



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Universitätsbibliothek Paderborn

Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften

Natorp, Paul

Leipzig [u.a.], 1910

§ 4. Substanz und Energie.

urn:nbn:de:hbz:466:1-35817

ein, noch sonstwie zu bestimmendes Etwas im Raum (nach Kants Ausdruck: „Reales“) wird so gedacht werden müssen, daß es wechselnd andere und andere Stellen im Raum einnimmt. Das heißt: es muß jene wechselnd andere und andere Ordnung der Elemente im Raum sich darstellen als andere und andere, nämlich in der Zeit dem Raume nach wechselnde Ordnung gewisser Elemente oder Punkte eines Existierenden, welches noch irgendwie anders als bloß durch die Einnahme dieser und dieser Stellen im Raum zu der und wieder zu der und der Zeit zu bestimmen ist; und zwar ist, wenn in diesem Wechsel die Einheit des Existierenden streng gewahrt bleiben soll, die weitere Voraussetzung unerläßlich, daß es zuletzt immer dieselben Elemente desselben, somit allein (zeit-räumlich) Existierenden seien, die in der Zeit ihren Ort und zwar stetig wechseln. Daraus folgt das große Gesetz: daß aller in der Zeit und im Raum geschehende Wechsel nur Stellenwechsel, also gegenseitige Lageänderung immer derselben Elemente eines und desselben Existierenden, dieses also, abgesehen von diesem Stellenwechsel, unveränderlich (weil notwendig auf einzige Art bestimmt) zu denken ist.

§ 4. (*Substanz und Energie.*) So ergibt sich allein durch die logische Forderung der eindeutigen Bestimmtheit des Seins in Bezug auf Zeit und Raum die notwendige Voraussetzung einer unveränderlich sich erhaltenden Substanz des Geschehens, oder eines „Realen“, welches nach diesem seinem reinen Begriff notwendig zu denken ist als in seinem Grundbestand immer sich selbst identischer, also ungewordener und unzerstörlicher, nicht vermehrbarer noch verminderbarer, auch keiner Qualitätsänderung unterliegender, dagegen im Raum beweglicher Rauminhalt; dem mit diesem allen durchaus nur solche Bestimmungen beigelegt sind, welche dem in Zeit und Raum Existierenden, zufolge des Inhalts der Begriffe Zeit, Raum und Existenz und des

erkenntnisgesetzlichen Verhältnisses dieser Begriffe untereinander, notwendig zukommen. Darin mag man den richtigen Kern der Meinung des Descartes erkennen, daß die körperliche „Substanz“ aus apriorischer Notwendigkeit durch nichts weiter als die zeit-räumliche Existenz selbst zu definieren sei.

Was aber nun dies im Raume immer sich Erhaltende und nur den Ort Wechselnde sei, darüber ist hiermit noch nichts weiter entschieden. Die Vorstellungen darüber haben im Laufe der Entwicklung der Naturerkenntnis in sehr weiten Grenzen geschwankt und sind bis heute zu keiner einheitlichen Feststellung gediehen. Doch darf gesagt werden: es nähern sich in den letzten Jahrzehnten die Anschauungen der fortschreitenden Physiker mehr und mehr der Auffassung, die schon lange als die theoretisch befriedigendste sich aufdrängen mußte: daß als das im Raum Vorhandene und sich von Stelle zu Stelle Übertragende nichts anderes anzusehen sei als das, was man unter dem Begriff der „Energie“ zu fassen sucht. Was freilich, abgesehen von den soeben angegebenen grundsätzlichen Erfordernissen, unter diesem Begriff zu denken sei, steht noch keineswegs fest. Man hat einen bestimmten Begriff von der mechanischen Energie, nämlich als dem Arbeitswert; aber man nennt dann ferner „Energie“ auch ein empirisch weiter nicht Bekanntes, vielmehr eine ganze Reihe unbekannter Faktoren (die allenfalls zuletzt in drei oder zwei oder einen sich noch auflösen mögen), deren jeder für sich am mechanischen Arbeitswert zwar gemessen wird, aber selbst nicht Arbeitswert, jedenfalls uns nicht als solcher gegeben ist. Durch die Eigenschaft der Meßbarkeit am Arbeitswert wird doch die Frage nicht beantwortet, was das ist, das am Arbeitswert gemessen wird. Ist die Meßbarkeit am Arbeitswert der „Energie“ überhaupt wesentlich, oder dient vielleicht die mechanische Arbeit nur darum uns als ihr allgemeines Maß, weil sie das uns zugänglichste Maß ist? Muß es darum,

weil es das uns zugänglichste ist, auch das richtigste, das exakteste Maß sein? Daß sie es wirklich nicht ist, würde sofort klar sein, wenn, wie es der jüngsten Forschung sich mehr und mehr herauszustellen scheint, die wägbare Masse überhaupt kein letzter, unveränderlicher Faktor in den Rechnungen der Natur, sondern bloß ein uns bequemer, weil unseren sinnlichen Erkenntnishilfen, die durch und durch den Charakter des Zufälligen, der Einrichtung auf besondere Lebensbedingungen tragen, am besten angepaßter Näherungsausdruck ist; daß diese Masse selbst nur eine besondere Folge der Energieverteilung, der Ausdruck bestimmter „innerer Arbeit“ ist, deren nähere Beschaffenheit noch nicht hinreichend geklärt, von der aber schon jetzt absehbar ist, daß ihr absolute Unzerstörlichkeit nicht zugeschrieben werden kann. Wird also unter der Zurückführung aller Naturvorgänge auf „Bewegung“ die Zurückführung auf Übertragung unveränderlicher Massen, und damit als das letzte im Raume Vorhandene und Bewegliche die mechanische Masse verstanden, dann ist das Mißtrauen gegen das Ideal solcher Reduktion sehr begründet. Sie ist dann auch nicht länger als zwar bisher nicht erreichtes, aber grundsätzlich anzustrebendes Erkenntnisziel der Physik festzuhalten; sondern vielmehr umgekehrt wäre als Ziel ins Auge zu fassen, die Mechanik der Massen ganz in eine Mechanik der reinen Energie aufzulösen; wozu gerade die jüngste Forschung auf bestem Wege zu sein scheint.¹⁾

Wenn aber demnach das Reale im Raum durch die mechanische Masse nicht allgemein und unbedingt und überhaupt nicht ursprünglich dargestellt sein kann, so bleibt als das letzte Bewegliche nur die Energie selbst übrig. Die

1) Man vergleiche etwa mit den noch tastenden, rein prinzipiellen Zweifeln von Driesch [38] oder Mach [110] die tief umwälzenden, auf Tatsachen und Berechnungen gestützten Aufstellungen von Planck [144], auf die hernach noch die Rede kommen wird.

z. B. von Planck¹⁾ betonte „Analogie“ der Energie mit der Masse wird nicht bloß „enger Anschluß“²⁾, sondern geradezu Identität; nicht indem die Energie zum bloßen, untrennbaren Merkmal der Masse oder selbst zu einer nur subtileren Masse, sondern indem die Masse zu nur auf den Raumpunkt, aber in infinitesimalem Übergang bezogener, „nur stetig mit der Zeit ihren Platz wechselnder“ Energie wird. Damit würde das von Planck am Ende seiner grundlegenden Schrift aufgestellte Programm erst voll verwirklicht, welches er selbst durch das Schlagwort „Infinitesimaltheorie“³⁾ bezeichnet, und welches bestehen soll in der Anerkennung eines „neuen allgemeinen Naturgesetzes“, wonach „alle Veränderungen, die in und an irgendeinem materiellen Element vor sich gehen, vollständig bestimmt sind durch die augenblicklichen Vorgänge innerhalb und an der Grenze des Elements“. Hierbei kann das „materielle Element“ offenbar selbst nur hypothetisch bestimmt sein; theoretisch verlangt es dargestellt zu werden durch eine infinitesimal zu konstruierende Verteilung der Energie nach Differentialen des Raumes und der Zeit, als deren stetige und gleichmäßige Funktion sie selbst nur infinitesimaler Änderung unterliegt.

Auf die Frage also: als was denn die Energie in sich selbst zu verstehen sei, da sie durch ihr gewöhnliches Maß, den mechanischen Arbeitswert, weder ursprünglich und allgemein, noch überhaupt ohne Zirkel definiert werden kann, wird durch diesen Ausschluß die Antwort nur um so zwingender, die sich übrigens auch wohl direkt hätte geben lassen: die Energie als letzter Naturfaktor will besagen, daß

1) [143], S. 116. 134. 2) Ebenda S. 275.

3) Vgl. Cohen [98], S. 504f. Übrigens hat auch Hertz [79] die Vorgänge in der Natur streng infinitesimal konstruieren wollen. Doch steht mit dieser Absicht die Annahme absolut fester Verbindungen nicht im Einklang (s. z. B. Planck S. 181; und vgl. weiter unten, § 8).

keine andere Erhaltung für die Rechnungen der Natur erforderlich und in der Tat auch keine gegeben sei, als allein die Erhaltung des Grundbestandes der Veränderung selbst; das heißt: jede im bestimmten Zeit- und Raumpunkt geschehende Veränderung muß darstellbar sein als Einzelergebnis der beständig und zwar kontinuierlich sich ändernden räumlichen Verteilung einer durch die Konstruktion der gesetzmäßigen Abhängigkeitsbeziehungen unter den beobachtbaren Veränderungen erst darzustellenden, in keiner Weise unabhängig gegebenen „Substanz“ dieser Veränderungen selbst. Diese Antwort mag stark empiristisch scheinen; wirklich schafft sie der Empirie eben damit ihre volle Freiheit, daß sie ganz rein *a priori* ist, das heißt, nicht mehr als das Grundgesetz der Konstruktion festlegt, deren ganze Ausführung der Erfahrung überlassen bleibt.¹⁾

Es ist schon vielen aufgefallen (vor langer Zeit z. B. von E. Dühring, neuerlich wieder von Driesch²⁾ betont worden), daß man die „potentiellen“ Energien im Grunde nur einführt, um die Identität des Grundbestandes der Veränderungen rechnerisch herzustellen und damit das apriorische Prinzip der „Gleichheit von Ursache und Wirkung“ allgemein durchführbar zu machen. Potentielle Energie ist ja überhaupt nichts selbständig Gegebenes; es läßt sich von ihr, wenigstens im ursprünglichen Fall, überhaupt nur „*post factum*“ reden. Mit Recht sieht darin Driesch die Bestätigung des Apriori-Charakters des Satzes von der Erhaltung der Energie, „seinem wesentlichsten Kerne nach“. Dieser einschränkende Zusatz ist allerdings notwendig; denn rein *a priori* läßt sich in der Tat nicht mehr aufstellen als: es müsse die Gesetzlichkeit des

1) Insofern glaube ich mich mit Plancks Betonung des empirischen Charakters des Gesetzes der Erhaltung der Energie (143, S. III. 148) der Sache nach nicht in Widerstreit zu befinden.

2) [38] S. 55.

Geschehens so konstruiert werden, daß ein, wie auch immer zu definierender, Grundbestand der Veränderungen in der Natur sich immer erhält und nur im Raume sich anders und anders verteilt. Dieser, wenn auch bedingte A-priori-Charakter des Satzes, daß alles Geschehen der Natur sich als bloße Wanderung der „Energie“ darstellen müsse, gibt sich besonders auch darin zu erkennen, daß so jeder Anthropomorphismus aus den Voraussetzungen über die letzte Beschaffenheit des im Raume Beweglichen schwindet¹⁾; daß weder das Sicht- und Tastbare noch irgendein Empfindbares als solches das Bewegliche im Raum definiert, dieses vielmehr sich als bloßen Rechnungsfaktor darstellt, der indessen so geartet sein muß, daß durch seine Bestimmung auf jeden Ort und Zeitpunkt die darin wirklich auftretenden Verschiedenheiten der Empfindung, unter voller Berücksichtigung der physikalischen und physiologischen Bedingungen des Empfindens, in einheitlichem und stetigem Zusammenhang dargestellt werden. Dazu ist nicht erforderlich, daß für die ja nie erschöpfbare Allheit der Orte im Raum eine Bestimmtheit des in jedem Augenblick sich Ereignenden sich ergebe; sondern es genügt, wenn die Rechnung, in der das Geschehen in der Natur sich ausdrücken soll, so geartet ist, daß sich daraus für jeden Raum- und Zeitpunkt unter geeigneten Voraussetzungen ein bestimmtes Resultat ableiten läßt. Es dürfen also Zwischenräume „leer“ gelassen werden, sofern eben keine Data vorliegen, um etwas über sie zu bestimmen; denn wo Empfindung keine Frage stellt, ist auch Physik zu keiner Antwort verpflichtet; oder auch, sofern gewisse Bestimmungen (Vorhandensein von Masse, Widerstand, Reibung) für sie nicht gelten, d. h. empirisch nicht in Betracht kommen; nie aber so, daß ein im Raum existierendes absolutes physikalisches

1) Gute Bemerkungen darüber in dem Vortrag Plancks (1909): „Die Einheit des physikalischen Weltbildes“ [145].

Nichts behauptet wird. In älteren atomistischen Vorstellungen, die vielleicht die Demokritäischen nur mißverstanden, erschien es allerdings so. Diese alte Ansicht vom „Leeren“ war das richtige Gegenstück zu der ebenso unhaltbaren der absolut harten, durch ihr bloßes Dasein im Raume je einen geometrisch abgegrenzten Teil desselben schlechthin erfüllenden, jedem Eindringen anderer Körper absolut widerstehenden Atome; sie beruhte mit dieser auf der gleichen absolutistischen Denkweise und war unter deren Voraussetzung in der Tat nur folgerichtig. Die absolut unnachgiebigen Atome konnten folgerecht nur in einem absolut nachgiebigen Medium (das damit physikalisch zu einem existierenden reinen Nichts wurde) ihre ebenso absolut gedachten Rückungen und Schiebungen vollführen.¹⁾ Bei unserer Auffassung dagegen tritt die Frage, ob, wo und wie Widerstände im Raume vorhanden sind, überhaupt ganz in zweite Linie; Widerstände sind uns nicht ursprüngliche Konstruktionsstücke, sondern selbst der Konstruktion erst bedürftig. Dagegen die Energiebeziehungen hat man sich kontinuierlich allenthalben durch den Raum hin waltend zu denken; und es ist nur die Aufgabe, diese im Einklang mit den Aussagen der Empfindung so darzustellen, daß für jeden existentiell gegebenen Punkt des Raumes und der Zeit ein bestimmtes Ergebnis abzuleiten möglich wird. Empirisch ist jede Realisierung dieser Bestimmungsmöglichkeit für den gegebenen Fall; empirisch sind auch die allgemeinen Formeln, welche die wechselnde Verteilung der Energie, als des letzten, immer identischen Grundbestandes der Ver-

1) Vgl. Buek [13] S. 35 ff.; der richtig bemerkt, daß ein Festhalten am Atomismus im klassischen Sinne mit dem historischen Stand der modernen Mathematik nicht wohl vereinbar ist. „Die antike Atomistik ist . . . aus der Mathematik der Alten entsprungen. Die Entdeckung der Analysis des Unendlichen erledigte daher auch den Grundgedanken des antiken Atomismus“; wie an Leibniz besonders klar wird; nicht minder an Faraday.

änderungen, gesetzmäßig darstellen; empirisch ist mit einem Wort die ganze Aufstellung und die ganze Ausführung der Rechnung, welche die Natur darstellt, sowohl im Großen als vollends in jeder differenzierten und individualisierten Gestalt; *a priori* allein das Erkenntnisgesetz — dessen Vollstreckung dennoch diese ganze empirische Rechnung schließlich nur ist.

§ 5. (*Die mechanischen Prinzipien. Der Beharrungssatz.*) Es läßt sich nun aber noch eine Reihe von Bestimmungen ebenso rein methodischen Sinnes auf dieser selben erkenntnisgesetzlichen Grundlage sicher ableiten. Diese sind in den sogenannten „Prinzipien“ der Mechanik von den großen Forschern auf diesem Gebiet schon lange dem Kerne nach richtig getroffen worden. Aber fast jede ihrer Aufstellungen bedarf doch noch einer erkenntniskritischen Klärung, zu der wir durch die letzten Betrachtungen die feste Basis gewonnen zu haben hoffen.

Die Aufgabe ist, die Methode zu finden, gemäß welcher das im Punkte der Zeit und des Raumes gegenwärtige Reale definierbar wird. Zu definieren ist es, soviel ergab sich schon, als Punkt des Geschehens, und zwar zeit-räumlichen Geschehens; also der Bewegung. Das Reale der Bewegung aber ist zu definieren in einem solchen Etwas, das, obgleich stetiger Veränderung unterliegend, ja nur in dieser Veränderlichkeit selbst bestehend, dennoch und gerade so in der Substanz dieser seiner Veränderlichkeit sich identisch erhalte.

Daß irgendeine Erhaltung des Zustands überhaupt gefordert ist, wofern die Veränderung selbst soll zu Begriff gebracht werden können, wird wohl allgemein anerkannt, obgleich nicht immer in voller Klarheit als erkenntnisgesetzliche Notwendigkeit begriffen. Worin aber diese Erhaltung bestehe, das kann um so mehr als reine Erfahrungssache erscheinen, da die Vorstellungen darüber in der Geschichte