können, daß sie die obere Parallele irgendwo treffen muß, dann ist damit der Beweis geliefert, daß diese Entwertung wirklich einen Anfang gehabt hat.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Das gleiche Ergebnis läßt sich natürlich auch aus der Entropiekurve ablesen. Wo diese die untere Parallele schneidet, muß der Anfang, wo die obere Parallele, muß das Ende des Entropiewachstums liegen.

Nun aber wird der Laie sehr geneigt sein zu denken: Wenn eine Linie sich zwischen zwei horizontalen Parallelen befindet und von einer gewissen Stelle ab nach der einen Seite hin immer tiefer sinkt ohne jemals wieder zu steigen, so muß sie doch irgend einmal unten ankommen. Und wenn sie nach der anderen Seite hin ebenso unaufhaltsam steigt ohne jemals zu sinken, dann muß sie doch irgend einmal tatsächlich oben ankommen.

Daß diese gewiß naheliegende Meinung irrig ist in der Richtung nach der positiven Seite, d. h. nach der Zukunft hin, hat schon die vorhin entwickelte Anschauung von der asymptotischen Annäherung an die Null deutlich gemacht. Das Entropiegesetz läßt nach der Auffassung der im Abschnitt IX genannten Schriftsteller nicht zu, daß die Energiekurve die untere, die Entropiekurve die obere Parallele tatsächlich irgendwo treffe. Daher gibt es keine restfrei abzählbare Menge von Zeiteinheiten, nach deren Ablauf wirklich alle nutzbare Energie verbraucht wäre.

Was nun den Gegensatz dazu, den Anfang der Weltentwicklung betrifft, so heißt die entscheidende Frage offenbar: Wie verhalten sich die Kurven nach der negativen Seite hin? — Verhalten sie sich auch dort asymptotisch oder finden wir daselbst Kurvenpunkte, die tatsächlich auf den horizontalen Parallelen liegen? —

Wer dieser Frage näher treten will, wird sich zunächst sagen, daß der Verlauf der Kurven nicht willkürlich angenommen werden kann, sondern daß sie sich nach einem gewissen Gesetze richten müssen. Wir können also diesen Verlauf nur insoweit beurteilen, als wir etwas wissen von dem Gesetz, welches die Kurven beherrscht. Der Clausius'sche Satz, nach welchem „die Entropie der Welt einem Maximum zustrebt", hilft uns augenscheinlich gar nicht weiter. Er sagt blos aus, was vorhin schon berücksichtigt wurde, daß die Entropiekurve nach rechts andauernd steigt, nach links beharrlich fällt. So lange kein weiteres Gesetz unsere Kenntnis von der Weltentwickelung ergänzt, bleibt die Entscheidung in der Schwebe.

Hier könnte man aber die prinzipielle Frage zwischenwerfen, ob denn überhaupt die Möglichkeit vorliegt, durch irgendwelche Gesetze den Verlauf einer Kurve derart zu bestimmen, daß daraus erschlossen werden kann, sie höre nach der positiven oder negativen Seite hin irgendwo plötzlich auf, oder das Gegenteil: sie setze sich nach der einen oder anderen Seite hin endlos fort mit asymptotischer Annäherung an die eine oder andere gerade Linie. — Dies ist jedoch ein Problem, welches in das Gebiet der Analysis hineinspielt und die Benutzung algebraischer Hülfsmittel nötig macht.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

XIII. Veranschaulichung durch analytische Ableitungen.

Ueber die Möglichkeit, Kurven von beliebigen Eigenschaften durch analytische Funktionen darzustellen, liegen längst in der mathematischen Literatur Untersuchungen vor, die gestatten, diese Möglichkeit als durchweg vorhanden zu bezeichnen. Um die vorhin gestellte engere Frage zu entscheiden, brauchen wir aber auf solche weittragende Untersuchungen gar nicht einzugehen; einzelne einfache Beispiele werden schon zur Entscheidung genügen. —

Vorab einige Bemerkungen über die Bezeichnungsweise.

Die Menge der in jedem einzelnen Augenblicke vorhandenen nutzbaren Energie heiße N. Dieselbe ist veränderlich und hängt von sehr vielen Größen ab, die ebenfalls veränderlich sind, d. h. die verschiedene Werte haben können zu verschiedenen Zeiten. Die Dauer der Zeit selbst ist eine Größe, die als eine stetig wachsende gilt, wenn man von einem bestimmten Gegenwartspunkte aus die Betrachtung nach der Zukunft hin richtet, aber stetig abnimmt und negative Werte bekommt, wenn man die Rechnung auf die Vergangenheit bezieht. Die Zeit selbst jedoch wird als unabhängige Variable betrachtet und die Anzahl ihrer Einheiten mit t bezeichnet. Alle übrigen veränderlichen Größen, insbesondere auch N, können als Funktionen von t behandelt werden. —

Wenn es sich nun darum handelt, die Veränderung zu bestimmen, welche die Menge N der nutzbaren Energie während einer bestimmten Zeit erleidet, so ist diese Veränderung augenscheinlich von der Länge dieser Zeit, aber auch noch insbesondere von der vorhandenen Menge N selbst abhängig; denn erstens je länger die Dauer, desto mehr Gelegenheit, und zweitens je größer N, desto mehr Material bietet sich dar für die Veränderung. Bezeichnet man die Veränderung von N mit dN, die Dauer der Veränderung, d. h. den Betrag, um welchen die Zeit t inzwischen angewachsen ist, mit dt, so ist das Verhältnis der Größe dN zu der Größe dt irgend eine Funktion derjenigen Faktoren, welche auf die Veränderung einen Einfluß haben, insbesondere also eine Funktion des Betrages an nutzbarer Energie N. — Wenn man die Berechnung der Veränderung nicht auf einen sehr langen Zeitraum ausdehnt, sondern sich die Frage stellt: wie groß ist die in einem bestimmten Augenblick, etwa grade jetzt, vor sich gehende Veränderung? so sind die Größen dN und dt zunächst als sehr kleine zu betrachten. Je mehr man sie aber abnehmen läßt, desto mehr nähert ihr Verhältnis, d. h. der Quotient dN : dt sich einem bestimmten Grenzwerte, der im Allgemeinen sowohl von N als von t abhängig ist. Diesen Sachverhalt pflegt man aufzuschreiben in Form der sogenannten „Differentialgleichung“:

$$\frac{dN}{dt} = f(N, t),$$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wobei aber in dem Ausdruck, der hier durch das Symbol f (N, t) dargestellt ist, außer N und t auch noch andere Größen vorkommen können, die ebenfalls auf den Wert des linksseitig stehenden Quotienten Einfluß haben.

Je nach der Beschaffenheit der Funktion f (N, t) ist man in der Lage, die Differentialgleichung zu integrieren, und erhält dann daraus eine neue Gleichung, welche grade die im vorigen Abschnitt ausführlich erörterte Kurve darstellt, die Kurve also, auf welcher der Wert von N sich mit wachsenden oder abnehmenden Werten von t bewegt. Analytisch dargestellt kann diese Kurve werden durch eine Gleichung von der Form:

$$N = F(t) \text{ oder umgekehrt } t = G(N).$$

Ist dieses Ziel erreicht, so läßt sich nach Belieben N oder t eliminieren, so daß man die Differentialgleichung auch umbilden kann in die Form:

$$\frac{dN}{dt} = \varphi(N) \text{ oder } \frac{dN}{dt} = \psi(t).$$

Sollen die vorstehend aufgeführten, nur in eine unbestimmte, symbolische Form gekleideten Gleichungen eine ihrem Zweck entsprechende bestimmte Gestalt bekommen, so müssen sie zwei eigenartige Bedingungen erfüllen, die festgesetzt worden sind durch die verschiedenen „Voraussetzungen", welche in den früheren Abschnitten als für die Weltentwickelung zutreffende angenommen wurden. Die erste Bedingung besteht darin, daß die Gleichungen nur solche Kurven darstellen dürfen, die in ihrem ganzen Verlaufe fallen; die zweite darin, daß die Kurven den Zwischenraum zwischen zwei horizontalen Parallelen nirgendwo überschreiten dürfen. Auf diese beiden Eigenschaften muß also jede Gleichung geprüft werden. —

Ueberlegt man sich nun die verschiedenen unter diesen Bedingungen vorhandenen geometrischen Möglichkeiten, so erkennt man deren zunächst vier. Diese sind:

1) Die Kurve hat einen bestimmten Anfangspunkt und einen bestimmten Endpunkt.
2) Die Kurve hat einen bestimmten Anfangspunkt, aber keinen bestimmten Endpunkt, sondern nähert sich nach der positiven Seite hin asymptotisch einer gewissen Geraden.
3) Die Kurve hat einen bestimmten Endpunkt, aber keinen bestimmten Anfangspunkt, sondern wird nach der negativen Seite hin asymptotisch.
4) Die Kurve hat weder einen bestimmten Anfangs- noch Endpunkt, sondern wird nach beiden Seiten hin asymptotisch.

Wollte man ganz scharf verfahren, so müßten noch Unterabteilungen gemacht werden. Man müßte unterscheiden, ob die Anfangs- und Endpunkte auf den beiden Grenzparallelen liegen oder irgendwo

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zwischen denselben, ebenso auch, ob die asymptotischen Annäherungen geschehen an die beiden Grenzparallelen selbst oder vielleicht an andere in gewissen Abständen zwischen denselben gelegene Parallelen. Da diese Unterabteilungen indessen für unser Hauptproblem wenig in Betracht kommen, so scheint es mir zur Vereinfachung empfehlenswert, davon abzusehen und nur die vier angeführten Fälle genauer zu untersuchen.

Wir stellen daher die Frage: Lassen sich Naturgesetze als wirksam denken und analytisch veranschaulichen, die so beschaffen sind, daß die Wertänderungen der nutzbaren Energie in der Welt durch je eine der gekennzeichneten Kurven darstellbar sind? —

Ich wähle Beispiele:

Als Beispiel für den Fall Nr. 1 könnte die Gleichung dienen:

$$N = F(t) = \sqrt{a^2 + b^2} - \sqrt{a^2 + t} + \sqrt{b^2 - t},$$

wobei a und b irgend welche Größen sein mögen, die von t unabhängig sind, und die Quadratwurzeln an und für sich als positiv zu gelten haben.

Man sieht leicht, daß die Kurve in der Vergangenheit einen Anfangspunkt bei dem Werte $t = -a^2$, für welchen $N = 2\sqrt{a^2 + b^2}$ ist, und einen Endpunkt in der Zukunft besitzt bei dem Werte $t = b^2$, für den $N = o$ ist. Der Abstand der Parallelen, oder was dasselbe besagt, der Totalwert W der Energie ist mithin gleich $2\sqrt{a^2 + b^2}$. Am Gegenwartspunkte $t = o$ hat N den positiven Wert $\sqrt{a^2 + b^2} - (a - b)$. Außerdem besitzt die Kurve die notwendige Eigenschaft, daß sie überall fällt. Dies ergibt sich mathematisch am einfachsten, wenn man die Gleichung differentiert. Das Ergebnis heißt:

$$\frac{dN}{dt} = -\tfrac{1}{2}\left(\frac{1}{\sqrt{a^2 + t}} + \frac{1}{\sqrt{b^2 - t}}\right).$$

Der Wert der rechten Seite ist für alle reellen Werte von N negativ, und hierin liegt das bekannte Kennzeichen dafür, daß die Kurve stetig fällt, daß also das Gesetz von Clausius befriedigt ist. Sie beginnt auf der oberen Parallele, fällt andauernd, endet auf der unteren Parallele, hat also auch den Zwischenraum zwischen beiden nirgendwo verlassen. — Die Bedingungen sind demnach erfüllt.

Auf leichte Weise kann man nunmehr auch die vorhin gekennzeichnete Funktion $\varphi(N)$ bilden. Man erhält:

$$\frac{dN}{dt} = \varphi(N) = -\tfrac{1}{2}\left(\frac{1}{\sqrt{a^2 + G(N)}} + \frac{1}{\sqrt{b^2 - G(N)}}\right), \text{ wobei}$$

$$G(N) = t = \tfrac{1}{2}\left[-(a^2 - b^2) \pm \sqrt{\left(\frac{W}{2}\right)^4 - N^2(W - N)^2}\right] \text{ ist,}$$

und die Wurzel ihr Vorzeichen umkehrt, wenn der Radikand durch die Null geht. —

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Käme man jemals dazu, für die Abnahme der nutzbaren Weltenergie ein Gesetz zu finden, welches die Eigenschaften des hier nur beispielsweise angenommenen besitzt, so hätte man für den Schluß auf Anfang und Ende dieser Abnahme eine mathematische Unterlage. Aber nicht entfernt ist daran zu denken, daß das wirklich obwaltende Gesetz von solcher Einfachheit sein könnte.

Der Fall Nr. 2 ließe sich darstellen durch die Gleichung:

$$N = F(t) = a^2 e^{-\sqrt{b^2+t}},$$

wobei a und b von t unabhängig sind, und unter e die Basis des natürlichen Logarithmensystems verstanden wird. Nach der negativen Seite kann die Kurve nicht in stetigem Zuge unter den Wert $t = -b^2$ hinausgehen, weil für $t < -b^2$ die Wurzel $\sqrt{b^2+t}$ imaginär werden würde. Nach der positiven Seite hin aber hört die Kurve nie auf, sondern nähert sich asymptotisch der Null. Auch das Clausius'sche Gesetz ist befriedigt, denn man findet:

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{a^2 e^{-\sqrt{b^2+t}}}{2\sqrt{b^2+t}}.$$

Für den Abstand der Parallelen, also für den Gesamtbetrag der Weltenergie erhält man $W = a^2$, und als Funktion $\varphi(N)$ ergibt sich:

$$\frac{dN}{dt} = \varphi(N) = -\tfrac{1}{2} \cdot \frac{N}{\ln W - \ln N}.$$

Ein solches Gesetz ließe einen bestimmten Anfangspunkt aber keinen bestimmten Endpunkt des Entropiewachstums erkennen; beiden Bedingungen genügt es.

Für den dritten möglichen Fall könnte man als Beispiel die Gleichung:

$$N = F(t) = a^2\left(1 - e^{-\sqrt{b^2-t}}\right)$$

anführen. Die Kurve bricht auf der positiven Seite ab bei dem Werte $t = b^2$, und dort ist $N = o$. Nach der negativen Seite hat sie kein Ende, sondern nähert sich asymptotisch der oberen Parallele, die ebenso wie beim vorigen Beispiel von der unteren den Abstand $a^2 = W$ hat. Die Erfüllung des Clausius'schen Gesetzes erweist sich durch das Ergebnis der Differentiation:

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{a^2 e^{-\sqrt{b^2-t}}}{2\sqrt{b^2-t}} = -\tfrac{1}{2}\,\frac{W-N}{\ln W - \ln (W-N)}.$$

Das Ende läge fest, aber ein Anfang der Entropie wäre nicht zu konstatieren.

Zur Darstellung des vierten Falles ist geeignet die einfache Gleichung:

$$N = F(t) = a^2(1 + e^t)^{-1}.$$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die Kurve nähert sich auf der positiven Seite asymptotisch der Null, auf der negativen asymptotisch dem Werte $N = a^2 = W$. In ihrem ganzen Verlauf ist sie fallend, denn man findet:

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{a^2 e^t}{(1 + e^t)^2} = -N\left(1 - \frac{N}{W}\right) = \frac{N^2}{W} - N.$$

Das Gesetz, nach welchem die Abnahme der nutzbaren Energie in jedem Augenblicke bestimmt wird, könnte also, wie man sieht, ein sehr einfaches sein. Insofern diese Abnahme von der in jedem Augenblick noch vorhandenen Menge der nutzbaren Energie abhängt — was doch jedenfalls der Fall ist — brauchte der maßgebende Ausdruck blos aus den obigen beiden Gliedern, einem quadratischen und einem linearen mit entgegengesetztem Vorzeichen zu bestehen, dann würde die Kurve stetig fallen, überall zwischen endlichen Grenzen liegen und nach beiden Richtungen hin sich diesen Grenzen asymptotisch nähern.

Wenn wir nun, und zwar in besonderer Hinsicht auf den apologetischen Zweck des Entropieaguments, die vier theoretisch möglichen Fälle überschauen, so erkennen wir leicht, daß für diesen der erste und der dritte Fall schon nicht mehr in Betracht kommen, weil ein durch das Naturgesetz bedingter, in der Zukunft liegender fester Endpunkt der Weltentwickelung gemäß unsern frühern Darlegungen heutzutage wohl nicht mehr angenommen wird. Uebrig bleiben demnach nur der zweite und der vierte Fall. Der zweite mit seinen in der Vergangenheit liegenden festen Anfangspunkt bildet augenscheinlich das zu erstrebende Beweisziel. Also muß nur noch der vierte ausgeschaltet, als unmöglich nachgewiesen werden. Auf ihn sind die Angriffswaffen zu richten, und wie das tatsächlich in mehrfacher Weise bereits geschehen ist, soll in den folgenden Abschnitten erörtert werden.

XIV. Drei Beweisführungen zur Ausschaltung des vierten Falles.

Die mit dem vierten Fall zusammenstimmende Aussage, daß die Weltentwickelung keinen Anfang gehabt, war schon im Altertum, namentlich von Empedokles und von Demokrit vertreten. Schanz[1]) schreibt sogar: „Man wird wohl behaupten können, daß alle Kosmogonien und alle Philosophen des Altertums mehr oder weniger die Materie für ewig gehalten haben und Gott nur als Ordner der Welt betrachteten.“ Aber selbst christliche Philosophen, die in Gott nicht bloß den Ordner sondern auch den Schöpfer der Welt erblickten, hielten das Erschaffensein durchaus nicht für einen stichhaltigen Grund gegen die Ewigkeit der Welt. So schreibt z. B. P. Wasmann[2]):

[1]) Schanz, Apologie des Christentums, 1887, I, S. 92.

[2]) Wasmann, „Zur Diskussion über die Tragweite der Abstammungslehre“, Aufsatz in der „Naturwissenschaftlichen Wochenschrift“, 1908, Nr. 4, S. 50.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

„Schon Thomas von Aquin und andere alte christliche Philosophen unterschieden zwischen Ursachlosigkeit und Anfanglosigkeit der Welt. Wenngleich manche von ihnen eine Schöpfung der Welt von Ewigkeit her, und demnach auch eine anfanglose Bewegung nicht für unmöglich hielten, so sprechen sie sich doch . . . gegen die Ursachlosigkeit der Welt aus."

Angesichts dessen wird man wohl kaum sagen können, unser „vierter Fall", der ja der „anfanglosen Bewegung" entspricht, enthalte einen auf der Hand liegenden, auch ohne Grundangabe schon von selbst einleuchtenden Unsinn. Mit solch einer Behauptung würde die Verstandeskraft Thomas von Aquin's[1]) tief unter das Maß der Intelligenz eines gewöhnlichen Durchschnittsmenschen eingeschätzt sein, und dazu liegt gewiß kein Anlaß vor. Will man also den Fall Nr. 4 ausschalten, so müssen Gründe beigebracht werden.

Es genügt auch nicht etwa, sich auf den alten Spruch zu steifen: „Quod gratis ponitur, gratis negatur", oder zu fragen: Warum soll man gegen die Nr. 4 Gründe vorbringen müssen, für das Zutreffen derselben werden ja auch keine vorgebracht! oder geltend zu machen: Wenn auch die beiden Kurven, die der Entropie und der nutzbare Energie, von ihrem Durchschnittspunkte aus beobachtet, nach rechts hin sich asymptotisch den beiden Parallelen nähern, so ist dies doch gar kein Grund dafür, daß mit der linken Seite dasselbe geschehen müsse! —

Letzteres wird gewiß auch niemand behaupten. Es handelt sich hier einzig und allein um die Möglichkeit, nicht um die Frage: Ist es so? sondern: Kann es so sein? Denn so lange diese Möglichkeit noch nicht ausgeschaltet ist, darf das Zutreffen des Falles Nr. 2 — und das ist eben das Ziel — nicht als erwiesen gelten. Darum sind Grundangaben zur Ausschaltung des vierten Falles, wenn der Entropiebeweis überzeugend wirken soll, einfach unerläßlich.

In der Tat fehlt es daran auch nicht, und drei derselben sollen hier zunächst erörtert werden.

1) Am häufigsten, namentlich in populären Schriften[2]) findet sich gegen eine anfangslose Weltentwickelung der Gedanke vorgetragen: Wenn die Welt von Ewigkeit her bestanden hätte, so müßte ihre ganze Entwickelung jetzt längst zu Ende sein; alles was hätte entstehen können, müßte schon entstanden, was hätte geschehen können, müßte erledigt sein. Da nun aber die Entwickelung augenscheinlich noch nicht abgeschlossen ist, so kann sie nicht von Ewigkeit her im Gange sein. —

Man darf nicht leugnen wollen, daß dieser Gedanke eine große Überredungskraft besitzt; hätte er sie nicht, so wäre er nicht so oft wiederholt worden. Ueberhaupt sind wir Menschen bei unseren Anschauungen

[1]) Unter seinen einschlägigen Aussprüchen wird wohl am häufigsten der Satz angeführt: „Mundum non semper fuisse, sola fide tenetur." Einzig durch übernatürliche Offenbarung, also nicht durch irgend eine natürliche Einsicht ist uns gewiß geworden, daß die Welt nicht immer existiert hat.

[2]) Vergl. u. a. Hafert, „Antworten der Natur", Graz 1905, S. 45.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und Vorstellungen vom Geschehen, vom Werden und Sichentwickeln so sehr gewöhnt, von irgend einem Anfang auszugehen, daß es uns unmöglich vorkommt und jedenfalls auch recht schwierig und unbequem ist, bei irgend einem einzelnen Beispiel von dieser Gewohnheit abzugehen. Dazu kommt die tägliche Erfahrung, daß Dinge, die sich andauernd vermindern, zuletzt verschwinden, wie eine Kerze, die abbrennt, und daß dieses Verschwinden um so sicherer einzutreten pflegt, je länger die Verminderung andauert. — Wenn es nun heißt: Der Betrag an nutzbarer Energie in der Welt vermindert sich immer mehr, je länger die Weltentwickelung fortschreitet, verschwunden ist er aber heute noch nicht, und die Weltentwickelung ist auch bislang noch nicht abgeschlossen, dann liegt zum Greifen nahe der Analogieschluß: folglich hat die Entwickelung offenbar noch nicht lange genug, und auch die Verminderung noch nicht lange genug gedauert, sonst müßte beides jetzt abgeschlossen sein. Wenn diese Prozesse aber noch nicht lange genug gedauert haben, so können sie eben nicht schon von Ewigkeit her andauern; denn dann wäre die Dauer sicherlich lang genug gewesen und — hierin liegt des Beweises Kern — durch lange Dauer, sowie durch entsprechend gesteigerte Häufigkeit der Verminderungen muß schließlich jede abnehmende endliche Größe zum Verschwinden gebracht werden.

Vorsicht!

Man soll in allen Fällen, bei denen der Begriff einer Verlängerung oder einer Wiederholung ohne vorherige Gewißheit des Aufhörens in Betracht kommt, außerordentlich behutsam sein und sich namentlich in acht nehmen, daß man nicht gewisse Urteile, die vom Begrenzten hergenommen und auf diesem Gebiete einleuchtend richtig sind, ohne weiteres auch auf das Unbegrenzte anwendet. Daß bei solchem Verfahren Fehler entstehen können, und wie und wo sie oft genug schon entstanden sind, findet sich in der großen Literatur, welche über die mit dem Namen „Mengenlehre" bezeichnete Wissenschaft bereits vorhanden ist, zur Genüge nachgewiesen.

Will man sich vor Irrungen schützen, so bietet sich als sehr hülfreiches Mittel dar das Verfahren der sogenannten „Abbildung", sei es in Zahlgrößen, sei es in Raumgrößen. Hierbei wird der Blick durch keine Nebenumstände mehr abgelenkt und konzentriert sich einzig auf den Größencharakter der zu betrachtenden Objekte, insofern dieser zur Entscheidung der aufgeworfenen Frage der wesentlich maßgebende ist.

Wenn wir den Prozeß der Verminderung der nutzbaren Energie z. B. in Zahlgrößen abbilden wollen, so läßt sich das folgendermaßen einrichten:

Irgend eine gegebene begrenzte Energiemenge entspreche der Zahl 12. Sie werde nach und nach vermindert. Die erste Verminderung habe den Betrag einer gewissen unbekannten Zahl X_1, die zweite habe einen größeren Betrag X_2, die dritte wiederum einen größeren X_3 usw. Im ganzen sei die Anfangszahl 12 zu tausend

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

verschiedenen Malen, und sogar stets um größere und größere Beträge vermindert werden. Frage: Ist sie dann jetzt gänzlich annulliert? —

Man sollte es fast glauben; aber ist es sicher wahr? —

Nein! möglicherweise ist sie alles in allem noch nicht um eine einzige Einheit vermindert worden! Wie groß die Gesamtverminderung ist, hängt lediglich von den Beträgen X_1 bis X_{1000} ab. —

Aber dann hat vielleicht, so könnte man fortfahren, die Verminderung eben noch nicht lange genug gedauert, vielleicht hätte man die Abzüge nicht blos tausend, sondern tausend Millionen mal vornehmen müssen. Dann wäre die Anfangsgröße 12 doch wohl sicherlich auf Null reduziert worden! —

Sicher ist das durchaus nicht, denn wenn ich die erste Verminderung X_1 hierzu passend wähle und dieser tausend Millionen weitere Verminderungen, die überdies noch stets größer und größer werden, folgen lasse, dann kann man alle diese Verminderungen (durch eine sogar höchst einfache Rechnung) „nach Adam Riese" so bestimmen, daß die Anfangszahl wiederum noch nicht um eine einzige Einheit abnimmt. — Gar nichts nutzt es zu sagen: Die Verminderung hat nicht lange genug gedauert, sie ist noch nicht oft genug geschehen! — Mag sie billionenmal, trillionenmal usw. geschehen, immer lassen sich die Verminderungen so einrichten, daß der Anfangsbetrag 12 nicht nur nicht verschwindet, sondern trotz aller, und dazu noch stets steigender Verminderungen nicht einmal um eine einzige Einheit abnimmt.

Es ist somit gänzlich ausgeschlossen, daß die Verlängerung der Dauer oder die Steigerung der Oftmaligkeit jemals zu einem sicheren Schluß auf die gänzliche Vernichtung des Anfangswertes oder auch nur auf einen festgesetzten Betrag seiner Abnahme führen könne, so lange nicht — und hierauf kommt es an — für die Größe der Verminderungen eine bestimmte untere Grenze angebbar ist.

Falls daher jemand behauptet: „Wenn von der Größe n verlangt wird, sie solle bei beliebig kleinen Subtraktionen deren eine so große Anzahl angeben, daß durch alle diese Subtraktionen zusammen 12 Einheiten mit Sicherheit auf 11 zurückgebracht werden, dann kann n dieses leisten und dabei eine endliche, d. h. ohne übrig bleibenden Rest fertig abzählbare Menge sein", so hat der betr. Jemand eine durchaus irrige Behauptung aufgestellt. Eine restfreie abzählbare Menge, die solche Eigenschaft hätte, kann es gar nicht geben.[1])

Wer das einsieht und dann die arithmetische Betrachtung auf das Problem von der nutzbaren Energie überträgt, wird jedenfalls ebensogut als irrig einsehen die Behauptung: Die Menge von Verminderungen, welche die totale Weltenergie erfahren hat, und durch welche sie auf den jetzt noch übrigen Betrag an nutzbarer Energie eingeschränkt worden ist, muß eine restfreie abzählbare Menge gewesen sein.

---

[1]) Mit der Frage, ob es eine „nicht restfrei abzählbare," eine „unendliche" Menge von solcher Eigenschaft geben könne, brauchen wir unsere Betrachtung gar nicht zu belasten. Leicht wäre sie übrigens zu entscheiden, und zwar ebenfalls negativ.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Kann sie denn nicht eine solche gewesen sein? — Gewiß! aber der apologetische Zweck (nämlich die Ausschließung des „vierten Falles") führte zu der apodiktischen Behauptung: sie muß! Und eben hierzu fehlt die genügende Unterlage. Denn bloß auf Grund der unvollständigen Erledigung des Prozesses auf die Dauer des Prozesses zurückzugreifen und einen dahin gehenden Zwangsschluß zu konstruieren, geht nicht an. —

Man kann statt der vorstehend angewendeten arithmetischen Abbildung aber auch eine geometrische vornehmen, dann gelangt man wieder zu jener schon besprochenen Kurve, die sich in ihrer ganzen Ausdehnung zwischen zwei horizontalen Parallelen befindet und nach links hin überall steigt, nach rechts hin überall fällt, aber trotzdem nicht genötigt ist, irgendwo mit der oberen oder unteren Parallele zusammenzutreffen. Die physikalische Nutzanwendung ist auch bei dieser Abbildung wiederum dieselbe.

Was hier von der „Verminderung der nutzbaren Energie" gesagt ist, läßt sich auch auf die „Entwickelungen" in der Welt übertragen; denn beides geht ja Hand in Hand. Die Entwickelungen bestehen in Energieverschiebungen und Energieumwandlungen, und eben dies sind die Prozesse, an welche die Vermehrung der Entropie, die Verminderung der nutzbaren Energie geknüpft ist. Aus dem Umstande, daß die „Entwickelung heute noch nicht vollendet" ist, läßt sich daher nicht mehr erschließen, als aus dem Umstande, daß die nutzbare Energie noch nicht verschwunden ist. Möglich würde ein solcher Schluß erst werden, wenn es jemals gelänge festzustellen, daß die Verminderung der Energie, bezogen auf eine bestimmte Zeitdauer, in keiner der Vergangenheit angehöriger Weltepoche kleiner gewesen sei, als ein gewisser Bruchteil der Gesamtenergie, den man auf irgend eine Weise bestimmt hat. Über einen solchen Mindestbetrag hat aber bisher noch nie etwas verlautet, und es ist auch gar nicht abzusehen, womit die Aufstellung eines solchen begründet werden könnte. Solange der aber fehlt, fehlt dem populären Satze: „In einer ewigen Welt wäre alles bereits erledigt" der feste Fußboden.

2) Auf eine zweite, etwas gemildertere Art wird der Einwand gegen die Anfangslosigkeit der Weltentwickelung vorgetragen, wenn man an die Stelle gänzlicher Vernichtung der nutzbaren Energie einen „verschwindend kleinen" noch übrigen Rest derselben setzt. Dies geschah u. a. von P. Wasmann in der vorhin erwähnten „Wochenschrift", wo es S. 51 heißt: „Wenn die Zahl der Weltkörper eine endliche ist, so müssen wir auch die Zahl ihrer kleinsten Massenteilchen und ebenso auch das Quantum ihrer ausgleichbaren Bewegungsenergie als endliche Größen betrachten. Wenn somit der Ausgleich der Energie stets denselben Gesetzen folgt, die wir heute kennen [1]), so muß dieser Prozeß

[1]) Chwolson sagt, wir seien noch weit davon entfernt, von diesen Gesetzen auch nur das allerwichtigste zu kennen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

einen Anfang und ein Ende haben. Nur bei der Annahme einer mathematisch unendlichen Reihe von sukzessiven Zuständen, wo der Wert der noch nicht ausgeglichenen Energie sich der Null als limes nähert, ohne diese Grenze jemals tatsächlich erreichen zu können, wäre eine Anfangslosigkeit und Endlosigkeit jenes Prozesses mathematisch denkbar bei einem endlichen Quantum von Energie."

Damit ist der „vierte Fall" gekennzeichnet, und nun kommt das Gegenargument:

„Würde dieser Prozeß aber bereits seit unendlich langer Zeit dauern, also wirklich anfangslos gewesen sein, so müßten wir uns heute bereits in einem Stadium des Ausgleichs befinden, der tatsächlich nur eine verschwindend kleine Größe der noch ausgleichbaren Energie darstellen und demnach vom Weltentode sich praktisch nicht mehr unterscheiden würde." —

In diesen Worten Wasmann's wird eine Anschauung vorgetragen, die von der ad 1) dargelegten Apologie in einem sehr wichtigen Stück abweicht. Es heißt hier nicht wie dort: In einer ewigen Welt müßte der ganze Entwickelungsprozeß bereits vorbei und erledigt sein, sondern es heißt zunächst: Bei einem „endlichen Quantum von Energie" würde durch eine „unendlich lange Entwickelungsdauer" doch nicht notwendig alle Energie schon entwertet oder ausgeglichen sein müssen, sondern es liegt die Möglichkeit vor, daß trotz eines „wirklich anfanglosen Prozesses" tatsächlich doch noch ein gewisser Betrag an unausgeglichener, verwandlungsfähiger, nutzbarer Energie übrig geblieben.

Diese Aussage ist gewiß richtig, und sie stimmt überein mit dem, was ich vorhin schon entwickelt habe. Aber Wasmann knüpft noch eine zweite Aussage daran, indem er von dem tatsächlich noch vorhandenen Betrage behauptet, derselbe müßte „eine verschwindend kleine Größe" sein, und das stimmt mit meinen Ausführungen nicht überein.

P. Wasmann fügt für seine zweite Behauptung keinen Grund an, betrachtet sie als selbstverständlich, als ohne Beweis und ohne jeden aufklärenden Fingerzeig schon einleuchtend. — Ist sie das? —

Mir scheint, gerade an der Hand der ersten Aussage läßt sich dartun, daß die zweite keineswegs selbstverständlich ist. Ich schlage folgenden Weg vor:

„Der Ausgleich der Energie, sagt W., folgt Gesetzen", und die Folgen dieser Gesetze reichen gemäß der ersten Aussage nicht hin, um selbst bei unendlicher Wirkungsdauer eine endliche Energiemenge vollständig zu entwerten, sondern es bleibt noch ein Betrag übrig, der nicht Null ist. — Wer sich nun mit W. auf den Standpunkt stellt, daß folgende drei Dinge:

1) ein endlicher Anfangswert,
2) eine unendliche Verminderungsdauer,
3) ein von der Null verschiedener Endbetrag

überhaupt ohne Widerspruch miteinander vereinbar sind, für den liegt augenscheinlich auch kein Widerspruch in der Annahme,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

es könne Weltgesetze geben, so beschaffen, daß ihre Folgen trotz unendlich langer Wirkungsdauer von der halben Gesamtenergie noch einen unentwerteten Rest übrig lassen, dessen Betrag nicht gleich Null ist. In diesem Falle ist aber außer dem besagten Restbetrag natürlich auch noch die ganze zweite Hälfte der Energie übrig, und beides zusammen macht sicherlich keine „verschwindend kleine Größe" aus!

Wenn die genannten Dinge 1), 2), 3), wie Wasmann annimmt, überhaupt miteinander vereinbar sind, dann ist der zugelassene Restbetrag prinzipiell ebensogut bei einem Dritteil oder Vierteil zulässig, wie beim Ganzbetrag der Weltenergie. — Behauptet jemand: „Nein! nur und allein vom Ganzbetrag könnte jener Rest bleiben", so darf ich ihn fragen: „Worauf gründet sich denn diese Ausschließlichkeit?" —

Selbstverständlich ist sie offenbar nicht; das Prinzip, insofern es „endliche Mengen" umfaßt, rechtfertigt sie nicht, also müßte irgend eine vorzeigbare Eigenart sie rechtfertigen, einerseits die Eigenart des Gesamtbetrages der Energie, andererseits die Eigenart der wirksamen Gesetze. Wo ist diese Rechtfertigung? — Sie ist nicht da! —

Daß in der hier gekennzeichneten „Ausschließlichkeit" ein Gedankenfehler liegt, hätten wir auch herleiten können aus der vorhin erwähnten arithmetischen Abbildung", bei der sich herausgestellt hat, daß keine Anzahl von Verminderungen, mag sie so groß sein, wie sie will, ausreicht, um 12 Einheiten mit Notwendigkeit auf 11 herabzudrücken. Immer kann dabei noch ein Rest der zwölften übrig bleiben, der dann mit den Elfen zusammen gewiß keine „verschwindend kleine Größe" ist. Genau ebensogut und auf Grund derselben Erwägungen konnte man natürlich statt 11 auch die Ziffern 10, 9 usw. setzen, bis herab zur Null. Es liegt aber nicht der mindeste Grund vor, den Gedankengang bloß bei der Null anzubringen und die anderen Ziffern auszuschließen. Solche auf den „Gesamtbetrag" abzielende „Ausschließlichkeit" zu behaupten, ist durchaus ungerechtfertigt.

Die Einsicht, daß die „zweite Behauptung" Wasmann's nicht begründet ist, läßt sich drittens auch aus der „geometrischen Abbildung" gewinnen. Wenn eine Kurve zwischen zwei horizontalen Parallelen liegt und nach links sich der oberen, nach rechts sich der unteren Parallele asymptotisch nähert, soll sie dann an demjenigen Punkte, der dem Moment „jetzt" entspricht, der unteren Parallele bis auf eine „verschwindend kleine" Strecke nahe gekommen sein müssen? Wo liegt denn bei dieser Kurve die Gegend namens „heute"? — Wer vermag das zu sagen? —

So lange keine Gründe für eine bestimmte Lage dieses Ortes angegeben werden, kann es niemand verwehrt sein, ihn so weit nach links oder nach rechts zu verlegen, wie es ihm gut dünkt. Das ins Feld geführte Argument von der „Ewigkeit", von der „unendlichen Dauer", von der Anfangslosigkeit der Entwickelung" läßt diese Wahl, also

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

auch die Größe des Abstandes von der einen oder anderen Parallele, vollständig frei.

Einen ähnlichen Gedanken, wie den vorstehend entwickelten, hat schon Auerbach ausgesprochen in der eingangs angeführten Schrift: „Die Weltherrin und ihr Schatten", worin es S. 53 heißt: „Aus dem Umstande, daß noch gegenwärtig endliche Niveau-, Temperatur- usw. Unterschiede existieren, ist von einigen Autoren geschlossen worden, daß das Alter der Welt endlich sein müsse; denn wäre sie unendlich alt, so müßte der Ausgleich schon bis zu unendlich kleinen Differenzen vorgeschritten sein. — Hiergegen läßt sich einwenden, daß die Differenzen, wie sie jetzt vorhanden sind, von uns eben als ‚endliche' bezeichnet werden." —

Man stelle sich also klar vor: Derjenige Kurvenpunkt, der den gegenwärtigen Moment darstellt, liegt nicht auf der Nulllinie, hat also von dieser irgend einen Abstand, und diesen Abstand, der uns die „Niveau-, Temperatur- usw. Differenzen" abbildet, nennen wir eben eine „endliche" Strecke. — Warum auch nicht? — Wir können mit unserem Punkte sogar nach rechts weiter rücken in die Zukunft hinein, soweit wir nur wollen. Wird sein Abstand von der Nulllinie, da doch die Annäherung asymptotisch ist, jemals aufhören zu existieren? Wird er jemals aufhören eine „endliche Strecke" zu sein? — — Wer hat denn schon ein Minimalmaß für „endliche Strecken" nachgewiesen? —

Aber diese Zukunftserwägungen sind gar nicht nötig, wenn es sich, wie bei dem hier in Rede stehenden Wasmann'schen Einwurf, um das handelt, was von dem heutigen Entwickelungszustand geltend gemacht worden ist. Daß heute die Menge der „noch ausgleichbaren Energie" eine „verschwindend kleine Größe" sein „müßte", ist weder selbstverständlich, noch von W. irgendwie erwiesen.

3) Andersartig als die beiden vorhergehenden ist ein Gedanke von Christiansen, über den Arrhenius in seinem schon erwähnten Buche „Über die Vorstellungen vom Weltgebäude" auf S. 179 berichtet. Christiansen gebraucht folgendes Beispiel: „Ein Haufen Schießpulver liegt lange Zeit ohne sich scheinbar zu verändern; nun legt jemand Feuer an das Pulver, oder der Blitz zündet es an; es flammt auf, und die vorher so außerordentlich langsame Veränderung wird von der hohen Temperatur derart beschleunigt, daß es im Bruchteil einer Sekunde eine ungeheuer rasche Veränderung durchmacht. Hierauf folgt ein etwas langsamerer, einige Minuten andauernder chemischer Prozeß, da die Verbrennungsprodukte mit der Feuchtigkeit der Luft in Berührung kommen, und dann ist scheinbar Schluß der Entwickelung. Der in der Ewigkeit verschwindende Bruchteil einer Sekunde, während dessen das Pulver aufflammte, entspricht der Zeit der Weltentwickelung, von der wir etwas wissen."

Arrhenius fährt fort: „Bei genauerem Nachdenken dürfte sich aber kaum ein Naturforscher dieser Ansicht anschließen. Sie enthält

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

auch die Schwierigkeit, daß das Pulver, wie die Chemiker lehren, auch wenn es bei niederer Temperatur aufbewahrt wird, langsamen Veränderungen unterworfen ist, die erst bei dem unerreichbaren absoluten Nullpunkt auf Null reduziert werden. Wir können uns aber nicht vorstellen, daß die Welt sich früher außerordentlich langsam entwickelt haben sollte, weil die mittlere Temperatur damals sehr niedrig (also gewissermaßen nicht hoch genug, um das Weltpulver zu entzünden) gewesen wäre. Eine solche Annahme wäre ganz unhaltbar."

Im Folgenden werden wir hierauf zurückkommen und die Art besprechen, wie durch eine von P. Dressel ausgesprochene Hypothese das ganz allmähliche Anwachsen der Temperatur sehr wohl erklärt werden kann. —

Wenn Arrhenius selbst das Zutreffen des „vierten Falles" für das ganze Universum ablehnt, so hängt das einerseits mit dem Umstande zusammen, daß er — wie früher bereits erwähnt — die Richtigkeit der „Voraussetzung Nr. 2" schon gänzlich in Abrede stellt mit den Worten (S. 180): „Die Entropie muß im großen Ganzen einen fast unveränderlichen Wert behalten." Andererseits entspricht seine kosmische Theorie mehr der Vorstellung, daß der „vierte Fall" auf einzelne Weltsysteme, z. B. auf unser Sonnensystem und dessen allmähliche Entwickelung vom Nebel durch den Glutball hindurch wieder zum Nebel eher passe, als auf das gesamte Universum.

Ueberhaupt aber ist der Kampf hier nicht eigentlich gegen den „vierten Fall", sondern gegen eine Karikatur desselben gerichtet. Wenn da gesagt wird: „Die Welt hätte endlos lange wie tot gelegen, um sich nun grade in der Zeit, deren Spuren wir in den geologischen Ablagerungen nachweisen können, mit rasender Schnelligkeit zu entwickeln und nachher allmählich wieder in ewige Todesruhe zu versinken," so muß man doch fragen: Worauf beruht denn die Berechtigung der Christiansen'schen Aussage, daß jener Bruchteil einer Sekunde, während dessen das Pulver aufflammte, grade derjenigen Zeit entspricht, von der wir etwas wissen? —

Der Akt der Explosion stellt den Höhepunkt des chemischen Prozesses dar. Stellt denn etwa „die Zeit, von der wir etwas wissen," auch den Höhepunkt der Weltentwickelung dar? — Mit welchen Gründen ist eine so kühne Behauptung, auf der doch der ganze Vergleich beruht, zu beweisen?

Als Höhepunkt der Weltentwickelung würde derjenige zu betrachten sein, an welchem die Tangente der Entropiekurve die steilste Richtung hat, d. h. mit der horizontalen Zeitachse den größten Winkel bildet. Wem ist denn etwas über die Lage dieses Punktes bekannt? Wer kann sagen, ob er der Vergangenheit, Gegenwart oder Zukunft angehört? —

Und ferner: Wer weiß etwas davon, ob der Durchgang der Weltentwickelung durch diesen Höhepunkt überhaupt den Charakter einer Plötzlichkeit hat, welche in Hinsicht auf den unmittelbar vorher-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gegangenen Zustand sich mit der Plötzlichkeit der Christiansen'sche Pulverexplosion zutreffend vergleichen ließe? — Einen Beleg für diese Annahme fügt Arrhenius nicht bei; man wird sie also noch so lange, bis genügende Gründe vorgebracht werden, für willkürlich, und einen darauf gestützten Einwand gegen den „vierten Fall" für nicht durchschlagend halten dürfen.

XV. Die Beweisführung Dressel's.

Ganz besonderer Beachtung und einer sehr sorgfältigen Erörterung wert ist ein Gedanke, den P. Dressel in seiner mehrfach erwähnten „Laacher Abhandlung" S. 154 ff. entwickelt, und der tatsächlich, wenn seine physikalische Unterlage sich genügend stützen läßt, den „vierten Fall" beseitigen kann[1]). Dressel schreibt:

„Die Naturprozesse der Welt haben einen zeitlichen Anfang gehabt. Denn die Summe der in diesem Augenblick in der ganzen Welt vorhandenen Entropieeinheiten ist eine bestimmte Größe und durch eine endliche Zahl A auszudrücken. Dasselbe gilt auch von jedem Momente in früheren Zeiten, nur war damals die Entropie um so kleiner gewesen, je weiter wir in der Vergangenheit zurückgehen. — Grade vor einem Jahre sei die Entropiesumme A_1 gewesen. Der Zuwachs während des letzten Jahres ist also $A - A_1 = D$. Nehmen wir an, es habe die Entropie in früheren Zeiten jedes Jahr nur um D zugenommen, dann würde der zeitliche Anfang der Entropiezunahme und damit auch der Anfang der Naturprozesse[2]) in der Welt um $A : D = X$ Jahre zurückzudatieren sein, worin X eine bestimmte endliche Zahl sein muß. Die Dauer der Naturprozesse ist in Wirklichkeit noch kleiner als X, weil der jährliche Entropiezuwachs früher größer als D war." —

Diese Schlußweise Dressel's ist klar und überzeugend für jeden, der die physikalischen Voraussetzungen zugibt. In Bezug auf die Standfestigkeit der letzteren täuscht sich aber D. insofern, als er bloß eine als stützebedürftig ansieht, während deren in Wirklichkeit zwei sind. Er fährt nämlich fort:

„In diesem höchst einfachen Beweise kann dem Leser nur die eine Behauptung von der Endlichkeit oder Begrenztheit der heute in der Welt vorhandenen Entropie Bedenken erregen. Bei so wechselvollen und schwer zu überschauenden Größen, wie es die Energie und Entropie sind, die zudem noch in einer Welt hinterlegt vorkommen, von der nirgendwo wirkliche Grenzen wahrgenommen werden können, ist in der Tat die Endlichkeit der Entropie nicht für jedermann selbstverständlich.

---

[1]) Auf denselben hingewiesen habe ich bereits in „Nat. und Offenbg." 1909, S. 211.

[2]) Diese Gleichstellung ändert sich später. Vgl. S. 77.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Andererseits steht und fällt unser Beweis mit der Endlichkeit der Entropie. Wir müssen uns deshalb über sie noch im besonderen erklären."

Und nun folgt jene Darlegung, deren wichtigster Inhalt vorhin schon im Abschnitt IX erörtert worden ist.

Der Beweis Dressel's „steht und fällt" aber nicht blos mit der „Endlichkeit der Entropie", sondern auch mit der von ihm benutzten Annahme, daß der Zuwachs der Entropie in jedem früheren Jahre mindestens D Einheiten betragen habe, in Wirklichkeit aber stets „größer als D" gewesen sei. Trifft das zu, dann kann in der Tat die Dauer des Entropiewachstums nicht mehr als A : D = X Jahre betragen haben, wobei A und D restfrei abzählbare Mengen von Entropieeinheiten sind. Trifft es aber nicht zu, dann ist der Beweis in der vorliegenden Form offenbar verloren.

Darum bildet einen durchaus wesentlichen Punkt die Frage, ob Dressel seine Aussage über den jährlichen Mindestbetrag von D Einheiten so begründet hat, daß nicht etwa auch sie „dem Leser Bedenken erregen" könnte.

In Bezug auf diese Begründung sind zwei Ausführungen Dressel's bemerkenswert, von denen eine (S. 158) folgendermaßen lautet:

„Die Welt hat einen Anfang. Wir sahen oben, daß die von selbst eintretenden Prozesse in der unbelebten Welt in einer bestimmten Richtung verlaufen. Es suchen sich dabei die Intensitätsunterschiede der einzelnen Energieformen immer mehr auszugleichen, und die verschiedenen Energieformen verschwinden mehr und mehr zu Gunsten der Körperwärme, welche ihrer Natur nach sich mehr und mehr durch das ganze Universum ausbreitet. Eine unmittelbare und notwendige Folge hiervon ist, daß die Naturprozesse in der Welt stetig an Intensität, Umfang und Häufigkeit abnehmen. Die Welt ‚altert' beständig und offenbart in ihrer Weise jenen Einfluß des Alters, welcher die den Dingen von Natur aus eigenen Tätigkeiten hemmt und schwächt. Hieraus müssen wir schließen, der natürliche Drang zu Energieumwandlungen und Energieverschiebungen, die ganz von selbst einsetzen, sei früher größer gewesen als heute, und zwar um so größer, je weiter der in Gedanken fixierte Zeitpunkt von heute abliegt."

Diese Worte: je früher, um so größer, enthalten den Kern der Beweisführung und müssen besonders im Auge behalten werden. Dressel fährt fort:

„Am Anfang der Naturprozesse[1]), wo die Entropie Null war, die nutzbare Energie aber das Maximum ihres verwendbaren Wirkungswertes besaß, war dieser Drang am kräftigsten und mußte aus sich

[1]) Streng genommen hätten die Vorstellungen von einem „Anfang der Naturprozesse" und einem „Beginn des Weltwandels" nicht benutzt werden dürfen, so lange der Satz: „Die Welt hat überhaupt einen zeitlichen Anfang" noch erst zu beweisen steht. Vgl. den Abschnitt XI.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

selbst den Reigen des Weltwandels mit voller Wucht eröffnen. Es kann also die Welt nicht vor Beginn dieses Wandels irgend eine Zeit hindurch untätig gewesen sein." —

Die andere Stelle aber ist noch wichtiger, sie geht der eben zitierten vorher (S. 154) und lautet:

„Je länger die Welt steht, um so langsamer schreitet die Entwertung der Energie, ihre Degradierung zur Entropie voran. Je weiter wir uns im Geiste in die vergangenen Weltperioden zurückversetzen, um so gewaltigeren Naturprozessen begegnen wir, um so rascher und erfolgreicher finden wir das Anwachsen der Entropie."

Und jetzt folgen bei D. zwei bestimmte Grundangaben, die besondere Aufmerksamkeit erfordern:

„Wir folgern dies nicht nur

1) aus den allgemeinen Energiegesetzen, es lehren dieses uns auch

2) die Forschungsergebnisse der Geologie. Diese weist uns nämlich in den älteren Perioden Spuren von Erdumwälzungen . . . auf, denen gegenüber die ähnlichen Veränderungen in unseren Tagen nur schwache Nachklänge sind." —

Wenn diese beiden Gründe durchschlagen oder auch nur einer von ihnen durchschägt, dann ist der „vierte Fall", soviel ich absehe, tatsächlich beseitigt. Das ergibt sich nicht nur aus Dressel's arithmetischer Darlegung, sondern auch aus der geometrischen Abbildung. Denn wenn die Aussage „je früher, desto rascher" richtig ist, dann wird die Entropiekurve, je mehr man sie nach links hin in die Vergangenheit verfolgt, immer steiler und steiler. Eine asymptotische Annäherung an die horizontale Nullparallele würde aber erfordern, daß die Kurve nach der negativen Richtung immer flacher und flacher verläuft; das wäre also einfach unmöglich. Auch die zur Entropiekurve symmetrisch liegende Kurve der nutzbaren Energie würde nach der linken Seite hin stets steiler und steiler werden, könnte sich daher der oberen Parallele ebenfalls nicht asymptotisch nähern.

Hieraus ersieht man klar die Wichtigkeit des Dressel'schen Gedankens, insbesondere auch die Bedeutung der Frage, ob seine beiden Gründe durchschlagen oder nicht. Da mir dies aber zweifelhaft war, habe ich mich an Herrn D. selbst gewandt, und fand, wie ich das schon früher S. 19 erwähnte, auf meine Anfrage freundlichstes Entgegenkommen.

Mein erstes Bedenken erhob ich gegen das von D. an zweiter Stelle vorgetragene Argument, das geologische. Ich machte darauf aufmerksam, daß alles, was wir auf und in unserer Erde finden, uns keine Mitteilung machen kann über diejenigen kosmischen Vorgänge, die sich auf fremden Fixsternen noch fortwährend abspielen, und auch nicht über solche, die sich in unserem Sonnensystem vor der Entstehung unseres Planeten zugetragen haben. Daher könne aus geologischen Befunden ein allgemeiner Entropiesatz: „je früher, desto rascher" nicht füglich abgeleitet werden.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Über diesen Punkt war denn auch schnell die Verständigung erzielt, dahingehend, daß das zweite Argument keinen eigentlichen Beweis vorstellen, wohl aber als „Bestätigung“ oder „Bekräftigung“ dienen könne. Den Wechsel im Ausdruck: ad 1) „wir folgern dieses“ und ad 2) „es lehren dieses“, deute, so meinte Herr D., durch die abgeschwächte Form das ja auch schon an; „lehren“ besage weniger als „folgern“.

Somit blieb die Argumentation, sofern sie Strenge beanspruchte, nur noch auf dem ersten Argument ruhen, nämlich auf den „allgemeinen Energiegesetzen“.

Was ist darunter verstanden, und wieweit reichen die Konsequenzen, die sich daraus ableiten lassen? —

Zuerst lenkte sich die Aufmerksamkeit natürlich auf das Gesetz von Clausius, und P. Dressel drückte die Ansicht aus, dieses Gesetz genüge schon für den erstrebten Beweis; denn: „Ist die im ganzen heute vorhandene Entropiemenge eine endliche Größe, entstanden aus der Summierung der jährlich gelieferten Entropie, so kann die Zahl der Summanden nur eine endliche sein. Dies gilt, wie immer auch die einzelnen Summanden ihrem Werte nach sich zueinander verhalten.“

Man sieht leicht, daß dies ungefähr die Umkehrung des im vorigen Kapitel besprochenen ersten Einwandes ist. Dort hieß es, die Anzahl der möglichen Subtraktionen müsse notwendig eine endliche, eine restfrei abzählbare sein, wenn der Minuend eine endliche Größe ist. Hier heißt es, die Anzahl der Additionen muß endlich sein, wenn die Summe endlich ist. Die Richtigkeit oder Unrichtigkeit des Schlusses hängt nun aber wesentlich ab von dem Verhältnis, welches zwischen den einzelnen Summanden besteht, und D.' Meinung, dieses Verhältnis dürfe sein, „wie immer“ es wolle, ist irrig. —

Da dieser Punkt ein allgemeines Interesse hat, will ich meine Begründung, die der im vorigen Abschnitt ad 1) vorgetragenen ähnlich ist, der Hauptsache nach in Kürze mitteilen.

Eine erste Entgegnung wehrte D. ab mit der Bemerkung: „Von der Infinitesimalrechnung oder Differentialrechnung kann in unserem Falle keine Rede sein. Unendlich kleine Größen sind ausgeschlossen, kontinuierliche gesetzmäßige Annäherungen an 0, an ∞ oder an eine bestimmte endliche Größe kommen nicht vor. Hier gibt es nur eine Reihe von Summanden, lauter gegebene Größen, eine jede mit dem Attribut ‚bestimmt‘ und ‚endlich‘ behaftet . . .“

Diese Bemerkung erschien mir zwar nicht einwandfrei, aber es war nicht nötig, ihr meinerseits irgendwie zu widersprechen, vielmehr hielt ich eine Entwickelung, die der Anforderung D.'s in Bezug auf „Bestimmtheit“ und „Endlichkeit“ der benutzten Größen, sowie auf Ausschluß der „Infinitesimalrechnung“ vollkommen gerecht wurde, für genügend, um seine Behauptung: „wie immer auch usw.“ als irrtümlich nachzuweisen. Ich legte Folgendes vor:

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

„Wenn die heute im ganzen vorhandene Entropiemenge eine endliche Größe ist, kann ich sie offenbar in hundert Teile teilen und diesen hundertsten Teil mit a bezeichnen, oder noch bequemer ihn einfach als Entropieeinheit hic et nunc für meine Rechnung zugrunde legen. Diese Entropiemenge Eins ist, von Ihrem Standpunkte aus betrachtet, in irgend einem endlichen Zeitverlauf entstanden, den ich mit b bezeichnen oder der Einfachheit halber wiederum hic et nunc als Zeiteinheit benutzen kann. Dem steht offenbar nichts im Wege.

Wer nun mit Ihnen aussagt, daß die ganze Entropiemenge von hundert solcher Einheiten aus Summanden zusammengesetzt worden sei, wird mir erlauben müssen, jenem ersten Summanden 1 zunächst einen zweiten Summanden beizufügen. Und wer ausdrücklich die Erlaubnis gibt, das Verhältnis der in gleichen Zeitintervallen gelieferten Entropiemengen beliebig zu wählen, der kann niemanden verwehren, als ein solches Verhältnis einfach 99 Prozent anzunehmen. Ich könnte auch 98, 97 usw. Prozent sagen. Damit ist der zweite Summand eine „vollständig bestimmte endliche" Größe, nämlich 0,99 Einheiten, und die nach der zweiten Zeiteinheit erzielte ganze Summe beträgt 1,99 Entropieeinheiten. Ganz dieselbe von Ihnen gegebene Erlaubnis genügt, um den dritten Summanden auf 0,99 mal 0,99 Einheiten „genau zu bestimmen", ebenso nach dem Einmaleins den vierten und jeden folgenden. Auch die Summe aller Summanden ist eindeutig bestimmt und endlich, nämlich 100 Einheiten. — Jetzt besteht die Rechenaufgabe lediglich noch darin, die Anzahl n der Summanden dieser Summe zu ermitteln, und Sie sagen, eben diese Zahl n solle eine endliche sein. Ist dem so, dann muß diese Zahl n die Gleichung:

$$\frac{1 - 0{,}99^n}{1 - 0{,}99} = 100$$

befriedigen. Das alles ist durchaus reinlich und einwandfrei elementar ausgerechnet, und es ist jedenfalls überflüssig, Ihnen dies zu demonstrieren. — Das Einmaleins überzeugt uns aber sofort, daß diese Gleichung durch keine angebbare Ziffer für n befriedigt werden kann.

Daraus folgt mit logischem Zwang: Wenn das Einmaleins richtig ist, dann ist notwendig falsch entweder die Annahme, n bedeute eine endliche Anzahl von Summanden, oder die Annahme, daß die einzelnen Beträge sich beliebig zu einander verhalten dürfen. . . . Infinitesimalrechnung ist bei vorstehender Deduktion [1]) augenscheinlich nicht benutzt worden. . . . Das Ergebnis ist also dies: Wenn man die Entropiemenge als eine Summe aus einer endlichen Anzahl von Summanden auffaßt, so ist das Verhältnis dieser Summanden nicht völlig frei wählbar, sondern an gewisse Bedingungen geknüpft. Und

---

[1]) Sie beruht auch nicht auf der Benutzung „unendlich kleiner Größen". Ein darauf bezügliches Mißverständnis wurde nachher noch ausgeräumt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wenn diese Auffassung von der Entropiemenge tatsächlich der Wirklichkeit entspricht, dann haben in der Wirklichkeit auch besondere Umstände obgewaltet, derart, daß sie das Zutreffen von Gleichungen, wie meine obige ist, verhindert haben."—

Die Einsicht war somit nicht abzuweisen, daß das gegenseitige Verhältnis der einzelnen Entropiesummanden bei dem beabsichtigten Beweise der temporalen Endlichkeit des Entropiewachstums eine wesentliche Rolle spielt. Und in der Tat hatte ja Dressel selbst dem Zutreffen des „vierten Falles" entgegengearbeitet grade mit einer Aussage über das Verhältnis der einzelnen Summanden zueinander, indem er behauptete, diese seien „je früher, desto größer" gewesen. —

Nachdem nunmehr zum Beweise dieser Aussage der Satz von Clausius sich als unzulänglich erwiesen, erhob sich wiederum die Frage: Welche „Energiegesetze" sind es denn, aus denen sich über das fragliche Verhältnis Genügendes herleiten läßt? und da lenkte sich die Aufmerksamkeit auf das früher schon erwähnte Gesetz von Helm. Hierbei kam nun zunächst diejenige Unbestimmtheit und Vieldeutigkeit zur Sprache, welche dem diesem Gesetze zu Grunde liegenden Begriff des „Intensitätsfaktors" anhaftet. Über diese sowie über den sich daran knüpfenden Briefwechsel mit Helm selbst habe ich schon im Abschnitt V das Nähere berichtet. —

War schon diese Vieldeutigkeit des Begriffes recht störend, namentlich in den Fällen, wo es sich bei den Naturprozessen nicht um Energie-Verschiebungen, sondern um Energie-Umwandlungen (z. B. Verwandlung von lebendiger Kraft oder chemischer Energie in Elektrizität oder Wärme bez. umgekehrt) handelt, so zeigte sich überdies bei dem Versuch, das genannte Gesetz auf die Frage nach dem Wachstum der Entropie anzuwenden, noch eine andere und zwar erheblich größere Schwierigkeit.

Was ist denn in dem Helmschen Gesetz ausgesagt?

Nach Dressel und Auerbach lautet diese Aussage, wie früher schon erwähnt, dahin, daß „der Ausgleich der Niveauformen-Differenzen der Energie, der das Gesamtergebnis alles Naturgeschehens ist, erfolgt mit einer den vorhandenen Differenzen proportionalen Geschwindigkeit, also, da diese Differenzen abnehmen, allmählich immer langsamer."

Diesen Gesetzesinhalt fand ich unzulänglich und begründete das folgendermaßen: „Überdies ist aber auch noch fraglich, ob es für den Zweck, um den es sich handelt, oder überhaupt für irgend einen Zweck genügen kann, wenn man zwar weiß, daß der Ausgleich der Niveaudifferenzen der Energie erfolgt mit einer den vorhandenen Differenzen proportionalen Geschwindigkeit, aber nicht weiß, ob die Geschwindigkeit dieses Ausgleichs etwa außerdem auch noch von anderen Größen wesentlich abhängig ist, und von welchen. — Solange hierüber gar nichts gesagt ist, entbehrt der Schluß: ‚also, da diese Differenzen ab-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nehmen, allmählich immer langsamer,' offenbar der Bündigkeit. Denn es wird Ihnen als Physiker ebenso klar sein, wie mir, daß Fälle vorkommen, in denen eine gewisse Größe A eine gewisse Zeit hindurch zunimmt, trotzdem sie direkt proportional ist einer zweiten Größe B, die während derselben Zeit abnimmt. Dann ist A nämlich eine Funktion nicht bloß von B, sondern auch von sonstigen Größen C, D usw. . . . . Wenn daher die Aussage, daß die jährlichen Entropiesummanden des gesamten Weltalls unaufhörlich kleiner und kleiner geworden seien, und daß es gar keine Periode gegeben haben könne, in der dieselben von Jahr zu Jahr zugenommen habe: wenn, sage ich, diese Aussage keine weiter reichende Stütze hat als die erwähnte ‚Proportionalität', dann können wir sie nicht für eine genügend gestützte Aussage halten."

Diesen Gedanken entwickelte ich später noch genauer, indem ich zunächst auf einen Umstand hinwies, der neben der bezeichneten „Proportionalität" sehr wohl noch einen wesentlichen Einfluß auf den „Ausgleich der Niveaudifferenzen" gehabt haben könnte, nämlich „die Verteilung der Materie im Raume". Als Begründung diente u. a. die Erwägung, daß nach gewissen kosmischen Theorien, die zumeist als richtig angenommen werden, jedenfalls aber noch nicht als falsch nachgewiesen sind, unser Sonnensystem vor genügend langer Zeit einen ungeheuer viel größeren Raum eingenommen habe, daß es ein Gebilde gleich jenen „Nebelflecken" gewesen sei, deren es noch so zahllose im Raume gibt, ja daß das ganze Universum irgend einmal nichts als einen zerstreuten Weltnebel dargestellt habe. Solche Anschauung über das sogenannte „Chaos" ist ja unter allen kosmischen Theorien vielleicht die am meisten verbreitete. Hieran anknüpfend führte ich aus:

„Zur Zeit, da die materiellen Urbestandteile unserer Welt sich noch in großen Abständen voneinander befanden, waren ihre Wegbahnen offenbar um so geradliniger, je größer diese Abstände waren. Erst allmählich konnten aus den flachen Hyperbeln Ellipsen und Spiralen entstehen. Dann kamen Zusammenstöße. Je seltener zunächst diese Zusammenstöße, desto ‚konservativer' waren die Vorgänge noch, je häufiger allmählich die Kollisionen wurden, oder je mehr Hemmungen sich der freien Bewegung darboten, desto mehr Energieverschiebungen und Energieverwandlungen mußten eintreten, desto rascher also wuchs die Entropie."

Diese Ueberlegung lief, wie man sieht, auf das Gegenteil dessen hinaus, was in den „Laacher Stimmen" gelautet hatte: „je früher, desto rascher".

P. Dressel ging in seiner Antwort wiederum in freundlichster Weise auf meinen Gedanken ein und legte seine kosmischen Anschauungen in einer Reihe von Sätzen dar, die ich wegen ihrer hervorragenden Wichtigkeit hier wiedergeben will:

„In dem anfänglichen System aus Massenpunkten, die zu Atomen zusammengefügt waren, wirkte zuerst nur die Massenanziehung, die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

weit zerstreuten Atome einander näher bringend. Ungeheure Mengen von Gravitationsenergie wurden bei der Stoffverdichtung verbraucht; ihr Äquivalent war die entstehende Wärmemenge, d. i. die Steigerung der ungeordneten fortschreitenden Atombewegungen und die Energie des sich steigernden Gasdruckes. Wegen der ungleichen Verteilung der Massenpunkte gleich zu Anfang der Welt bildeten sich getrennte Verdichtungscentra mit verschiedener Temperatur aus, die als solche, d. i. als Ganzes genommen, gravitierend aufeinander wirkten und beim Stoßen aufeinander eine Drehung der Verdichtungskerne hervorbringen konnten. Mit der fortschreitenden Verdichtung der besagten Kerne — welche in der Sonne und den Fixsternen heute noch kräftig andauert — steigerte sich ihre Temperatur, damit zugleich auch ihre Wärmeausstrahlung und damit wieder der Ausgleich der Temperaturunterschiede.

Die Steigerung der Wärmemenge in den Verdichtungskernen besagt keine Energie- und keine Entropievermehrung, da die entstehende Wärmeenergie vollständig äquivalent ist der verschwundenen Gravitationsenergie. Es könnte höchstens insofern von einer Verschlechterung der Energie die Rede sein, als die Wärme nicht in gleich günstiger Weise nutzbar gemacht werden kann, wie die Spannungsenergie.

Nach genügender Verdichtung der Materie und genügender Wärmeausstrahlung der Verdichtungskerne konnten die Atomkräfte, die chemischen Kräfte, die Kohäsions- und Adhäsionskräfte, wirksam werden. Es begannen neue Reihen von Naturprozessen, die wiederum bedeutende lokale Temperatursteigerungen und Vermehrung der Wärmeenergie zur Folge hatten, aber nur auf Kosten anderer verbrauchter Energien, vor allem der chemischen, die potentieller Natur sind, so daß dabei die Entropie entweder gleich bleibt oder zunimmt." —

Diese eingehende Darlegung Dressel's leistete der Aufklärung einen großen Dienst, den ich in möglichster Genauigkeit klarzulegen suchte durch folgende Feststellungen. Ich schrieb: „Sie führen aus:

1) In den anfänglichen Systemen von Massenpunkten wirkte zuerst die Massenanziehung. Ungeheuere Mengen von Gravitationsenergie wurden bei der Stoffverdichtung gebraucht. Deren Äquivalent war die Wärmeenergie. Es bildeten sich getrennte Verdichtungscentra. Die Steigerung der Wärme in den Verdichtungscentren besagt keine Entropiervermehrung.

2) Nach genügender Verdichtung der Materie konnten die Atomkräfte wirksam werden. Es beginnen neue Reihen von Naturprozessen, so daß dabei die Entropie entweder gleich bleibt oder zunimmt.

Darin sind folgende Gedanken ausgesprochen: Wenn wir mit unseren kosmischen Ueberlegungen von der Gegenwart aus rückwärts schreiten, so kommen wir einmal in die eben gekennzeichnete zweite Epoche hinein. Während in der Gegenwart die Gesamtentropie an-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dauernd zunimmt, ist von dieser zweiten Epoche gesagt, daß darin die Entropie ‚entweder gleich bleibt oder zunimmt'.

Dieser Gedanke ist schon wichtig, weil er den Schluß nahe legt: Seitdem die kosmische Entwickelung von jener ‚zweiten Epoche' fortgeschritten ist bis zur Gegenwart, ist das damals noch ungewisse und unsichere (‚entweder oder') Wachstum der Entropie zu einem sicheren und zweifellosen Wachstum fortgeschritten. Das deutet schon einigermaßen hin auf eine Entropiezunahme in der späteren Zeit und spricht gegen die Aussage, daß bereits in jener zweiten Epoche das Entropiewachstum solle mit größerer Geschwindigkeit fortgeschritten sein, als zu jeder späteren Zeit.

Aber wir dürfen und wollen davon absehen, weil der Sinn des ‚entweder oder' nicht so ganz klar ist. — Gehen wir nun von der zweiten Epoche noch einen weiteren Schritt rückwärts in die Vergangenheit hinein, bis zu derjenigen von Ihnen gekennzeichneten Epoche, die ich vorhin mit Nr. 1 numerierte, so kommen wir zu einem ganz sicheren Schlusse.

Denn Sie sagen ja selbst ausdrücklich, daß die während der Weltperiode Nr. 1 stattgefundenen Prozesse ‚keine Entropiezunahme' bewirkt hätten. Sie finden somit in der Vergangenheit der Welt einen gewissen Zeitraum, während dessen Dauer die Geschwindigkeit des Entropiewachstums gleich Null war. Es gab keine Entropievermehrung (trotzdem Naturprozesse sich auch damals abspielten). In der nachfolgenden zweiten Epoche gab es entweder Vermehrung oder keine Vermehrung. Heute gibt es (nach Ihrer Auffassung) ganz sicher Vermehrung. Die Entropie vermehrt sich jetzt mit einer gewissen Geschwindigkeit, die nicht gleich Null ist. Daraus folgt mit Gewißheit, daß gemäß Ihrer Darstellung die Welt eine Periode von unbekannter Dauer durchlebt haben muß, innerhalb deren die früher gar nicht vorhandene Geschwindigkeit der Totalzunahme der Entropie mit wachsender Zeit gewachsen ist.

Die oben erwähnte Aussage: ‚je früher desto rascher' kann also nicht im allgemeinen, sondern, von heute ab rückwärts gerechnet, nur bis zu einer gewissen in der Vergangenheit liegenden Epoche zutreffend sein. Geht man aber von da ab in ein noch früheres Alter der Welt zurück, so trifft diese Aussage nach Ihrer eigenen Darstellung des Sachverhalts nicht mehr zu. —

Die Möglichkeit der Entropiezunahme in der Welt haben Sie in Ihrer vorhin zitierten Stelle ausdrücklich geknüpft an die Bedingung, daß eine ‚genügende Verdichtung der Materie' vorher schon stattgefunden habe. In diesem Punkte treffen Sie mit meiner Auffassung vollständig zusammen. Denn wie lang die Dauer jener Zeit gewesen sei, die vor dem Eintritt dieser Möglichkeit verflossen ist, das hängt offenbar von der Länge derjenigen Wege ab, welche die ‚zerstreuten Elementarbestandteile' haben durchmessen müssen, bevor der Grad der ‚genügenden Verdichtung' der Materie erreicht war, hängt also ab von den ‚räumlichen Beziehungen', die ich selbst wiederholt betont habe.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Den Grenzübergang aus der Epoche Nr. 1, die noch ‚keine Entropievermehrung' besaß, zu einer folgenden Epoche, in der die Geschwindigkeit der Entropievermehrung einen von Null verschiedenen positiven Wert bekam, wird man sicherlich als einen allmählichen, vielleicht unstetigen betrachten müssen. Wenn nun nach Ihrer Darstellung in jenen Uebergangszeiträumen die Totalgeschwindigkeit des Entropiewachstums von der Null an aufstieg, und wenn in unserer Zeit die Totalgeschwindigkeit wiederum abnimmt, so muß sie — das ist luce clarius — inzwischen mindestens einmal einen Maximalwert erreicht haben. Und dann trifft der Satz: „je früher, desto rascher" nicht mehr für die gesamte Weltdauer zu.

Das ist das hochwichtige Ergebnis Ihres Briefes vom 7. 10. 09 und zugleich die Erledigung des Hauptpunktes von unserem ganzen Briefwechsel."

Daß diese meine Darstellung der Sachlage zutreffend war, bestätigte P. Dressel in seinem folgenden Briefe ausdrücklich mit den Worten: „Was die Entropievermehrung anbelangt, so unterscheide ich allerdings zwei Epochen. Epoche Nr. 1 als Nullperiode und Epoche Nr. 2 als Periode wachsender Entropie. Nicht so in Bezug auf die Naturprozesse, welche zu keiner Zeit Null waren." —

Mögen also die Naturprozesse niemals Null, sondern zu jeder beliebigen Zeit so groß und so heftig gewesen sein, wie sie irgend wollen, darauf kommt es hier gar nicht im mindesten an: Die Entropievermehrung ist bei dem Übergang aus der ersten Periode in die zweite mit wachsender Zeit gewachsen. Für diese Weltperiode gilt also der Satz: je früher, desto kleiner, nicht aber mehr der andere, gegen die Möglichkeit des „vierten Falles" ankämpfende Satz: je früher, desto größer.

Und so konnte ich denn die bedeutsame Diskussion abschließen mit den Worten: „In diesem Ergebnis liegt die Entscheidung. Mathematisch ausgedrückt heißt der Satz: Wenn die Entropie als Funktion der Zeit dargestellt ist durch die Gleichung:

$$S = f\ (t),$$

dann ist während dieser Epoche

$$\text{sowohl } f'(t) > o \text{ als auch } f''(t) > o.$$

Geometrisch ausgedrückt sieht die Entropiekurve für die betreffende Zeit so aus, daß sie steigt und dabei nach rechts hin steiler und steiler, nach links hin immer flacher wird, also ihre Konvexität nach unten kehrt. Die Kurve der „nutzbaren Energie" läuft für jene Epoche so, daß sie fällt und dabei ebenfalls nach rechts steiler, nach links flacher wird. Ihre Konvexität kehrt sie nach oben. Alle weiteren Ueberlegungen über das ‚Altern der Welt" und über die ‚Möglichkeit der Energieverwandlungen und Energieverschiebungen", so richtig und wichtig sie sonst sein mögen, können bezüglich Ihrer Epochen Nr. 1 und 2 das Vorzeichen des zweiten Differentialquotienten, können die Konvexitäts-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und Konkavitätsrichtung beider Kurven nicht mehr umkehren. Denn diese sind durch Ihre Aussagen über jene beiden Perioden eindeutig bestimmt. Und zwar im großen Ganzen, in ihren Mittelwerten bestimmt, so daß etwaige Schwankungen, die in Teilintervallen jener Epochen oder in Teilsystemen des Universums stattgefunden haben mögen, nichts daran ändern." — —

Ich bin Herrn P. Dressel zu sehr großem Danke verpflichtet dafür, daß er trotz seines Alters und seiner schwankenden Gesundheit so ausdauernd mitgewirkt hat, um dieses Resultat zu erreichen. Solche Bereitwilligkeit verdient um so mehr Anerkennung, als das Ergebnis der Diskussion darin bestand, daß das von ihm in den Laacher Stimmen betonte Argument, welches die Möglichkeit des „vierten Falles" ausschloß, entkräftet wurde. Der dort allgemein ausgesprochene Satz: „Je früher desto rascher" gilt bezüglich der Entropievermehrung nicht mehr für die gesamte vergangene Dauer der Weltentwicklung, sondern wir kommen beim Rückwärtsschreiten zu einer Periode, in der wir umgekehrt aussagen dürfen: je früher, desto langsamer. Dort werden die Kurven daher nicht mehr um so steiler, je mehr sie nach links hin verfolgt werden, sondern immer flacher und flacher. Die asymptotische Annäherung an die parallelen Grenzlinien auch bezüglich der Vergangenheit ist also nicht beseitigt worden.

XVI. Fünfte und sechste notwendige Voraussetzung. Schluß.

Um unsere Ueberlegungen nunmehr einem Abschluß zuzuführen und ein klares Endergebnis zu gewinnen, wollen wir die in Betracht kommenden Aussagen trennen in:

1) Aussagen über den Verlauf des Entropiewachstums,

2) Aussagen über den Anfang der Weltentwickelung.

In ersterer Hinsicht müssen wir uns Folgendes wieder vergegenwärtigen. Auf Grund der im Abschnitt X gewonnenen Erkenntnis, daß das Entropieargument bezüglich der Zukunft die asymptotische Annäherung der „nutzbaren Energiemenge" an die Nullgrenze zuläßt, wenn nicht sogar fordert, schieden von den nachher im Abschnitt XIII entwickelten vier Fällen der erste und dritte aus, so daß für eine apologetische Verwertung nur noch der zweite und vierte übrig blieben. Sobald von diesen der zweite als einzig zutreffend dargetan wäre, befände der Entropiebeweis sich insofern an seinem Ziel, als dann ein sicherer Anfang des Entropiewachstums nachgewiesen sein würde. Dieser Anfang läge um eine endliche, d. h. restfrei abzählbare Menge von Zeiteinheiten vor der Gegenwart. Die Erreichung dieses Zieles hängt also an der Frage, ob der „vierte Fall" als unmöglich ausgeschlossen werden kann oder nicht.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Durch welches Beweismittel dieser Ausschluß eventuell bewirkt wird, kann im Grunde ganz gleichgültig sein, wenn es nur bündig ist. Soll aber grade das Entropieargument diesen Dienst leisten, so muß ein Naturgesetz vorgeführt werden, und dieses muß klar genug lauten, um die Herstellung irgend einer analytischen Funktion zu ermöglichen. Aus der letzteren hat sich sodann rechnerisch zu ergeben, daß nicht der vierte, sondern der zweite Fall dem tatsächlichen Verhalten der Entropie entspricht. Hierbei ist es für den erstrebten Zweck keineswegs nötig, daß die Rechnung in Ziffern geschehe, oder daß das Ergebnis in bestimmten Zahlen vorliege, nur muß aus dem Gedankeninhalt des Gesetzes das, was über die allgemeinen Eigenschaften der analytischen Funktion zu wissen erforderlich ist, bestimmt erschlossen werden können — wie P. Dressel es ja mit nur geringem Aufwand von Rechnungen auch tatsächlich zu erzielen versuchte.

Ebensogut wie durch die algebraische Methode kann das Verhalten der Entropie auch durch eine das Gesetz veranschaulichende Kurve dargestellt werden, und die Entscheidung hängt dann an den Krümmungen, an der Konvexitäts- bez. Konkavitätsrichtungen dieser Kurve. Bei Dressel drückt sich das aus in dem Verhältnis der Entropiezuwachse in aufeinanderfolgenden gleich großen Zeiträumen. Hierauf kommt es also an, und wenn man statt dessen sagt: es kommt auf das Vorzeichen des zweiten nach der Zeit genommenen Differentialquotienten bei großen negativen Werten von t an, so ist das sachlich genau dasselbe. —

Aufschluß darüber geben soll also ein Naturgesetz; wo ist dieses? —

Weder der Satz von Clausius noch der von Lord Kelvin, noch das Helmsche Intensitätsgesetz, noch dessen Verallgemeinerung durch Ostwald reichen nach unseren früheren Darlegungen aus, um solche Schlüsse zu ermöglichen. Wäre das von Chwolson ersehnte „**Weltgesetz A**“ [1]) einmal bekannt, so würde darin vielleicht der Schlüssel gefunden werden, um nebst den vielen sonstigen noch schwebenden Rätselfragen auch diese zu lösen. Die Durchschlagskraft des Entropiebeweises beruht demnach einstweilen noch auf einer weiteren Annahme, die zu den früheren hinzutreten muß und folgendermaßen ausgesprochen werden kann:

> **Fünfte Voraussetzung:** Das Gesetz über das Entropiewachstum in der Welt ist so beschaffen, daß die dasselbe darstellende Kurve sich nach der negativen Seite hin nicht asymptotisch annähert an diejenige Gerade, die durch ihre Lage den konstanten Totalwert der Weltenergie darstellt.

Und nun kommt der zweite Punkt: Wenn auf Grund der nacheinander aufgeführten fünf Voraussetzungen sich aussagen läßt, daß das Entropiewachstum vor einer restfrei abzählbaren Menge von Zeiteinheiten begonnen hat, welche Aussage läßt sich dann daraus ableiten über den Anfang der Weltentwickelung? —

[1]) Siehe S. 15.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Häufig genug ist gesagt worden und wird noch immer gesagt: Der Anfang des Entropiewachstums muß identisch sein mit dem Anfang der Weltentwickelung. Nun aber widersprach P. Dressel, wie wir gesehen haben, diesem Satze energisch, als er wiederholt betonte: Es hat in der Weltentwickelung eine „erste Periode" gegeben, in der sich Naturprozesse gewaltiger Art vollzogen. „Ungeheure Mengen von Gravitationsenergie" wurden umgewandelt in „Wärmeenergie", aber „die Steigerung der Wärmeenergie besagt keine Entropievermehrung, da die entstehende Wärmeenergie vollständig äquivalent ist der entschwundenen Gravitationsenergie". Grade das war ja seine „Epoche 1 als Nullperiode" im Gegensatz zur „Epoche 2 als Periode wachsender Entropie."

Diese Aussagen Dressel's zerstören, wenn sie zutreffen, die eben erwähnte, als sicher behandelte Identität. Der Beginn des Entropiewachstums und der Anfang der Weltentwicklung sind in diesem Falle zwei ganz verschiedene Dinge. — Was nützt es dann noch, so darf man wohl fragen, von dem Anfang der Entropie etwas Erwünschtes bewiesen zu haben?

Nicht bloß, daß vor diesem Anfang die Welt überhaupt existierte, auch nicht etwa, daß sie in einem bewegungslosen, „toten" Zustande verharrte: nein, sie war in gewaltiger Bewegung, in Umbildungsprozessen begriffen, bei denen Gravitationsenergie in Wärmeenergie überging und „Verdichtungskerne" entstanden.

Das alles war doch „Weltentwicklung" vor dem Einsetzen der Entropie!

Soll also das Entropieargument noch einen Nutzen behalten für den erstrebten Beweis eines Anfangs der Weltentwicklung, so ist offenbar unerläßlich, irgend eine genauere zeitliche Beziehung zwischen diesen beiden Anfängen festzustellen. Entweder muß man zurückkehren zu der „Identität" beider und diese beweisen, oder man muß über die Zwischenzeit zwischen beiden eine bestimmte Aussage festlegen und begründen. Die Triftigkeit des Entropiebeweises beruht demnach schließlich auch noch auf dem Zutreffen einer

Sechsten Voraussetzung: Vor dem Beginn der Weltentropie hat es entweder überhaupt keine Naturprozesse gegeben, oder dieselben haben bis zum Anfang der Entropie nur eine restfrei abzählbare Menge von Zeiteinheiten gedauert.

Wenn wir nunmehr am Schlusse unserer Darlegungen die Gedankenfolge überschauen, in denen der Entropiebeweis sich schrittweise vollzieht, so erkennen wir folgende Stufen:

1) Es wird angenommen, daß sich überhaupt in der Weltentwicklung ein gewisses Etwas nachweisen lasse, welches man als „Verschlechterung der Energie", „Verminderung ihrer Nutzbarkeit und Ver-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wandlungsfähigkeit", als „Entropie" im Clausiusschen Sinne bezeichnen kann, daß dieses Etwas eine durch eine gewisse Einheit meßbare Größe sei, und daß diese Größe — entgegen den Behauptungen mancher Naturforscher — beim Fortgang der Weltentwicklung durch gewisse Naturprozesse tatsächlich vermehrt werde. —

Durch diese Annahme gewinnt der Entropiebeweis überhaupt erst Boden.

2) Es wird angenommen, daß entweder keine Naturprozesse stattfinden von solcher Art, daß durch sie die einmal vorhandene Entropiemenge vermindert wird, oder wenn es deren gibt, daß ihre Gesamtwirksamkeit doch nicht ausreiche, um die Gesamtwirkung der das Wachstum fördender Prozesse aufzuheben oder gar zu überbieten. —

Durch diese zweite Annahme wird eine im ganzen ununterbrochene Vermehrung der Entropie, also ein stetiges Ansteigen ihrer Kurve erzielt und gleichzeitig ein lediglich periodischer Wechsel von Steigen und Fallen, wie es der kosmischen Anschauung von Karl du Prel, zum Teil auch der von Arrhenius entsprechen würde, ausgeschaltet.

3) Es wird angenommen, daß die Menge von materiellen Urbestandteilen der ganzen Welt endlich, das heißt in gewissen Einheiten abzählbar sei ohne überstehenden Rest. —

Hierdurch wird erst eine brauchbare Grundlage gewonnen, um die Endlichkeit der Weltenergie als ein Beweismittel ins Auge fassen zu können.

4) Es wird angenommen, daß die Gesamtheit der in einer abgegrenzten Menge von Materie vorhandenen Energie ebenfalls eine Menge sei, die in passenden Einheiten ohne überstehenden Rest abzählbar ist. —

Diese vierte ergänzt die Tragweite der dritten Annahme dahin, daß man nun auch die ganze im Universum vorhandene Energiemenge als endlich ansehen darf. Hierdurch wird die Entropiekurve verhindert, zu unbegrenzter Höhe anzusteigen, und gezwungen, überall zwischen zwei parallelen Geraden eingeschlossen zu bleiben.

5) Es wird angenommen, daß über das Verhältnis der aufeinanderfolgenden Entropiezuwachse ein Gesetz herrsche, welches die Möglichkeit ausschließt, daß die Entropiekurve nach der negativen Seite hin in ähnlicher Weise der einen Parallele sich asymptotisch nähert, wie das nach der positiven Seite hin bezüglich der anderen Parallele der Fall ist oder sein kann.

Hierdurch wird bei der symmetrisch dazu liegenden Kurve der nutzbaren oder verwandlungsfähigen Energie dieselbe asymptotische Annäherung für die Vergangenheit ausgeschaltet und der Schluß erzielt, daß diese einen Grenzpunkt, der auf der oberen Parallele liegt, wirklich erreicht. Dieser Punkt würde den zeitlichen Anfangspunkt der Entropieentwicklung kennzeichnen.

6) Es wird schließlich noch angenommen, daß der Anfang der Entropie mit dem Anfang der Weltentwickelung entweder zusammen-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

falle, oder daß zwischen beiden nur eine beiderseits begrenzte Zeitstrecke liegt.

Hierdurch wird eine feste Brücke geschlagen vom Entropieargument zur Weltentwicklung und dem ersteren überhaupt erst apologetischer Wert verschafft.

Die weiteren Schlüsse, die vom Anfang der Weltentwickelung zum Anfang des Weltdaseins und von da zur Welterschaffung führen, liegen nicht mehr auf dem Gebiete der Naturwissenschaft.

Die Literaturangaben beziehen sich auf folgende Schriften:

1. Arrhenius, Svante: „Die Vorstellung vom Weltgebäude im Wandel der Zeiten, das Werden der Welten, Neue Folge." Aus dem Schwedischen übersetzt von L. Bamberger, Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft, 1908.
2. Arrhenius, Svante: „Zur Frage nach der Unendlichkeit der Welt." Arkiv för Matematik, Astronomie och Fysik, Bd. 5, Nr. 12. Upsula & Stockholm, Almquist & Wicksells, 1908.
3. Auerbach, Felix, Dr., Professor an der Universität Jena: „Die Weltherrin und ihr Schatten, ein Vortrag über Energie und Entropie", Jena, Gustav Fischer, 1902.
4. Braun, Karl, S. J.: „Über Kosmogonie vom Standpunkte christlicher Wissenschaft, nebst einer Theorie der Sonne und einigen darauf bezüglichen philosophischen Betrachtungen. 3. Aufl. Münster i. W., Aschendorff'sche Buchhandlung 1905.
5. Chwolson, O. Prof. ordin. a. d. Kaiserl. Univ. zu St. Petersburg: „Lehrbuch der Physik", 4 Bände. In deutscher Übersetzung erschienen bei Fr. Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1902—05.
6. Dressel, Ludwig, S. J.: „Elementares Lehrbuch der Physik nach den neuesten Anschauungen." 2 Bde., Freiburg i. Br., Herder, 1905.
7. Dressel, Ludwig, S. J.: „Der Gottesbeweis auf Grund des Entropiegesetzes." Stimmen aus Maria Laach, Jahrgang 1909, Heft Nr. 2.
8. Dressel, Ludwig, S. J: Handschriftliche Mitteilungen an den Verf. aus der Zeit vom 10. VI. bis 27. X. 1909.
9. Du Bois-Reymond, Emil: „Über die Grenzen des Naturerkennens, die sieben Welträtsel, zwei Vorträge", Leipzig, Veit u. Comp., 1882.
10. Gockel, Albert, Dr., Universitätsprofessor in Freiburg, Schweiz: „Schöpfungsgeschichtliche Theorien", Cöln, J. P. Bachem, 1907.
11. Grimsehl, Direktor der Oberrealschule auf der Uhlenhorst in Hamburg: „Lehrbuch der Physik", Leipzig 1909.
12. Gutberlet, Konstantin, Dr., Prof. am bischöfl. Seminar zu Fulda: „Lehrbuch der Apologetik", Münster i. W., Theissingsche Buchhandlung 1888.
13. Gutberlet, Konstantin, Dr.: „Der Kosmos, sein Ursprung und seine Entwicklung." Paderborn, Schöningh, 1908.
14. Hasert, Konstantin: „Antworten der Natur auf die Fragen: Woher die Welt, woher das Leben? Tier und Mensch, Seele", 6. Aufl. Graz, Ulrich Moser (J. Weyerhoff) 1905.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

15. Helm, Georg, Dr. Professor an der technischen Hochschule zu Dresden, Geh. Hofrat: „Die Lehre von der Energie, historisch kritisch entwickelt", Leipzig, Arthur Felix, 1887.

16. Helm, Georg, Dr.: „Die Energetik in ihrer geschichtlichen Entwicklung." Leipzig, Veit u. Comp. 1898.

17. Helm, Georg, Dr.: Handschriftl. Mitteilungen an den Verf. aus der Zeit vom 2. XII. 1909 bis 1. I. 1910.

18. Isenkrahe, C., Dr.: „Das Rätsel von der Schwerkraft, Kritik der bisherigen Lösungen des Gravitationsproblems und Versuch einer neuen auf rein mechanischer Grundlage." Braunschweig, Fr. Vieweg u. Sohn, 1879.

19. Isenkrahe, C., Dr.: „Über die Fernkraft und das durch Paul du Bois-Reymond aufgestellte dritte „Ignorabimus." Leipzig, Teubner 1889.

20. Isenkrahe, C., Dr.: „Über die Verwendung mathematischer Argumente in der Apologetik", „Über die Terminologie des Endlichen und Unendlichen", „Über mechanische und optische Vorrichtungen, die zum Beweise für die Endlichkeit der Welt benutzt worden sind." Abhandlungen in „Natur und Offenbarung." Jahrgänge 1906, 07, 08, 09.

21. Kneller, Karl Alois, S. J.: „Das Christentum und die Vertreter der neueren Naturwissenschaft. Ein Beitrag zur Kulturgeschichte des 19. Jahrhunderts." Freiburg in Br., Herder, 1904.

22. Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik und Meteorologie, 9. Aufl., herausgegeben von Leop. Pfaundler. 3 Bde. Braunschweig, Fr. Vieweg u. Sohn, 1898.

23. Ostwald, Wilhelm, Dr., Professor der Chemie a. d. Universität in Leipzig: „Grundriß der Naturphilosophie." Leipzig, Reclam, 1908.

24. Poincaré, Henri, Membre de l'institut: „Wissenschaft und Hypothese." Autorisierte deutsche Ausgabe mit erläuternden Anmerkungen von Fr. u. L. Lindemann. 2. Aufl. Leipzig, Teubner, 1906.

25. P. Rademacher, Johann, Dr.: „Der Weltuntergang." München, Münchener Volksschriftenverlag, 1909.

26. Schanz, Paul, Dr., Professor der Theologie in Tübingen: „Apologie des Christentums." 3 Bde. Freiburg i. Br., Herder, 1887—88.

27. Sperindeo, G., Dottore in Fisica: „Il miraculo di S. Gennaro." 3. edizione. Napoli, ohne Jahreszahl. Tipografia e libreria cattolica Michele d'Auria Editrice, Via Tribunali 386.

28. Thomson, William (Lord Kelvin): „On the dynamical theory of heat." Philosophical Magazine, Oct. 1852, Math. and physical Papers I.

29. Wasmann, Erich, S. J.: „Zur Diskussion über die Tragweite der Abstammungslehre." Naturwissenschaftliche Wochenschrift, Jena, G. Fischer, 1908, Nr. 4.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

15. Helm, (...schule zu Dresden,
Geh. Hof ...kritisch entwickelt",
Leipzig, 1

16. Helm, (...lichen Entwicklung."
Leipzig, 1

17. Helm, G ...Verf. aus der Zeit
vom 2. X

18. Isenkral ...Kritik der bisherigen
Lösungen ...r neuen auf rein
mechanisch ... Sohn, 1879.

19. Isenkral ...ch Paul du Bois-
Reymon ... Teubner 1889.

20. Isenkral ...ischer Argumente in
der Apolo ... und Unendlichen",
„Über me ...n Beweise für die
Endlichkeit ...gen in „Natur und
Offenbaru

21. Kneller ... die Vertreter der
neueren 1 ...ichte des 19. Jahr-
hunderts."

22. Müller- ...teorologie, 9. Aufl.,
herausgeg ...chweig, Fr. Vieweg
u. Sohn,

23. Ostwald, ...versität in Leipzig:
„Grundris ...08.

24. Poincar ...ift und Hypothese."
Autorisiert ...ngen von Fr. u. L.
Lindema

25. P. Rader ...München, Münchener
Volksschri

26. Schanz, ...gen: „Apologie des
Christentu ...—88.

27. Sperind ...di S. Gennaro."
3. edizion ...libreria cattolica
Michele d

28. Thomso ...l theory of heat."
Philosoph ...l Papers I.

29. Wasman ...Tragweite der Ab-
stammung ...Jena, G. Fischer,
1908, Nr.

© The Tiffen Company, 2007
TIFFEN Gray Scale
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19
R G B W G K C Y M

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf