



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Universitätsbibliothek Paderborn

Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften

Natorp, Paul

Leipzig [u.a.], 1910

§ 8. Das Problem der Masse.

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

veränderung wird notwendig in der sie verbindenden Geraden bestimmt gedacht; also ergibt sich mit Notwendigkeit, daß jedem der beiden Körper der gleiche Anteil an der Verursachung der gegenseitigen Lageänderung, dem Betrage nach, aber in wie Plus und Minus entgegengesetzter Richtung, zuzuschreiben ist.

Kant bemerkt zu diesem Satze, daß Newton sich nicht getraut habe, ihn *a priori* zu beweisen. Nach der landläufigen Vorstellung des Apriori als unbegriffener, instinktiver Voraussetzung, die man kühnlich der Natur zum Gesetz mache, ist es natürlich auch voll berechtigt, die Apriorität dieses wie jedes Satzes, sei es der Naturwissenschaft oder der Mathematik oder selbst der reinen Logik, zu bestreiten. Nur ist dies, mindestens seit Kant, nicht der Sinn, in dem irgendeiner, der als Philosoph mitzählt, vom Apriori geredet hat; das Streiten dawider ist schlechthin nur *ignoratio elenchi*, zu deutsch: Einrennen offener Türen. Übrigens hat gerade Newton bemerkt, daß die Verneinung des dritten Gesetzes auch mit dem ersten in Widerspruch käme; worin liegt, daß die Konsequenz desselben Grundprinzips der Methode reiner Mechanik, das für die Aufstellung des Beharrungssatzes maßgebend war, auch dem Satze der Gegenwirkung die „Notwendigkeit“ gibt. Daß dieser Satz in der Tat durch das Prinzip der Eindeutigkeit unerläßlich gefordert ist, hat gerade Mach (197) hervorgehoben. Nun, so durfte er auch gegen seinen Apriori-Charakter nicht streiten, der nichts anderes besagen will als den Charakter einer unerläßlichen Bedingung zur „Möglichkeit der Erfahrung“, d. h. der eindeutigen Bestimmbarkeit der Naturvorgänge.

§ 8. (*Das Problem der Masse.*) Bei weitem die ernsteste der Fragen aber, die das dritte Gesetz heraufführt, betrifft den Begriff der Masse. Nach der Darstellung von E. Mach stände die Masse in der engsten Beziehung zum Gegenwirkungsprinzip. Beide hängen im System Newtons nicht

bloß so zusammen, wie überhaupt alle seine Prinzipien in innerer Verknüpfung stehen und aus einer gemeinsamen methodischen Grundüberzeugung fließen, jener, die wir im Satze der Eindeutigkeit, d. h. im Grunde: der logischen Bestimmtheit des Naturdenkens überhaupt, zu deutlichem Ausdruck zu bringen suchten; sondern es sind, nach Machs Behauptung, der Massebegriff und der Gegenwirkungssatz wieder nur zwei Ausdrücke einer und derselben Sache, so daß der Satz der Gegenwirkung überhaupt entbehrlich wird, wenn der Begriff der Masse im Sinne Newtons vorausgesetzt wird (110, S. 210ff.). Nämlich wir erwarten — „nach dem uns geläufigen Symmetrieprinzip“, sagt Mach; statt dessen wäre zu sagen: wir setzen mit Notwendigkeit, weil anders zu keiner eindeutigen Bestimmung zu gelangen ist — daß zwei gleiche Körper sich gleiche entgegengesetzte Beschleunigungen in der Richtung der Verbindungslinie erteilen; vielmehr solche Körper, die sich gleiche entgegengesetzte Beschleunigungen erteilen, setzen wir als gleiche nämlich an mechanischem (d. i. beschleunigungbestimmendem) Wert, dessen technischer Ausdruck die Masse ist. Wir schreiben die m fache Masse dem Körper zu, der einem gegebenen, als Einheit gewählten das m fache der Beschleunigung erteilt, die er in Gegenwirkung von diesem erhält; so daß das Verhältnis der Massen definiert wird durch das negative umgekehrte Verhältnis der Gegenbeschleunigungen (Mach S. 212). Daß unter dieser Voraussetzung zwei Massen, die einer dritten gleich, es auch unter sich sind, ist keineswegs logisch notwendig, aber es ist wirklich so (d. h. diese Hypothese erweist sich durchführbar); und diese Tatsache rechtfertigt um so mehr jenen Ansatz, der sonst für die weiteren Rechnungen eben nicht brauchbar wäre. Weshalb die Masse durch das Gewicht zu messen ist, läßt sich nun leicht verständlich machen (ebenda, S. 215f.). So liegt, schließt Mach, im Massebegriff keinerlei Theorie, sondern nur eine Erfahrung. „Der Begriff

hat sich bisher bewährt. Es ist sehr unwahrscheinlich, aber nicht unmöglich, daß er in Zukunft erschüttert wird, so wie die Vorstellung der unveränderlichen Wärmemenge, die ja auch auf Erfahrungen beruhte, durch neue Erfahrungen sich modifiziert hat“ (216).

Es ist nun schon oben bemerkt worden, daß durch die jüngste Wendung der physikalischen Forschung die alten Vorstellungen von der unveränderlichen Masse in der Tat gründlich erschüttert sind. Nach den Ausführungen Machs sollte man erwarten, daß damit zugleich der Satz der Gegenwirkung hinfällig werden müßte, da er ja nur ein anderer Ausdruck derselben Tatsache der Erfahrung sein soll. Indessen ist es eben der auf die gesamte Physik, besonders die Wärmelehre erweiterte Begriff der Energie, wodurch die Erschütterung des Massebegriffs erfolgt ist; der Energiebegriff aber steht seinerseits mit dem Gegenwirkungsprinzip in nicht minder enger logischer Verbindung. Bildet also der Massebegriff mit dem Gegenwirkungssatz vielleicht doch nicht eine so enge Einheit, wie es von Mach angenommen wird? Dies bedarf der Aufklärung.

Daß die Masse nicht vor den dynamischen Beziehungen, sondern nur durch diese gegeben werden kann (Mach S. 239f.), gilt auch uns als feststehende Voraussetzung und ist übrigens wohl längst (etwa seit W. Weber) in das Bewußtsein der Physiker übergegangen. Man versteht allgemein unter Masse nur das Verhältnis der Kraft zur Beschleunigung (so Maxwell, Wüllner u. v. a.) oder, was auf dasselbe hinauskommt, der Bewegungsgröße zur Geschwindigkeit. Aber man hat einseitig nach den unmittelbar empirisch aufweislichen mechanischen Beziehungen unter den wägbaren Körpern die „Materie“ bestimmt, und dann erwartet und gleichsam verlangt, daß die so gefundene „Quantität der Materie“, d. h. Masse der wägbaren Körper, als absolut unveränderlicher Faktor in allen Rechnungen der Natur stehen bleiben, also auch in allen physikalischen

Beziehungen sich festhalten lassen solle. Diese *a priori* grundlose Erwartung oder Forderung ist es, von der die neuere Forschung sich in kecker Revolution befreit hat. Die an wägbare Körper gebundene „träge“ Masse bleibt nicht unter allen Umständen ungeändert, sondern unterliegt, nach sicheren Ergebnissen der jüngsten theoretischen Physik, gewissen Änderungen insbesondere durch die Temperatur; Änderungen allerdings so geringen Betrages, daß sie sich dem experimentellen Nachweis bis jetzt entziehen. Keinesfalls ist die träge Masse mehr als letzter, unauflöslicher Faktor in den Rechnungen der Natur anzusehen, sondern nur als Folgeerscheinung innerer Energien des chemischen Atoms (s. bes. Planck in der oben schon zitierten Abhandlung 144). Dieses aber hat bereits aufgehört, ein absolut letztes Element der Natur zu bedeuten, seitdem der Zerfall der chemischen Atome aus dem Bereiche bloßer logischer Denkbarekeit in den der streng begründeten Theorie und des experimentellen Nachweises gerückt ist. Übrigens erweist sich die träge Masse auch nicht schlechthin identisch mit der wägbaren; Trägheit und Gewicht gehen im allgemeinen zwar zusammen, aber nur, indem beide in einem und demselben Dritten ihren Grund haben, nämlich jener Energie intraatomistischer Vorgänge noch näher zu bestimmender Art, die zwar, solange das chemische „Atom“ Bestand hat, in ihm sehr angenähert (schwerlich absolut) konstant bleibt, beim Zerfall des Atoms aber in bestimmten (thermodynamischen) Wirkungen nach außen zutage tritt.

Darum verliert der Begriff der Masse doch nicht seine Bedeutung. Sie ist als Rechnungsfaktor unentbehrlich, überall wo es sich darum handelt, den Sätzen der reinen Mechanik bestimmte Anwendung auf das vorliegende physikalische Problem zu geben. Massen treten daher in der Physik auf, überall wo Kräfte auftreten; sie vertreten selbst Kräfte: die Masse bedeutet das Moment des Widerstands; dieser Widerstand aber ist eben durch Kräfte zu repräsentieren,

d. h. aber zuletzt: durch eine bestimmte Verteilung von Energie. Gerade das dritte Gesetz Newtons ermöglicht und fordert, die Massen als Kräfte anzusehen; als solche unterliegen sie zugleich dem zweiten Gesetz. So müssen aber die Massen so wenig absolut unveränderlich verbleiben wie die Kräfte. Denn jede einmal gegebene Verteilung der Energie kann sich schließlich ändern. Es können bestimmte Systeme (d. h. eine bestimmte Gesamtverteilung der Energie) geraume Zeit in einem für unsere Beobachtungsmittel unveränderten Zustand verharren, aber schließlich sich auflösen, um anderen Systemanordnungen Platz zu machen. Eine solche relative Konstanz — vergleichbar der relativen Selbsterhaltung eines Planetensystems — ermöglicht es, aus der unendlichen Komplikation der Vorgänge einzelne Veränderungsreihen sicher herauszuheben und zur Definition zu bringen, Bewegungsgleichungen, Energiegleichungen nicht mehr in der bloßen Abstraktion der reinen Mechanik, sondern in Bezug auf das bestimmte Problem der Physik ansetzen zu können. Doch ist dazu zuletzt nichts mehr erforderlich, als daß die Anfangslage, deren Ausdruck den rechnerischen Ansatz des bestimmten, durch die Erscheinungen aufgegebenen Problems darstellt, sich für die jedesmalige Rechnung identisch festhalten läßt; nicht aber müssen auch in der weiteren, den Vorgang selbst darstellenden Rechnung die angesetzten Rechnungsgrößen oder irgendwelche in diese eingehende Faktoren durchaus unverändert bleiben. Es sind also im besonderen der physikalischen Vorgänge die Massen, ebenso wie die gegebene Energieverteilung, zu deren Ausdruck sie nur dienen, an sich veränderlich zu setzen. Eine absolute Erhaltung hat man sich im Hinblick auf das ideale Ganze der Naturvorgänge zu denken; da aber geht die Erhaltung der Masse vollständig auf in die der Energie und ist nicht noch neben dieser als etwas Besonderes festzuhalten.

Für das besondere Problem wird demnach von gleicher

Masse, d. i. Quantität des Veränderlichen, zu reden sein, wo gleiche, von ungleicher, wo ungleiche Änderungen unter übrigens gleichen Bedingungen auftreten. Die gleichen oder ungleichen Quanta, auf die man die gleiche äußere Einwirkung sich verteilt denkt, lassen sich dann auch als gleiche oder ungleiche Punktzahlen des Systems vorstellen, so daß die Wirkung für jeden materiellen Punkt gleich wird, bei absolut gleicher Verteilung also keine Verschiedenheit der Wirkung zutage treten könnte; die ungleiche Verteilung der substantiellen Punkte vertritt dann die ungleichen Massen. Eine solche Vorstellung liegt offenbar zugrunde, wenn Newton (was man sehr getadelt hat) die Masse als „Quantität“ (d. i. Menge) „der Materie“, und damit scheinbar statt der Masse die Dichtigkeit definiert; oder aber in einem Zirkel sich bewegt, da die Dichtigkeit selbst nur definiert werden kann als Masse der Volumeinheit (so Mach S. 188, vgl. 210, 239). Die eben angedeutete Vorstellung wird durch diesen logischen Anstoß nicht getroffen. Es muß doch der materielle (d. h. der physische im Unterschied vom geometrischen) Punkt, oder es muß das Reale im Raum, als das, was physisch wirkt und auf das physische Wirkung sich erstreckt, zugrunde gelegt und durch irgendeinen Rechnungsfaktor bezeichnet werden können. Also nicht der Ansatz eines solchen Faktors überhaupt ist anzufechten, sondern nur, daß man zu schnell am Ziel zu sein glaubte, daß man ein bloßes Restproblem für ein Letztes, Absolutes nahm. Warum die gleichen ändernden Faktoren an verschiedenen Stellen des Raumes verschiedene Änderungen bedingen, dafür kann nicht die Raumstelle als solche eintreten, sondern es ist notwendig ein eigentümlicher, physisch-realer Faktor dafür anzusetzen, der nur der Ausdruck dafür ist, daß das, worauf gewirkt wird, verschieden sein muß, da die Wirkung verschieden ist. Damit gewinnt man die Möglichkeit einer theoretischen Darstellung der Vorgänge je für einen gegebenen Umkreis von Problemen. Doch muß man sich

darüber klar sein, daß damit die Frage stets nur um eine Stufe zurückgeschoben wird. Was ist es denn, was diese Verschiedenheit der Wirkung selbst bedingt? Diese Frage ist nur zu beantworten durch die Energie, die aber doch eine bestimmte räumliche Verteilung, also Punkte, die als real verschiedene eben durch ein verschiedenes Verhalten gegen gleiche äußere Einwirkung charakterisiert sind, erfordert: also wiederum eine (freilich nicht mehr wägbare) „Masse“, die nun aber ebenso wie die vorige nur ein Problem-*ausdruck* ist, nur das Restproblem auf neuer Stufe darstellt. Eine Individualisierung der Energievorgänge überhaupt aber wird auf keiner Stufe der Betrachtung anders möglich sein als durch Annahme solcher Verschiedenheiten des Verhaltens gegen gleiche Wirkungen, wie sie in diesem Problemwort „Masse“ vielmehr nur bezeichnet als erklärt werden: es wäre denn, daß man wirklich glauben dürfte, zu einem Letzten, Absoluten vorgedrungen zu sein.

Es ist im Grunde die alte „Antinomie“ des Einfachen, auf die man hier aufstößt; und es wird auf die alte Frage auch nur die alte Antwort erfolgen können: das Einfache, als die letzte Ziffer, mit der die Natur rechnet, ist eine bloße „Idee“, d. h. nach dem strengen Kantischen Sinn dieses Wortes: eine ewige Aufgabe; es darf auf keiner Stufe als erreicht, oder auf dem Wege möglicher Erfahrung überhaupt erreichbar gedacht werden. Der natürliche Absolutismus freilich sucht, von einer Stelle vertrieben, immer wieder an einer anderen Unterschlupf. Und es gewährt dem philosophischen Beobachter etwas wie ein bitteres Ergötzen, wahrzunehmen, wie in einem wissenschaftlich so revolutionären Zeitalter wie dem unseren doch auch die Reaktion des Absolutismus sich immer noch und immer wieder rührt und nicht selten auch tüchtiger Forscher sich bemächtigt, die entweder nicht sehen oder sich durchaus nicht darin schicken können, daß Naturwissenschaft mit allem siegreichen Vordringen gegen überlieferte Anschauungen doch am Ende

nicht mehr erreicht, als das Nichtwissen an eine andere Stelle zu verlegen. *Le roi est mort — vive le roi!* Das Atom (als absolut unzerstörliches letztes Element der Natur) ist tot — es lebe das unzerstörliche Elektron! Und wenn einer gar die Materie erschlägt — so materialisiert er dafür die Energie.¹⁾ Fast allgemein aber mangelt die Besinnung, daß es sich in jeder einzelnen der Grundfragen der exakten Wissenschaften und in der Verbindung ihrer aller um Methodenfragen der Erkenntnis überhaupt nur handeln kann. Die Energie selbst denkt man sich vielfach gleichsam zerstückt an ausdehnungslose, diskrete Punkte geheftet; d. h. man weiß nicht, daß irgendwelche kausale Beziehung überhaupt nur in Wechselrelation gedacht werden darf, die zwar Bezugspunkte erfordert, aber nur „zwischen“ den Punkten, gleichsam als ihr Gemeineigentum, oder in besserer Vergleichung, nach Art eines Rechtsverhältnisses besteht. Die Verteilung auf Punkte mag als Rechnungshilfe für das einzelne Problem nützliche Dienste tun, aber sie gibt keinen endgültigen Begriff der kausalen Beziehung als solcher. Diese kann ihrem wesentlichen Sinne nach überhaupt keine diskrete Verteilung, also keine endlichen Punktzahlen brauchen, sondern fordert eine stetige, also infinitesimale Konstruktion. Punkte, wenn sie nicht selbst infinitesimal verstanden werden, sind nichts als Grenzen, Nullen, die durch keine Kunst zu etwas Realem gemacht werden könnten.

Diesen rein methodischen Sinn der Punktsysteme findet man klar ausgesprochen in Schmitz-Dumonts „Naturphilosophie“, einem Buche, aus dem, wer die Spreu vom Weizen zu scheiden weiß, wohl manches gewinnen kann. Die Punktsysteme dienen ihm bloß als Ausdruck dafür, daß „das Veränderliche des Systems eine unveränderliche Summe

1) So erklärte Ostwalds Naturphilosophie (2. Aufl. 1902) der Materie den Krieg, aber behielt die Unzerstörlichkeit der (wägbaren) Masse und der chemischen Atome bei. (Später ist das natürlich geändert.)

bilden“ muß. Die Aufstellung dieser Summe erfordert allerdings den Ansatz einer Einheit, die aber darum nichts Absolutes ist. Ein „Massepunkt“ hat überhaupt für sich keine physische Existenz, darf als einzeln überhaupt nicht gedacht (d. h. real gesetzt) werden; eine begriffliche Existenz erlangt er nur dadurch, daß ihrer mehrere, zum wenigsten zwei gesetzt werden; diese existieren nur als System, sie haben keine selbständigen „Kräfte“, sondern nur eine Bedeutung als Wechselwirkung, die man bloß zur bequemeren Berechnung auf die Punkte verteilt denkt. Es wäre unstatthaft, zu sagen: die Körper bestehen aus einer Anzahl solcher Kraftpunkte; sie sind nur den Körpern substituiert als ihre begriffliche Zusammenfassung und Analyse. Es würde dem Sinn des Autors selbst wohl nicht entgegen sein, dafür zu setzen: als begriffliche Zusammenfassung und Analyse der Energiebeziehungen.

Auch für Hertz [79] vertritt die „Masse“ nur die eindeutige Zuordnung eines Punktes des Raumes in einer Zeit zu bestimmten Punkten in aller Zeit (§§ 3. 300). Sie ist, lediglich als ein die Bewegungen mitbestimmender Faktor, mit diesen selbst in engster Einheit gedacht, namentlich, gleich ihnen und nur zusammen mit ihnen, infinitesimal konstruiert. Er definiert (§ 115) den Zusammenhang eines Systems als stetig, wenn er die Voraussetzungen erfüllt: 1. daß die Angabe aller möglichen endlichen Verrückungen enthalten sei in der Angabe aller möglichen unendlichkleinen Verrückungen; 2. daß jede mögliche unendlichkleine Verrückung in gerader, stetiger Bahn durchlaufen werden könne; 3. daß jede unendlichkleine Verrückung, welche aus einer bestimmten Lage möglich ist, auch möglich ist aus jeder unendlich benachbarten Lage, abgesehen von Abweichungen von der Ordnung der Entfernung der Lagen oder von höherer Ordnung. Auf Grund dieser Definition aber wird dann das „materielle System“ definiert (121. 305), von welchem das Hertzsche Grundgesetz (308) gelten will.

Insoweit scheint die Grundauffassung von Hertz den Einwendungen Cohens (25, S. 487—505) kaum ausgesetzt. In den eben mitgeteilten Sätzen ist das „Infinitesimalprinzip“, eben als Prinzip, nicht weniger sicher und scharf ausgesprochen als in den ganz ähnlich formulierten Sätzen Plancks, die Cohen Hertz entgegenstellt. Die Unterscheidung grobsinnlicher und „verborgener“ Massen betrifft nur die Frage, wo und wie Massen anzusetzen sind, nicht die Definition der Masse, aus der auch Hertz bestimmt jede sinnliche Anlehnung ferngehalten hat. Bei dem allen aber kommt Hertz über die Voraussetzung absolut unveränderlicher Massen nicht hinaus. Zwar um für das bestimmte physikalische Problem eine sichere Begrenzung der Betrachtung zu gewinnen, hat man (wie oben schon von uns anerkannt wurde) eine endliche Anzahl von Massenpunkten zu setzen; ohne einen solchen Ansatz würde auch die Energie und ihre Erhaltung keinen empirisch bestimmten Sinn erhalten. Aber bei Hertz erscheinen die sich erhaltenden Massen nicht bloß als für das bestimmte Problem notwendige Abstraktion, sondern als Grundvoraussetzung schon der theoretischen Mechanik. Vollends in den „starrten Verbindungen“ wird die Masse, wenn noch so sehr unter der Reserve der Hypothese, doch der Sache nach absolut gesetzt. Damit aber drohen die Vorteile der infinitesimalen Konstruktion und des Ausschlusses unvermittelter Fernkräfte wieder verloren zu gehen.

§ 9. (*Das Energieprinzip und der Übergang von der Mechanik zur Physik.*) Wir haben von den Newtonschen „Gesetzen“ gesprochen. Die neuere Mechanik macht aber weit weniger von diesen, die nur für die Abstraktion „freier“ Bewegungen ausreichen, Gebrauch, als von den sogenannten Integralprinzipien der Mechanik, aus denen erst eine Gesetzlichkeit der „gebundenen“ Bewegungen sich ergibt, und von denen das wichtigste und weitesttragende das Hamiltonsche