



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

## **Universitätsbibliothek Paderborn**

### **Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften**

**Natorp, Paul**

**Leipzig [u.a.], 1910**

§ 9. Das Energieprinzip und der Übergang von der Mechanik zur Physik.

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

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

(dem d'Alembertschen wesentlich äquivalente) Prinzip ist (vgl. Mach [110] S. 325 ff. 375 ff.); besonders aber vom Energieprinzip. Bezüglich der ersteren genügt es, an das gelegentlich schon Gesagte zu erinnern: daß auch für ihre Aufstellung die Forderung der eindeutigen Bestimmbarkeit der Vorgänge den entscheidenden logischen Grund abgibt. Aber auch vom letzteren ist bereits soviel gesagt, daß an dieser Stelle nur noch wenige Bemerkungen darüber für unseren Zweck erforderlich sind.

Das Verhältnis des Energieprinzips zu den Gesetzen Newtons ist zu erwünschter Klarheit gebracht worden durch eine Arbeit von Schütz [158], worin gezeigt wird, daß aus dem Energieprinzip für ein gegebenes System die Gesetze Newtons, insbesondere das Gegenwirkungsprinzip, sich einfach ableiten lassen, wenn man nur die Bedingung hinzunimmt, daß das Prinzip geltend bleiben soll, wenn dem System eine konstant fortschreitende Bewegung im geometrischen Raum erteilt wird; eine Bedingung, die offenbar erfüllt sein muß, wenn das Prinzip empirisch verwendbar sein soll, da wir Messungen unmittelbar nicht im ruhenden, absoluten, sondern nur im bewegten Raum anstellen können. Unter diesen Voraussetzungen aber ergeben sich sehr einfach aus der Gleichung des Energieprinzips Newtons Bewegungsgleichungen und Schwerpunkts-Integrale, in welchen die drei „Gesetze“ enthalten sind. Der Begriff der Masse wird dabei durch das Gegenwirkungsprinzip unabhängig vom Kraftbegriff festgelegt. Umgekehrt folgt das Energieprinzip, soweit es auf die reine Mechanik Bezug hat, aus den Newtonschen Bewegungsgleichungen. Also würde es sich überhaupt nur um eine mathematische Umformung schon bekannter Sätze handeln, wenn der Satz der Energie auf die Mechanik beschränkt bliebe. Seine eigentümliche Bedeutung liegt aber vielmehr gerade darin, daß er das Verfahren der Mechanik auf die gesamte Physik übertragbar macht. In einem rein methodischen Sinne

wird durch ihn die gesamte Physik in Bewegungslehre verwandelt. Sie muß nur darum nicht Mechanik ponderabler Massen werden, sondern es ist *a priori* eben so denkbar und wäre an sich befriedigender, wenn die Mechanik wägbarer Massen sich auf eine Mechanik des Unwägbaren zurückführte, die somit die ganze Physik umfassen würde. Diese großartige Vereinheitlichung der Physik ist es, auf welche die Aufstellung und Durchführung des Satzes von der Erhaltung der Energie die erste nicht ganz chimärische Aussicht eröffnet hat.

In dem Gedanken der Energie liegt zunächst das Postulat, daß alle Rechnungen der Natur aus einem einzigen letzten Fond bestritten werden, indem bei jedem Übergang aus einer Form des Wirkens in eine andere (z. B. von Wärme in Bewegung, Bewegung in Wärme) ein letztes, keiner von beiden ausschließlich angehörendes, über beiden liegendes Identisches sich erhalte, das man mit dem Wort „Energie“ bezeichnet und das durch den mechanischen Arbeitswert gemessen wird, ohne darum in sich selbst mechanischer Arbeitswert sein zu sollen.

Mit Unrecht hat man dem genialen Urheber dieses Gedankens, Robert Mayer, einen Vorwurf daraus machen wollen (der übrigens ebensowohl Joule träfe), daß er die Energie zur Substanz gemacht habe. Es wäre richtiger zu sagen: er zuerst habe begriffen, daß der echte Sinn der Erhaltung der Substanz die Erhaltung der Energie ist, nämlich daß es um gar keine andere Substanz sich handeln kann, als die des Geschehens, der Veränderung selbst. Das Prinzip der Substantialität stellt nur eine Forderung, die erst erfüllbar wird durch das Prinzip der Energie. Mit vollem Recht also suchte R. Mayer das Identische, das in allen Veränderungen der Natur sich erhalte, einzig in der Identität des Veränderlichen selbst, die sich allein darstellen konnte in der Gleichung, welche die Veränderung in ihrer Gesetzmäßigkeit darstellt. Auf diese

Gleichung fand Mayer den Hinweis in dem alten: *Causa aequat effectum*, das er nur von der bloß mechanischen Bedeutung (etwa des Gegenwirkungsprinzips) ausdehnte auf physikalische Äquivalenzbeziehungen wie zwischen Wärme und Bewegung, und dadurch nach und nach auf alle die mannigfachen Formen der Naturwirkungen, je in ihren wechselseitigen Beziehungen.

Diese logische Wurzel des Energieprinzips, seine Identitätsbedeutung hat Mach in der Wärmelehre (2. Aufl. S. 314—327), diesmal auch ausdrücklich als logische, erkannt und kräftig hervorgehoben. Allenfalls noch bestimmter und radikaler durfte die Auffassung zurückgewiesen werden, die, mit vielen anderen, Wundt vertritt (s. Mach S. 317): daß die Mechanisierung der Wärmelehre und der gesamten Physik darum notwendig sei, weil Bewegung die einzige Veränderung eines Körpers sei, bei welcher dieser mit sich selbst identisch bleibe. Genau das ist die sinnliche Schwäche, die es zu überwinden galt, und die durch das Energieprinzip gerade im Sinne Mayers überwunden ist: die Meinung, als ob es auf die Erhaltung des Körpers wesentlich ankomme und nur abgeleiteter Weise, um des Körpers willen, auf die Erhaltung eines solchen Faktors, der geeignet sei, dem Körper in allen seinen Veränderungen die Identität zu sichern; welcher Faktor nur in der Bewegung, nicht in irgendwelchen qualitativen Merkmalen gesucht werden könne. Die Übertragung eines Körpers von einer Stelle zur andern ist in sich nicht nur nicht logisch verständlicher als eine Änderung innerer Eigenschaften, sondern sie selbst wird logischem Verständnis damit erst erschlossen, daß sie begriffen wird als Übertragung von Energie. Es ist überhaupt nur sinnliches Vorurteil, daß das Dasein eines Körpers jetzt an der, jetzt an einer anderen Stelle des Raumes etwas sei, wobei das Verständnis sich beruhigen könne. Allerdings kommt es diesem sinnlichen Vorurteil zustatten, daß der Körper und dessen Bewegung im Raume mathematischer

Bestimmung unterliegt; aber, wenn die Betrachtung nicht im bloß Mathematischen stecken bleiben soll, so wird die Frage unabweislich, was denn das sei, das da im Raume vorhanden ist und sich von Stelle zu Stelle überträgt. Darauf gibt Mathematik keine Antwort mehr. Im Raum vorhanden und zwar in wechselnder Verteilung vorhanden, d. h. beweglich ist aber nicht bloß Masse und Geschwindigkeit wägbarer Körper, sondern ebensowohl Licht, Wärme, Elektrizität. Sie repräsentieren also ebensogut Bewegung im Raume wie die wiegende und widerstehende Masse der gewöhnlichen Mechanik; und sie entziehen sich so wenig wie diese mathematischer Behandlung. Sollte sich also nicht durch sie auch ebensogut die Identität eines physisch Realen repräsentieren lassen wie durch die wägbare Masse? Wird das Herabgehen der Wagschale oder der Widerstand gegen den Anprall verständlich durch die Hypothese, daß da „Körper“ ist? Das ist entweder bare Tautologie, wenn doch der (mechanische) Körper eben durch Wägbarkeit und Widerstand definiert wird; oder es ist nur die Gewöhnung unseres sinnlichen Vorstellens, die uns ein Verstehen vortäuscht, wo wirklich nichts verstanden ist. Auch die Erinnerung Machs, daß historisch von den Eleaten an im Begriff der Ortsveränderung keineswegs geringere begriffliche Schwierigkeiten gefunden worden sind als in dem der qualitativen Veränderung, enthält etwas Richtiges. Man versucht entweder die Ortsveränderung rein geometrisch zu denken; geometrisch aber gibt es keine Veränderung des Orts; oder, wenn sie physikalisch verstanden werden soll, so muß sie begriffen werden können als „Reales“ im Sinne Kants; ein anderes Reales aber, das sich im Raume überträgt, ist nicht gegeben als das Reale der Bewegung selbst. Vom sinnlichen Standpunkt muß dies freilich als der Tautologien leerste erscheinen: daß zuletzt nur Bewegung sich bewege. Aber in der Tat nichts anderes besagen die Gleichungen der Physik. Sie wissen durchaus nichts anderes den Punkten

des Raumes von Punkt zu Punkt der Zeit zuzuordnen als bewegungbestimmende Faktoren. Wir haben uns indessen längst überzeugt, daß gerade logisch in der Tat nichts anderes zu erwarten ist. Logisch angesehen „ist“ im physischen Sinne, oder ist real, allein das  $\phi\acute{\upsilon}\sigma\epsilon\theta\alpha\iota$  selbst, also die Veränderung, und zwar zeit-räumliche Veränderung, also, im weitesten Sinne, Bewegung. Wo nichts geschieht, da ist nichts, im physischen Sinn des Seins, das nur Sein des Werdens bedeutet; und dies Werden ist, als räumliches, allgemein Bewegung. Auch muß man darum nicht etwa die Wärme, das Licht, die Elektrizität in Bewegung „verborgener“ Massen erst umdeuten, um sie als „Arten der Bewegung“ verstehen zu dürfen; sondern Arten der Bewegung sind sie schon damit, daß ihr wechselndes Dasein im Raume sich in Gleichungen ausdrückt. Nur als überhaupt verschieden sind sie „gegeben“, d. h. als Problem aufgegeben, durch die Verschiedenheit sinnlich sich darstellender Wirkungen; worin aber diese Verschiedenheit besteht, das lehrt nicht die sinnliche Wahrnehmung, sondern das ergeben erst die gesetzmäßigen Beziehungen, die als Energiebeziehungen in jenen mannigfach unter sich verknüpften Gleichungen sich ausdrücken.

§ 10. (*Das Energieprinzip und die Materie. Der „zweite Hauptsatz“ und der Wärmetod.*) Diese Beziehungen sind nun von Robert Mayer an in weitem Umfang erforscht worden. Es hat sich die verwirrende Vielheit der Energie-Arten mit hoher Sicherheit bereits auf zunächst zwei Grundarten: die mechanische und die elektrische, reduziert, und es sind dadurch (wie kürzlich Planck [145], 1909, ausgeführt hat) die spezifischen Sinnesempfindungen „geradezu ausgeschaltet“, so sehr, daß z. B. die Wärmeerscheinungen nicht mehr einen eigenen, eben durch die Wärmeempfindung abgegrenzten Bezirk bilden, sondern ganz getrennt, teils beider Mechanik, teils (als Strahlungswärme) bei der Optik oder Elektro-