Archiv für Philosophie.

I. Abteilung:

Archiv für Geschichte der Philosophie.

Neue Folge. XVIII. Band, 2. Heft.

IV.

Die Atomistik und Faradays Begriff der Materie.

Eine logische Untersuchung

von

Otto Buek in Marburg.

(Schluß.)

9. Boscovichs Theorie.

Die ausführliche Darstellung der Lehre des Boscovich ist niedergelegt in seiner „Philosophiae Naturalis Theoria redacta ad unicum legem virium in natura existentium auctore P. Rogerio Josepho Boscovich Viennae Austriae MDCCLIX“. Boscovich kündigt seine Lehre als eine Vereinigung der Leibnizschen und Newtonschen Anschauungen an. Doch weiche sie in vielen Stücken von beiden ab. Gemeinsam mit Leibniz sei ihm die Annahme einfacher ausgedehnter Elemente, mit Newton die Voraussetzung wechselseitig attraktiver wie repulsiver Kräfte. Mit beiden stimme er darin überein, daß jede noch so kleine Veränderung jedes Teilchens eine Veränderung in dem Bewegungsimpuls (*determinatio ad motum*) (p. 2 II) aller übrigen hervorbringt. Von Leibniz unterscheide ihn die Ablehnung einer kontinuierlichen Ausdehnung, die aus angrenzenden, inextensiven Elementen entstehe, sowie die Annahme einer Homogenität der Elemente, durch deren Lage und Anordnung allein er alle Verschiedenheit in der Natur ableite (*omni massarum discrimine a*

sola dispositione, et diversa combinatione derivato p. III). Von Newton weiche er darin ab, daß er statt dreier Gesetze nur eins annimmt, sowie durch die Zugrundelegung von attraktiven (positiven), und repulsiven (negativen) Kräften. Er leite alle Phänomene und alles, was mit ihnen zusammenhängt ab: *per unicam legem virium, expressam unica, et ex pluribus inter se commixtis non composita algebraica formula, vel unica continua Geometrica curva: „in minimis distantiiis vires“ admitto „non positivas, sive attractivas, sed negativas repulsivasque, quamvis itidem eo majores in infinitum, quo distantiae in infinitum decrescant“* (p. 2 IV). Die ersten Elemente des Boscovich sind unausgedehnte Punkte, die durch leere Zwischenräume von einander getrennt sind. Er erkennt danach keinen mathematischen Kontakt der Materie an. Seine Punkte beschreibt er als: *puncta prorsus indivisibilia, et inextensa, quae in immenso vacuo ita dispersa sunt, ut bina quaevis a se invicem distent per aliquod intervallum, quod quidem indefinite augeri potest, et minui, sed penitus evanescere non potest sine compenetracione ipsorum punctorum: eorum enim contiguitatem nullam admitto possibilem; sed illud arbitror omnino certum, si distantia duorum materiae punctorum fit nulla, idem prorsus spatii vulgo concepti punctum indivisibile occupari ab utroque debere. Quamobrem non vacuum ego quidem admitto disseminatum in materia, sed materiam in vacuo disseminatam, atque innatantem* (p. 4, VII). Den Punkten wird Trägheit zugeschrieben und für die Zusammensetzung der Kräfte der Satz vom Parallelogramm der Kräfte und der Bewegungen zugrunde gelegt. Die Kraft der Trägheit hat dabei immer als relativ, nicht als absolut zu gelten wegen der Relativität des Raums. Die Kräfte, die eine Funktion der Entfernungen sind, stellt Boscovich graphisch in Form einer Curve dar, indem er auf den Abscissen die Entfernungen, auf den Ordinaten die zugehörigen Kräfte abträgt. (Vgl. Tafel I, Erklärung XII p. 7 ff.)

Bei sehr kleinen Entfernungen sind die Kräfte repulsiv, und zwar um so mehr, je kleiner die Entfernungen sind. Sie werden schließlich unendlich groß, wodurch sie fähig werden, jede Geschwindigkeit von beliebiger Größe zu vernichten, bevor die Distanz ganz verschwindet. Wird die Distanz größer, so werden die Repulsiv-

kräfte kleiner und erreichen die 0, um dann in attraktive überzugehen. Mit wachsender Entfernung nehmen die attraktiven Kräfte im Anfang zu, dann nehmen sie ab, durchlaufen die 0, gehen wieder in repulsive über und so fort, bis sie schließlich bei größeren Distanzen dauernd attraktiv, und von da ab im umgekehrten Quadrat der Entfernung bis ins Unendliche anziehend bleiben. Entsprechendes gilt für die repulsiven Kräfte, die bei sehr kleinen Entfernungen unendlich groß werden.

Dieses Kraftgesetz ermöglicht es nun, die Kontinuität innerhalb der Bewegungsvorgänge mit großer Strenge durchzuführen. Die absolute Festhaltung des Gesetzes der Stetigkeit innerhalb der Punktbewegungen steht Boscovich als oberstes Postulat fest, und es sind überaus feine Gründe, die er aus diesem Gesichtspunkt gegen die atomistischen Theorien, welche mit ausgedehnten Partikeln operieren, ins Feld führt. Die Gesetze des Stoßes gelten ihm, vom Standpunkt einer solchen Atomtheorie, als unerklärbar; denn sie können nicht anders, als durch eine Verletzung des Kontinuitätsgesetzes ausdrückbar werden. Das Kontinuitätsgesetz ermöglicht erst eine genaue und feste Bestimmtheit des physischen Vorganges, obgleich Boscovich es freilich von der Erfahrung, aus einer „*amplissima inductio*“ (XXXVIII—XL, p. 17 ff.) an den Vorgängen in der Natur herleitet. Das Nachdenken über die Stoßregeln endlicher, ausgedehnter und absoluter Körper habe ihn auf sein Kraftgesetz geführt. Gibt es letzte harte Teile, so kann die Übertragung der Kraft nicht durch Berührung der Massen entstehen, sonst würde in einem Zeitmoment eine endliche Geschwindigkeit erzeugt werden müssen, was ohne Verletzung des Kontinuitätsgesetzes unmöglich ist. Das Gesetz der Stetigkeit fordert, daß, wenn eine Quantität aus einer Größe in die andre übergeht, sie alle mittleren Größen „durchreisen“ müsse, die zwischen den beiden Grenzen anzutreffen sind. Jeder Zustand in einem unausgedehnten Zeitmoment ist somit nur die Grenze zwischen der vorhergehenden und der folgenden Größe. (Siehe auch Mendelssohns Rezension.)¹⁶⁾

¹⁶⁾ Moses Mendelssohns gesammelte Schriften, herausgegeben von G. Mendelssohn. Bd. IV, p. 538 ff.

Wenn also zwei harte Körper von der Geschwindigkeit 6 und 12 sich treffen, würden sie sich von diesem Zeitpunkt ab nach dem Stoßgesetz mit gleicher Geschwindigkeit fortbewegen, folglich muß im Moment, wo sie sich treffen, der eine an Geschwindigkeit zunehmen, der andre abnehmen, die Geschwindigkeit des einen müßte also in einem Augenblick von 12 auf 9 hinabsinken, die Geschwindigkeit des andren von 6 auf 9 aufsteigen, „sine ullo transitu per intermedios gradus“ (XVIII p. 9). Der Übergang kann auch nicht während des Kontakts geschehen, sonst müßte der eine Körper in den andern eindringen.

Man könnte meinen, das Argument dadurch zu entkräften, daß man ein kontinuierliches Eindringen des einen Körpers in den andern und ein Zusammendrücken des einen durch den andern annimmt. Indessen würde dieser Einwand nicht für die Newtonsche Atomistik gelten, die letzte harte Körper zugrunde legt; eine Theorie aber, die eine absolute Elastizität voraussetzt, würde nach der Meinung von Boscovich eine aktuelle Teilbarkeit bis ins Unendliche zugestehen müssen, was unmöglich ist. Eine Ableitung der Stoßgesetze erscheint somit als undenkbar ohne Verletzung des Kontinuitätsgesetzes. Das Kontinuitätsgesetz ist dagegen einerseits durch die Beobachtung genügend verbürgt, andererseits scheinen auch rein rationale Gründe seine Annahme notwendig zu machen. Wenn jeder Inhalt eines Zeitmoments den verfloßenen Zeitraum mit dem folgenden verbindet, so ist ein Sprung von einer Größe zu einer andern unmöglich, weil einem Zeitpunkt keine bestimmte Größe eindeutig zugeordnet werden könnte. Es entstände eine Unbestimmtheit, indem ein und demselben Zeitmoment zwei Größen entsprechen würden: „Nam illo momento temporis, quo deberet saltus fieri, et-abrumpi series accessu aliquo momentaneo, deberent haberi duae magnitudines, postrema seriei praecedentis et prima seriei sequentis“ (XLIX, p. 25). Wäre hingegen die Linie der Bewegung unterbrochen, so wäre der Zeitmoment, wo der Körper im Anfangspunkt der zweiten Linie wäre, entweder später als der, wo er im Endpunkt der ersten war, oder gleichzeitig, oder früher. Im ersten und dritten Falle wäre eine endliche Zeit verfloßen, die kontinuierlich ins Unendliche teilbar wäre, da es keine zwei verschiedenen

Zeitpunkte gibt, die einander die nächsten sind. Daher wäre der Körper im ersten Falle in unendlich vielen Zeitmomenten nirgends, im zweiten Falle wäre er im selben Zeitpunkte an zwei Orten und im dritten wäre er nicht nur einmal, sondern mehrmals in zwei Punkten. Soll also die Linie der Bewegung kontinuierlich sein, so darf es keine Unbestimmtheit in einem Punkt geben, folglich muß jedem Punkte ein und nur ein Wert eindeutig zugeordnet werden können. Beim Zusammenstoß harter Atome fände dagegen ein sprunghafter Übergang von einer endlichen Geschwindigkeit zu einer andern statt; im Zeitpunkt, wo die Körper sich berühren, bestände eine Mehrdeutigkeit der Geschwindigkeitswerte, was absurd ist. Daher müssen die Körper ihre Geschwindigkeit vor dem Kontakte ändern und zwar kontinuierlich. Folglich muß eine Ursache der Geschwindigkeitsänderung vorhanden sein: solch eine Ursache heißt Kraft: „habebitur igitur vis aliqua, quae effectum gignat, etiam ubi illa duo corpora nondum ad contactum devenerint.“ (LXXIII, p. 37.) Das Kraftgesetz und die Kurve der Kraft werden sodann aus der Beobachtung abgeleitet. Die Kraft wirkt immer zwischen zwei Punkten und ist dem dritten Newtonschen Gesetz unterworfen.

Die Erfahrung zeigt sowohl abstoßende wie anziehende Kräfte, die im Bereich interplanetarischer Entfernungen im Quadrat des Abstandes abnehmen, es muß sich demnach die Kraftkurve einer Hyperbel dritten Grades, d. i. der Gravitationskurve nähern. Da nun die Kräfte kontinuierlich in einander übergehen sollen, so müssen die abstoßenden Kräfte allmählich, d. h. durch den O-Punkt hindurch in anziehende übergehen. Aus den Beobachtungen der verschiedenen physikalischen und chemischen Vorgänge glaubt Boscovich schließen zu dürfen, daß dieser Vorgang mehrmals stattfinden muß, die Abszisse also durch die Kurve in mehreren Punkten geschnitten wird.

Aus der Unendlichkeit der abstoßenden Kräfte bei unendlich kleinen Entfernungen sucht er dann die Einfachheit seiner Punkte zu beweisen: „Quoniam imminutis in infinitum distantis vis repulsiva augetur in infinitum, facile patet nullam partem materiae posse esse contiguam alteri parti; vis enim illa repulsiva protinus alteram ab altera removeret. Quamobrem necessario inde consequitur, prima materiae elementa esse omnino simplicia, et a nullis

contiguīs partibus composita. Quamobrem illud jam tuto inferri potest, haec primigenia materiae elementa non solum esse simplicia ac indivisibilia, sed etiam inextensa.“ (LXXXVII, p. 44.) Das habe Vorteile, denn wenn die Materie aus harten Teilen zusammengesetzt sei, so muß es einen Sprung geben, wenn man vom leeren Raum kontinuierlich zu einer Partikel der Materie übergeht, ein Sprung von der Dichtigkeit „0“, die im Vakuum, existiert, zu der absoluten Dichtigkeit (a densitate nulla, quae habetur in vacuo, ad densitatem summam); das solle aber nicht stattfinden, wenn die Elemente unausgedehnt und nur durch Abstände voneinander getrennt seien (inextensa a se invicem distantia). Dann sei das ganze Kontinuum ein Vakuum, und es gäbe nur einen Übergang durch den einfachen Punkt von einem Vakuum zum andern. Denn dieser Punkt ist eine unteilbare Grenze zwischen dem leeren Raum vor ihm und hinter ihm (indivisibilis limes inter spatium praecedens et consequens). „Per ipsum non immoratur mobile continuo motu delatum, nec ad ipsum transit ab ullo ipsi immediate proximo spatii puncto, cum punctum puncto proximum, uti supra diximus, nullum sit.“ Bei soliden Partikeln könne man die Dichtigkeit nach Belieben verringern, aber die Vergrößerung hat eine absolute Grenze, „in quo incrementi lex necessario abrumpi debeat“ (LXXXVIII 44). Wenn die Teilchen sich berühren, kann die Dichtigkeit nicht vergrößert werden. Auch diese Schwierigkeit fällt bei unausgedehnten, unteilbaren Elementen weg. Zudem bringe diese Anschauung die Bequemlichkeit mit sich, daß es kein koexistierendes Kontinuum mehr gebe, auch keine unendliche Teilbarkeit, und die Streitfrage, ob die Elemente als actu oder potentia unendlich im Kontinuum existieren, ist damit erledigt. „Si enim prima materiae elementa sint puncta penitus inextensa, et indivisibilia, a se invicem aliquo intervallo disjuncta, iam erit finitus punctorum numerus in quavis massa; nam distantiae omnes finitae erunt; infinitesimas enim quantitates in se determinatas satis ego luculenter demonstravi nullas esse. Intervallum quodcunque finitum erit, et divisibile utique in infinitum per interpositionem aliorum, atque aliorum punctorum, quae tamen singula, ubi fuerint posita, finita itidem erunt, et aliis pluribus, finitis

tamen itidem, ubi extiterint, locum relinquent, ut infinitum sit tantummodo in possibilibus, non autem in existentibus quod quaecunque, quae existant, finita esse debeant, sed nullus sit existentium finitus numerus ita ingens, ut alii, et alii majores, sed itidem finiti, haberi non possint, atque id sine ullo limite, qui nequeat praeteriri (LXXXIX, p. 45—46). Damit sei die aktuale Unendlichkeit von realen Elementen ausgeschlossen.

Endlich sind die Elemente alle als homogen, d. h. mit gleichen Kräften begabt, anzusehen. Alle Variabilität der Natur lasse sich allein aus deren Zahl und Anordnung erklären. Den Vorwurf, seine Theorie führe okkulte Qualitäten und Fernkräfte ein, lehnt Boscovich mit dem Argument ab, „das, wovon sich leicht eine Idee bilden, dessen Existenz sich durch positive Gründe beweisen, dessen Wirkungen sich mit den Sinnen erfassen lasse, sei genügend klar und offenkundig“ (sunt autem ejusmodi hae vires). Endlich fallen die verschiedenen Bewegungen, die von diesen Kräften ausgehen, täglich in die Augen; wie es aber geschehen möge, daß ein Punkt eine Kraft mit sich führe und zur Richtung und Energie seiner Wirksamkeit von einem andern Punkt determiniert werde, das sei durchaus nicht dunkler als die Erzeugung einer Kraft durch die unmittelbare Berührung. Es genüge, daß alles, wie in der Newtonschen Gravitationsmechanik, genau definiert und im Kalkül fest begründet sei.

Unsere Darstellung der Boscovichschen Krafthypothese erlaubt uns nunmehr, einen Vergleich mit der Faradayschen Theorie der Kraftzentren zu ziehen. Beiden gemeinsam ist die Tendenz, nicht aus letzten ausgedehnten Einheiten die größeren Körpereinheiten zusammenzusetzen, sondern in Kraftbeziehungen unausgedehnter Punkte die Einzelkörper nach Größe und Gestalt zu konstituieren. Die scharfe Kritik, die Boscovich dabei aus dem Gesichtspunkt des Kontinuitätsgesetzes an der Theorie der absolut harten Partikel übt, die strenge Durchführung der Stetigkeit für die Bewegung ist ohne allen Zweifel sehr verdienstvoll und zutreffend. Indessen möchte diese Übereinstimmung Faraday dazu verleitet haben, die radikalen Differenzen zwischen den beiden Anschauungen zu übersehen. So genau die Kontinuität für die Bewegung durchgeführt ist, so bewußt wird sie

für das räumliche Beisammensein eliminiert. Die Schwierigkeiten der aktuellen Unendlichkeit im realen Kontinuum des Raumes bilden nach wie vor den Stein des Anstoßes. Und so wird die Leibnizsche Theorie eines absolut elastischen Mediums verworfen, für die wir Faraday eintreten sahen. Daß aber die Kontinuität im Raum, d. h. im Leeren gewahrt sei, weil der bewegte Körper weder in einem von einem Kraftpunkt besetzten Punkte verharre, noch von einem der ihm zunächstliegenden Punkte auf ihn übergehe, da es keinen Punkt gebe, der einem andern der nächste sei, kann nicht als ernstliches Argument aufgefaßt werden, da gleich darauf das reale Kontinuum bestritten wird. Ist der materielle Punkt irgendwie durch einen dynamischen Wert repräsentiert, so muß, da es ja nur ein Vakuum und darin verstreute materielle Punkte gibt, dieser Wert von dem Grenzwert abweichen, den der Punkt hat, wenn man vom Leeren aus sich ihm unbegrenzt nähert. Hier rächt sich der Fehler in der Annahme unausgedehnter Punkte, durch welche die Schwierigkeiten des unausgedehnten Partikels vermieden werden sollen. Wird mit dem Problem des Unausgedehnten nicht Ernst gemacht, die Aufforderung nicht berücksichtigt, die darin an eine radikale Begründung der Struktur der Materie verborgen liegt, so muß jeder Versuch einer strengeren dynamischen Charakteristik der materiellen Punkte scheitern, die mit dem Kontinuitätsgedanken vereinbar sein soll. Der Kraftpunkt des Boscovich ist gar nicht anders charakterisiert als durch die extensiven Kraftbeziehungen, in denen er zu andern Punkten gleicher Art steht. Zu seiner unmittelbaren Umgebung hat er dagegen kein Verhältnis, denn das absolut Leere bedeutet eben den vollkommenen Mangel oder richtiger die Setzbarkeit jeder nur möglichen Beziehung. Von dieser absoluten Unbestimmtheit oder bloßen Bestimmbarkeit zum schlechthin Bestimmten gibt es keinen stetigen Übergang für das Denken. Daher finden sich die Kraftzentren isoliert in einem bloßen Nichts verloren, dessen Existenz überhaupt nur vollstellbar ist, weil heimlich aber widerrechtlich eine physikalische Existenzweise in dasselbe hineinprojiziert wird. Aber die Existenz dieses Vakuums ist doch bloß die Existenz der Vorstellung und hat keine höhere Realität, als dieser zukommt. Es ist die Vorwegnahme einer Distanz, die

doch eben irgendwie physisch repräsentiert sein muß, um überhaupt als existent gedacht werden zu können. Das Unausgedehnte kann daher nicht ein von der Ausdehnung überhaupt ausgenommenes Element bezeichnen, sondern in der Spannung auf das Problem der Ausdehnung gewinnt es erst seinen Sinn. Damit tritt es in unauf löbliche Relation zu dem Kontinuitätsgesetz und zur intensiven Größe, welche in dem Denkelement der Realität zur Erzeugung kommt. Hier aber scheiden sich die Wege wie die Zeitalter. Faradays Materie enthält die intensive Größe in sich, sie soll, wie er es ausdrücklich ausspricht, durchaus kontinuierlich sein. Dann kann jedoch die Bestreitung der Extension für Boscovich nicht mehr denselben Sinn haben, wie für Faraday. Die Punkte bei Boscovich sind im strengen Sinne Punkte, d. h. Punktindividuen, ohne alle Ausdehnung, sie sind in ihrer lediglich negativen Charakteristik als aller Ausdehnung bar, auch gar nicht fähig, die Ausdehnung zu realisieren. Darum ist das eigentliche Instrument zu ihrer Handhabung doch wieder die endliche Zahl, nach deren Regeln die Punkte zusammengefaßt und geordnet werden. Diese Punkte sind zuletzt Dinge, absolute Substanzen, aus denen die endlichen Massen sich zusammensetzen. Die Massen aber bestehen immer aus einer bestimmten, endlichen Anzahl von Punkten, die somit zu letzten nicht mehr zerlegbaren Einheiten werden. Auch hier ist demnach die Relativität des Mehr und Weniger, wie bei den harten Atomen die des Größer und Kleiner, nicht festgehalten, die Methodik des Denkens nicht gewahrt. Das Denken stößt auf letzte Dinge, die es nicht erzeugt, sondern die es als vorhanden hinnehmen soll. Auch die Kraftkurve trägt diesen Charakter eines gegebenen Daseins, über das nicht hinausgegangen werden kann. Die mehrfachen Übergänge durch die 0 sind Erfahrungstatsachen, die Entfernung, bei der die Kräfte 0 werden, hebt die Relativität der Messung schlechthin auf und setzt eine absolut gegebene Strecke. Es hängt das mit der eigentümlichen Stellung der 0 unter den mathematischen Größen zusammen. Wir können einer willkürlich gewählten Längeneinheit eine Einheit der Kraft zuordnen. Dann entspricht der doppelten Kraft das Doppelte oder ein andres Vielfaches der Entfernung. Nehmen wir eine andere Einheit der

Kraft, so variiert damit auch die Längeneinheit. Der Kraftbetrag 0 bei Boscovich ist dagegen unabhängig von der Einheit, mit der wir messen, und demgemäß würde ihm auch eine Strecke entsprechen, die unabhängig von der Einheit, mit der gezählt wird — also eine absolute Länge, wäre.¹⁷⁾ So ist überall die erzeugende Macht des Bewußtseins verkannt, und ihr eine von ihr losgetrennte, für sich bestehende Wirklichkeit entgegengestellt. Daher ist denn auch die sinnliche Anschauung überall vorausgesetzt. Der leere Raum, als eine Art Hintergrund, auf dem sich die Bewegungen der Punkte abheben, ist fertig da, denn die Punkte selbst haben keine Kraft, ihn aus sich hervorzubringen. Die Extension muß also schon gegeben sein, wenn auch als Leeres. Auch die reale Ausdehnung vermögen die Punkte nicht zu vertreten. Ihre Endlichkeit und Diskontinuität wird ihnen zum Hindernis. Boscovich selbst muß sich einmal den Einwand machen, daß nach seiner Auffassung der Begriff eines Körpers einer Unbestimmtheit anheimfällt. Da seine Punkte unstetig im Raume zerstreut sind, könne man sie als von einer kontinuierlichen Hülle umfaßt denken, dann würden sie Körper von dreifacher Ausdehnung sein; man könnte sie sich aber auch als eine einzige Linie vorstellen, welche alle einzelnen Punkte miteinander verbindet. Dieser Einwand bleibt bestehen und Boscovich besitzt kein Mittel, ihn zu entkräften (vergl. Mendelssohn p. 561).

10. Faradays Kraftpunkte.

In der Tat vermag der Punkt mit dem negativen Merkmal der Unausgedehntheit die dreidimensionale Ausdehnung nicht zu objek-

¹⁷⁾ Die Zulässigkeit einer Festsetzung, wie die folgende, daß anziehende Kräfte durch die 0 hindurch in abstoßende übergehen sollen, wird auch von namhaften Physikern bestritten. (Vergl. Rosenberger Newton p. 414: „Er (Newton) dürfte sonst z. B. nicht die Annahme abstoßender Kräfte in der Materie so schmucklos und nachlässig durch die bloße Redensart einführen, daß eine anziehende Kraft, wie die algebraische Größe bis zur Null abnehmen könne und also bei Fortsetzung der Abnahme sich in ihr Gegenteil verkehren, d. h. zu einer negativen Anziehung oder zu einer Abstoßung werden müsse. Denn die Umkehrung des Vorzeichens ist eben nur bei mathematischen Größen allgemein denkbar, bei vielen physikalischen Größen jedoch ganz unmöglich, und gerade die Abnahme der Gravitation mit Vergrößerung der Entfernung bedingt, daß diese Kraft wenigstens sich in keiner Entfernung in ihr Gegenteil verkehren kann.“)

tivieren. Ihm fehlt die Kraft, die im Begriff des Intensiven die Beziehung auf die Extension in einem gesetzlichen Ausdruck festlegt. Faradays Punkte dagegen sind nicht nur strenge Punkte im Sinne von Grenzen der Ausdehnung; sie sind zwar auch unausgedehnt, aber sie sind als solche von vornherein auf das Continuum der extensiven Größen bezogen und haben in sich die erzeugende Tendenz zur Ausdehnung wie zur Gestaltung und Lage. Freilich sagt auch er einmal, seine Punkte seien einander näher oder ferner, während er zugleich betont, daß seine Materie kontinuierlich sei. In Wahrheit gibt es keine zwei angrenzenden Punkte, die nicht zusammenfallen, aber der verschiedene Abstand seiner Punkte will auch nicht die sinnliche Tatsache ihrer Trennung durch eine Zwischensubstanz ausdrücken, sondern den gedanklichen Übergang von Punkt zu Punkt, der in zwei verschiedenen Fällen durch zwei verschiedene Arten des gesetzlichen Prozesses, in dem dieser Übergang sich vollzieht, bestimmt ist. Die Atome, von denen Faraday bisweilen spricht, sind nicht für sich bestehende Körper oder Punkte, die aus dem allgemeinen Zusammenhang der räumlichen Ausdehnung herausfallen, sondern sie gehören mitten in den Zusammenhang hinein, der durch die Kraftlinien zu prägnantem Ausdruck gelangt. Das Atom, für das Faraday eben den Ausdruck des Kraftzentrums einsetzt, ist allenfalls eine besondere, ausgezeichnete Stelle in dem Gewebe der Kraftlinien, die das wahrhaft reale Substrat der physischen Prozesse sind. Von Kraftzentrum zu Kraftzentrum führt eine ununterbrochene Reihe dynamischer Punkte stetig hinüber, sodaß die Kraftatmosphären der charakteristischen Punkte sich in der Tat berühren. „Die die Zentra umgebenden Kräfte verleihen diesen die Eigenschaften materieller Atome, und diese Eigenschaften wiederum kombinieren sich, wenn viele Zentra sich durch ihre vereinten Kräfte zu einer Masse gruppieren, zu den Eigenschaften der Materie. Demnach ist die Materie durchaus kontinuierlich, und wir haben in einer materiellen Masse eine Trennung ihrer Atome¹⁸⁾ durch Zwischenräume nicht anzunehmen.“ „Die hier aufgestellte Ansicht von der Konstitution der Materie scheint notwendig zu dem Schluß

¹⁸⁾ u. a. O. Bd. II, p. 262.

zu führen, daß die Materie den ganzen Raum erfüllt oder wenigstens allen Raum, auf den sich die Gravitation (die Sonne und deren System eingeschlossen) erstreckt; denn die Schwere ist eine Eigenschaft der Materie, die von einer gewissen Kraft abhängt, und eben diese Kraft ist es, welche die Materie konstituiert. Nach dieser Auffassung ist die Materie nicht nur gegenseitig durchdringlich, sondern jedes Atom erstreckt sich sozusagen durch das ganze Sonnensystem, doch so, daß es immer sein eigenes Kraftzentrum beibehält“ (p. 262 u. 263).

Die angeführte Stelle gibt ein charakteristisches Kriterium für den diametralen Gegensatz zwischen der Boscovich'schen Auffassung und der Faradays, sie führt uns aber zugleich einen Schritt weiter. Hier finden wir zuerst die schon vorher angedeutete Unterscheidung innerhalb des Systems der Kraftlinien in gedanklicher Schärfe herausgearbeitet. Es ist der Gedanke des Atoms, als eines unausgedehnten Kraftpunktes, den Faraday aus der Boscovich'schen Spekulation aufnimmt, um ihn für seine eigene theoretische Anschauung nutzbar zu machen. Das Atom vertritt die in bestimmten Gestalten und individuellen Gebilden abgegrenzte Körperwelt, die nur die Vorstellung vorspiegelt. Vielleicht kann es gelingen, auch diesem Schein der Vorstellungswelt zu seinem Recht zu verhelfen, indem man ihm in einer gedanklichen Setzung sein Fundament gibt. Dazu erscheint das Prinzip des Atoms brauchbar, wenn es nur möglich ist, ihm seine individuelle Abgeschlossenheit zu nehmen und es in das Bewegungssystem der Kraftlinien einzugliedern. Zu dieser Konzeption des Atoms konnte der Boscovich'sche Punkt wohl hinüberleiten, indem er dem Atom die kompakte Materialität nahm und ihn in ein bloßes Kraftzentrum auflöste. Damit ließ sich der letzte Rest von Stofflichkeit aus dem Atom austreiben und die Kraft und Bewegung unmittelbar an den Raum selbst heften. Faraday hat eine derartige atomistische Theorie im einzelnen nicht durchgeführt. Jedoch ist, wie schon bemerkt, neuerdings von Sir William Thomson (Lord Kelvin) ein solcher Versuch, d. h. das Unternehmen einer Vereinbarung der Atomistik mit dem Kontinuitätsprinzip gewagt worden. Wir müssen auf diese wissenschaftlich reifste Ausbildung der Atomtheorie noch später zurückkommen. Zunächst ist es geboten, noch

auf eine Anzahl von Einwänden und positiven Argumenten von Atomisten einzugehen, deren Durchmusterung geeignet ist, den Gedanken Faradays in das rechte Licht zu rücken.

Wir dürfen uns zunächst zur Bekräftigung unserer Aufstellungen über die Faradaysche Theorie der Kraftzentra auf die Autorität Fechners berufen, der selbst mit einer eigenen Neubegründung der Atomenlehre hervorgetreten ist. In der schon zitierten Schrift (Atomenlehre I. Aufl. p. 161) bemerkt Fechner gegen Moigno: „Auch Faraday wird von Moigno mit in Gesellschaft derselben genannt (sc. der Vertreter einer Ansicht, nach der die Atome einfache Punkte seien), doch bloß aus dem Gesichtspunkte, daß er die Materie auch auf Kraftzentra reduziert. Aber die Kraftzentra sind nach ihm kontinuierlich (Philos. Mag. 1844), und er steht insofern vielmehr im Gegensatz zur atomischen Ansicht, die eine Diskretion der Kraftzentra annimmt.“

11. Fechners Definition der Materie.

Fechner selbst hat in der Atomenlehre seine Ansicht auch mit philosophischen Gründen zu verteidigen gesucht. Wir haben schon im Vorhergehenden einen Einwand Fechners zurückweisen müssen. An dieser Stelle brauchen wir indessen nur noch auf einige seiner Argumente einzugehen, da auch seine Atomistik im wesentlichen das Gepräge des Boscovich trägt, auf den die meisten Verfechter einer dynamischen Atomtheorie zurückgehen. Fechner sucht dem Begriff der Materie über den der Kraft hinaus eine eigne und selbständige Bedeutung zu vindizieren. Die Kraft genüge nicht, um die Materie daraus zu konstruieren. „Soviel aber ist gewiß, daß der physikalische Begriff der Kraft bei seiner schärfsten Fassung, größten Klärung und Vertiefung nicht zuläßt, die Materie daraus zu konstruieren oder wesentlich damit zu identifizieren; ja ich behaupte, daß eben nur eine Vertiefung in die unklare und rohe Fassung, die er nach der gemeinen Vorstellung hat, mit Steigerung dieser Unklarheit dahin führen kann, ihn zur Konstruktion der Materie zu verwenden“ (p. 119). So sieht er sich genötigt, eine eigne Definition für die Materie zu geben: „Im Gegenteil: die Materie ist dem Physiker das Handgreiflichste, was es gibt, indem

eben das Handgreifliche die Materie des Physikers ist, und nur der Philosoph verflüchtigt ihren Begriff ins Unvorstellbare, Unsichere und Leere, zieht ihm die Basis unter den Füßen weg, stürzt ihn kopfüber“. Und er präzisiert seine Aufstellung genauer, indem er als das Handgreifliche dasjenige bezeichnet, „was sich dem Tastgefühl bemerklich macht“ (p. 90). Nur schade, daß sich mit so handgreiflichen Dingen nicht rechnen läßt. Hätten sich die Menschen dem Instinkt ihre Tastgefühls überlassen, so wäre es eben nicht zur Wissenschaft gekommen! Fechner kehrt in der Tat mit dieser Definition den Gang der Weltgeschichte um und versetzt uns zurück auf den Standpunkt des Thales. Dasjenige, „was sich dem Tastgefühl bemerklich macht“ (p. 105), zu entdecken und in der Sprache der Wissenschaft auszudrücken, dazu bedarf es eben noch ganz anderer Zurüstungen, als das Tastgefühl. Dazu bedarf es des Denkens, und je mehr das Denken sich von der vermeintlichen Wirklichkeit abkehrt, um aus dem eigenen Grunde des Bewußtseins die Mittel zur Bestimmung dessen heraufzuholen, „was uns das Tastgefühl ankündigt“, um so reiner und besser befriedigt es die Ansprüche der Sinne. Ein solches Mittel ist unter andern auch die Kraft. Aber das Ausgehen von einem absoluten Dasein, das sich im Denken nur reflektiert, verrückt Fechner überall das Konzept, und daher kommt er trotz mancher Verbesserungen doch nicht prinzipiell über Boscovich hinaus. Die metaphysische Begründung der punktuellen Atome ersetzt er durch eine methodische Betrachtung. Die Anziehung als Funktion ihres Abstands könne gar nicht anders gefaßt werden, denn als Anziehung von Punkt zu Punkt, weil nur zwischen Punkt und Punkt ein bestimmter Abstand stattfindet, mithin auch die Funktion des Abstandes nur hiermit eine bestimmte wird. Indessen verläßt er doch sogleich wieder die eingeschlagene Gedankenrichtung, um sich von neuem einer absolutistischen Anschauungsweise zuzuwenden. Differential- und Integralrechnung werden ihm deshalb zu einem bloßen Approximationsverfahren, da die Atome tatsächlich diskontinuierlich sind, und die endliche Summation der Anziehungswirkungen wäre das eigentlich Richtige. Auf diese Weise werden ihm seine einfachen Atome zu den absoluten Einheiten, und es erscheint als ein Mangel, daß die dynamische Ansicht keine

absolute Eins hat. „Das Zahlensystem der Natur hat nur eine Ziffer: das Atom, und reicht damit zu den Rechnungen des Alls“ (p. 169).

Hier triumphiert wieder das dogmatische Vorurteil. Die Natur gilt als ein Gegebenes, welches das Denken nur abzubilden hat, das Denken sinkt zu einem Abstraktionsverfahren an gegebenen Dingen herab. Das Verfehlen der Einsicht, daß die Natur nicht als fertiges Produkt ins Bewußtsein tritt, sondern daß es gilt, sie in selbständiger Weise konstruktiv im Denken hervorzubringen, verschuldet den ungeheuren Irrtum, die Infinitesimalrechnung sei eine bloße Approximation. Damit ist das mächtigste und gewaltigste Werkzeug der modernen Naturforschung in seinem Wert für die Wissenschaft verkannt und ausgeschaltet. Der stärkste Hebel der Naturforschung wird so zu einer Schwäche der Vernunft, und das Gesetz der Kontinuität ein Mangel, der das Denken zwingt, hinter der gegebenen Wirklichkeit stets zurückzubleiben. Diese Verkennung der erzeugenden Kraft des Infinitesimalen rächt sich natürlich auch an Fechners Raum- und Zeitbegriffen, sowie an der Konzeption der einfachen Atome. Raum und Zeit sind, ebenso wie bei Boscovich, nur der gegebene Rahmen für das atomistische Geschehen. Das Denken erkennt in ihnen sein Zeugnis nicht, nur der sinnliche Blick ruht auf den ausgebreiteten Flächen. Auch der Atombegriff hat keine prinzipielle Verbesserung über den des Boscovich hinaus erfahren, wenngleich auch hier eine präzisere begriffliche Fassung angestrebt ist: „Wenn die bisherigen Versuche, die Atomistik recht weit zurückzuführen, im allgemeinen nur ins Dunkle und Wirre geführt haben, so lag der Grund nur daran, daß man sie nicht weit genug zurückgeführt hat, vielmehr vor dem letzten Schritte zurückgeschaut ist, der auf einmal aus dem Dunkel und der Wirre in das helle Licht führt. So lange die letzten Atome noch endlich bleiben, ist man noch nicht am Ende und bleibt man genötigt, das zu Erklärende in das Erklärungsmittel aufs neue zu verlegen“ (p. 178). „Dies leitet uns auf einen neuen Gegensatz oder auf eine neue Auffassung des Gegensatzes der einfachen Wesen gegen Raum und Zeit. Ein einfaches Atom ist trotzdem, daß seine Ausdehnung nichts ist, nicht selber nichts, es hypostasiert aber die letzte Grenze des Seienden in quantitativer Hinsicht, ist ein unendlich Kleines im strengsten

Sinne. . . Der Punkt allein, der aber eben hiermit vielmehr die Grenze der Raumgrößen, als selbst eine Raumgröße bildet, steht zu allen unendlich kleinen Räumlichkeiten beliebiger Ordnung selbst im Verhältnis des Unendlichkleinen, ist das einzige Kleine, das nichts Kleineres mehr unter sich hat, noch in sich hat: ein Unendlichkleines unendlicher Ordnung, und gestattet keinen endlichen Größenvergleich mehr“ (p. 167). Durch diskrete Teilung kommt man jedoch nicht zu einem letzten Unausgedehnten, wie man vom punktuellen Atom durch Summation aufwärts nie zu einem zusammenhängenden Ganzen kommt. Fechners unendlich kleine Atome sind diskrete Einheiten und lassen sich daher auch nur endlich summieren, und „der letzte Schritt“ einer Annahme einfacher Atome ist ein Gewaltstreich, der nicht innerhalb der Grenzen „möglicher Erfahrung“ liegt. Das Einfache ist kein transzendentaler Grundsatz, sondern eine Idee, wenn es nicht eine andere Art von Denkmittel als das der extensiven Größe bezeichnet. Es nützt nichts, den Punkt als ein Unendlichkleines unendlicher Ordnung zu beschreiben, solange er als endliche Einheit verrechnet wird. Ein Unendlichkleines ist immer auf ein kontinuierliches Gebilde bezogen und setzt immer eine unendliche Summation und keine endliche als begriffliches Korrelat voraus. Ein unendlichkleines, inextensives Atom, das nicht auf eine extensive Ausdehnung bezogen ist, ist kein legitimerer Begriff, und ein Unendlichkleines unendlicher Ordnung ist gar eine offenbare Erschleichung, da es in der Erfahrung nicht realisierbar ist. Und so ist es nur konsequent, wenn für Fechner die Methode des Unendlichkleinen nur zu einem Annäherungsverfahren und das Integral offenbar falsch wird.

12. Die unausgedehnten Punkte.

Die Annahme einfacher, unausgedehnter Atome hat schon vor Fechner unter den Zeitgenossen Faradays Verteidiger gefunden. Saint Venant hat die Theorie des Boscovich wieder erneuert. Auch er begnügt sich mit einer lediglich negativen Fassung („points sans étendue“), und er behauptet: „Il n'y a aucun lien logique nécessaire entre l'idée de l'existence même matérielle et l'idée d'étendu“ (zitiert nach Cohen, Das Prinzip der Infinitesimalmethode, p. 138). Hier findet sich derselbe Fehler wie bei Fechner und Boscovich.

Die Idee der Ausdehnung ist allerdings durch ein sehr intimes Band mit der materiellen Existenz verbunden. Die Extension ist eine notwendige Voraussetzung, wenn freilich nicht die einzige, für die Konstitution des Einzelkörpers. Daher können auch die schlechthin ausdehnungslosen Punkte nicht als zureichende Grundlage für den Aufbau der Natur anerkannt werden, sofern sie nicht ihrerseits vermöge einer neuen in ihren Begriff aufzunehmenden positiven Bestimmung die Ausdehnung zu realisieren fähig sind. Auch Cauchy und Ampère, welche eine ähnliche Auffassung vertreten, kommen über diese inneren Gebrechen der Theorie nicht hinaus: Cauchy sagt: „Ampère a fait voir de son côté que pour rendre raison de plusieurs phénomènes relatifs aux combinaisons des gaz, il suffisait de considérer les molécules des différents corps comme composés chacune de plusieurs atomes dont les dimensions sont infiniment petites relativement aux distances qui les séparent.“ Auch er braucht den Ausdruck „sans étendue“. „Si donc il nous était donné d'apercevoir les molécules intégrantes des différents corps soumis à nos expériences, elles présenteraient à nos regards des espèces de constellations; et en passant de l'infiniment grand à l'infiniment petit nous retrouverions dans les dernières particules de la matière comme dans l'immensité des cieux des centres d'action sans étendue, placés en présence les uns des autres.“¹⁹⁾ Man sollte meinen, das Hinabsteigen vom Unendlichgroßen bis zum Unendlichkleinen könnte nie auf letzte unausgedehnte Punkte führen, und selbst wenn hiermit ein Grenzübergang gemeint wäre, so wären doch diese letzten Punkte nicht schlechthin der Ausdehnung bar, sondern sie blieben auf ein extensives Kontinuum bezogen, sie müßten als das Gesetz der Ausdehnung enthaltend gedacht werden. Aber Cauchy fährt fort: „Dans l'opinion de M. Ampère les dimensions des atomes dans lesquels résident les centres d'action moléculaires ne doivent pas être considérées seulement comme très-petites, relativement aux distances, qui les séparent, mais comme rigoureusement nulles. En d'autres termes ces atomes qui sont les véritables êtres simples, dont la matière se compose, n'ont pas d'étendue.“ Auch er kommt also

¹⁹⁾ Fechner, Atomenlehre.

nicht über den Gegensatz und Widerspruch zwischen der Setzung schlechthin einfacher Atome und einer absoluten Ausdehnung in Gestalt des leeren Raumes hinaus. Dagegen hat Séguin mit Nachdruck auf die Ansicht Faradays hingewiesen: „Par cela même qu'il n'y a pas de limites possibles à la petitesse, que l'on peut assigner aux molécules des corps, n'est-il pas plus simple, plus naturel, plus élégant et même plus en rapport avec l'idée que nous avons des œuvres du Créateur, qui a dressé partout devant nous cette barrière infranchissable de l'infini ou de l'infiniment petit, contre laquelle notre esprit est obligé de venir sans cesse se briser, de considérer les dernières molécules des corps comme dépourvues de dimensions ainsi que M. M. Ampère et Cauchy l'ont admis ou mieux de les réduire à de simples centres d'action comme l'a fait M. Faraday?“. Hier tritt das Motiv deutlich zu Tage: das Unendlichkleine ist nicht als Instrument für den Aufbau des Objekts gewürdigt, und die Kontinuität erscheint fast wie bei Zeno als ein der Vernunft fremder Begriff, dem gegenüber sie machtlos ist. Das Unendliche ist die unübersteigbare Schranke, an der sich das Denken bricht. Dafür aber durfte sich Séguin nicht auf Faraday berufen, vielmehr gilt diesem das Gesetz der Kontinuität als oberstes Prinzip, das unumstößlich gelten muß, wenn anders ein widerspruchslloser Begriff von der Natur möglich sein soll. Seine Kraftzentra sind ihm nicht ein Mittel, durch eine absolute Setzung des Denkens den Knoten zu zerhauen, sondern sie selbst nehmen den Gedanken der Kontinuität in sich auf und erfüllen sich mit seinem Inhalt.

13. Zöllners elektrodynamische Theorie der Materie.

In heftiger und nach seiner Art ausfallender Weise hat sich Zöllner polemisch gegen die Faradaysche Theorie der Materie, wie sie von Thomson und Maxwell ausgebaut und vertreten worden ist, gewendet. Er selbst tritt für eine eigentümliche Atomistik ein, der es nicht an anregenden Gesichtspunkten fehlt, die aber in einer absonderlichen Ansicht vom Raume ihre Wurzel hat. Um sogleich das Positive herauszuheben, tritt diese Theorie mit dem Anspruch auf, alle Arten der physischen Phänomene durch das einigende Band eines universellen Kraftgesetzes zu umschlingen. Dieses Kraft-

gesetz ist aber im Unterschied von allen korpuskularen Strukturtheorien nicht dem Gebiet der Mechanik sondern der Elektrizitätslehre entlehnt. Das Grundgesetz glaubt Zöllner in der Weberschen Kraftformel, die dieser im Anschluß an Ampères Untersuchungen aufgestellt hat, gefunden zu haben. „Hierdurch verwandelt sich das zweite Buch zu einem Grundriß einer elektrodynamischen Atomistik, in welchem die allgemeinsten Gesetze materieller Veränderungen abgeleitet werden sollen aus der Hypothese, daß die letzten physikalisch nicht mehr teilbaren Elemente aller Körper die beiden Elektrizitätsteilchen $+e$ und $-e$ mit ihren trägen Massen ϵ und ϵ' sind. Ich hoffe hierdurch den inneren Zusammenhang aller Naturerscheinungen, welcher in den verflossenen dreißig Jahren im Prinzip der Erhaltung einer unveränderlichen Quantität der Energie zum Ausdruck gelangt ist, zu einer Identität des materiellen Trägers der Energie verallgemeinern zu können.“²⁰⁾

Auch zu dieser Generalisation habe Weber die Pforten geöffnet und die Wege gebahnt, indem er auf die Notwendigkeit hingewiesen habe, als den Träger der lebendigen Kraft, welche wir Wärme nennen, jene beiden Elektrizitätsteilchen zu betrachten. Zöllner rühmt es als ein Verdienst Webers, daß er die atomistische Hypothese, d. h. die diskontinuierliche Raumerfüllung der Materie zum Ausgangspunkt seiner Deduktionen gemacht habe. Darin fühlt er sich einig mit Fechner, der zwingende Gründe für diese Hypothese beigebracht, und mit Ampère, der diese Art der Atomistik in seinem Aufbau der Elektrodynamik wissenschaftlich vertreten habe. Ein vermittelndes raumerfüllendes Medium muß Zöllner schon um der Diskontinuität seiner Atome willen verwerfen, die Vermittlung und Bezogenheit der letzten Teilchen aufeinander kommt in dem Gesetz der Fernwirkung ausreichend zu ihrem Rechte. Auch hier also tritt uns im wesentlichen eine Atomenlehre von charakteristisch Newtonscher Färbung entgegen. Aber das Bild läßt doch schon deutlich die Züge des Verfalls und der Zersetzung erkennen. Neben echt modernen Gedanken stoßen wir auf eine Grundtendenz, die mit

²⁰⁾ Zöllner: Prinzipien einer elektrodynamischen Theorie der Materie. Bd. I, XXI.

einem Schlage die Perspektive ins Mittelalter oder selbst in eine vorwissenschaftliche Zeit aufzut.

Die Idee einer atomistischen Konstitution der elektrischen Ladungen hat besonders durch Helmholtz in der modernen Elektrizitätslehre Eingang gefunden und sich als wirksames Prinzip besonders in der Ionentheorie eingebürgert. Auch die Fruchtbarmachung der Elektrizitätsgesetze für den Aufbau der Chemie ist eine Anschauung, die in der Richtung Faradayscher und folglich moderner Gesichtspunkte liegt. Das Interesse am Stoff, das die Chemie in ihrer Weise vertritt, kann so dem Kraftbegriff unterworfen und damit in legitimer Weise befriedigt werden, und der Versuch einer Zurückführung der Gravitationsphänomene auf die Kraftgesetze der Elektrizität läßt die Forderung deutlicher hervortreten, auch innerhalb des Gebietes der ponderablen Materie einen reinen Aufbau aus gedanklichen Funktionselementen herzustellen, sofern noch immer, zwar nicht notwendig, aber doch tatsächlich die schwere Materie zu unexakten stoffhaften Vorstellungen von den Dingen den Anlaß hergibt, während die elektrischen Prozesse, als bloße Kraftverhältnisse, eine höhere Idealität an ihrem Teil erkennen lassen. Wenn nur nicht der ganze Anbau Zöllners auf schwankendem Grunde stünde! Die logische Mangelhaftigkeit stört auch hier das Ebenmaß der Teile, und die Diskontinuitäten ziehen sich wie ein gewaltiger Riß durch das ganze System, durch den man in eine unerquickliche Nachtansicht hineinblickt, aus der die dunklen Spukgestalten einer finsternen Welt emporsteigen. Das Grundgesetz der Kontinuität läßt sich nicht austilgen, und wer es verleugnen will, spottet seiner selbst. In der Definition der Fernkräfte liegt ein logischer Mangel, über den keine dialektische Spitzfindigkeit hinwegzutäuschen vermag. Schließlich sieht sich auch Zöllner zu diesem von ihm zuerst so heftig angefeindeten Zugeständnis gezwungen. „Es ist unbegreiflich, wie unbeseelter (inanimate) roher (brute) Stoff, ohne irgend eine sonstige immaterielle Vermittlung auf einen andern Körper ohne gegenseitige Berührung wirken kann“, ruft er mit seinem Meister Newton aus, und wie diesem bleibt ihm als letzte Auskunft nur die Idee Henry Mores von einem immateriellen Medium übrig, da er sich selbst den Weg zu einer

gesetzlichen Lösung verbaut hat. Der Gewaltstreich einer *μετάβασις εἰς ἄλλο γένος* muß die friedliche Lösung ersetzen. Die Atome selbst sind nur Schatten, die aus einer höheren mehrdimensionalen Raumwelt in die unsrige dreidimensionale hineinragen. Das Denken ist nur noch die Quelle des Truges, die Fessel, die uns, wie in der Höhle Platos, an die Wand geschmiedet hält, von der aus wir nur Schemen der wahren Dinge erschauen dürfen. Die Empfindung wird das legitime Erkenntnismittel, das den blassen Schatten Blut und Leben einhaucht. Die Atome winden sich in Schmerz, die Planeten umschlingen sich in Liebe und fliehen einander in Haß und Feindschaft wie beim alten Empedokles: „voilà dans ces molécules une image des atomes crochus d'Épicure engendrés par l'amour et la haine, des deux matières différentes d'Empédocle“ dürfen wir mit Motti ausrufen! (p. XXII.)

Hier aber ist die Wasserscheide, wo sich die Wege der Wissenschaft und des Mythos trennen. Diese Ansicht zerstört die Wissenschaft und wirft sie in die Kindheit des Geistes zurück. Die Materie ist das Gebild des Denkens, das in einer Anzahl von Voraussetzungen wurzelt, mit deren Hilfe wir die Gruppe des Bewußtseins studieren, die wir Natur nennen. Diese Voraussetzungen gilt es genau festzustellen, zu definieren und in ihrem gesonderten Beitrag für die Erkenntnis zu unterscheiden, wenn ein geordneter Fortschritt, ein „stetiger Gang“ der Wissenschaft möglich sein soll. Die erste Voraussetzung dazu ist die Absonderung des Materiebegriffs von dem allgemeinen Bewußtsein, von der Empfindung und den Lebensgefühlen der Lust und Unlust. Diese sind keine Größen, mit denen sich rechnen läßt, keine Erkenntnismittel, sondern die Bewußtseins-elemente, auf die alle Erkenntnis gerichtet ist. Wer mit ihnen erkennen wollte, der müßte erst zeigen können, was er eigentlich erkennen will. Es ist wieder die grobe Verwechslung von Erkenntnisgrundlage und Erkenntnisaufgabe, der sich Zöllner hier schuldig macht, und wir haben an ihm ein besonders drastisches Beispiel, wie all die überlebten Irrtümer vergangener Epochen wieder zurückkehren und sich unbemerkt wieder einschleichen, wo eine Lücke im Systembegriff der reinen Erkenntnisse übriggelassen ist. Es ist immer ein Abweg, wenn ein Motiv der Erkenntnis

unberücksichtigt bleibt, oder ihm eine falsche Selbständigkeit zugemessen wird. Die Erkenntnisfunktionen sind lediglich Beziehungsetzungen und als solche strikt aufeinander gespannt. Jede einzelne ist nur eine besondere Abwandlung der einen Grundrelation, in der sie alle zusammengehen, und aus der sie nur durch die Abstraktion herausgelöst werden können. Jede Verselbständigung eines solchen Denkmomentes führt zur Absonderung, Abgeschlossenheit, zum Absolutismus. Es ist lehrreich, diesem Gedanken nun auch in der Betrachtung neuerer atomistischer Strukturtheorien der Materie nachzugehen, die zwar die Idee der Fernwirkung fallen lassen, dafür aber zu dem ausgedehnten Korpuskel zurückkehren.

14. Die neuere Entwicklung der Atomistik.

Während die auf die *actio in distans* gegründete Atomistik Zöllners geradezu in die Mythologie einmündet, muß, wie wir gesehen haben, die Atomtheorie, welche die Nahewirkung beibehalten will, an den eigenen Klippen des Systems stranden. Das neue Zeitalter erhält vom Kontinuitätsgedanken seine Signatur. Dieser Gedanke richtet im Streite der Atomtheorien gleichsam zwei Fronten, einerseits gegen die absolut harten ausgedehnten Korpuskeln und andererseits gegen die unvermittelten Fernkräfte der Newtonschen Mechanik. Daneben haben sich freilich beide von uns gekennzeichneten Formen des Atomismus noch ein gewisses Ansehen bewahrt, indem sie den Kontinuitätsgedanken in irgend einer Gestalt in sich aufzunehmen versuchen und durch geschickte Vermittlungen und Anpassung an moderne Gesichtspunkte den Widersprüchen im eigenen Bezirke zu entgehen suchen. Hier sind als typisch zwei Unternehmungen hervorzuheben, eine Atomistik etwa Huygensscher Prägung durch neue Überlegungen zu stützen und aufrechtzuerhalten. Die eine geht von dem bekannten Astronomen Secchi aus und bezweckt eine mathematisch-physikalische Begründung der Atomistik durch Auflösung der Aporien, in welche die Durchbrechung der Stoßgesetze, unter Verletzung des Kontinuitätsprinzips, eine jede Erklärung aus atomistischen Anschauungen verstricken muß. Die Befreiung von den hier offen liegenden Widersprüchen soll eine sich an eine berühmt gewordene Abhandlung des französischen

Mathematikers Poinso^t anschließende Erwägung bringen können, der gemäß beim Zusammenstoß harter Körper die Erhaltung der Bewegung möglich wird durch den Übergang drehender in fortschreitende Bewegung. Demgemäß soll der Widerstreit mit dem Energieprinzip umgangen werden können.

Diese Ableitung leidet an einem Grundmangel. Sie erhebt einen ganz speziellen Fall zu der herrschenden Regel, und führt damit eine nicht geringe Anzahl unbewiesener Voraussetzungen ein, was immer das Kennzeichen einer schlechten Hypothese ist. Die Erhaltung der Bewegung ist nach Poinso^ts Untersuchung ein Fall unter vielen andern, die nicht auf eine solche Erhaltung führen. Andererseits ist bei Secchi das Bestreben nicht zu verkennen, die reinen Bewegungsverhältnisse selbst in den Mittelpunkt seiner Theorie zu rücken. Die frei schwebende Bewegung wird ohne zwingenden Grund noch mit dem Schwergewicht des ponderabelen Partikels belastet, dessen Verschwinden kaum eine merkliche Lücke im System zurücklassen würde. Indessen hat Lasswitz in erkenntniskritischer Tendenz eine Deduktion für die Anlegung des festen Raumstückes an das Subjekt der Bewegung zu leisten versucht, ein Unternehmen, das in einer inkorrekten Abstraktion seinen Ursprung hat. Das Atom soll für sich allein die Substantialität vertreten, während die Bewegung ausschließlich dem Denkmittel der Variabilität unterstehe. Danach ist jedoch die Substanz nicht funktional als ein Verhältnis zur Bewegung verstanden, sondern sie hat die Kraft erhalten, allein aus sich ein dinghaftes Gebilde, wie den Kleinkörper des Atoms hervorzubringen. Auch wird das Abprallen der harten Körperchen beim Zusammenstoß einfach als ein Prinzip ausgesprochen, was nicht zulässig ist, weil doch die Prinzipien der Mechanik nicht außer Kraft treten können, auch wenn beim Teilen der Materie bis unter die Schwelle des Sinnlichen herabgestiegen wird. Die Atome dürfen auch nicht etwa als elementare Partikel andern Gesetzen unterliegen, als die Großkörper, da sie, solange sie noch eine endliche Ausdehnung besitzen, der weiteren Analyse nicht entzogen bleiben können. Es kann also bei dem physikalischen Zustand der Härte, als letzter Voraussetzung, nicht sein Bewenden haben. Nicht der elastische Zustand muß durch den harten und festen, sondern

umgekehrt soll der feste durch den elastischen zur Definition und Erklärung kommen. Der Aggregatzustand der Gase wird also gegenüber dem der festen Körper als der einfachere anerkannt werden müssen. Oder anders ausgedrückt: die Elastizität der Materie muß zum Prinzip erhoben werden.

Die allgemeine Elastizität hat die allerinnerlichste Beziehung zur Bewegung, und in solcher Richtung des Gedankens wird sie von Sir William Thomson geradezu als Bewegung gefaßt und definiert. Dieser Forscher bemüht sich, die Phänomene der Elastizität an Modellen von Gyrostaten auch sinnlich anschaulich zu machen. Indem er die Gesetze der Bewegung, welche den Erscheinungen der Elastizität entsprechen, studiert, beobachtet er sie zunächst an festen Körpern; dann geht er weiter zu Kombinationen von starren und flüssigen Körpern über, und da endlich auch diese nicht zur Begründung der kinetischen Gastheorie ausreichen, läßt er schließlich die Annahme fester Körper ganz fallen und beschränkt sich auf die Betrachtung einer bewegten Flüssigkeit, der er eine (von ihm so genannte) irrotationale Zirkulation um einen idealen Raumpunkt auszuführen vorschreibt. Hier findet sich Thomson schon auf urbar gemachtem Boden. Im Jahre 1858 hatte Helmholtz die Gesetze der Wirbelbewegung in einer homogenen reibungslosen Flüssigkeit zur Ermittlung gebracht. Diese wegweisende Untersuchung hatte zu dem überraschenden Resultat geführt, daß Wirbelbewegung in einem Felde, dessen Kräfte ein Potential besitzen, wenn gleichzeitig kein Geschwindigkeitspotential vorhanden ist, nicht zerstört werden können. Indem nun Thomson an diese Abhandlung anknüpft, bildet er den neuen Begriff des Atoms als eines dynamischen Zentrums, d. h. er denkt sich die Atome als einfache oder vielfach mit einander verknötete und verschlungene Wirbel in einem kontinuierlichen Ätherfluidum.

Für die Beurteilung dieser Theorie werden nun ganz andre Gesichtspunkte maßgebend, als die, unter welche alle atomistischen Systeme älteren Stiles fallen mußten. Ein großer Vorzug hebt sie vor allen Dingen über die prinzipiellen Einwendungen gegen die landläufigen Vorstellungsweisen von den Atomen hinweg: die Ermöglichung einer streng durchführbaren Kontinuitätsbetrachtung.

Daher tritt sie auch nicht in einen nicht zu schlichtenden Gegensatz zu den Anschauungen Faradays, sondern sie läßt sich mit diesen in gewissem Sinne wohl vereinbaren. Ja die von Faraday gezogenen Richtungslinien haben die Forschung in ihrem Verlauf zu einer Auffassung geführt, welche die Annahme diskreter endlicher Quanten als gerechtfertigt erscheinen läßt. Die von Faraday begründete Ionentheorie ist in ihrem Ausbau der Antrieb zu einer ungemein fruchtbaren Weiterentwicklung der Elektrizitätslehre geworden. Helmholtz setzte zuerst seine Autorität für die Hypothese einer atomistischen Struktur der elektrischen Ladungen ein und gab damit den Anstoß zur Ausbildung der modernen Elektronenlehre. Die weiteren Aufklärungen, welche das Studium und die Erweiterung unserer Kenntnisse der elektrischen und magnetischen Phänomene in neuester Zeit gebracht hat, hat modernen Forschern wie Kayser u. a. die Vermutung nahe gelegt, daß selbst die ponderabele Materie letztlich aus elektrischen Elementarquanten aufgebaut sein könnte, eine Anschauung, welche die moderne Physik in die nächste Nähe der Faradayschen Ansicht von der Materie rücken würde, welcher in der von ihm angebahnten Elektrizitätslehre den Ausdruck für die fundamentale typische Form des physikalischen Wissens gefunden zu haben meinte. Nach seiner Auffassung ist der Raum von Kraftlinien durchsetzt, deren Bahnen der Verteilung eines bestimmten Zwangszustandes von Druck oder Zug entsprechen. Die Kraftlinien sind nun nach der neueren Ansicht „das wirklich Existierende“, „das selbständig Aktive“ (Richarz), welches das eigentlich physikalisch Reale zum Ausdruck bringt; die mit schwerer Materie beladenen Pole bezeichnen demnach nur die Stellen im Gewebe der Kraftlinien, nach denen diese konvergieren. In der Sprache der neueren Atomtheorie ließe sich diese Vorstellungsweise folgendermaßen interpretieren: Die Ätherwirbel entsprechen den Konvergenzstellen der Spannungslinien, und die von diesen während ihrer Bewegung ausgehenden Verschiebungen im umgebenden Medium sind die Kraftlinien, welche den Raum kontinuierlich durchdringen und erfüllen.

Zu solcher Bestimmtheit hat Faraday seine Theorie freilich nicht ausgebildet. Es wird sich kaum mehr entscheiden lassen, welche Stellung er selbst wohl zu einer so veränderten Gestalt der Atomlehre

eingenommen hätte. Daß sie jedoch nicht geradezu in der Disposition seines Begriffssystems lag, dürfte sich indessen aus gewichtigen Andeutungen annehmen und rechtfertigen lassen. Von logischer Seite lassen sich auch gegen diese Fassung des Atombegriffs gewisse Bedenken nicht unterdrücken. Besonders die Unzerstörbarkeit muß hierbei Anstoß erregen. Ist nicht das unauflösliche Atom doch ein Gebilde des Absoluten, das, streng als solches gefaßt, jeden Zeitpunkt als vollkommen determiniert und damit zugleich alle weiteren Faktoren des physikalischen Gegenstandes als schlechthin bestimmt zur Voraussetzung haben müßte? Andererseits würde die Erkenntnis oder die Entdeckung solch vielgestalteter, unzerstörlicher Wirbel die Nachforschung nach der Mannigfaltigkeit ihrer Formen und gegenseitigen Verhältnisse sowie deren Erklärung einfach abschneiden, da nach einer Entstehung dieser Einheiten nicht weiter gefragt werden könnte, und wir somit in Bezug auf eine letzte Vielheit und Gruppierung der Atome an einem wirklichen Ende wären.

Der Vergleich der Ätherwirbel mit einem Planetensystem legt die Frage nahe, ob es nicht am Ende doch befriedigender wäre, sich mit einer relativen aber doch ausreichend großen Konstanz, wie wir sie z. B. ja gerade am Planetensystem beobachten, zu begnügen und durch Abänderung der Voraussetzungen zu der modifizierten Annahme sehr beständiger aber doch auflösbarer Systeme überzugehen, wie sie von dem bekannten Physiker Crookes ausgesprochen worden ist. Dieser nimmt eine kontinuierliche Entstehung der chemischen Elemente durch Wirbelbildung an, eine Voraussetzung, die mit der neuesten Phase unserer modernen Elektrizitätslehre wohl in Einklang zu setzen wäre, durch die der Glaube an die absolute Sonderexistenz und Erhaltung der primären chemischen Elemente bedenklich ins Wanken gebracht worden ist.

In dieser Gestalt würde die Atomistik allen Anforderungen einer reifen und korrekten Erkenntnisgrundlage gerecht werden können. In dem Atom käme das Desiderat eines konstanten, sich erhaltenden, individuellen Geschehens genügend zu seinem Rechte, zugleich aber läge in der unaufhebbaren Relativität des Atombegriffs die unentbehrliche Garantie für die Aufrechterhaltung und Sicherung des Denkens. Damit könnte der Atomistik ein fester und recht-

mäßiger Platz im System der Erkenntnisbegriffe angewiesen werden. Sie fände ihren Ort unter den Hypothesen, den echten und fruchtbaren, in dem von Faraday selbst bezeichneten und anerkannten Sinne (vgl. Kap. I).

Die im letzten Kapitel nur kurz angedeutete Gedankenreihe weist jedoch schon auf die zentralen Partien des Faradayschen Begriffssystems hin und kann daher auch nur aus dessen positiven Aufstellungen letztlich verständlich werden. Der Verfasser muß es sich daher vorbehalten, noch ausführlicher auf die hier berührten Probleme zurückzukommen in einem Werk, das seinem Abschluß entgegengeht und das den Nachweis erbringen soll, was die moderne Logik von Faraday zu lernen haben wird.