

# Der Substanzbegriff in der neueren Physik und seine Grenzen

Von L. v. STRAUSS und TORNEY

## I.

Der Substanzbegriff hat in der Philosophie sowohl positive wie negative Einstellungen erfahren. Positiv war die Einstellung des alten Rationalismus, des Kritizismus, des Neukantianismus und des kritischen Realismus, etwa bei Becher und anderen. Ablehnend stand ihm der ältere Empirismus (Locke, Hume) gegenüber, in besonders hohem Grade der Positivismus. Die wissenschaftliche Entwicklung, für die lange Zeit die Physik bahnbrechend erschien, verlief ziemlich geradlinig; in der klassischen Physik war die Substanz selbstverständliche Voraussetzung der Wissenschaft. Da die Philosophie das Moment der Beharrlichkeit und die Unzerstörbarkeit als Kennzeichen der Substanz ansah, suchte die Physik nach Merkmalen, die dieser Forderung genügten. Das war in der Zeit der mechanischen Naturauffassung zunächst die Masse. Als die Physik sich dann später zur Annahme eines Feldes genötigt sah, wurde für das elektromagnetische Feld der Substanzbegriff zunächst problematisch; nachdem es gelang, Licht und Elektrizität als wesensgleiche Entitäten anzusehen, wurde der Substanzbegriff im Begriff des Äthers wieder lebendig; beim Studium der elektrischen und magnetischen Kräfte ging man dann so vor, daß die Vorgänge im Feld der maßgebenden Maxwellschen Gleichungen unmittelbar dem Substanzbegriff untergeordnet wurden; die klassische Interpretation der Maxwellschen Gleichungen konnte diesen Begriff nicht entbehren, welcher so zum substantiellen Träger der Fortpflanzung elektromagnetischer Vorgänge wurde. Die infolge der Ausdehnung des atomistischen Grundgedankens von H. A. Lorentz aufgestellte Elektronentheorie unterstrich sogar diese Vorstellung des Äthers noch besonders, erst die spätere Elektrodynamik bewegter Körper erkannte ihn als einen unmöglichen Begriff und gelangte nach dem bekannten Ergebnis des Michelson-Versuches in der speziellen Relativitätstheorie zu einer Verwerfung desselben. Aber noch Sommerfeld hielt im ersten Band seines Standardwerkes über Atombau und Spektrallinien das Elektron für den elementaren Baustein des Universums und sprach ihm ausdrücklich die Eigenschaft der Substantialität zu. — Erst die Quantenmechanik hat den Substanzbegriff vollends problematisch gemacht. Im Korrespondenzprinzip hatte bereits die ältere Quantentheorie eine methodische Verallgemeinerung gefunden, mit der das Verhältnis zwischen klassischer Theorie und Quantentheorie erhellt wurde. Wir glauben, daß dem Korrespondenzgedanken in der philosophischen Betrachtung der Physik auch heute noch weitgehende Bedeutung zukommt. Heisenbergs Quantenmechanik konnte als exakte Präzisierung des Inhaltes des Korrespondenzprinzips aufgefaßt werden. Sie sowohl wie die Wellenmechanik Schrö-

dingers, der zunächst eigene Wege ging, konnten mit dem traditionellen Substanzbegriff nichts anfangen; als Heisenberg den tieferen Sinn der Quantenmechanik in der Nicht-Objektivierbarkeit der Erscheinungen im Atomgebiet erkannte, ergab sich für den Substanzbegriff eine eigenartige Situation: einmal bleiben die klassischen Gesetze bei der Verifizierung der betreffenden Experimente in Kraft, somit auch die klassischen Begriffe von Raum, Zeit, Substanz in ihrer relativen Bedeutung; innerhalb der Atome selbst aber verbot die Nicht-Objektivierbarkeit die Feststellung eines Beharrlichen, Unzerstörbaren ja ohne weiteres und damit den alten Substanzbegriff. Indem das Korrespondenzprinzip sich als bahnbrechend und fruchtbar für die Atomtheorie erwies, zeigte es die erkenntnistheoretische Kraft des Analogiebegriffes. Über die Analogie mechanischer und quantentheoretischer Begriffe, wofür zum Beispiel die Verwendung des Hamilton-Prinzips in der Atomphysik ein treffendes Beispiel gewährte, gelang es, eine tiefere Erkenntnis des gegenseitigen Verhältnisses von Materie und Licht zu erlangen; aber die Analogie, die z. B. Elektron und Lichtquant aufweisen, wird ja keine Identität, und schon die Zunahme der Masse mit der Geschwindigkeit, die die Relativitätstheorie lehrte, hatte gezeigt, daß von einer eigentlichen Substanz als Ausdruck des Beharrlichen im Atomgebiet nicht gesprochen werden konnte. Die Zwillingsbildung wie die Vernichtungsstrahlung hat später diese Analogie daran vollends erwiesen. Wir dürfen nach den Ergebnissen der Heisenbergschen Theorie der Elementarteilchen heute sagen, daß es sich beim Elektron wie beim Lichtquant um Erscheinungsweisen eines und desselben zugrunde liegenden Etwas handelt; Heisenberg gelangt ja auch in seiner Theorie zu der Auffassung, daß es eine „Materie“ gebe, deren Erscheinungsweisen die Elementarteilchen seien. Könnte man dann annehmen, diese „Materie“ sei die gesuchte Substanz? — Nun hat sich aber gezeigt, daß von einer bestimmten Größenordnung an der Begriff der universellen Länge in die Theorie eintritt. Damit zeigt sich das schon vermutete Versagen raum-zeitlicher Bilder; aber die Heisenbergschen Untersuchungen zeigten, daß eine Reihe von Begriffsbildungen auch in einer künftigen Theorie ihre Geltung behalten mußten, z. B. die S-Matrix, die die Prozesse der Absorption, Emission und Streuung darstellt, und die Wechselwirkungsfunktion  $H(z)$ , welche in diesem Gebiet unterhalb der Elementarlänge gewissermaßen an die Stelle der exakten Kausalität tritt. Heisenberg spricht in seiner letzten Arbeit direkt aus, daß es sich „um eine neue Art von Fernwirkung über raum-zeitliche Bereiche handelt, die im normalen Hamilton-Schema noch beschrieben werden kann“. Schon hieraus ist zu ersehen, daß das Problem der kleinsten Länge sehr eng mit dem Problem der Raum-Zeit in der Physik überhaupt verknüpft ist. Es kann gezeigt werden, daß die Auffassung von Raum und Zeit auch einen Schnitt zwischen dem Gebiet der Elementarlänge und dem der Quantenmechanik hervorruft, ähnlich, wie der Schnitt zwischen klassischer und quantentheoretischer Auffassung bestand, der es erforderte, daß man mit Weizsäcker von einer „Persistenz der klassischen Gesetze“ sprechen kann, insofern nämlich jedes Experiment die klassischen Begriffe und mit ihnen auch die sehr ein-

geschränkte, relative Bedeutung der Substanz in ihrem Gebiet erfordert. Wenn Heisenberg aber z. B. (Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft, 8. Aufl., S. 91) einmal sagt, daß nicht dem rationalen Denken, sondern nur gewissen Denkformen ein engerer Anwendungsbereich zuzuweisen sei, so wird man zu diesen unbedingt den Substanzbegriff der älteren Form zu rechnen haben. Wenn wir überlegen, welche Begriffe in der Quantenmechanik an die Stelle der alten Substanz treten, so scheint der Begriff des Zustandes dazu am geeignetsten; so kann man etwa Heisenbergs Äußerung über die „allgemeine Materie“ im Gegensatz zu ihren Erscheinungsformen charakterisieren, die zwar auch eine Analogie darstellt, aber wegen der Verwandlungsfähigkeit der Elementarteilchen sich der Charakterisierung durch den Substanzbegriff entzieht.

Vergegenwärtigen wir uns die gegenwärtige Lage der Mikrophysik, die durch das Eindringen in Gebiete unterhalb der universellen Länge entstanden ist. Schon die Relativitätstheorie hatte ja gezeigt, daß man statt mit Raum und Zeit mit einer bestimmten „Raum-Zeit“ als einheitlichen Rahmen des physikalischen Geschehens rechnen kann; in der Quantenmechanik war man genötigt, einen Schritt weiter zu gehen. An den Unbestimmtheits-Relationen Heisenbergs erkannte man die grundsätzliche Verbindung der Raum-Zeit mit den dynamischen Eigenschaften der physikalischen Gegenstände. Man hat versucht, da in diesen Beziehungen das Wirkungsquantum die entscheidende Stellung einnimmt, diesem die Eigenschaft der Substanz zuzuschreiben; gewisse Äußerungen Bavincks können in diesem Sinne verstanden werden. Wir halten das nicht für zutreffend und schließen uns in der Hinsicht de Broglie an, der in seinem Buch „Physik und Mikrophysik“ sich sehr präzise hierzu geäußert hat (a. a. O. S. 129): „Da die Wirkung nicht einer Substanz ähnlich ist, deren Gesamtsumme erhalten bleibt (es gibt Erhaltung der Energie bei isolierten Systemen, aber keine Erhaltung der Wirkung), so hat dieser Wirkungsatomismus mit einem materiellen Atomismus nichts zu tun.“ Ein weiteres Problem, das durch die neuen Forschungen Heisenbergs aufgewiesen ist, betrifft die Frage, wie man sich die Wechselwirkung der Teilchen im Atomgebiet unterhalb der Elementarlänge vorstellen soll. Die S-Matrix der Heisenbergschen Theorie faßt nun die Aussagen über Streuung, Absorption und Emission am Teilchen zusammen, sie kann berechnet werden, wenn die Wechselwirkungsfunktion  $H(x)$  und die Vertauschungsfunktionen, diese in regulativer Form gegeben sind. Für die philosophische Deutung dieser Verhältnisse müssen wir uns darüber klar werden 1) wieweit in der jenseits der gewöhnlichen raum-zeitlichen Begriffe aufgestellten Physik eine Wechselwirkung stattfindet; einen ersten Hinweis gaben die Untersuchungen Heisenbergs über die Realität der Wechselwirkungsfunktion, die hinsichtlich der nichthermiteschen Teile von  $H(z)$  wesentlich vom kausalen Schema der Hamiltonfunktion abweicht und nach Heisenberg zu der Analogie einer gewissen Fernwirkung im Gebiet der Elementarlänge führt; 2) wie Eigengesetzlichkeit und Wechselwirkung der Teilchen in diesem Gebiet zusammenhängen. Der Verlust der Individualität gelangt in der Quantenmechanik als Folge

unzulänglicher Raumbegriffe entscheidend zur Wirkung. Innerhalb der klassischen Physik war man gewohnt, die Masse als fundamentale Eigenschaft des materiellen Punktes, als Ausdruck seiner „Individualität“ zu betrachten. Nun verliert der Begriff der Masse um so mehr seine Berechtigung, je intensiver die Wechselwirkungen der Teilchen untereinander sind. Nicht nur bei der Masse findet man dies ausschließende Verhältnis, wir dürfen allgemein nach de Broglie Wechselwirkung und Individualität als komplementäre Bilder der Wirklichkeit auffassen. Indem man die Wechselwirkungskräfte nicht durch Funktionen der Abstände ausdrücken kann, sie aber dennoch als wesentliches Moment in die Theorie der Elementarteilchen eingehen, erhebt sich die Frage, wie es der Wellenmechanik trotz dieser nicht vorliegenden Substantialität gelungen ist, für die Teilchen mit Wechselwirkung zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen. Bekanntlich gelang ihr das durch Einführung des Koordinatenraumes, was gleichbedeutend mit der Einführung der statistischen Methode in der Physik ist.

Es zeigt sich also, daß in der Physik, soweit sie „nach unten“ nicht mehr von der Quantenmechanik erfaßt werden kann, die Wechselwirkungsenergie von entscheidendem Einfluß wird. Wir werden das Gebiet, um einen bequemen Namen zu haben, als „Tiefenphysik“ bezeichnen. Wenn nun die Wechselwirkung in diesem Bereich als Analogie einer Fernwirkung über ausgeschlossene Bezirke erscheint, so bleibt zu fragen, ob das nicht direkt in metaphysisches Gebiet fällt. Sobald indessen die formalen Bedingungen der Theorie der Elementarteilchen — eben S-Matrix und Vertauschungsfunktion — innerhalb ihres Bereiches vorliegen, wird man auch hier Systeme für diese Bedingungen definieren dürfen. Damit ist natürlich keine raum-zeitliche Beschreibung dieser Prozesse gemeint, man wird nur sagen dürfen: innerhalb dieses Systems sind hier oder dort „Teilchen entstanden“, ohne sich auf eine Wechselwirkung mit primären Teilchen beziehen zu dürfen. Der Begriff der Wechselwirkung erhält hier einen rein symbolischen Sinn. So ist ein Prozeß nachweisbar, wobei der Prozeß im Mikrophysikalischen etwas anderes ist als der makrophysikalische, bei dem man Prozeß-Substanz und Zustand gewissermaßen zusammenfassen kann. Hieran klingt es an, wenn z. B. Nikolai Hartmann (Philosophie der Natur S. 121) sagt: „Wechselwirkung ist eine andere Art des Zusammenhangs der physischen Welt als die Ursächlichkeit und die Gleichartigkeit der Züge im Prozeßverlaufe.“ Wir stellen uns einen Kernprozeß vor, bei dem ein Proton und ein Neutron „in Wechselwirkung“ gedacht werden. Das frühere Feld der Quantenmechanik zeigte nun Divergenzen und daraufhin hatte Heisenberg vorgeschlagen, in der Theorie der Elementarteilchen nicht von einer Hamiltonfunktion, sondern von der S-Matrix auszugehen, was besagt, daß man die Einzelheiten eines im Prozeß auftretenden Elementargeschehens, also etwa die Verwandlung selbst als unbeobachtbar ansah und nur das asymptotische Verhalten zum Gegenstand der Theorie machte. Nun hatten Stückelberg und andere es wahrscheinlich gemacht, daß jede Abweichung vom Hamilton-Formalismus Umkehrungen der zeitlichen Reihenfolge zur Folge hat. Die erforderliche Vermeidung von

Divergenzen würde umgekehrt Abweichungen in der kausalen Reihenfolge veranlassen. Schon hieraus ist zu erkennen, daß die Wechselwirkung hier etwas anderes besagt als die mit der Kausalität eng verbundene Wechselwirkung der klassischen Physik. — Ein besonderes Problem entsteht, wenn man den Wechselwirkungsbegriff auf Gebieten unterhalb der elementaren Länge zu analysieren versucht. Eigentlich müßte die Wechselwirkung zum Zeitbegriff in irgendeiner Beziehung stehen; daß hier ein besonderes, noch ganz ungeklärtes Rätsel vorliegt, hat z. B. Eddington angedeutet (Naturwissenschaft auf neuen Bahnen S. 63): „Genau wie die Entropie des Weltalls niemals zu ihrem heutigen Betrag zurückkehren wird, so wird auch der Rauminhalt des Weltalls nie wieder zu seinem heutigen Betrage zurückkehren. Durch die Expansion des Weltalls gelangen wir auf einem unabhängigen Wege auf den gleichen Standpunkt zum Anfang und Ende der Dinge, den wir durch die Betrachtung der Entropiezunahme erreicht haben. Im besonderen scheint der Schluß unumgänglich, daß es einen wohldefinierten Anfang der gegenwärtigen Weltordnung gegeben haben muß. Die Theorie des expandierenden Weltalls bringt etwas Neues hinzu, nämlich eine Schätzung des Zeitpunktes dieses Anfangs . . . Die Tatsache, daß die Richtung der Zeit für das als ein einziges System betrachtete Weltall sowohl durch den zunehmenden Rauminhalt als auch durch die zunehmende Entropie angezeigt wird, legt nahe, daß es zwischen diesen beiden Merkmalen irgendeine noch nicht entdeckte Beziehung gibt.“ Mit dem Substanzproblem würde dieser Gedankengang dadurch in Verbindung treten, daß er auf das Ursprungsproblem der Materie hinweist.

Das Problem der Wechselwirkung ist philosophisch nicht oft bearbeitet. Einen unbedingt notwendigen Zusammenhang mit der Kausalität vermögen wir nicht anzuerkennen; jedenfalls liegt in der Wechselwirkung eine Dependenz auch dann vor, wenn Kausalität nicht angenommen wird. Der neue Zustandsbegriff der Quantenmechanik ist, vom Standpunkt des Substanzbegriffes aus gesehen, ja ein besonders schwieriges Problem; die lange Diskussion über die gegenseitige Beschränkung des Korpuskel- und des Wellenbildes sind hierfür ein sprechendes Beispiel. Wenn man Kohärenz als Form der Dependenz in der Wechselwirkung bezeichnet, so ist das ein berechtigtes Bild, insofern man dieselbe nicht als gegenseitige Implikation, sondern als gegenseitige Modifikation in gemeinsamer Auswirkung auffaßt. So gesehen, ist die Wechselwirkung etwas Primäres, Kausalität eine Einschränkung der Richtung nach. Nikolai Hartmann hat in seiner Schichtentheorie verlangt, daß jede Schicht der Welt ihre eigenen Kategorien besitzt, in diesem Sinne kann Wechselwirkung als eine Kategorie der „Tiefenphysik“ bezeichnet werden, die — wenn auch in abgeänderter Form — in der Quantenmechanik wie in der klassischen Theorie bestehen bleibt; beim Übergang in einen neuen Bereich wird der Umfang dann allgemeiner. Hier ergibt sich auch ein Hinweis auf das Verhältnis am Prozeß und Zustand. Im Prozeß besteht der Zustand — das Beobachten desselben ist ein „Ereignis“ —, und so können wir sagen, daß die „Observablen“ der Quantenmechanik (Dirac!) uns philosophisch als

Ereignisse bemerkbar werden. Wechselwirkung bedeutet gegenseitige Determinierung der Momente innerhalb von Zuständen, sie wird ständig aufgelöst und wieder zusammengefügt. Hierin finden wir symbolisch das Bild der Verwandelbarkeit der Zustände der Materie in der Theorie der Elementarteilchen. Der Übergang zur Kausalität ist nur im Fall der Verifizierung durch das Experiment zu beobachten. — Es ist immerhin auffallend, daß die Wechselwirkung so spät in das wissenschaftliche Bewußtsein aufgenommen ist. Das lag daran, daß der Physiker die von ihm untersuchten Zustände und Vorgänge isoliert, was nur im Absehen von anderen Zusammenhängen möglich ist. Erst die Quantenmechanik hat der Wechselwirkung einen fundamentalen Platz im Gesamtsystem der Erkenntnis gegeben. Nachdem man gelernt hatte, das Elektron als typisches Quantenphänomen aufzufassen, zeigte sich, daß die Teilchen, die sich aus der Quantisierung einer Wellengleichung ergaben, punktförmig sein mußten. So lange man keine Wechselwirkung der Teilchen annahm, ergab sich keine Schwierigkeit; bei Annahme einer Wechselwirkung mußte man mit Heisenberg Kräfte mit singulären Eigenschaften annehmen, wenn man die Forderungen des Kausalprinzips und der speziellen Relativitätstheorie mit dem Vorhandensein punktförmiger Teilchen vereinbaren wollte. Solche Kräfte neigen jedoch zu Divergenzen; Tomonaga Schwinger und Feynman haben Methoden der Renormalisierung entwickelt, die diese Divergenzen, wenigstens im Gebiet der Quanten-Elektrodynamik, weitgehend vermindern. Da auch die verschiedenen Elementarteilchen nach heutiger Auffassung durch Quantisierung eines Systems „Materie“ in ähnlicher Weise zustandekommen sollen, wie die stationären Zustände des Wasserstoffatoms durch Quantisierung der Bewegungsgleichungen, so ist es plausibel, daß die Kategorien der klassischen Physik in dieser „Tiefenphysik“, d. h. in einer Physik unterhalb der Elementarlänge versagen und durch weitgehendere Begriffe ersetzt werden müssen. Daß hierzu mit in erster Linie der Substanzbegriff gehört, erscheint uns sicher.

Die Frage, ob eine Kategorienbildung der Physik in diesem Bereich vorzunehmen ist, ist damit aber noch nicht erledigt. Daß die Physik ein Arbeiten über einem irrationalen Grund ist, ist heute wohl die Überzeugung aller tiefer denkenden Physiker. Die Möglichkeit, von „Ereignissen“ in einer raum-zeitfremden Welt zu sprechen, ist selbst so fern aller Veranschaulichung, daß viele geneigt sein werden, anzunehmen, daß mit solchen Begriffsbildungen der Bereich der Metaphysik erreicht ist. Soweit aber in diesem Bereich überhaupt Begriffsbildungen möglich sind — und die S-Matrix wie die Wechselwirkungsfunktion  $H(z)$  sind Beispiele dafür —, werden sie keinen anschaulichen Charakter tragen. Wir glauben nicht, daß solche unanschaulichen Begriffe schon als metaphysische anzusehen sind. Echte metaphysische Begriffe sind etwa die Fragen des Ursprungs. In dieser Hinsicht ist ein Vortrag des Münchener Philosophen Aloys Wenzl aufschlußreich geworden, den er im Sitzungsbericht der Bayer. Akademie der Wissenschaften (Jg. 1950, Heft 6) unter dem Titel „Fundamental-Ontologie oder Ende der Metaphysik?“ veröffentlicht hat. Hier beruft er sich auf gewisse Anregungen des Bremer philo-

sophischen Kongresses (S. 13): „Auf dem ... Philosophenkongreß in Bremen hat ein Gesprächspartner des Symposiums von Metakategorien der Ordnung gesprochen. Nun, das ist ein formaler Ausdruck, aber er verrät, daß wir von der Wissenschaft selbst her gedrängt werden zur Einordnung des Seienden in Begriffe, für die wir keine Anschauung mehr haben, in ein überindividuelles Sein, mit dem wir nur durch Analogie einen Bedeutungsgehalt verbinden können, indem wir eine Dimension, wie man dann sagt, unterdrücken und ihn dann in Analogie zu einer zweidimensionalen Kugeloberfläche behandeln.“ Die S-Matrix ist ja selbst nichts anderes, als eine, allerdings nicht einfache, Definition des Zustandsbegriffes; und die von Heisenberg entdeckte Fernwirkung über raum-zeitliche Begriffe von der Größenordnung der Elementarlänge ist jedenfalls Ausdruck eines nicht mehr anschaulich zu beschreibenden Zustandes. Deshalb erscheint uns der von Wenzl geschaffene Begriff einer Fundamental-Ontologie wohl eine geeignete Grundlage für die Fixierung solcher Begriffe zu sein. Denn auch Tiefenphysik ist Physik, aber sie geht in ihrem Gebrauch der Analogie über das hinaus, was die ältere Quantentheorie noch erforderte: die Meßbarkeit der Erscheinungen. Erst jenseits dieses Gebietes liegt der Bezirk, den wir als die metaphysische Grundlage auch der Physik begreifen müssen. Metaphysik ist die Frage nach Grund und Sinn der Gesamtwirklichkeit, und gleichzeitig eine aus Ergebnissen der Einzelwissenschaften geforderte und als wahrscheinlich gedachte, jedenfalls mögliche Synthese eben dieser Ergebnisse. Ein echtes metaphysisches Problem in diesem Sinne ist das des Ursprungs. Im Sinne einer solchen Synthese sind die folgenden Ausführungen gemeint, die an Äußerungen in unserer Schrift über den „Wandel in der physikalischen Begriffsbildung“ anknüpfen. Dasselbst heißt es, daß die eigentliche Realität der Physik nur die vierdimensionale Ordnung der Relativitätstheorie und das Wirkungsquantum seien. Gegenüber dem Einwand, daß mit der Elementarlänge und der Elementarzeit, doch Raum und Zeit als unabhängige Grundbegriffe eingeführt seien, kann man allerdings sagen, daß umgekehrt die Individualisierung der einzelnen Quanten, die ihre Einordnung im Ordnungsschema ermöglicht, das Urphänomen ist, das sich uns Menschen in der uns eigentümlichen Sinneswelt, also in der klassischen Physik, als Raum-Zeit-Ordnung präsentiert. Wenn Bavinck die Raum-Zeit durch Wirkungsquanten erst konstituieren läßt, so hatten wir das als eine gewisse Annäherung an Leibnizsche Ideen bezeichnet. Darüber noch einige Worte! Es bestehen, wenn man die „Tiefenphysik“ zur Metaphysik zu erweitern sucht, mehrere Möglichkeiten, welche naturgemäß nicht die gleiche Sicherheit für sich in Anspruch nehmen können, wie eine auf Erscheinungen und ihre Deutung gegründete Theorie: 1) wir legen der „Tiefenphysik“ als metaphysische Erweiterung das „ἄπειρον“ zu Grunde, als ein unobjektiviertes Sein, welches die Zustände erst aus sich entläßt und erst auf dieser Grundlage zur Entstehung und zum Begriff des Teilchens gelangt; 2) wir gehen von der Erweiterung der atomistischen Lehre ins Metaphysische aus und gelangen damit zu einer Art Erneuerung der Äther-Hypothese, um nun zum Übergang von dem undifferenzierten Sein zu den Teilchen zu gelangen, oder zu einer

Renovierung der Leibnizschen Monadologie, mit dem Unterschied, daß die Fensterlosigkeit der Monaden durch das Feld ersetzt wird, das der Monade gegenüber physikalische Realität besitzt; 3) wir gehen von den Erscheinungen auf ihren Ursprung aus, um möglichst lange metaphysische Hypothesen zu vermeiden. Das führt in die Nähe kosmologischer Hypothesen (Lemaître, Jordan u. a.) und unterstreicht die Bedeutung aller Ursprungsfragen für die Erkenntnis. Hier findet auch die physikalisch bereits beobachtete Expansion des Weltalls ihren metaphysischen Ort. Wenn wir uns die seinsmäßige Grundlage der Teilchen nur in einer Modernisierung des Leibnizschen Monadenbegriffes veranschaulichen können, so ist solche Vorstellung allerdings kein Modell der Welt, sondern bestenfalls ein Symbol derselben. Sie umfaßt das Verhältnis des zur physikalischen Tatsache gewordenen Elementarteilchens zu dem, was Heisenberg die allgemeine Materie nannte, in Begriffen der „Tiefenphysik“ ausgedrückt, darüber hinauszugehen, wäre auch Metaphysik nicht imstande, die auch Grenzen besitzt. Metaphysische Fragen entziehen sich wesensmäßig dem Begriff der Messung; dabei bleibt zu beachten, daß viele Erkenntnisse, die lange Zeit als metaphysisch galten, sich im Laufe der Entwicklung der Erkenntnis als berechenbar erwiesen. In diesem Sinne war Leibniz' Monadologie eine Metaphysik der Erkenntnis, die keines Beweises fähig war; wir sehen als berechtigten Kern der Leibnizschen Idee den Begriff dynamischer Wirkung an, auf den wir wieder im Wirkungsquantum der modernen Physik gestoßen sind, der nicht weiter ableitbar ist. Und wenn wir den letzten Ursprung der vom Atom dargestellten Ganzheit nur in Hypothesen ahnen können, so ist auch das Metaphysik. Wenn wir dem Substanzbegriff nur eine relative Bedeutung in der klassischen Physik und allenfalls in der älteren Quantentheorie zuzubilligen vermochten, so entfällt derselbe in der neueren Physik zu Gunsten der unanschaulichen Wechselwirkungsfunktion in der Theorie der Elementarteilchen, um vollends als „hinter den Erscheinungen wirkende Kraft“ in einer Metaphysik der Erkenntnis als Ursache der Wirkung, des dynamischen Verhaltens der Welt angesehen zu werden. Hier können wir in der Tat die Leibnizschen Begriffe der primitiven und der derivativen Kraft wieder aufleben lassen. Primitive Kraft im Sinne dieses Unterschiedes ist die von ihm in den Organismen als individuelles Gebilde angenommene; von ihr, die als ursprüngliche Kraft des Geistes angesehen wurde und die eine auf sicheren Stufen sich zeigende Verallgemeinerung oder Überbauung der physikalischen Kraft bedeutete, unterschied Leibniz die derivative Kraft, die er als eigentliche Naturkraft ansah und die sich restlos in physikalischen Begriffen darstellen ließ. Die primitive Kraft würde also, in unsere Anschauungsweise übertragen, die Wirkungsweise sein, die rein metaphysisch dem Werden aus dem Ursprung zu Grunde liegt, ohne sie exakt fassen zu können, die derivative Kraft alles, was in der Physik als Kraft oder analoger Begriff erfaßt wird. In unserer genannten Schrift haben wir gelegentlich (a. a. O. S. 86) den Bavinschen Gedanken, das Elektron als Ereignis aufzufassen, als verwandt mit der Leibnizschen Monadologie dahin gekennzeichnet, daß wir Raum, Zeit und Materie als derivative Kräfte, das

Wirkungsquantum als primitive Kraft ansahen. Wir glauben heute, diese Auffassung nicht mehr aufrecht erhalten zu können, da sie das Wirkungsquantum zu einer metaphysischen Größe machen würde; da dieses indessen meßbar ist, ohne Substanz zu sein, erscheint uns jene Gegenüberstellung nicht verbindlich; die Kraft, die wir im Ursprung annehmen und die echt metaphysischen Gehalt trägt, ist nicht das Wirkungsquantum, sondern die unbegreifliche Macht, die wir als Forderung für die Existenz des Wirkungsquantums selbst annehmen müssen. Die religiöse Auffassung ist dadurch in keiner Weise beeinträchtigt, denn die metaphysische Deutung der Welt ist nur eine Schilderung des Werdens dieser Welt in quasi-wissenschaftlichen Begriffen, die menschlicher exakter Erkenntnis sicherlich nicht zugänglich ist.

## II.

Wir stellen noch einmal unsere, an der Kritik des Substanzbegriffes gewonnene Deutung der physikalischen Erkenntnis zusammen:

I. In der klassischen Physik gilt, gewonnen am Begriff der Masse, weitergeführt an dem der Ladung, ev. der Energie, ein relativer Substanzbegriff, der weitgehend durch die Erkenntnisse der realistischen Philosophie veranschaulicht werden kann.

II. In der Relativitätstheorie erschien zuerst der Substanzbegriff zweifelhaft. Sie konnte als Feldtheorie schon in der älteren Deutung — man denke an Weyls Interpretation — nicht von der Individualität eines Teilchens sprechen, ohne mit ihren eigenen Voraussetzungen in Widerspruch zu treten. Seitdem der Ätherbegriff, der — ursprünglich der Theorie des Lichtes entnommen und später auch auf andere physikalische Disziplinen ausgedehnt — gegenüber experimentellen Erfahrungen nicht mehr aufrecht erhalten werden konnte, wurde der Substanzbegriff auch in der Relativitätstheorie abgelehnt. In der ersten Zeit war noch ein gewisses Schwanken bemerkbar, so hält Winternitz in seinem Buch „Relativität und Erkenntnislehre“ (S. 178) zwar nicht mehr „die vage numerische Identität des Dinges, wohl aber die quantitative Erhaltung der Substanz noch für möglich. Doch wußte auch die raum-zeitliche Verknüpfung der Relativitätstheorie mit dem traditionellen Substanzbegriff nichts mehr anzufangen. Es ist auch vom Standpunkt der Relativitätstheorie vorzuziehen, von „Weltlinien“ als Folge von Ereignissen anstatt von Dingen oder Substanzen zu sprechen. Die von der Relativitätstheorie gelieferten Formgesetze des Naturgeschehens in Koinzidenzen haben dazu beigetragen, den Gegensatz von Körper und Feld überhaupt zu beseitigen. Die Welt ist nun nicht mehr eine Welt konstanter Dinge, sie ist zu einer Welt von „Ereignissen“ geworden, deren jedes durch vier gleichgeordnete Koordinaten bestimmt wird. Räumlichkeit, Zeitlichkeit und Materialität lassen sich in der Relativitätstheorie nicht mehr wie Stücke behandeln, aus denen die physikalische Wirklichkeit zusammengesetzt ist. Cassirer hat diese Ablehnung des Substanzbegriffes prägnant zum Ausdruck gebracht (Philosophie der symbolischen Formen, Bd. III, S. 352), im Einklang mit seiner Auffassung über die Umwandlung des substantiellen in funktionales Denken:

„Das, wovon wahrhaft und endgültig Beharrlichkeit ausgesagt wird, ist kein Dasein mehr, das sich im Raum und in der Zeit ausbreitet, sondern es sind jene Größen und Größenbeziehungen, die die universellen Konstanten für jegliche Beschreibung des physikalischen Geschehens bilden. Die Invarianz solcher Beziehungen, nicht die Existenz irgendwelcher Einzelwesen, bildet die letzte Stufe der Objektivität.“ Damit ist der Substanzbegriff der älteren Physik auch in der Relativitätstheorie als unbrauchbar erwiesen.

III. Die Quantentheorie hat zuerst eine ähnliche Entwicklung durchgemacht; sie versuchte, in ihrer älteren Phase — die durchaus eine Physik der Modelle war —, die Begriffsbildungen der klassischen Theorie noch aufrecht zu erhalten. Ihr Elektron war in diesem Sinne noch Ursubstanz der Welt, damit Substanz im traditionellen Sinn, wie ja Sommerfeld noch betonte. — In der Periode der Quantenmechanik trat dieses substantielle Denken völlig zurück. Allerdings war die Quantenmechanik in der ersten Zeit ihres Bestehens von einer Theorie der Elementarteilchen und der Erkenntnis ihrer eigenen Grenzen nach unten hin noch weit entfernt. Dennoch sprach sie den Atomen wie den Elektronen nicht mehr die einfache Objektivierbarkeit zu und damit die Möglichkeit, den Substanzbegriff streng anzuwenden. Heisenberg äußert sich in seinem Vortrag über „Die Einheit des physikalischen Weltbildes“ (Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft, 8. Auflage, S. 79) dahin, „daß ein Atom nicht in demselben Sinn ein unserer anschaulichen Vorstellung zugängliches Gebilde ist, wie ein Gegenstand der täglichen Erfahrung. Dem Atom, oder richtiger: dem kleinsten Baustein der heutigen Atomphysik, dem Elektron, kommen nach dieser Theorie auch die einfachsten geometrisch-mechanischen Eigenschaften nicht mehr „an sich“ zu, sondern nur in dem Maße, in dem sie durch äußere Eingriffe der Beobachtung zugänglich gemacht werden.“ Man erkennt aus der Art und Weise, wie die Natur durch die mit jeder Beobachtung notwendig verbundene Störung das anschauliche Bild des Atoms unserem Zugriff entzieht: „Das Atom kann nicht mehr ohne Vorbehalt als ein Ding im Raum, das sich in der Zeit in angebbarer Weise verändert, objektiviert werden. Nur die Resultate einzelner Beobachtungen lassen sich objektivieren, sie geben aber nie ein vollständiges anschauliches Bild.“ Dadurch ist in einem Blick die Nichtangemessenheit des Substanzbegriffes für die Quantenmechanik gekennzeichnet. Daß er gleichwohl wie die übrigen klassischen Begriffe eine relative Bedeutung im experimentellen Bereich der Verifizierung physikalischer Tatsachen behält, hat Weizsäcker als „die Persistenz der klassischen Gesetze“ bezeichnet und muß hier als korrespondenzmäßiges Verhalten der Quantenmechanik zur klassischen Physik in Erinnerung gebracht werden.

IV. In der Theorie der Elementarteilchen gelangt auch diese korrespondenzmäßige Darstellungsweise nur noch in sehr beschränktem Maße zur Anwendung. Aber die fast schrankenlose Verwandelbarkeit der Teilchen verhindert schon die Anwendung des Substanzbegriffes. Indem gewisse Teile der Quantenmechanik auch in der künftigen Theorie Geltung behalten sollen, wozu nach Heisenberg die S-Matrix und die Wechselwirkungs-Energie ge-

hört, während Kausalität und raum-zeitliche Darstellung in dem Gebiet unterhalb der Elementarlänge nicht mehr zur Anwendung gelangen, sehen wir uns auf die oben erwähnte Fundamental-Ontologie angewiesen, die Begriffe aufstellt, die zwar unanschaulich sind, aber analog den Begriffen früherer Bereiche (also der Quantenmechanik und der klassischen Physik) gedacht werden können. Der Begriff des Zustandes außerhalb raum-zeitlich begrenzter Gebiete sowie die Wechselwirkung gehören zu solchen Analogien.

V. An dieser Grenze liegt zugleich die Grenze physikalischer Wissenschaft. Was über dieselbe hinaus noch hypothetisch zum Zweck der Gewinnung eines einheitlichen Weltbildes erreicht werden kann, ist Metaphysik, die wir also nicht ablehnen, vielmehr als den der physikalischen Erkenntnis zu Grunde liegenden irrationalen Rest ansehen. Zu solchen, nur metaphysisch zu behandelnden Begriffen gehört auch die Teleologie im Aufbau der Natur. Die Auffassung der Physiker wie der Philosophen zu diesem Begriff hat stark gewechselt, doch scheint in der letzteren Zeit eine stärkere Hinneigung zu teleologischen Begriffen vorzuliegen, wofür Arbeiten wie die des Physikers Leeliger, unter den Philosophen Bavinks und A. Wenzls zeugen. Auch ein Forscher vom Range Plancks gelangt zu einer Anerkennung solcher Denkweise in der Physik: „Wir wollen nur feststellen“, führt er aus (Religion und Naturwissenschaft S. 26), „daß die theoretisch-physikalische Forschung in ihrer historischen Entwicklung auffallenderweise zu einer Formulierung der physikalischen Ursächlichkeit geführt hat, welche einen ausgesprochen teleologischen Charakter besitzt, daß aber dadurch nicht etwa etwas inhaltlich Neues oder gar Gegensätzliches in die Art der Naturgesetzlichkeit hineingetragen wird.“ — Während wir den Substanzbegriff in der Quantenmechanik als unzulässig erkannten und in der „Tiefenphysik“ seinen Rest nur noch im Begriff des Zustandes fanden, scheint er in der Metaphysik ganz zu entschwinden. Doch kann die Leibnizsche Monade noch dazu dienen, in ihr eine keimhafte Analogie zu erblicken. Wir werden die Monade als Keim der Materie ansehen und sie also zunächst den anorganischen und organischen Körpern zu Grunde legen. Dabei werden wir auch in unseren metaphysischen Überlegungen gewisse Modifikationen an dem Leibnizschen „Modell“ der Monade vornehmen, vor allem ihre „Fensterlosigkeit“ streichen, da sie ja das metaphysische Analogon des Wirkungsquantums sein soll. Daß die atomistische Struktur der Materie bei Hypothesen über die Natur der lebendigen Organismen berücksichtigt werden muß, ist selbstverständlich. Indessen ist die Abwandlung, die die physikalische Natur der Lebewesen im Körper erleidet, bedeutend und zugleich zur Zeit so außerhalb der Möglichkeit eines experimentellen Nachweises liegend, daß hier der Boden für universelle metaphysische Hypothesen gegeben ist. Substantiell sind auch solche Lebensdeutungen, wie wir sie z. B. Bohr und Jordan verdanken, natürlich nicht zu verstehen. Jordan gelangte schon 1925 zu der Auffassung, „daß die eigentlich zentralen Lebensvorgänge nicht mehr ins Gebiet der Metaphysik fallen, sondern Prozesse innerhalb der Atome sind“ und daß die dafür in Betracht kommenden Strukturen durchweg von größter Feinheit sind. Er vermutet im lebendigen

Plasma sogenannte „Verstärker-Einrichtungen“, die es ermöglichen, daß aus den subatomaren „Bio-Impulsen“ makroskopische Wirkungen entstehen. Nach der Quantenmechanik erfolgen diese zentralen Vorgänge akausal, so daß die Frage nach den Ursachen der Bio-Impulse gegenstandslos würde. Nun hat Bohr ebenfalls aus den Voraussetzungen seines Komplementaritätsbegriffes es für wahrscheinlich unmöglich gehalten, auch mit den Begriffen der Quantenmechanik die Gesetzmäßigkeiten des Lebens zu verstehen, weil wir den Zustand eines lebendigen Körpers nicht im atomaren Maßstab definieren können. Schon diese Äußerung ist ein Hinweis darauf, daß das innerste Lebensgeschehen, wie ja auch die letzten „Ereignisse“ der Mikrophysik sich dem raum-zeitlichen Charakter der makroskopischen Erscheinungen entziehen. Eine Theorie Weyls, die noch unter dem Einfluß der Relativitätstheorie entstand, hat durch die Ergebnisse der Quantenphysik und noch mehr durch die Theorie der Elementarteilchen weitgehende Bestätigung gefunden. Nach ihr sind die letzten Geschehens-Elemente der physikalischen Wirklichkeit nicht raum-zeitlich — unser Begriff der „Tiefenphysik“. Ein felderzeugendes Teilchen soll nichts von Ausdehnung des Räumlichen besitzen, wohl aber in einem räumlichen Feld stecken. Solche Auffassungen mußten unwillkürlich zu metaphysischer Fortsetzung drängen, und in der Tat sprach Weyl in seiner Studie „Was ist Materie?“ die Vermutung aus, daß das felderregende Innen seinem Wesen nach vielleicht Leben und Wille sei; Woltreck führt in seiner „Ontologie des Lebendigen“ unter allgemeinsten Zustimmung zu diesen Gedankengängen aus, daß man „vielleicht die komplizierten Erscheinungen „Leben“ und „Wille“ mit etwas so Elementarem und Undifferenziertem wie dem unräumlichen Partikel-Innern vergleichen kann, daß man aber nicht das Einfache und Undifferenzierte mit dem Namen des Komplizierten belegen darf“ (a. a. O. S. 277). Uns scheinen weitere Ausführungen Woltrecks hinsichtlich der biologischen Bedeutung der Bio-Impulse die Vermutung nahe-zulegen, daß — wie ein physikalischer Primärvorgang jedenfalls aus den Materie-Einheiten unräumlich verstanden werden muß — eine analoge Beziehung für die unräumliche Wirksamkeit vitaler Impulsquellen nicht von der Hand gewiesen werden mag: „Nur ist hier das Unräumliche, so unvorstellbar es bleibt“, führt er aus (a. a. O. S. 278), „uns aus dem Erleben von Drang und Wollen, Gefühl und Vorstellung, Denken und Werten unmittelbar vertraut, allerdings in einer physischen Prägung, die von den elementaren Feldquellen und auch von den vitalen Quellen der Körper-Impulse durchaus verschieden ist. Aber wenn wir das zentrale Lebensgeschehen nun vermutungsweise in die Mitte stellen, zwischen das elementare Ursprungsgeschehen aus den Feldquellen der Korpuskeln und das hochdifferenzierte psychische Ursprungsgeschehen aus den Impulsquellen der eigenen Seele, so erhalten wir vielleicht eine ontologisch befriedigende Deutung der fundamentalen Lebensdynamik.“ Das zeugt dafür, daß das vermutete unräumliche Innen der Organismen von den Feldquellen der Physik sehr verschieden ist, und ebenso ist klar, daß bei der Annahme eines solchen „Innen“ für eine substanzartige Deutung der Lebewesen kein Raum mehr ist: Ganzheit ist nicht gleich Substanz! Nur in

dem unklaren Sinne des gewöhnlichen Lebens, in dem man von „lebendiger Substanz“ spricht, was etwa das gleiche bedeutet, wie Plasma u. dergl., liegt eine schwache Andeutung des Substanzbegriffes der Philosophie, die aber den hier vorausgesetzten Charakter der Beharrlichkeit vollkommen vermischen läßt.

Der metaphysische Charakter dieser Annahme tritt noch mehr in Äußerungen Wolterecks hervor, die den Primärvorgang des Lebens ontologisch als „fortwährenden Ursprung“ (a. a. O. S. 278) verstehen möchten. Das ist u. E. eine sehr zweckmäßige und verständliche Auffassung, die auch geeignet ist, eine Brücke zwischen anorganischem und organischem Geschehen — bei voller Anerkennung ihrer durch den Schichtenbau veranlaßten Verschiedenheit ihrer Seinsweisen darzustellen. Der Erforschung der Kategorien des Lebendigen, die noch sehr wenig entscheidende Fortschritte aufweist, ist durch solche metaphysische Annahmen kein Abbruch getan. Jedenfalls gehört die nähere Definition des Ursprungs zu den Kategorien, die für biologische Zwecke auch in Frage kommen. Der Ursprung der Wirklichkeit räumlicher und nicht-räumlicher Art aus dem unräumlichen Innen aller Arten und Zentren gehört zu den Kategorien, die sowohl für Physik wie für Biologie eine metaphysisch-kosmologische Wirklichkeit symbolisieren: „Leben ist“, führt Woltereck aus (a. a. O. S. 285), „fortwährender Ursprung aus dem Innen ins Außen und innerhalb des subjektischen Innen.“ Wir müssen uns daran gewöhnen, daß jedes Wesen, jede Werdebestimmung im Unräumlichen wurzelt, aus dem unräumlichen Innen hervorgeht. Die ontischen Zentren, die eine solche Auffassung annimmt, sind schöpferische, nicht mikrophysikalische, sondern unterhalb der Mikrophysik liegende Entitäten, seien es Ideen oder Entelechien, die nur als Analogien zu den wissenschaftlichen Begriffen der Physik und der Biologie verstanden werden können. Eben dies Verhältnis haben metaphysisch orientierte Forscher im Auge, wenn sie von „Emergenten“ sprechen, die im Laufe einer bestimmten Entwicklung Neues und Schöpferisches darstellen sollen. Bawinck meint (a. a. O. S. 493), daß man es unter dem Gesichtspunkt zeitloser Ewigkeit ebensogut als „Entelechie“ ansprechen könnte, ein Ausdruck, der heute von biologisch interessierten Philosophen, z. B. von Driesch, Wenzl u. a. wieder vielfach aufgenommen wird. Wir brechen hier ab, um uns nicht ins Uferlose zu verlieren; diese Frage, auf die uns das allmähliche Verschwinden des Substanzbegriffes gebracht hat, kann in der Tat nur in einem besonderen Buch behandelt werden. Der Gedanke des Ursprungs, den wir auch mit dem der „Materie-Erzeugung“ verbunden wissen, ist schließlich ein Gedanke, der uns zu unlösbaren Problemen führt; denn keineswegs ist ja jedes Welträtsel auch lösbar, es kann auch als Frage bestehen bleiben. Die Entwicklung der Wissenschaft bürgt dafür, daß auch ein Verstummen vor dem Unergründlichen, das wir nach Goethe nur „ruhig zu verehren“ haben, kein Aufgeben des Forschens bedeutet, sondern eben eine Frage — wie jedes „Gebiet“ aus dem Dunkeln ins Licht führt, so wird auch jede Wissenschaft, entspringend aus der grundlosen Tiefe des Irrationalen, uns zur Helle und Erkenntnis führen!