

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Die moderne Entwicklung der elektrischen Principien

Rosenberger, Ferdinand

Leipzig, 1898

V. Die Elektrizität und die fundamentalen Grenzbegriffe der Physik

V.

Die Elektrizität und die fundamentalen Grenz-
begriffe der Physik.

Die einzelnen physikalischen Disciplinen laufen in ihrer Entwicklung einander nicht parallel, und ein ausnahmsweise schnelles Entwickeln der einen ist anfangs meist von einem verhältnissmässigen Stillstand der andern begleitet, weil eine besondere Fruchtbarkeit eines Gebietes alle Arbeitskräfte auf sich zieht. Auf der andern Seite aber beeinflussen sich die verschiedenen Gebiete doch auch insoweit, dass eine besonders rasche Entwicklung auf der einen Seite nach mehr oder weniger Zeit auch einen entsprechenden Fortschritt der andern nach sich zieht, und dass umgekehrt ein langes Stillstehen in einer Disciplin zuletzt die theoretische Entwicklungsgeschwindigkeit der andern ebenfalls verlangsamt.

Das zeigt sich besonders auch in der Entwicklung der Elektrik, die ja seit ihrem Entstehen im vorigen Jahrhundert am schnellsten von allen physikalischen Disciplinen vorgeschritten ist. Sie blieb von ihrem Ursprunge an länger als die andern Gebiete der Physik von der Idee einer Vermittlung aller ihrer Wirkungen durch das Ueberströmen subtiler Materien zwischen den Körpern beherrscht, um dann mit der immer grösser werdenden Festigung der NEWTON'schen Kräfteanschauung doch zur Annahme von fernwirkenden primitiven Anziehungs- und Abstossungskräften besonderer elektrischer Materien überzugehen. Erst als in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts auf optischem und dann auf thermischem Gebiete die absolute Herrschaft der *actio in distans* gebrochen und der Aether wieder als Vermittler physikalischer Wirkungen zwischen den ponderablen Materien aufgenommen worden war, da wagte FARADAY auch auf elektrischem Gebiete die *actio in distans* offen zu verwerfen und aus den elektrischen Flüssigkeiten wieder einen Aether ohne besondere elektrische Potenzen zu machen. Doch that selbst FARADAY das nicht ohne mehrfache Seitenblicke auf das mechanische Gebiet der Physik zu werfen, auf dem die *actio in distans* noch durchaus unerschüttert erschien. Vielmehr drängte es ihn, mehrfach zu verschiedenen Zeiten zu untersuchen, ob nicht trotzdem in einer oder der andern Weise die strenge Einheit der Naturkräfte, die Schwere nicht ausgeschlossen, zu wahren sei. Und als in dieser Richtung sowohl

seine Bemühungen, wie die mancher andern ihm Nachstrebender, resultatlos verliefen, da wirkte das auch auf die Lehre von der Elektrizität zurück und viele Physiker behielten deswegen immer eine sehr vorsichtige Haltung gegenüber der neuen FARADAY'schen Theorie bei. Auf diese Weise ist bis heute die Physik in ihren fundamentalen Begriffen eine zwiespältige Wissenschaft geblieben. Die viel gerühmte und viel bewunderte Einheit der Naturkräfte ist zwar in allen Wirkungen und Umwandlungen der Energie sicher constatirt, kann aber in Bezug auf das Wesen der dabei vorkommenden Kräfte noch von keinem Physiker wirklich begriffen oder gar nachgewiesen worden. Auf der einen Seite wirken alle Materien unvermittelt aufeinander bis in alle Entfernungen, auf Millionen und vielleicht Billionen Meilen hin, ohne dass diese Wirkungen durch Zwischenmaterien irgendwie gehemmt oder befördert würden. Der wachsende Raum vermindert zwar die Intensität der Kraft, aber hat keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit ihrer Ausbreitung, die von der Zeit unabhängig ist. Auf der andern Seite beeinflussen entfernte Körper, wie z. B. leuchtende und beleuchtete, warme und kalte, einander nur durch gleichmässig den Raum erfüllende Zwischenmaterien, die durch ihre Bewegungen von Theilchen zu Theilchen die Wirkungen des einen Körpers auf den andern übertragen.

In der Mechanik und den ihr verwandten Gebieten ist alle Materie individualisirt und besteht von Ewigkeit her aus ganz bestimmten unabhängigen Theilen von ganz bestimmter Grösse und wohl auch Gestalt. In andern Gebieten bekümmert man sich um eine solche Individualisation so wenig, dass man die Materie auch als ein Continuum zu fassen vermag. Für die Mechanik ist der Raum zwischen den ponderablen Körpern vollkommen leer, für alle andern Disciplinen ist er vollständig, sogar in den Poren der Körper, mit Aether erfüllt. In der Mechanik findet nur die ponderable Materie Beachtung und der Aether wird vernachlässigt, in den übrigen Gebieten erlangt man gerade bei der Betrachtung des Aethers die günstigsten Resultate und geräth überall da in Schwierigkeiten, wo auch die ponderable Materie in ihrer Einwirkung nicht zu vernachlässigen ist. Für die eine Disciplin, die Mechanik, ist alle Materie direct wahrnehmbar, in den übrigen Disciplinen überwiegen die den Sinnen direct nicht zugänglichen Materien.

Und zu allen den verschiedenen Materien und ihren verschiedenen Kräften kommt in neuester Zeit noch ein neues Agens, das weder Materie noch Kraft sein soll, das vielmehr beider Eigenschaften und Wirkungen in sich vereinigt, nämlich die Energie hinzu. Für alle diese Materien, Kräfte und Energien ist gerade das Gebiet der Elektrizität, das ja in sich Theile aller anderen physikalischen Gebiete mit umfasst, zu

allen Zeiten ein begünstigter Tummelplatz gewesen, und alle möglichen Anschauungen rühmen sich noch heute für mehr oder oder weniger Theile des Bereiches der Elektrizität die fruchtbarsten Beherrschungsmomente zu geben.

Wie soll man sich solcher Vielheit und solchem Widerstreit gegenüber verhalten? Soll man streng an einem Fundament für die gesammte Wissenschaft festhalten, an einer Materie, deren Theile nur in verschiedener Bewegung sind, oder an einer primitiven, von der Bewegung unabhängigen Kraft, die in verschiedenen Materien nur nach verschiedenen Gesetzen wirkt, oder endlich an einer im Raum überall vorhandenen Energie, die sich nur in verschiedene Formen umwandelt? Soll man im strengsten Sinne nur das eine Fundament gelten lassen und die andern ohne jeden Compromiss als absolut irrtümlich verdammen. Oder soll man für verschiedene Theile der Wissenschaft und für verschiedene Entwicklungsstufen auch verschiedene Fundamente erlauben und die Einheit derselben ohne Bedenken preisgeben? Oder darf man endlich alle diese Ideen, soweit sie nicht den logischen Bedingungen unserer Erkenntniss widersprechen, für alle Wissenschaft gleichzeitig zulassen und nur von der Entwicklung der Wissenschaften selbst ihre Prüfung und Sonderung erwarten.

Ein solcher abwartender neutraler Standpunkt erscheint vielleicht von vornherein als der rätlichste. Doch müssen dann jene Fundamentalideen, wenn er überhaupt möglich sein soll, erst soweit bearbeitet werden, dass sie einander nicht mehr direkt widersprechen und ihr Nebeneinander unmöglich machen, und dazu bedarf es jedenfalls auch einer leisen logischen Umstimmung derselben.

Schon die Definitionen, durch welche man zu verschiedenen Zeiten das Wesen der Physik zu umfassen versucht hat, decken einander nicht völlig und heben einander theilweise auf. Selbst die allgemeinste derselben, „Physik, ist die Lehre von den Naturerscheinungen und ihren Ursachen“, zeigt sich von Widersprüchen nicht frei, sowie wir weiter nach dem Wesen der Erscheinungen und der Ursachen fragen. Alle Naturerscheinungen, soweit sie unseren Sinnen zugänglich sind, beruhen auf Bewegungen. Als Ursachen der Bewegungen aber kann man entweder wieder unzerstörbare, den Materien von ihrem Anfange an innewohnende Bewegungen oder elementare, den Materien anerschaffene Kräfte, oder endlich constante, aber leicht transformirbare, an den Raum gebundene Energien ansehen. Denkt man sich jede der drei Ursachen als ganz allgemein und allein ursprünglich wirksam, schreibt man also jeder derselben eine ausschliessliche Wirksamkeit zu, so erhält man daraus die drei historischen Definitionen der Physik, die seit dem Auftreten derselben als Wissenschaft einen Anspruch

darauf gemacht, das Wesen derselben zu bestimmen. Die Physik ist die Wissenschaft von den Ursachen oder Kräften, welche die in der unorganischen Natur vorgehenden Erscheinungen bedingen, das ist die Definition der Lehrbücher von NEWTON an bis in die sechziger Jahre dieses Jahrhunderts. Dann taucht wieder die früher zurückgedrängte andere Definition auf, nach der die Physik als die Lehre von den Bewegungen, als rein mechanische Physik, erklärt wird, und die neben und an Stelle der ersten sich mit grosser Schnelligkeit verbreitet. Endlich aber kommt noch eine neue dritte, die modernste dazu, die in der Physik als wirkende Ursache aller Veränderungen nur die Energie und die Physik nur als reine Energetik gelten lassen will.

Auch hier kommen wir also auf denselben Zwiespalt wie vorher. Welche von diesen Definitionen soll als die richtige anerkannt werden? Soll immer die neueste das alleinige Recht behalten? Oder darf man vielleicht auch zwei derselben oder alle drei zusammen gelten lassen? Auch das kommt vor allem auf die Art an, wie man die Definitionen versteht. Sieht man in der Definition eine Zusammenfassung des ganzen Wesens eines Dinges, dann kann es allerdings nur eine richtige Definition von demselben geben. Aber im Gebiete unserer Naturerkenntniss haben sich solche abgeschlossene Definitionen noch zu keiner Zeit und an keiner Stelle als möglich erwiesen. So lange wir Menschen uns selbst noch für entwicklungsfähig halten, so lange werden wir unsere Definitionen immer nur für unvollständig ansehen dürfen, und so lange wird es möglich sein, verschiedene Definitionen eines Naturdinges zu geben, die jede für sich besondere Gruppen von Eigenschaften desselben zur Kennzeichnung benutzen. Solche verschiedene Definitionen werden, wenn ihnen nur wahre Erscheinungsgruppen zu Grunde liegen, sich auch an keiner Stelle zu widersprechen brauchen und werden alle mehr oder weniger richtig und angemessen sein können. Das erkennt die moderne Wissenschaft insofern vielfältig an, als sie ihre Theorien auf verschiedene Analogien oder Bilder oder endlich Modelle gründet, von denen doch nur angenommen wird, das gewissen einzelnen ihrer Eigenthümlichkeiten gleiche einzelne Eigenthümlichkeiten der zu erklärenden Dinge entsprechen, obgleich sie sonst im Wesen ganz verschieden sind. Aber wenn auch auf diese Weise verschiedene Definitionen von dem Wesen der Naturdinge und der Physik logisch gleich zulässig sein können, so wäre doch ein Streit und ein Vernichtungskampf zwischen denselben immer noch insofern möglich, als die eine Definition die andere an Zweckmässigkeit und Angemessenheit übertreffen und dadurch vielleicht auch gänzlich ausschliessen könnte. Dann aber wäre diese Angemessenheit doch nur momentan gesichert und die-

selbe könnte mit der fortschreitenden Entwicklung sich gänzlich in ihr Gegentheil umkehren, so dass im Laufe der Entwicklung sehr verschiedene Definitionen aus Zweckmässigkeitsgründen mit einander abwechseln könnten und wohl auch mit einander abwechseln müssten.

Die Möglichkeit und die Vortheile einer Benutzung verschiedener Definitionen zeigen sich deutlich in der Entwicklung der mathematischen Physik. Fünf Grundbegriffe haben hier im Laufe der Zeit den Anspruch erhoben, alle übrigen physikalischen Begriffe mathematisch auszuschöpfen und die Grössenverhältnisse aller Erscheinungen messend zu bestimmen. Das sind Raum, Zeit, Masse, Kraft und Energie. Aber nur drei von diesen Begriffen sind bei diesen Bestimmungen wirklich nothwendig und nur drei sind Fundamentalbegriffe, die anderen können immer aus diesen abgeleitet werden. Von Raum und Zeit ist das Primitive der Anschauung nie bestritten worden, so bleibt nur noch die Wahl, ob Masse, Kraft oder Energie den dritten Grundbegriff bilden sollen. Für die Kraft hatte sich die NEWTON'sche Physik entschieden, ihre Grundmaasse waren die Länge, die Zeit und die Kraft, oder Centimeter, Sekunde und Grammgewicht. Merkwürdiger Weise aber waren es gerade noch Anhänger der NEWTON'schen Kraftanschauung, wie GAUSS und WEBER, die an Stelle der Kraft als fundamentaler Maasseinheit die Masse setzten und dadurch das sogenannte absolute Maasssystem begründeten, das in seinen Fundamenteinheiten, dem Centimeter, der Sekunde und der Gramm-masse nur noch kinetische Elemente und die Kraft nicht mehr enthielt. Indessen kann man schon WILHELM WEBER nicht mehr als reinen Dynamiker bezeichnen, da er in seinem berühmten elektrodynamischen Grundgesetze die Wirkung elektrischer Massen nicht mehr von der Spannkraft allein, sondern auch von der Bewegung abhängig machte. In neuester Zeit haben dann die Energetiker auch noch die Masse als Fundamenteinheit ebenso wie die Kraft eliminiert und an ihre Stelle die Einheit der Energie gesetzt, so dass nun die drei absoluten Einheiten, wie Professor OSTWALD im Jahre 1891 vorgeschlagen hat,¹⁾ Centimeter, Sekunde und Erg sein sollen.

Für die mathematische Behandlung hat ein solcher Wechsel der Maasssysteme auch keine weiteren Schwierigkeiten. Da zwischen den drei Ein-

¹⁾ W. OSTWALD: Studien zur Energetik. Berichte über die Verhandlungen der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-physische Classe, XLIII. Bd., S. 271, 1891; XLIV. Bd., S. 211, 1892.

heiten der Masse m , der Kraft K und der Energie E zwei von einander unabhängige Gleichungen, nämlich $K = m \frac{d^2s}{dt^2}$ und $E = K \cdot s$, bestehen, so lassen sich mit Hülfe der bestimmten Einheiten des Raumes und der Zeit zwei jener Einheiten immer leicht aus der dritten ableiten und es ist also mathematisch vorerst ganz gleichgültig, welche derselben man als Fundamenteleinheit wählen will. Selbst an mathematischer Zweckmässigkeit werden sich die drei Einheiten, da ihr Zusammenhang ein so einfacher ist, kaum unterscheiden und es könnte sich, wenn die drei an Werth doch ungleich sein sollen, nur um physikalische Zweckmässigkeit oder metaphysische Angemessenheit handeln.

Des grossen Interesses wegen, das die Idee verdient, müssen wir hier noch eines Versuches gedenken, den Sir WILLIAM THOMSON, jetzt Lord KELVIN, im Jahre 1883 in einem Vortrage über die elektrischen Maasseinheiten¹⁾ gemacht hat, um die Dreiheit der fundamentalen Maasseinheiten scheinbar, müssen wir hinzufügen, auf eine Zweiheit von Raum und Zeit zurückzuführen. THOMSON machte in dem erwähnten Vortrage darauf aufmerksam, dass man zu den oben erwähnten zwei Gleichungen zwischen den fünf erwähnten Einheiten noch eine dritte finden könne, die ebenfalls nur die Fundamentalgrossen enthielte. Diese Gleichung ist die aus der theoretischen Mechanik der Himmelsbewegungen bekannte Formel für die Umlaufszeit eines Planeten oder Trabanten um seinen Centralkörper. Bezeichnet man die Masse des Centralkörpers mit M , die seines Trabanten mit m , ihre Entfernung mit a , ihre Umlaufszeit mit T , und nimmt die Kraft, welche die Masseneinheiten in der Einheit der Entfernung aufeinander ausüben, ebenfalls als Krafteinheit, so ist bekanntlich $M + m = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2}$. Nimmt man dann noch die Masse des Planeten gegen die des Centralkörpers als verschwindend klein an, so erhält man $M = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2}$, und die Masse ist also ausgedrückt allein durch Raum und Zeit, wonach auch Kraft und Energie gleich reducirbar erscheinen.²⁾ Aber

¹⁾ Popular Lectures and Adresses by Sir WILL. THOMSON, vol. I, London 1889: Electrical Units of Measurement (A Lecture delivered at the Institution of Civil Engineers on May 3, 1883), p. 73.

²⁾ THOMSON, Popular Lectures, vol. I, p. 97: „It is nevertheless interesting not only in respect to the ultimate philosophy of metrical systems, but also as full of suggestions regarding the properties of matter, to work out in detail the idea of founding the measurements of mass and force on no other foundation than the measurement of length and time. In doing so we immediately find that the square of an angular velocity is the proper measure of density or mass per unit-volume.“ Denkt man sich

das ist doch wohl eine Täuschung, denn das T in der obigen Massenformel ist doch nicht ohne Weiteres zu verbinden mit einem t in der Formel, nach welcher die Kraft aus Masse und Beschleunigung berechnet wird. Diese Grösse bedeutet nicht eine Zeit, in welcher eine gradlinige Strecke, sondern eine solche, in welcher ein Kreisbogen durchlaufen wird. Der Ausdruck $\frac{4\pi^2 a^3}{T^2}$ oder $\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot a^3$ für die Masse ist nicht auf eine Geschwindigkeit schlechthin, sondern nur auf eine Winkelgeschwindigkeit oder vielmehr das Quadrat derselben $\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$

zu reduciren und das ist ein grosser Unterschied. Gewöhnliche Geschwindigkeiten und Beschleunigungen sind gradlinige Strecken, Winkelgeschwindigkeiten aber sind Kreisbögen.

Mathematisch sind nun allerdings Kreisbögen auf Längen, also auf grade Linien, ihrer Grösse nach reducirbar, aber physikalisch ist eine solche Identificirung nicht ohne Weiteres richtig, denn die Bewegung in einer graden Linie ist auch ohne Kraft nur durch Beharrung möglich, die Bewegung in einer krummen Linie aber erfordert immer eine Kraft und für den Angriff derselben auch eine Masse. Eine Winkelgeschwindigkeit ist nicht wie eine translatorische Geschwindigkeit auf Raum und Zeit schlechthin zurückzuführen, denn sie enthält in sich den Begriff der Richtungsveränderung, wodurch eben der Begriff der Masse bedingt wird. Und da die Kraft durch das Produkt aus Masse und Beschleunigung ausgedrückt wird, so sehen wir, dass auch die Kraft neben den Fundamentalgrössen des Raumes und der Zeit auch noch die Richtungsveränderung in sich enthält und durch diese mit bestimmt wird. So könnten wir wohl sagen, dass man als fundamentale Einheit für physikalische Grössenbestimmungen statt der Masse wohl einen noch mehr fundamentalen Begriff, den der Winkelgeschwindigkeit verwenden könnte und für die Philosophie der Materie ist dieser Gedanke auch von höchstem Interesse, aber auf Länge und Zeit allein ist die Winkelgeschwindigkeit sicher nicht reducirbar und von einer Zweiheit der fundamentalen physikalischen Einheiten kann darum doch keine Rede sein.

nämlich den oben angenommenen unendlich kleinen Trabanten unmittelbar an der Oberfläche des Centralkörpers rotirend, so dass a gleich dem Radius des letzteren wird, so erhält man für die Dichte D dieses Centralkörpers aus der obigen Massenformel den Werth $D = \frac{3}{4\pi} \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$ oder, wenn wir die Winkelgeschwindigkeit des Trabanten mit W bezeichnen,

$$D = \frac{3}{4\pi} \cdot W^2.$$

Gehen wir wieder auf den Begriff unserer Wissenschaft zurück, so müssen wir vorläufig zu dem Resultate kommen, dass keine der aufgestellten Definitionen an sich unrichtig ist, und dass jede derselben ein Stück des Wesens der Physik charakterisirt, wenn sie auch nicht das Ganze direkt enthält. In diesem letzten Moment aber liegt die Wurzel des Streites. Indem jede der Definitionen den Anspruch erhebt, das Wesen der Wissenschaft allein zu umfassen, schliesst sie die andern von diesem Gebiete aus. Aus dem berechtigten Ansprüche, dass die Physik alle Kräfte, oder alle Bewegungen, oder alle Energien der Natur zu behandeln hat, wird der andere nicht zu billigende, dass alle Erscheinungen nur von Kräften, oder nur von Geschwindigkeiten, oder nur von Energien abgeleitet werden sollen. Es liegt in der menschlichen Natur, dass jedes Princip in seiner Geltung bis an die Grenzen der Erkenntniss ausgedehnt wird; demgemäss erheben die Dynamik, wie die Kinetik, wie die Energetik jede für sich den Anspruch die Naturveränderungen bis in ihre letzten Ursachen allein aus ihrem Fundamentalprincip abzuleiten, so dass keine von ihnen einen unerklärten Rest lässt, der ihrem Ansehen schaden und ihre Anhänger in der Ueberzeugung von ihrer alleinigen Berechtigung und Richtigkeit unsicher machen könnte.

Am absolutesten hat sich in solcher Exklusivität die Dynamik auf Grund einer seit zwei Jahrhunderten sich ungestört entwickelnden Scholastik ausgebildet. Sie definiert ihren fundamentalen Begriff, die Kraft, nicht mehr schlechthin als Ursache einer Bewegung, sondern versteht unter Kraft nur eine solche Ursache, welche vor aller Bewegung und unabhängig von ihr ist. Dadurch wird der alte logische Grundsatz von der Gleichheit der Ursache und Wirkung aufgehoben und der Begriff der Kraft physikalisch so leer, dass er kaum mehr als Ausschliessungen enthält. Aus dieser Definition der Kraft folgt, dass dieselbe nicht wieder Bewegung sein kann, sie soll vielmehr vor aller Bewegung sein. Da aber unsere sinnliche Erkenntniss mit den Sinneseindrücken, und also auch mit der Bewegung beginnt, so muss danach auch die Kraft vor jeder Sinneserkenntniss oder noch vor jeder Erfahrung existiren. Der Kraftbegriff in diesem Sinne kann also in der Erfahrung und durch die Erfahrung niemals aufgezeigt, sondern muss derselben vorausgesetzt werden; er ist darum kein Begriff der Physik, sondern höchstens ein Begriff einer aller Erfahrung zu Grunde liegenden Metaphysik. Jener absolute Begriff der Kraft ruht auf dem fortgesetzten Schlusse von der Wirkung auf die Ursache. Jede Naturerscheinung muss ihre Ursache haben, und wenn diese Ursache wieder Erscheinung ist, so muss auch diese wieder durch irgend etwas verursacht sein, und so zwingt das Gesetz der Causalität fort-

zuschreiten bis zu einer Ursache, die keine Erscheinung und also auch keine Bewegung mehr ist, also bis zu einer letzten Ursache, die aber darum nicht mehr im Gebiete der Natur liegen, nicht mehr Erscheinung sein kann und also metaphysisch sein muss. Unser grosser Philosoph KANT hat gezeigt, dass die Gültigkeit des Causalitätsgesetzes für alle wissenschaftliche Naturerkenntniss die Reihe der Ursachen in der Natur zu einem progressus in infinitum macht und hat damit die Entdeckung solcher letzten Ursachen, wie Gott, Seele und Welt, aus der Natur in die Metaphysik verwiesen. Bei der Idee der Kraft hat er aber befangen im Anschauungskreise der NEWTON'schen Physik, den progressus in infinitum übersehen, der die Kraft als eine letzte Ursache, als eine Ursache vor aller Bewegung in der Physik zu erreichen unmöglich macht und hat darum in seiner Kritik der reinen Vernunft diesen metaphysischen Begriff wie einen Erfahrungsbegriff seiner Naturphilosophie zu Grunde gelegt. Doch tritt in einem nachgelassenen, nur in den Anfängen vorhandenen Werke „vom Übergange von den metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft zur Physik“¹⁾ dieser absolute Kraftbegriff schon mehr zurück und scheint nur noch in einem mehr metaphysischem Sinne als die letzte Bedingung jeder Einheit in der Materie gebraucht zu werden. Jedenfalls leitet KANT hier manche physikalische Erscheinungen, wie die Adhäsion und Cohäsion, die sonst nur durch primitive Kräfte erklärt wurden, aus Bewegungen der kleinsten Theile der Materie ab.

Fast noch unmöglicher als die erste ist die zweite absolute Bestimmung der Kraft, die Unabhängigkeit von aller Bewegung; und doch erscheint auch sie vom absoluten Standpunkt aus notwendig. Würde man zulassen, dass die Kraft sich mit Durchlaufung aller räumlichen Zwischenstufen zeitlich von einem Körper bis zum andern ausbreitet, so würde man einen Zusammenhang der Kraft mit und schliesslich eine Abhängigkeit von der Bewegung constatiren. Proklamirt man aber wirklich die Kraft als eine durchaus unvermittelte und momentane Fernwirkung eines Körpers auf einen andern, ohne alle Abhängigkeit von Zwischenraum, so verliert die Kraft jeden Inhalt von Raum und Zeit und kann deswegen für uns nie Erscheinung werden, da alle unsere Naturerkenntniss ausnahmslos in Raum und Zeit gefasst sein muss. So wird auch durch die Idee der unvermittelten Fernwirkung der Begriff der Kraft in seiner absoluten Form abermals aus der Naturwissenschaft hinausgewiesen und nur an den Grenzen derselben gegen die Metaphysik gestattet.

¹⁾ Vergl. ROSENBERGER, Geschichte der Physik, III. Theil, S. 36.

Die absolute Dynamik ist sicherlich in der Physik unzulässig; doch auch eine absolute Kinetik ist nicht streng wissenschaftlich. Aus den Schwierigkeiten, welche die absolute Dynamik von NEWTON an bis auf unsere Zeit bei tiefer eindringenden Forschern stets gefunden, hat die Kinetik sich das Recht abgeleitet, die Dynamik überhaupt aus der Physik auszuschliessen und sich hier die alleinige Herrschaft zusprechen. Dabei hat sie ihre Angriffe weniger gegen die Kraft als einer letzten Ursache als vielmehr gegen die Unabhängigkeit der Verbreitung derselben von Zeit und Raum gerichtet. Und das mit Recht, denn die Frage nach den letzten Gründen der Erscheinungen liegt hinter aller Naturerkenntniss weit zurück, während die Frage nach der Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen entfernten Körpern vom Zwischenmedium immer wichtiger und brennender geworden ist. Für die Optik und die Wärmelehre war die Entscheidung seit der ersten Hälfte des Jahrhunderts im kinetischen Sinne gefallen. Jetzt hatten FARADAY und HERTZ auch für die elektrischen Erscheinungen sie in demselben Sinne herbeigeführt. Da war denn die weitere Hoffnung nicht ganz unberechtigt, dass auch alle übrigen Erscheinungen, vor allem die mechanischen mit ihren Kräften, in gleicher Weise ohne actio in distans zu erklären seien. Aber die Behauptung war leichter als der Beweis und trotz aller theoretischen Schwierigkeiten wusste man doch faktisch die Vorstellung der Kraft als einer unbekanntes Ursache noch beibehalten, und so hat sie sogar noch MAXWELL an einzelnen Stellen ohne Bedenken verwendet.

Eine absolute kinetische Wissenschaft ist ebenso wie die dynamische unmöglich. Das Wort Kraft in seinem absoluten Sinne ist allerdings ein Popanz in der Wissenschaft; aber das Wort Kraft als Ausdruck für eine noch oder auf immer verborgene Ursache wird nicht zu entbehren sein. Wir können allerdings sagen, dass alle Veränderungen in der Natur ihrer Ursache nach nur in Raum und Zeit, also durch Bewegung von uns begriffen werden müssen, aber wir können nicht sagen, dass die letzten Bedingungen derselben immer wieder Bewegungen sind. Alle Bewegungen sind an den Begriff des erfüllten Raumes gebunden, denn wir vermögen uns keine Umwandlung der Bewegung zu denken, ohne ein Substrat, an dem diese Verwandlung sich vollzieht. Jede Veränderung oder Verschiedenheit der Bewegung setzt darum einen Zusammenhang in der Materie voraus, einen Widerstand, der eben darum nicht wieder Bewegung sein kann. Diesen letzten Zusammenhang in den Theilen der Materie hat man wohl, um den Begriff der Kraft zu umgehen, als absolute Starrheit der Materie bezeichnet, hat aber damit doch nur für die Kraft als einer letzten Ursache

der Bewegungsveränderungen einen neuen Namen gefunden; wo der alte Name Kraft richtig verstanden ebenso passend war. Die Dynamik hatte vielfach die Schwierigkeit der Frage nach den letzten Theilen der Materie dadurch umgehen können, dass sie als einfachste Bestandtheile derselben Kraftpunkte annahm. Die Kinetik ist durch ihren Fundamentalbegriff der Bewegung stärker an eine wirkliche Erfüllung des Raumes gebunden und vermag mit materiellen Punkten und leeren Räumen durchaus nichts anzufangen. Einige Kinetiker haben darum, ins Extreme gehend, wie z. B. FARADAY, zuletzt sich der philosophischen Auffassung einer continuirlichen Raumerfüllung zugeneigt, sind aber dann wieder mit der Individualisirung der Materie und der Erscheinungen in Schwierigkeiten gerathen. Mit Nothwendigkeit; denn durch jede Einzelbewegung schon wird die Materie anschaulich individualisirt und in Theile getheilt und umgekehrt setzt jede Bewegung solche individualisirte Theile voraus. Wir stossen hier eben wieder in unserer Erkenntniss auf einen nothwendigen progressus in infinitum, der von der herrschenden Form der Atomistik vielfach übersehen worden ist. Muss jede Materie als aus Theilen zusammengesetzt gedacht werden, so muss auch jeder Theil, der noch Materie ist, wieder aus einzelnen Theilen bestehen. Jedes Ganze besteht in unserer diskursiven Erkenntniss aus Theilen und jeder Theil ist in diesem Sinne Ursache des Ganzen. Wir werden deshalb auch hier durch das Causalitätsprincip getrieben, die Theilung immer weiter fortgesetzt zu denken, aber auf einen letzten Theil werden wir dabei doch niemals kommen. Schon haben sich Physiker und Chemiker genöthigt gesehen, die unfassbaren Molecüle in Atome zu theilen und auch die Atome unserer Elemente sind nach der Ansicht der meisten Chemiker noch zusammengesetzt. Es ist durchaus nicht unmöglich, dass wir auch solche Theile, wie unsere jetzigen chemischen Molecüle und Atome, noch einmal als ausgedehnte Materien direct wahrnehmen lernen, aber dann werden wir auch diese Theile wieder als getheilt annehmen müssen und diese fortgehende Theilung wird vielleicht mit der Entwicklung der menschlichen Erkenntniss immer weiter gehen; nur letzte untheilbare Atome werden wir sicher nie erreichen. Deswegen aber hindert uns Nichts, für eine bestimmte Stufe der Erkenntniss unmerkbar oder unfassbar kleine Theile anzunehmen, wenn wir sie nur nicht als letzte Theile ansehen, und danach ist eine relative Atomistik und schliesslich sogar die Annahme einer vollständigen Raumerfüllung unserem Erkenntnissvermögen durchaus angemessen. Alle diese Schwierigkeiten haben grade in der neueren Zeit, weil man sie in einem absoluten Sinne nahm, einen gewissen Skepticismus erzeugt, der die dunklen Begriffe, wie Masse und Kraft, am liebsten ganz

aus der Physik entfernen möchte. Diesem nachgebend hat man, nachdem die Constanz der Energie bei allen Naturvorgängen erkannt war, wie schon bemerkt, für die Ausmessung aller physikalischen Grössen neben Raum und Zeit als dritte Fundamentalgrösse statt der Kraft oder der bewegten Masse, die Energie vorgeschlagen und hat sich bemüht, alle Naturerscheinungen auf die Umänderung der Verhältnisse von Raum, Zeit und Energie zurückzuführen.

W. OSTWALD¹⁾ wirft der mechanischen Auffassung, die mit den Fundamentalbegriffen Masse und Kraft arbeitet, vor, dass erstens die Zurückführung gewisser physikalischer Begriffe, wie der Temperatur beispielsweise, auf Masse und Kraft noch nie wirklich gelungen ist, dass zweitens der Versuch, alle physikalischen Grössen eindeutig durch Masse oder Kraft auszumessen in der Thermodynamik wie in der Elektrik immer gescheitert ist und dass drittens endlich die Annahme, alle Naturkräfte könnten auf einerlei Art, nämlich Centralkräfte, zurückgeführt werden, nur zu unlösbaren Schwierigkeiten geführt hat. Er will darum statt der hypothetischen, materiellen Punktsysteme und ihrer Kräfte, die die Forschung nicht erleichtert, sondern erschwert haben, als Fundamentalbegriff zu Raum und Zeit die Energie setzen, der einzigen Grösse, welche wirklich allen Gebieten der Physik und Chemie gemeinsam ist. Dann ist aber die Energie auch nicht als eine mathematische Abstraction, sondern vielmehr als ein reales Wesen anzusehen und alle anderen physikalischen Grundbegriffe sind aus ihr (oder vielmehr ihren zwei Arten, der Bewegungsenergie und der Distanz- oder Raumenergie) abzuleiten. Masse wird danach die Capacität für kinetische, Schwere die Capacität für Raumenergie, Undurchdringlichkeit die Capacität für Energie des Volumens u. s. w. Statt des LAGRANGE'schen Princip's aber als eines mechanischen fundamentalen Gleichgewichtsgesetzes tritt nun der neue, die Physik wirklich allgemein umfassende Satz auf: Damit ein beliebige Energieformen enthaltendes Gebilde sich im Gleichgewichte befindet, ist nothwendig und zureichend, dass bei jeder mit den Bedingungen des Gebildes verträglichen Verschiebung desselben die Summe der entstehenden und verschwindenden Energiemengen gleich Null ist.

OSTWALD hält dafür, dass das aus Raum, Zeit und Energie zusammengesetzte das einzige zur Zeit mögliche allgemeine System von Einheiten ist, und dass in der That auch das bisherige System der sogenannten absoluten Messungen praktisch wie wissenschaftlich keinen andern Zweck hat, als

¹⁾ W. OSTWALD, Studien zur Energetik. Ber. ü. d. Verhandl. d. K. S. Ges. d. Wissenschaften z. Leipzig 1891, Math.-phys. Klasse, S. 271.

für die Mengeneinheit der Energie in ihren verschiedenen Formen ein einheitliches Maass festzusetzen. Zwar muss er zugeben, dass auch die drei Einheiten Raum, Zeit und Energie bei den gegenwärtigen Zustände der Wissenschaft ausser in der Mechanik nicht zu einer ganz bestimmten Definition aller physikalischen Grössen ausreichend sind, aber er hält das dadurch für ausgeglichen, dass man in jedem Gebiete der Physik wenigstens einen Faktor der Energie willkürlich so zu bestimmen vermag, dass man dann mit Hülfe von Raum und Zeit auch sämtliche übrigen Begriffe dieses Gebietes ableiten kann.¹⁾ Obgleich nun augenscheinlich mit dieser Zugabe, die ersten zwei der Vorwürfe, welche oben der mechanischen Physik gemacht wurden, auch für die Energetik noch als gültig anerkannt werden, so ist doch nicht zu erkennen, dass die Energetik für die Behandlung vieler physikalischen Probleme

¹⁾ W. OSTWALD, Studien zur Energetik, Ber. d. K. S. Ges. d. Wissensch. 1891, Math.-phys. Klasse, S. 274: „Und doch ist es keinem Zweifel unterworfen, dass die wichtigste Aufgabe der messenden Wissenschaften zur Zeit die allseitige Durcharbeitung des Energiebegriffs ist. Denn ausser den allgemeinen Anschauungsformen des Raumes und der Zeit ist die Energie die einzige Grösse, welche allen Gebieten gemeinsam ist. Die wechselseitige Umwandlung der verschiedenen Energieformen ist das einzige Band, welches Wärme- und Elektrizitätslehre, Chemie und Mechanik vereinigt; ohne diese bleiben sie alle einflusslos und unabhängig nebeneinander bestehen. Es liegt deshalb nahe, in der Energie ein reales Wesen, nicht nur eine mathematische Abstraction zu sehen. Vor vier Jahren habe ich diesen Gedanken bei Gelegenheit meiner Leipziger Antrittsvorlesung betont (Die Energie und ihre Wandlungen, Leipzig, W. Engelmann, 1887) . . . Bisher bin ich indessen noch so weit in den gebräuchlichen Vorstellungen von der Realität der Materie befangen gewesen, dass ich höchstens der Energie eine gleichberechtigte Stellung als Substanz neben der Materie anzuweisen wagte. Meine inzwischen begonnenen eingehenderen Untersuchungen über die Eigenschaften und das Wesen der Energie haben mich indessen weiter geführt. Je mehr ich mich mit letzteren vertraut machte, um so deutlicher stellte es sich heraus, dass die Materie nichts anderes ist, als ein Complex von Energiefactoren, welche die Eigenschaft besitzen, untereinander proportional zu sein. In der That erweisen sich die traditionellen Eigenschaften der Materie als Factoren, oder wenn man will, Ausdrucksformen der Energie . . . Auf diese Weise verschwindet bei eindringender Forschung die Materie mehr und mehr hinter der Energie, und letztere vertauscht unwiderstehlich die frühere untergeordnete oder höchstens gleichberechtigte Stellung mit der unbedingten Vorherrschaft.“ — S. 282: „Die drei Einheiten Raum, Zeit und Energie sind zwar im Allgemeinen nothwendig zur Definition der physikalischen Grössen, sie sind aber bei dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft ausser in der Mechanik nicht dazu genügend. Denn durch Verbindung der Raum- und Zeitgrössen erlangt man nur mechanische Begriffe, und in allen anderen Gebieten ist noch etwas Besonderes enthalten, was keiner weiteren Auflösung bisher unterworfen werden konnte. Der einzige Weg, den man hier überall gehen kann, ist der, einen der Factoren der Energie willkürlich so zweckmässig als möglich in jedem Gebiete zu bestimmen. Dies genügt in allen Fällen, um mit Hülfe von Raum und Zeit sämtliche übrigen Begriffe des fraglichen Gebietes abzuleiten.“

ihre entschiedenen Vorzüge hat und einem kräftigen Zuge unserer modernen Physik entspricht. Leider ist eben auch die Energetik gerade so wenig wie die Kinetik und die Dynamik von inneren Schwierigkeiten frei und ist, im absoluten ausschliesslichen Sinne genommen, ebenso unmöglich wie diese letzteren, selbst wenn wir zugeben wollten, dass das Princip von der Erhaltung der Energie wirklich für alle Naturvorgänge als ein fundamental gültiges ohne Weiteres angenommen werden könnte.¹⁾ Die Constanz der Energie bei allen ihren Wandlungen ist wohl, wenn wir dieselbe als Substanz fassen, axiomatisch anzunehmen und ist eigentlich mit dem Begriff der Substanz schon festgestellt; dafür aber bedarf es jedenfalls noch einer besonderen Untersuchung darüber, ob wirklich alle Transformationen der Energie von selbst vor sich gehen und ob nicht viele solcher Transformationen zu ihrem Eintreten noch einer besonderen Ursache bedürfen, die unter dem Energiegesetz nicht mit begriffen ist. Der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie ist das Resultat einer solchen Untersuchung für die Wärme, und ganz allgemein ist bekannt, dass gewisse Energieformen das Bestreben haben, von selbst in andere Formen überzugehen, während diese wieder nicht ohne einen Verlust an Energie (oder Dissipation oder Degradation, wie W. THOMSON und TAIT²⁾ sich ausdrücken) in die ersten zurückzuverwandeln sind. Ja selbst bei Wandlungen, die in der Tendenzrichtung der Energie liegen³⁾, wird es oft noch eines Verbrauchs an Energie bedürfen, der im Energiegesetz nicht vorgesehen ist. Schon der erste Entdecker des Energiegesetzes J. R. MAYER⁴⁾ hat in einer kleinen Ab-

¹⁾ W. OSTWALD, Studien zur Energetik, Ber. d. K. S. Gesellsch. d. Wiss. 1891, math.-phys. Klasse, S. 276: „Soweit ich es bis jetzt übersehen kann, enthält dieser Satz (der fundamentale energetische Gleichgewichtssatz) in der That die Theorie sämtlicher Gleichgewichtszustände und gestattet, in kürzester Form die Bedingungsgleichungen zu finden, wenn die Beschaffenheit des Gebildes und die Art der in demselben vorhandenen Energien gegeben ist. Ein Beweis in Gestalt einer Ableitung aus anderen Sätzen kann für denselben naturgemäss nicht gegeben werden, da er als zunächst allgemeinsten Satz keinen über sich hat, aus dem er abgeleitet werden könnte.“

²⁾ W. THOMSON, On an Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy, Philosophical Magazine, 4. Serie, IV, p. 304, 1852. Vorlesungen über einige neuere Fortschritte der Physik v. P. G. TAIT, Braunschweig 1877, S. 123.

³⁾ G. HELM, Die Lehre von der Energie, Leipzig 1887. HELM schreibt jeder Energie eine Tendenz für eine gewisse Richtung ihrer Umwandlungen zu. „Jede Energieform hat das Bestreben, von Stellen, in welchen sie in höherer Intensität vorhanden ist, zu Stellen niederer Intensität überzugehen. Sie heisst ausgelöst, wenn sie diesem Streben folgen kann“ (S. 62).

⁴⁾ J. R. MAYER, Ueber Auslösung, Stuttgart 1876.

handlung darauf aufmerksam gemacht, dass es bei höheren Energieformen einer gewissen Hemmung bedarf, wenn sie sich nicht fortwährend in niedere umwandeln sollen und dass die Hemmungen erst wieder entfernt werden müssen, wenn diese Umwandlung wirklich vor sich gehen soll. Diese Auslösungen aber hält J. R. MAYER nicht durch Einheiten, wie die der Energie, wirklich ausmessbar und auch dadurch wird dem Satze von der Gleichwerthigkeit aller Energieformen eine gewisse Grenze gesetzt. Aber lassen wir die hier auftretenden Begriffe der nutzbaren Energie und der Auslösung auch bei Seite und nehmen wir alle Arten der Energie für gleichwerthig, so erscheint doch, eben wegen der verschiedenen nicht aufeinander reducirbaren Arten von Energie, der einfache substantielle Charakter der Energie selbst noch mehr als zweifelhaft. Alle unsere Naturbeobachtung hebt beim eigenen Körper, bei der eigenen Person an, und in gewissem Sinne ist es sicherlich richtig, dass alle Bilder, die wir uns von der Natur und den Naturdingen machen, nichts weiter sind als Projectionen unseres eigenen Selbst. Uns selbst aber empfinden wir als zusammengesetzt aus Körper und Seele, aus lebloser Materie und dem allein willenskräftigen Ich. Dem entsprechen in der Natur ausser uns in ganz bestimmter Weise die Ideen von Materie und Kraft. Danach erscheint es von vornherein aussichtslos, die Energie als einen einfachen Begriff in die Physik einführen und die Schwierigkeiten, die in den Begriffen der Kraft und der Masse liegen, durch gänzliches Ignoriren derselben mit Hülfe der Energie vermeiden zu wollen. Es ist gewiss richtig, dass die Energetik manche Schwierigkeiten der uns so nothwendig erscheinenden atomistischen Auffassung der Materie vermeiden kann, indem sie sich an die einfache Uebertragung der Energie hält und ein Eingehen auf die innere Gestaltung der Materie negirt. Aber der Begriff der reinen Volumenenergie, der sich damit herausbildet, die Bindung der Energie an den Raum ohne Vermittelung gestalteter Materie, erscheint, wenn sie für mehr als blosser Hilfsconstruction gelten und substantiell verstanden werden will, ebenso unmöglich wie alle absoluten Ideen in der Naturwissenschaft.

HEINRICH HERTZ, dem wir bei der Kritik der drei wissenschaftlichen Systeme bisher vielfach gefolgt sind, spricht sich darüber in seiner Schrift „Die Principien der Mechanik“ sehr treffend aus. „Mehrere ausgezeichnete Physiker, sagt er¹⁾, versuchen heutzutage, der Energie so sehr die Eigenschaften der Substanz zu leihen, dass sie annehmen, jede kleinste Menge derselben sei zu jeder Zeit an einen bestimmten Ort des Raumes

¹⁾ Die Principien der Mechanik, in neuem Zusammenhange dargestellt von HEINRICH HERTZ, Leipzig 1894, S. 25 u. f.

geknüpft und bewahre bei allem Wechsel desselben und bei aller Verwandlung der Energie in neue Formen, dennoch ihre Identität. Zu einem befriedigenden und abschliessenden Ergebniss scheint diese ganze Anschauungsweise noch nicht gelangt. Eine besondere Schwierigkeit muss auch von vornherein der Umstand bereiten, dass die angeblich substanzartige Energie in zwei so gänzlich verschiedenen Formen auftritt, wie es die kinetische und die potentielle Form sind. Die kinetische Energie bedarf im Grunde an sich keiner neuen Grundbestimmung, da sie aus den Begriffen der Geschwindigkeit und der Masse abgeleitet werden kann; die potentielle Energie hingegen, welche eine selbstständige Feststellung fordert, widerstrebt zugleich jeder Definition, welche ihr die Eigenschaften einer Substanz beilegt. Die Menge einer Substanz ist eine nothwendig positive Grösse, die in einem Systeme enthaltene potentielle Energie scheuen wir uns nicht, als negativ anzunehmen. Endlich kann der Inhalt eines physikalischen Systems an einer Substanz nur abhängen von dem Zustande des Systems selbst, der Inhalt gegebener Materie an potentieller Energie aber hängt ab von dem Vorhandensein entfernter Massen, welche vielleicht niemals Einfluss auf das System hatten. Ist das Weltall und damit die Menge jener entfernten Massen unendlich, so wird der Inhalt auch endlicher Mengen von Materie an vielen Formen potentieller Energie unendlich gross. Dies sind alles Schwierigkeiten, welche durch gesuchte Definition der Energie beseitigt oder umgangen werden müssten.“

So erscheint also auch eine Auffassung der Energie als einer letzten unbedingten und unveränderlichen Ursache unmöglich, womit die Idee einer absoluten Naturwissenschaft überhaupt fällt. Es ist ja natürlich, dass jede geltende umfassende Theorie und jedes System der Wissenschaft ihre Grundlagen als unveränderliche, als letzte, unverbesserliche Fundamente der Wissenschaft anzusehen und auszugeben bestrebt sind, weil dadurch ihr Ansehen und vor Allem ihre Sicherheit scheinbar bis ins Unvergleichliche gesteigert werden. In der That aber hebt sich jedes System der Naturwissenschaft, das seine Fundamente für unveränderlich ausgiebt, damit von selbst auf. Das Causalitätsprincip, dessen Gültigkeit in der Naturwissenschaft nicht bestritten werden kann, fordert eine ohne Ende sich fortentwickelnde Wissenschaft; und ein System, das sich als abgeschlossen, auf letzter Grundlage ruhend, darstellt, erreicht dadurch nicht erhöhte Sicherheit, sondern zeigt damit im Gegentheil an, dass es der Natur nicht angemessen und also unrichtig ist.

Geben wir aber die Ansprüche letzter Hand, die Charakterisirung der Fundamente als absoluter auf, so widersprechen sich auch die drei physikalischen Anschauungsweisen, die

Dynamik, die Kinetik und die Energetik, nicht mehr; sie können sehr gut nacheinander sich entwickeln und ebenso gut in der Wissenschaft zusammen bestehen. Der eine Forscher kann überall nach den weiter zurück liegenden Bewegungen suchen, durch welche die erscheinenden Bewegungen entstanden und in ihren Gesetzmässigkeiten bedingt sind. Der andere Forscher aber kann ebensowohl sich mehr auf die Beobachtung der vor ihm in Erscheinung tretenden Bewegungen beschränken und ihre noch unbekanntnen Ursachen ohne weitere Bestimmung desselben als Kräfte bezeichnen. Ein dritter Forscher endlich kann mit gleichem Rechte nach beiden Richtungen seine Untersuchungen einschränken und sich ganz auf die Bestimmung der in den Erscheinungen auftretenden Umwandlungen der Energie begrenzen. Je nach Anlage und Neigung werden die gelehrten Arbeiter sich auf die drei Untersuchungsmethoden vertheilen, doch wird diese Vertheilung keine gleichmässige sein, sondern vielfach nach dem jeweiligen Entwicklungszustande der Wissenschaft und ihrer Theile sich ändern. Die eine Untersuchungsmethode, welche zu einer Zeit die fruchtbarste war, und die meisten Forscher anzog, wird mit der Zeit sich ausleben und dann einer anderen weichen; jedenfalls haben kinetische und dynamische Perioden bis jetzt in der Wissenschaft immer gewechselt. Absolute Ausschliesslichkeit kann man keiner der drei Fundamentalanschauungen zuerkennen; aber eine grössere oder geringere Zweckmässigkeit muss wohl in verschiedenen Perioden der einen oder der anderen zugestanden werden und die Art ihres erkenntnisstheoretischen Abschlusses ist jedenfalls eine verschiedene, eine anschaulich sichere oder eine deutlich problematische.

Das anschaulichste und nächstliegendste der drei erwähnten Systeme ist ohne Zweifel das kinetische, mit ihm hat wohl alle Naturerklärung, wie wir das bei der Theorie der Elektrizität constatiren konnten, begonnen. Wo ein lebloser Körper sich in Bewegung zeigt, da sucht man zuerst nach einem anderen, der ihn durch seine Bewegung direct antreibt. Die natürlichste Erklärung einer Bewegung ist die Ableitung derselben aus dem Stosse eines anderen Körpers. Sie ist auch nicht bloss die anschaulichste, sondern auch die befriedigendste, diejenige, die das Causalbedürfniss am besten abschliesst, weil sie die Ursache unseren Sinnen noch direct zugänglich aufzeigt. Daher steht diese Erklärungsart auch nicht bloss am Anfange der Wissenschaft, sondern muss von Zeit zu Zeit immer dann wiederkehren, wenn die Erforschung der Erscheinungen und ihrer Gesetze bis zu einem gewissen Grade vorgeschritten und das Causalitätsbedürfniss bis zu einem gewissen Grade gesteigert ist. Auf elektrischem Gebiete scheint ein solcher Zeitpunkt eben in unserer Zeit eingetreten zu

sein, und der Erfolg der kinetischen Methoden an dieser Stelle treibt dazu an, diese Methoden auf alle Gebiete zu übertragen. Es ist in dieser Beziehung sehr bezeichnend, dass unser so vorsichtig und sicher vorschreitender grosser Elektriker HEINRICH HERTZ noch am Ende seines kurzen Lebens die Mechanik als die Grundlage der gesammten Physik in ihren Fundamenten kritisch untersuchte und schliesslich eine kinetische Darstellung derselben in grossartigster Weise unternahm.¹⁾ Wir müssen auf diesen Versuch, auf sein letztes, erst nach seinem Tode von PH. LENARD herausgegebenes Werk, noch etwas näher eingehen.

Der letzte Zusammenhang der Körper wie ihrer letzten Theile wird darin originellerweise weder durch Kräfte noch durch Bewegungen erklärt, sondern auf die Weise vorausgesetzt, dass HERTZ seine Mechanik nicht mit Punkten, sondern gleich mit materiellen Systemen beginnt, die er durch die Coordinaten der Theile fixirt denkt, auf deren Existenzbedingungen er aber nicht weiter eingeht. Bei der Bewegung dieser Systeme entwickeln sich aus dem starren Zusammenhang derselben die inneren Kräfte naturgemäss.²⁾ Auch die Kräfte, welche zwischen den Körpersystemen selbst wirken, leitet HERTZ auf die gleiche Weise ab, indem er nämlich zwischen solchen Systemen, die durch Kräfte verbunden sind, eine Koppelung, das ist abermals einen starren Zusammenhang hypothesirt, den er ebenfalls nur mathematisch bestimmt. Dabei kommt er freilich in einen Conflict mit dem für die Kinetik immer schwierigen Begriff der Elasticität der Materie, der der vollständigen Starrheit der Körpersysteme widerspricht. HERTZ hilft sich dadurch, dass er annimmt, der starre Zusammenhang, wie ihn seine mathematischen Formeln darstellen, möge wohl in der Natur nicht in absoluter Weise durchgeführt sein, wie man überhaupt in den Naturverhältnissen nie mathematische Strenge, sondern immer nur eine Annäherung an dieselbe auffinden könne, und so möge auch der natürliche, starre Zusammenhang der materiellen Systeme immer noch elastische Schwankungen der Glieder erlauben. Doch scheint das auch auf nichts weiter als auf das Bekenntniss hinauszulaufen, dass die Starrheit der Systeme nicht der physikalisch letzte Erklärungsgrund des körperlichen Zusammenhangs sein kann, und dass der elastische Zusammenhang der Materie eine letzte Ursache fordert, die ausser Bereich unserer physikalischen Kenntnisse liegt und die wir darum nicht anders, als mit dem

¹⁾ Die Principien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt von HEINRICH HERTZ. Mit einem Vorworte von H. v. HELMHOLTZ. Leipzig 1894.

²⁾ HERTZ nimmt also nicht blos die Atome, sondern die ganzen Körper und ihre Theile als ursprünglich starr an.

Namen Kraft bezeichnen können. Die Annahme eines starren Zusammenhangs als Axiom der Mechanik birgt auch nach anderen Seiten hin noch sehr bedeutende Schwierigkeiten in sich. Die Kinetik ist gezwungen die Bewegung, welche für sie eine physikalisch letzte Ursache ist, als absolut beharrend und in einfachen Theilen unveränderlich anzunehmen und muss darum als erstes Axiom aller Wissenschaft das Beharrungsgesetz fordern. Dieses Gesetz aber kann bei HERTZ nicht in seiner einfachsten und wahren Form, in welcher es nichts anderes als die absolute Unveränderlichkeit der freien Bewegung bedeutet, auftreten, weil es bei ihm keine freien Bewegungen einfacher Theile giebt, sondern weil bei ihm die Bewegungen der einzelnen Glieder der materiellen Systeme immerwährend durch den Zusammenhang des Systems in der Freiheit ihrer Bewegungen beschränkt werden. HERTZ muss darum statt des freien Beharrungsgesetzes ein beschränktes annehmen, das er als Axiom in der Form ausspricht: „Jedes freie System beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung in einer geradesten Bahn.“ („Systema omne liberum perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directissimam.“) Durch diesen Begriff der geradesten Bewegung ist aber das Gesetz, wenigstens mathematisch, so complicirt, dass man dasselbe doch kaum als ein kinetisches Axiom mehr ansehen kann, und in der That ist es ja auch im Grunde genommen nichts weiter als das MAUPERTUIS'sche Princip der kleinsten Wirkung oder das GAUSS'sche Princip des kleinsten Zwanges, die nur hier auf die allgemeinste Form gebracht sind.¹⁾

Im Uebrigen wird unleugbar durch die Verwendung dieses Gesetzes die kinetische Beschreibung der Erscheinungen, die sonst der dynamischen gegenüber durch die Complication der vielfältigen Bewegungen sehr im Nachtheil war, eine stark vereinfachte und darum fasslichere. Solche Vereinfachungen sind in neuerer Zeit vielfach auch dadurch erreicht worden, dass man die Bewegungen in Gruppen oder Systeme zu bringen

¹⁾ HERTZ' Mechanik zeigt mehrfach einen engen Zusammenhang mit den Ideen von HELMHOLTZ, der ja auch das Werk seines grössten Schülers mit einer Vorrede versehen hat. HELMHOLTZ sagt schon 1886 in einer Abhandlung „über die physikalische Bedeutung des Princip der kleinsten Wirkung“ (Journ. f. reine u. angewandte Mathematik, 100. Bd., S. 137—166 u. 213—222; Wissenschaftliche Abhandlungen, III. Bd., S. 203—248), nachdem er betont hat, dass bis dahin dieses Princip nur auf die Mechanik wägbarer Körper angewandt worden sei: „Daraus ergibt sich schon jetzt, dass der Gültigkeitsbereich des Princip der kleinsten Wirkung über die Grenzen der Mechanik wägbarer Körper hinausgewachsen ist, und dass MAUPERTUIS' hochgespannte Hoffnungen von seiner absoluten Gültigkeit sich ihrer Erfüllung zu nähern scheinen“ (S. 142).

vermocht hat, welche sich wie besondere Einheiten nach einfachen Schemata behandeln lassen. Auch HERTZ macht von diesem Vortheil in seiner Mechanik ausgiebigen Gebrauch. Besonders wichtig ist in dieser Beziehung die von HELMHOLTZ im Jahre 1884 eingeführte Theorie der cyklischen Bewegungen oder der cyklischen Systeme geworden. Cyklisch heissen nämlich solche Bewegungen, bei denen an jeder Stelle für jedes seinen Ort verlassende Theilchen nach verschwindend kleiner Zeit ein vollkommen gleich beschaffenes Theilchen eintritt, welches mit derselben Geschwindigkeit nach derselben Richtung bewegt ist, wie das vorher an seiner Stelle gewesene.¹⁾ Solche cyklische Systeme sind beispielsweise homogene Kreisscheiben, Walzen, Kugeln u. s. w., die sich um passende Achsen drehen. Ihnen ähnlich in der Behandlung sind unechte Cyklen, bei dem die Configuration nicht in jedem Augenblicke, sondern erst nach bestimmten, endlichen Perioden immer wieder die gleiche wird. Solche unechte Cyklen, für welche rotirende Speichenräder ein einfaches Beispiel bieten, treten sehr häufig in der Natur auf und jeder homogene Körper, der mit gleichbleibender Geschwindigkeit um eine Achse rotirt, kann als ein unechtes cyklisches System angesehen werden. Von cyklischen Bewegungen hat auch die moderne Elektrizitätslehre den ausgedehntesten und vortheilhaftesten Gebrauch gemacht und die MAXWELL'sche Theorie der elektromagnetischen Rotations- und Wirbelbewegungen beruht ganz auf der Vorstellung von vielfältig aneinander gekoppelten Cyklen. In der That erweisen sich cyklische Bewegungen ganz besonders geeignet die Wechselwirkungen und ihre Vermittlung zwischen entfernten Körpern anschaulich zu erklären, die wir bis jetzt als Wirkungen von primitiven Kräften vorzustellen gewohnt waren. Da die Cyklen keine Configurationsveränderungen der materiellen Systeme durch ihre Bewegungen erzeugen, aber trotzdem durch diese letzteren nach aussen wirken und diese Wirkungen durch passende Kopplungen auch in die Ferne verbreiten können, so leisten sie thatsächlich dasselbe, was sonst die primitiven Kräfte leisteten, und auch HERTZ gebraucht sie vor allem in dieser Beziehung.

Freilich ist auch bei den cyklischen Bewegungen mit der starken eine schwache Seite verbunden. Die gekoppelten Cyklen haben vor der Kraft den Vorteil voraus, dass sie die Wechselwirkungen der Körper auch in den Zwischenmaschinerien anschaulich darstellen, während die Kraft uns darüber vollständig im Dunkeln lässt. Dafür haben die Cyklen mit der Kraft auch den Nachtheil gemeinsam, dass sie, in absoluter

¹⁾ Vgl. H. EBERT, Magnetische Kraftfelder, I. Theil, S. 126.

Strenge verstanden, den Sinnen ebensowenig zugänglich sind wie jene. Echte Cyklen, wie z. B. cyklische Bewegungen von homogenen Flüssigkeiten in geschlossenen Gefässen, sind mit unseren Sinnen ebensowenig direkt zu erfassen wie die unbekannt Ursachen, die wir Kräfte nennen. Nun bleibt zwar immer die Hoffnung, dass Störungen, wie sie etwa durch Eindringen fremder Materien in die Cyklen entstehen, uns diese bemerkbar machen könnten; aber gerade bei der hier beabsichtigten Benutzung der Cyklen für die Erklärung der unsichtbaren Fortpflanzung von Kraftwirkungen ist es nothwendig anzunehmen, dass die Abweichungen von der echt cyklischen Bewegung immer so klein bleiben, dass sie der directen Wahrnehmung bei dem jeweiligen Stande der Kenntnisse sich noch entziehen. Dann aber wird wieder die Frage brennend, welches unsichtbare Substrat man diesen koppelnden Bewegungen unterlegen und aus welcher Materie man die Cyklen formen soll.

HERTZ hilft sich an diesem Punkte damit, dass er in solchen Systemen, deren Bewegungen sich nicht vollständig aus den Bewegungen aller sichtbaren Massen bestimmen lassen, verborgene Massen und Bewegungen annimmt¹⁾, durch welche jene sichtbaren Bewegungen bedingt sein sollen. Solche verborgenen Materien hat man allerdings als Imponderabilien, Aether u. s. w. schon immer benutzt, um daran die Kräfte zu heften, aber die HERTZ'sche Vorstellung hat dabei den Vortheil, dass sie den verborgenen Massen dieselben Eigenschaften wie den sichtbaren zuschreiben und alle Unterscheidungen auf Bewegungen zurückführen darf, während die dynamische Physik ihre verschiedenen Kräfte auch an verschiedene Materien binden musste.

Blicken wir noch einmal von hier zurück. Wir fanden einen Rest von Verborgenen in jeder Naturerscheinung und eine letzte Ursache stand am Ende jeder Folge von Naturerscheinungen, aber nicht innerhalb, sondern ausserhalb unserer Naturerkenntniss. Innerhalb dieser giebt es in der Reihe der Ursachen nur die bekannte Bewegung oder die noch unbekannt Ursache, die wir Kraft nennen, und die ebenfalls einer Auflösung in erfahr-

¹⁾ HELMHOLTZ beschäftigt sich in dem erwähnten Aufsätze „über die physikalische Bedeutung des Principis der kleinsten Wirkung“ (Journ. f. reine u. angew. Math., 100. Bd., 1886, S. 147) ebenfalls schon mit verborgenen Bewegungen. Er sagt da: „Dieser in der Mechanik der wägbaren Körper gegebenen Analogie gemäss wollen wir einstweilen auch andere Fälle physikalischer Vorgänge, in denen die Function H (HAMILTONS' principal function) Glieder, die nach den Geschwindigkeiten linear sind, enthält, als Fälle mit verborgener Bewegung bezeichnen, wenn auch zur Zeit noch viele dazu gehören, wo die Existenz einer solchen verborgenen Bewegung nicht zweifellos nachzuweisen ist, wie bei der Wechselwirkung zwischen Magneten und elektrischen Strömen.“

bare Bewegung zustrebt. Wo man zur Zeit in der Reihe der Ursachen Halt machen will, das hängt ausser von den Anlagen und Neigungen der Einzelnen, vor allem von dem Stand der wissenschaftlichen Entwicklung ab. Ist die Erkenntniss neu entdeckter Thatsachen noch nicht weit vorgeschritten, hat man noch mit den Mühen der Wiederholung und der thatsächlichen Feststellung zu thun, so wird das Interesse an der Erkenntniss der weiter zurückliegenden Ursache noch ein sehr geringes und die dynamische oder vielleicht in Zukunft auch die energetische Anschauung wird auf dem Gebiete herrschend sein. Sind aber jene Arbeiten vollständig erledigt, ist das Thatsächliche vollkommen erkannt und sind die Gesetze der Erscheinungen vollkommen festgestellt, so wird man auch die beobachteten Wechselwirkungen durch vermittelnde Bewegungen zu begreifen suchen und die Kinetik wird in ihre Rechte treten, um später abermals der Dynamik den Platz zu räumen.

Der Streit zwischen Dynamik und Kinetik war immer eine Machtfrage und wird es auch bleiben. Wo die Kinetik erfolgreich aufzutreten vermag, wie jetzt in der Elektrizitätslehre, da wird sie die Dynamik unwiderstehlich zurücktreiben. Wo aber das noch nicht der Fall ist, da wird auch die letztere, wie in der Gravitationsmechanik, ihren Platz noch behaupten, ohne dass man deswegen einen unausgleichbaren Riss in der wissenschaftlichen Erkenntniss zu constatiren brauchte. Dynamik und Kinetik sind mit der Wissenschaft entstanden und entweder auch mit ihr weiter bestehen. Möglich ist als bedingte Wissenschaft auch die Energetik, denn wo Bewegung und Kraft sind, da ist auch Energie. Ob aber diese aus sich allein alle Probleme der sich ergänzenden andern Systeme lösen kann, das muss die Erfahrung erst noch lehren.

An ihren Früchten sollt ihr sie erkennen, das gilt bis zu einem gewissen Grade auch für wissenschaftliche Theorien und es scheinen alle Zeichen dafür zu sprechen, dass man von diesem Grundsatz jetzt noch mehr als früher auch neuen wissenschaftlichen Ideen gegenüber Gebrauch machen will. Es giebt allerdings nur eine Wahrheit, ein Ideal, dem wir nachstreben müssen; aber gar manche Wege führen nach diesem Ziele hin und keiner trägt das Zeichen alleiniger Echtheit an sich.