

Individualität und Wechselwirkung im Bereich des materiellen Seins

Von Wolfgang Büchel S.J.

Angesichts der Tatsache, daß vielfache Wandelbarkeit eine charakteristische Eigenschaft der Elementarteilchen der modernen Physik darstellt, erhebt sich für die scholastische Naturphilosophie die Frage, ob diese Verwandlungsprozesse (z. B. die Verwandlung eines Gamma-Quants in ein Elektron-Positron-Paar) als substantielle oder akzidentelle Veränderungen, als Wesenswandel oder Zustandsänderung aufzufassen seien. Dabei wird gewöhnlich vorausgesetzt, daß die betrachteten Teilchen individuell-selbständige Substanzen darstellen; nur unter dieser Voraussetzung ist ja die Frage nach einer etwaigen substantiellen Veränderung überhaupt sinnvoll. Gegenüber der Auffassung der materiellen „Teilchen“ als individuell-selbständiger Substanzen erheben sich jedoch vom spekulativen wie vom empirischen Standpunkt aus Bedenken, wenn man das Wechselwirkungsgeschehen im materiellen Bereich in die Betrachtung einbezieht; dem Studium der hier auftretenden Fragen ist der vorliegende Artikel gewidmet. Wenn sich dabei die Annahme aufzudrängen scheint, daß die gesamte materielle Welt als solche, d. h. als materielles Sein, eine einzige Substanz im philosophischen Sinn darstelle, so ist sich Verf. der Fremdartigkeit dieser Auffassung bewußt und stets zur Anerkennung eines besseren Lösungsansatzes für die aufgeworfenen Fragen bereit — vorausgesetzt nur, daß der Gesamtheit der berührten Probleme besser Rechnung getragen wird. Es handelt sich also um die Darlegung einer Hypothese im fachwissenschaftlichen Sinn — mit der Schwierigkeit, daß die notwendigerweise bruchstückhafte Darstellung der einschlägigen physikalischen Gegebenheiten das Gewicht der angeführten Gründe für den physikalisch nicht vorgebildeten Leser vielleicht nicht ganz ersichtlich machen dürfte.

Der Artikel gliedert sich in zwei Teile: der erste befaßt sich mit der allgemeinen Problematik unseres Themas, der zweite mit den speziellen Fragen, die durch die Quantenphysik aufgeworfen sind und deren Beantwortung im ersten Teil vorausgesetzt wird.

I. Allgemeine Probleme

Transeuntes Wirken als Individualitäts-
auflockerung

Betrachtet man vom spekulativen Standpunkt aus den Begriff des transeunten Wirkens, also jenes Geschehens, bei dem durch den aktiven Einfluß eines handelnden Subjekts an einem erleidenden Subjekt eine Veränderung hervorgerufen wird, so kann man sich des Eindrucks wohl kaum erwehren, daß ein solches Geschehen eigentlich zu einer gewissen Individualitätsauflockerung der Wirkpartner führen müsse. Denn die Veränderung des erleidenden Subjekts besteht doch zumindest darin, daß eine akzidentelle Bestimmung dieses Subjekts aufgehoben oder neu hervorgebracht wird, eine akzidentelle Bestimmung, die auf die Substanz des erleidenden Subjekts nicht gleichsam nur äußerlich aufgeklebt ist, sondern sie innerlich durchgestaltet — es ist ja eine Bestimmung, eine Formung, ein „actus“ eben dieser Substanz. Soll also das handelnde Subjekt auf das Entstehen oder Vergehen dieser akzidentellen Bestimmung einen Einfluß haben, so muß dieser Einfluß, auch wenn es sich nur um eine *akzidentelle* Bestimmung handelt, doch bis zur *Substanz* des erleidenden Subjekts vordringen, denn diese Substanz soll ja unbestimmt, umgeformt werden. Man wird sogar sagen müssen, daß der Einfluß des handelnden Subjekts nicht nur bis an die „Oberfläche“ der Substanz des erleidenden Subjekts „heran“, sondern bis in ihr „Inneres“ „hinein“ vordringen muß; sonst fiel man doch wieder in jenes grundlegende Mißverständnis der scholastischen Akzidentienlehre zurück, als ob die (aufzuhebenden oder neu hervorzubringenden) Akzidentien der zugehörigen Substanz nur „oberflächlich“ angeheftet seien. Andererseits kann aber der „Einfluß“, das „Wirken“ des handelnden Subjekts wieder nicht anders aufgefaßt werden denn als akzidentelle Bestimmung oder Formung der *Substanz* des handelnden Subjekts, als eben jene Bestimmung, kraft deren die Substanz des handelnden Subjekts in die des erleidenden Subjekts „einfließt“ und sie umformt. Müßte aber, so wird man sich dann naheliegenderweise fragen, ein solcher „Einfluß“ der einen Substanz in die andere nicht eigentlich zu einer gewissen Auflockerung der individuellen Abgrenzung und Abgeschlossenheit der beiden Wirkpartner voneinander führen?

Man wird gewiß die Ausdeutung der anschaulichen sprachlichen Ausdrucksweise nicht übertreiben dürfen (der Deutsche spricht von einem Einfluß *aufeinander* und nicht *ineinander*), aber das spekulative Problem bleibt: Wenn man das Verhältnis der aufzuhebenden oder neu hervorzurufenden akzidentellen Bestimmungen des erlei-

denden Subjekts zu dessen Substanz als echtes Akt-Potenz-Verhältnis, d. h. als innere Durchformung und nicht bloß oberflächliche Zusammenfügung auffaßt, dann erscheint ein Einfluß des handelnden Subjekts auf diese innere Umformung des erleidenden Subjekts bei einer bloßen „oberflächlichen Berührung“ der Wirkpartner schwer verständlich¹. Und man könnte vielleicht die Frage aufwerfen, ob Leibniz seinen Monaden nicht darum alle Fenster verschloß, weil er, dem die individuelle Einheit der Substanz über alles ging, aus den angegebenen Gründen in jedem transeunten Wirken eine Auflockerung dieser individuellen Einheit erblicken mußte.

Wenn trotz dieser spekulativen Schwierigkeit die Realität eines transeunten Wirkens ohne Individualitätsauflockerung der Wirkpartner auch in philosophischen Untersuchungen weithin problemlos vorausgesetzt wird, so wohl darum, weil eben die *Erfahrung* zu zeigen scheint, daß es etwas Derartiges gibt. Dazu ist allerdings anzumerken, daß sich in der *inneren* Erfahrung der Bewußtseinsgegebenheiten, also in dem einzigen Bereich, in dem ein unmittelbares Erleben von Kausalität überhaupt möglich ist, unser Problem überhaupt nicht stellt und darum auch nicht entschieden werden kann, weil dort, beim immanenten Wirken, handelndes und erleidendes Subjekt von vornherein zusammenfallen. Es wäre also zu fragen, ob in der *äußeren* Erfahrung (das Einwirken des eigenen Körpers auf die Gegenstände der Umwelt gehört, was seine materielle Seite angeht, zu dieser äußeren Erfahrung) wirklich ein transeuntes Wirken ohne Individualitätsauflockerung der Wirkpartner gegeben ist.

Transeuntes Wirken oder Wechselwirkung?

Betrachtet man das Wirken der materiellen Dinge, wie es sich in den Gegebenheiten der äußeren Erfahrung darbietet, so ist in der Tat von einer Individualitätsauflockerung der Wirkpartner wenigstens zunächst nichts zu erkennen. Fraglich dagegen erscheinen bei genauerem Zusehen die Begriffe eines einseitig aktiv handelnden und eines einseitig passiv leidenden Subjekts, wie sie der scholastischen Auffassung des transeunten Wirkens zugrunde liegen; denn sehr mit Recht hat Kant darauf hingewiesen, „daß alle äußere Wirkung in der Welt *Wechselwirkung* sei“². Es zieht ja z. B. nicht nur die Erde

¹ Auf das göttliche Schöpferwirken sind diese Überlegungen (wenn man sie mit der Zielrichtung auf eine pantheistische Aufweichung des Unterschieds von Schöpfer und Geschöpf hin anstellen wollte) schon darum nicht anwendbar, weil Gott das Geschöpf nie „von außen her“, „an der Oberfläche“, berührt. Außerdem wären die bekannten Unterscheidungen anzuwenden, daß es sich bei dem göttlichen Wirken um eine operatio formaliter immanens, virtualiter transiens handelt usw.

² Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft, 3. Hauptst., Lehrs. 4, Beweis.

den fallenden Stein, sondern in prinzipiell genau gleichartiger Weise auch der Stein die Erde an, und daß wir von der daraus resultierenden Bewegung des Erdmittelpunkts nichts merken, ist lediglich in dem quantitativen Übergewicht der Erdmasse gegenüber der Masse des Steins begründet. Der Hammer treibt den Nagel in die Wand, aber zugleich bringt der Nagel die Bewegung des Hammers zum Stillstand oder kehrt sie federnd gar um; und das 3. Grundgesetz der Newtonschen Mechanik ist bekanntlich das der Gleichheit von actio und reactio, das in entsprechender Form auch in der Quantenphysik seine Gültigkeit behalten hat.

Allerdings dürfte auch der Ausdruck „Wechselwirkung“ und ebenso die Newtonsche „actio“ und „reactio“ dem tatsächlichen Sachverhalt noch nicht ganz entsprechen. Denn die zugrunde liegende Vorstellung ist doch wohl die zweier in sich jeweils einseitig von einem aktiven auf ein passives Subjekt zielenden Wirkakte, die sich mit entgegengesetzter Richtung überkreuzen und so zur „Wechselwirkung“ überlagern; gerade bei dem Prototyp der Wechselwirkung, dem mechanischen Stoß der Körper gegeneinander, wird es aber besonders deutlich, daß eine solche Auffassung kaum vertretbar scheint.

Betrachten wir etwa den Zusammenstoß einer ruhenden Kugel A und einer bewegten Kugel B (wobei wir der Einfachheit halber die auftretenden Elastizitätskräfte außer Betracht lassen, da sie an dem zu Sagenden nichts ändern). Um A in Bewegung zu setzen, muß B eine Kraft auf A ausüben; um aber eine Kraft auf A ausüben zu können, muß B erst (im Sinn einer konditionalen oder kausalen, nicht zeitlichen Priorität) selbst abgebremst werden. Denn die Kraft, die B auf A ausübt, entspringt aus der trägen Masse von B; solche Trägheitskräfte treten aber immer nur auf bei Veränderungen des Bewegungszustandes, haben also diese Veränderungen, in unserem Fall das Abgebremst-Werden von B, zur (konditionalen oder kausalen) Voraussetzung³.

Die Abbremsung von B wird durch A bewirkt, und zwar vermittelt der Trägheitskräfte, die bei der Beschleunigung von A entstehen. Das Auftreten dieser abbremsenden Kräfte hat also seinerseits die Beschleunigung von A zur Voraussetzung.

Und damit scheint der *circulus vitiosus* geschlossen. Denn nach dem Gesagten hat das beschleunigende Wirken von B das bremsende Wirken von A zur Voraussetzung, und dieses hat seinerseits wieder das beschleunigende Wirken von B zur Voraussetzung (in konditionaler oder kausaler Hinsicht; zeitlich sind Beschleunigung und Abbremsung streng gleichzeitig). Mit anderen Worten: Wenn wir die Wechselwirkung auffassen als Überkreuzung zweier gegenläufiger einseitiger Wirkakte, so sind diese Wirkakte wechselseitig zumindest konditional voneinander abhängig.

Erscheint nun eine solche gegenseitige konditionale oder vielleicht sogar kausale Abhängigkeit zweier Wirkakte voneinander philo-

³ Das ist jedenfalls die Auffassung der Trägheitskräfte, die bei der Voraussetzung zweier sich überkreuzender Wirkakte am nächsten liegt, und es ist schwer ersichtlich, welche andere Auffassung noch in Betracht zu ziehen wäre.

sophisch annehmbar? Schon Schopenhauer⁴ weist demgegenüber auf Aristoteles hin, der eine gegenseitige kausale Abhängigkeit zweier Wirkenden voneinander, eine *causalitas reciproca*, nur für das Verhältnis von Ziel- und Wirkursache zuläßt, also eine *causalitas reciproca in diverso genere*⁵; in unserem Fall hinge aber das beschleunigende Wirken von B in genau der gleichen Weise von dem bremsenden Wirken von A ab wie umgekehrt; wir hätten also zumindest auf der Ebene der konditionalen Abhängigkeit das Gegenstück zu der von Aristoteles abgelehnten *causalitas reciproca in eodem genere*.

Zur Vermeidung dieser Schwierigkeit könnte man die Annahme versuchen, es handele sich gar nicht um eine Wechselwirkung, sondern um eine einseitige beschleunigende Wirkung von B auf A, und die Abbremsung von B sei nicht die Folge der Gegenwirkung von A, sondern sie stelle eine Ermüdung oder Erschöpfung der Wirkfähigkeit von B dar, wie sie uns ja aus dem Erleben unseres eigenen Wirkens durchaus bekannt ist. Aber wie will man eine solche einseitige Auffassung begründen? So fragt Lotze⁶, und gänzlich unmöglich wird die vorgeschlagene Reduktion der Wechselwirkung auf einen einseitigen Wirkakt, wenn man annimmt, daß das stoßende B leichter ist als das ruhende A; denn dann wird beim Stoß B nicht nur abgebremst, sondern es rollt nach dem Stoß wieder in die Richtung zurück, aus der es gekommen ist, es werden also beim Stoße beide Kugeln beschleunigt, was bei *einem* einseitigen Wirkakt sicher unmöglich wäre.

E. v. Hartmann zieht darum einen anderen Ausweg vor⁷: Beide Kugeln setzen jede einen besonderen Wirkakt, aber diese Wirkakte haben jeweils eine doppelte Wirkung: A bewirkt eine gewisse Bremsung von B und gleichzeitig als „Gegenwirkung“ (die Hartmann von der „Wechselwirkung“ scharf unterscheidet) eine gewisse Beschleunigung von A selbst; B bewirkt zur gleichen Zeit die restliche Beschleunigung von A und als „Gegenwirkung“ die übrige Abbremsung von B selbst. Hartmann unterscheidet also zwischen einer Beschleunigung von A, die B, und einer solchen, die A selbst hervorbringt. Eine Begründung für eine solche in den Erfahrungsgegebenheiten in keiner Weise erkennbare Unterscheidung gibt Hartmann nicht; das treibende Motiv scheint der Wunsch gewesen zu sein, in der Auseinandersetzung mit Hegel auf jeden Fall an der deutlichen Trennung der wirkenden Subjekte festzuhalten⁸.

⁴ Werke; ed. Grisebach, Reclam I 589.

⁵ Physik 2 Kap. 3, 195^a 8—11; Metaphysik 5 Kap. 2, 1013^b 9—11.

⁶ Metaphysik, Leipzig 1912, 108. — Es ist auch zu bedenken, daß durch den einfachen Übergang zu einem anderen Inertialsystem die bewegte Kugel zur ruhenden und die ruhende zur bewegten würde, eine Schwierigkeit, der man sich nur entziehen könnte, wenn man entgegen der Relativitätstheorie an der Realität einer absoluten Bewegung festhielte.

⁷ Kategorienlehre, Leipzig 1923, 387, wo allerdings nicht der Stoß, sondern die Gravitationsanziehung behandelt ist.

⁸ Vgl. a.a.O. 384.

Hegel schreibt: „Der Unterschied der als zwei genannten Ursachen ist daher leer, und es ist an sich nur eine, sich in ihrer Wirkung ebenso als Substanz aufhebende als sich in diesem Wirken erst selbstständigende Ursache vorhanden“⁹. Er behauptet also eine Individualitätsauflockerung der Wirkpartner von noch weit größerem Ausmaß, als wir sie auf Grund der Überlegungen des ersten Abschnitts annehmen wollten; da diese Auffassung Hegels jedoch ganz in seinem dialektischen System verwurzelt ist, können wir sie nicht einfachhin übernehmen. Es ist aber zu bedenken, daß die Schwierigkeit der Auffassung v. Hartmanns (Aufteilung der Beschleunigung von A in einen Anteil, der von A selbst, und einen anderen, der von B hervorgebracht wird) gerade aus der Zweizahl der Wirkakte hervorgeht, die er annimmt; könnten wir diese zwei Wirkakte durch einen einzigen ersetzen, der von A und B gemeinsam gesetzt wird und ebenso auf A und B zusammen zurückwirkt, dann vermieden wir die Schwierigkeit der v. Hartmannschen Auffassung und behielten ihren Vorteil bei: die wechselseitige Abhängigkeit zwischen Abbremsung und Beschleunigung wäre einfach dadurch erklärt, daß Abbremsung und Beschleunigung die zwei verschiedenen Seiten eines und desselben Wirkaktes darstellen.

Das Wirken des materiellen Seins erschiene bei dieser Auffassung als eine Verbindung von transeuntem und immanentem Wirken: als transeunt, insofern der von A mitgesetzte Wirkakt eine Veränderung an B, als immanent, insofern er eine Veränderung an A selbst hervorbringt (und entsprechend umgekehrt). Diese „Immanenz“ des materiellen Wirkens prägt sich noch deutlicher aus bei den Prozessen der *Selbstveränderung*, die die Mikrophysik kennt; denn wenn sich z. B. ein (freies) Neutron „spontan“, d. h. ohne jeden erkennbaren äußeren Einfluß, in ein Proton und Elektron verwandelt, so wird man dies aller Wahrscheinlichkeit nach als eine echte „Selbstveränderung“ ansprechen müssen (und nicht als Zerfall eines aus Proton und Elektron in üblicher Weise zusammengesetzten Gebildes, weil z. B. die Zusammensetzung eines Protons und Elektrons kein Neutron, sondern ein Wasserstoff-Atom ergibt¹⁰). Durch diese „Immanenz“ des materiellen Wirkens wird jedoch die Abgrenzung gegenüber dem Lebensgeschehen in keiner Weise verwischt. Denn für das (biologische) Lebensgeschehen ist die *Höherentwicklung* charakteristisch,

⁹ Encyclopädie § 155.

¹⁰ An einer solchen „Immanenz“ des materiellen Wirkens käme übrigens ein strenger Thomismus gerade dann nicht vorbei, wenn er den scheinbar kontinuierlichen Makrokörper als ein „unum per se“ auffassen wollte (z. B. Hoenen, Geny); denn unter dieser Voraussetzung müßte man es doch wohl als „immanentes“ Wirken bezeichnen, wenn ein verformter elastischer Körper (z. B. eine gespannte Feder) bei dem Nachlassen der äußeren Kräfte seine ursprüngliche Form wieder annimmt.

die sich in und durch das immanente Wirken des Organismus vollzieht; im Anorganischen dagegen weisen alle Anzeichen auf einen Geschehensablauf hin, der auf keinen Fall eine Höherentwicklung, sondern eher einen allmählichen Verfall (Zunahme der Entropie, d. h. Ordnungslosigkeit!) darstellt¹¹. — Als Haupteinwand gegen die beschriebene Auffassung des materiellen Wirkens bleibt natürlich bestehen, daß von einer Verschmelzung oder Individualitätsauflockerung der Wirkpartner, wie sie zur Setzung eines gemeinsamen Wirkakts doch wohl erforderlich wäre, in der Erfahrung anscheinend nichts zu erkennen ist. Um diesem Einwand zu begegnen, müssen wir von der Betrachtung der Wechselwirkung der Makrokörper übergehen zu Molekülen, Atomen und Elementarteilchen; andernfalls bliebe unsere Betrachtung des materiellen Wirkens ohnehin oberflächlich und auf Kollektiverscheinungen beschränkt wie etwa eine Untersuchung der zwischenmenschlichen Beziehungen, die sich auf das politische und wirtschaftliche Kräftespiel zwischen Staaten und Staatengruppen beschränkte.

Vorher sei jedoch noch kurz nach den Umständen gefragt, die in der Alltagserfahrung des materiellen Wirkens den Eindruck eines einseitig-transeunten Wirkens entstehen lassen, obwohl sich doch das anorganische Wirken, in seine letzten Elemente zerlegt, zumindest immer als „Wechselwirkung“ erweist¹². Zunächst ist es oft, wie schon erwähnt, der quantitative Unterschied der Wirkpartner, der z. B. den Eindruck entstehen läßt, als ob zwar die Erde den fallenden Stein, nicht aber der Stein die Erde in Bewegung setze.

Sodann ist zu beachten: In vielen Fällen der makrophysikalischen Erfahrung ist das Verhältnis von „Ursache“ und „Wirkung“ wirklich einsinnig gerichtet und unumkehrbar, solange man in makrophysikalischen Größenordnungen bleibt, und die Wechselseitigkeit und Umkehrbarkeit ergibt sich erst bei der Zerlegung des Gesamtgeschehens in seine einzelnen Teilprozesse, d. h. beim Übergang in mikro-physikalische Dimensionen. Man denke etwa an die Zerstörung eines Hauses durch

¹¹ Auch die Bildung von Kristallstrukturen in einer erstarrenden Schmelze oder gesättigten Lösung kann nicht mit der Herausbildung der Strukturen des wachsenden Organismus verglichen werden. Das zeigt sich schon daran, daß die Herausbildung der Kristallstrukturen wesentlich eine *Erstarrungserscheinung* darstellt: Sie ist nur dadurch möglich, daß die Temperatur, der Energiegehalt, die innere „Dynamik“ der Schmelze unter einen bestimmten Punkt sinkt, und mit der Bildung dieser Strukturen sind dann die entsprechenden Valenzen „abgesättigt“, zu weiterem Wirken nicht mehr fähig. Umgekehrt beim Organismus: Je ausgeprägter seine Strukturen entfaltet sind, zu um so reicherem Wirken ist er befähigt, und die einsetzende Erstarrung, der Tod, bedeutet nicht wie beim Kristall die Herausbildung, sondern den Zerfall der Strukturen. Für eine genauere Behandlung dieser Fragen und die Stellungnahme zu den einschlägigen Argumenten Z. *Buchers* (Die Innenwelt der Atome, Donauwörth 1949) vgl. den Aufsatz des Verf. „Hylemorphismus und Atomphysik“: *Philosophia naturalis* 3 (1954/55) 318.

¹² Für die historisch-vergleichende Gegenüberstellung der modernen Wechselwirkungs-Auffassung des materiellen Wirkens mit der thomasischen Auffassung, die das Wirken des Einzeldings betont, vgl. die sehr lesenswerte Arbeit von A. *Mitterer*, Grundformen der Ursächlichkeit: *Schol* 25 (1950) 184; ebenso H. *Dolch*, Kausalität im Verständnis des Theologen und der Begründer neuzeitlicher Physik, Freiburg 1954.

eine explodierende Bombe: Der makrophysikalische Geschehensablauf ist gewiß nicht umkehrbar, und in diesem Sinn muß man mit Recht von einem einseitigen Einwirken der Bombe auf das Haus sprechen; andererseits erweist sich bei der Zerlegung des Gesamtgeschehens in die einzelnen Zusammenstöße zwischen den Atomen und Molekeln der Bombe und denen der Hauswände jeder einzelne dieser Prozesse als umkehrbare strenge Wechselwirkung. Ähnliches gilt z. B. von einem Ofen, der ein Zimmer heizt, oder von einem Motor, der ein Kraftfahrzeug treibt, usw.

Die (makrophysikalische) Einseitigkeit und Unumkehrbarkeit, die hier zunächst als Einseitigkeit der Ursache-Wirkung-Beziehung erscheint, stellt sich jedoch bei genauerem Zusehen als ein statistisches Kollektiv-Phänomen dar, nämlich als die einsinnige Richtung des spontanen Übergangs von Ordnung zu Unordnung in dem sich selbst überlassenen Naturgeschehen, wie sie in dem Gesetz von der *Zunahme der Entropie* zum Ausdruck kommt. Dieses Gesetz besagt bekanntlich unter anderem, daß Unterschiede der Energiekonzentration sich im Lauf der Zeit von selbst ausgleichen; und da im Augenblick der Explosion der Bombe die Konzentration freier Energie im Innern der Bombe wesentlich größer ist als in der Umgebung, gleicht sich dieser Unterschied von selbst dadurch aus, daß Energie von der Bombe zunächst auf die umgebende Luft (Kompression) und dann auf die Hauswände (z. B. als kinetische Energie ihrer Bewegung) überströmt. Entsprechend verströmt die in dem heißen Ofen konzentrierte Wärmeenergie in den umgebenden Raum und die in dem arbeitenden Motor freigemachte Energie in Reifen, Straßenoberfläche und umgebende Luft (Reibungswärme). Dieses Verströmen der Energie stellt aber, wie die theoretische Begründung des Entropie-Satzes genauer zeigt, nichts anderes dar als den Übergang von Ordnung zu Unordnung, von der „Ordnung“ der in einem kleinen Raumbereich konzentrierten Energie zur „Unordnung“ der überall verstreuten Energie; und weil Unordnung von selbst entsteht, Ordnung dagegen nicht, darum ist dieses Verströmen der Energie einseitig gerichtet und unumkehrbar. Es handelt sich hier also nicht eigentlich um eine Einseitigkeit des Wirkens selbst, sondern um eine gewisse Ordnung der Vielheit von Wirkprozessen, die sich allmählich in der Unordnung verliert; ein typisch statistisches Kollektiv-Phänomen. Damit soll, wie schon betont, keineswegs abgestritten werden, daß man in einem guten und wahren Sinn die Bombe, den Ofen, den Motor usw. als „Ursache“ der Zerstörung des Hauses, der Erwärmung des Zimmers, der Fortbewegung des Kraftfahrzeugs bezeichnen kann — weil eben das Wort Ursache in einem sehr weiten Sinn verstanden werden kann bis dahin, daß man sogar ein Geschehen als „Ursache“ eines anderen Geschehens bezeichnet.

Was schließlich das Erleben des „Einwirkens“ des eigenen Körpers auf die Gegenstände der Umwelt betrifft, so ist hier wohl Zweierlei zu unterscheiden: einmal das Erleben der aktiv-willentlichen Gliederbewegung selbst und dann die „Einwirkung“ des bewegten Glieds auf die Gegenstände der Umwelt. Das gewiß sehr ausgeprägt einseitig-aktive Erlebnis der willentlichen Gliederbewegung bezieht sich auf die Wechselwirkung zwischen Seele und Leib und ist daher in unserem Zusammenhang, in dem es auf das innermaterielle Wirken ankommt, außer Betracht zu lassen. (Als „actus organicus“ stellt die willentliche Gliederbewegung übrigens ohnehin ein immanentes Wirken dar.) Für das „Einwirken“ des bewegten Glieds auf die Gegenstände der Umwelt gilt alles, was im Vorstehenden einerseits über die generelle Wechselseitigkeit der Einzelprozesse des materiellen Wirkens, andererseits über die einsinnige Richtung des makrophysikalischen Verströmens von Ordnung in Unordnung gesagt wurde: Da infolge der Steuerung durch das planende Bewußtsein in den Bewegungen des menschlichen Körpers ein besonders hohes Maß von Ordnung verwirklicht ist, wird hier das

einseitige Verströmen dieser Ordnung in die Gegenstände der Umwelt besonders deutlich und damit der Eindruck des einseitigen „Einwirkens“ besonders lebendig. (Beim Schulbeispiel des Bildhauers, der eine Statue meißelt, stellt jeder einzelne Schlag, für sich genommen, ein streng wechselseitiges Zusammenwirken von Hand, Hammer, Meißel und Marmorblock dar; die Ordnung, die die Vielheit der Einzelprozesse und ihrer Ergebnisse auf das zu schaffende Kunstwerk hin zusammenfaßt, strömt in einsinnigem, nicht umkehrbarem Fluß von dem planenden Bewußtsein des Künstlers durch die geordneten Bewegungen der Hand, des Hammers und des Meißels in die sich Herausschälenden Konturen des Marmors über¹³.

„Äther“ und Elementarteilchen

Die makrophysikalischen Körper erscheinen der Alltagserfahrung ganz selbstverständlich als in sich abgeschlossene und durch den „leeren“ Raum voneinander getrennte Einheiten. Da andererseits die Körper auch durch den „leeren“ Raum hindurch Kräfte aufeinander ausüben und diese Kraftwirkungen aus den verschiedensten Gründen kaum als unmittelbare Fernwirkungen aufgefaßt werden können, ergibt sich die Notwendigkeit eines überbrückenden Mediums; dieses Medium muß in irgendeiner Weise das Substrat jener Strukturen darstellen, die die Physik als Strukturen der „Kraftfelder“ zwischen den Körpern beschreibt. In der klassischen Physik war es der „Äther“, der als Träger der Strukturen vor allem des elektromagnetischen Kraftfeldes die Funktion des geforderten Mediums ausübte¹⁴.

In naturphilosophischer Hinsicht wurde, vor allem von neuscholastischer Seite aus, dem Äther vielfach noch eine zweite Funktion zugewiesen, die des „locans universale“¹⁵. Es ging um folgendes philosophisches Anliegen: Gesetzt den Fall, Gott schüfe zwei voneinander völlig unabhängige Welten in der Form, daß er zunächst die erste schüfe, sie nach einiger Zeit wieder völlig vernichtete und „einige Zeit später“ eine zweite Welt schüfe: Könnte man dann sinnvollerweise sagen, daß zwischen dem Ende der ersten und dem Beginn der zweiten Welt ein Zeitintervall von bestimmter, angebbarer Dauer bestanden habe? Nach scholastischer Auffassung der Zeit sicher nicht, weil nach scholastischer Auffassung von einem Zeitintervall

¹³ Es sei nur angemerkt, daß auch durch die ordnungstiftende Tätigkeit des Künstlers, des Konstrukteurs einer Maschine usw. der Satz von der Zunahme der Entropie, also der Zunahme der Unordnung im Bereich der materiellen Welt, nicht durchbrochen wird. Denn eine solche Tätigkeit ist immer nur möglich auf Grund vorausgehender, orientierender Beobachtungen, und mit den physikalisch-chemischen und physiologischen Prozessen vor allem in den Sinnesorganen, die mit diesen Beobachtungen verknüpft sind, ist nachweislich immer eine größere Zunahme der Entropie, also der „Unordnung“, verbunden, als durch die anschließende ordnende Tätigkeit wieder ausgeglichen werden kann. Vgl. z. B. L. Brillouin, in: Louis de Broglie, physicien et penseur, Paris 1953, 359 ff.

¹⁴ Für die geschichtliche Entwicklung wie für die genauere systematische Entfaltung des Ätherproblems vgl. H. Pohl, Der Weltäther, Innsbruck 1951.

¹⁵ Z. B. P. Hoenen, Cosmologia, Rom 1936, 66; H. Pohl a.a.O. 87.

(das als solches ein Gedankending, ein „ens rationis“ darstellt) sinnvollerweise nur dort gesprochen werden kann, wo sich reales Geschehen, reale Veränderungen abspielen (d. h., wo das „fundamentum in re“ gegeben ist, welches für eine sinnvolle Anwendung des Begriffs des Zeitintervalls als eines ens rationis erfordert ist); in der Zwischenzeit zwischen den beiden Welten kann aber gar nichts geschehen, weil gar nichts Veränderliches existiert. Es ist also, genau genommen, widersinnig, von einer „Zwischenzeit“ zwischen den beiden Welten zu sprechen. Genauso widersinnig wäre es dann aber auch, von einem „Zwischenraum“, einem räumlichen Intervall, einem räumlichen Abstand zwischen zwei Körpern zu sprechen, die durch ein absolutes Vakuum, einen absolut leeren „Raum“ voneinander getrennt wären. Denn von einem räumlichen Intervall, von einer räumlichen Erstreckung läßt sich nach scholastischer Auffassung sinnvollerweise nur dort sprechen, wo (als fundamentum in re für das ens rationis „Raum“) räumlich ausgedehnte Realitäten gegeben sind; da sich aber zwischen den beiden Körpern nach Voraussetzung keinerlei ausgedehnte Realität befinden soll, hätten sie weder einen definierten Abstand voneinander, noch würden sie einander berühren, sondern sie ständen in überhaupt keinerlei räumlicher Beziehung zueinander. Da nun die Körper der Erfahrungswelt tatsächlich auch dann einen wohldefinierten Abstand voneinander besitzen, wenn sie durch den scheinbar „leeren“ Raum voneinander getrennt sind, ergibt sich die Schlußfolgerung, daß der „leere“ Raum gar nicht absolut leer, sondern von einer ausgedehnten Realität erfüllt sein muß, von irgendeinem Medium, das man naheliegenderweise mit dem Substrat der physikalischen Kraftfelder identifizieren wird.

Die vorstehenden Überlegungen, die von philosophischer Seite aus zumindest vieles für sich haben, werden durch die Relativitätstheorie nicht entkräftet, sondern nur insofern modifiziert, als gemäß der Relativitätstheorie räumliche und zeitliche Intervalle nicht mehr unabhängig voneinander sind, sondern in irgendeiner Weise auch ontologisch miteinander zusammenhängen müssen. Das bedeutet, daß die räumliche Ausdehnung des geforderten Mediums auch ontologisch nicht als völlig unabhängig von dem zeitlichen Geschehen, das sich an und in diesem Medium abspielt, aufgefaßt werden kann (so daß es z. B. nicht mehr erlaubt ist, von dem „absoluten“ Wert des räumlichen Abstands zwischen zwei Punkten des Mediums zu sprechen); im übrigen bleibt die Begründung für die Forderung der Existenz eines solchen Mediums unangetastet. (In der vierdimensionalen Ausdrucksweise der Relativitätstheorie hieße sie: Von einem vierdimensionalen „Abstand“ zwischen zwei Weltpunkten kann sinnvollerweise nur dann gesprochen werden, wenn der — vierdimensionale —

Zwischenraum zwischen diesen Weltpunkten nicht absolut leer, sondern von einem realen Geschehen an und in räumlich ausgedehnten, dazwischenliegenden Realitäten erfüllt ist.) Die allgemeine Relativitätstheorie, die mit der Einführung der „Raumkrümmung“ die geometrischen Eigenschaften der Körper einem kraftfeldartigen Zusammenhang miteinander unterwirft, unterstreicht dadurch sogar ihrerseits die Notwendigkeit eines Mediums.

Welche Beziehungen bestehen nun zwischen diesem Medium und den Körpern, die darin „eingebettet“ sind? In der klassischen Physik zeigten sich gewisse Bestrebungen, Elektronen und Protonen, die damals bekannten Elementarteilchen, aus denen man sich die ganze „wägbare“ Materie aufgebaut dachte, überhaupt nicht als eigenständige Realitäten neben dem „Äther“, dem „Kraftfeld“ aufzufassen, sondern in ihnen nur singuläre, besonders ausgezeichnete und besonders ausgeprägte Zustände des allgemeinen Kraftfelds zu sehen. Da man jedoch nicht erklären konnte, wie solche singulären Zustände kommen bzw. im Lauf der Zeit erhalten bleiben sollten, überwog eine andere Auffassung: Elektronen und Protonen wurden als Realitäten sui generis neben dem Äther angesehen, sollten aber den Zustand des Äthers in ihrer Umgebung modifizieren und umgekehrt selbst von dem Zustand des benachbarten Äthers beeinflusst werden. (Mathematisch drückte sich das darin aus, daß z. B. elektrische Ladungen und Ströme als „Quellen“ und „Wirbel“ des elektromagnetischen Kraftfelds auftraten, d. h. daß die Kraftlinien des elektrischen Feldes von positiven Ladungen „ausgingen“, in negative Ladungen „einmündeten“ und die Kraftlinien des magnetischen Feldes sich um elektrische Ströme ringförmig zusammenschlossen.) Während also nach der ersten Auffassung (Elementarteilchen als singuläre Stellen des Feldes) die gesamte materielle Welt im philosophischen Sinn als eine einzige Substanz anzusprechen gewesen wäre, nahm die zweite Auffassung, philosophisch gesehen, zwar eine Vielheit von individuellen Substanzen an, die aber durch die „Einbettung“ in den Äther, durch die Wechselwirkung und „Durchdringung“ mit ihm schon viel von der ausgeprägten individuellen Abgrenzung und Eigenständigkeit verloren hatten, die die Makrokörper der Alltagserfahrung aufzuweisen scheinen.

Wurden so in der klassischen Physik Teilchen und Felder als zwei verschiedene Realitäten einander gegenübergestellt, so ist die Quantenphysik gerade dadurch gekennzeichnet, daß sie „Teilchen“ und „Wellen“, also „Felder“, als verschiedene Erscheinungsweisen derselben Realität auffaßt. Gemäß diesem Grundzug der Quantenphysik ist es von vornherein zu erwarten, daß der Unterschied zwischen den materiellen Einzelsubstanzen und dem allverbindenden Medium

sich zumindest noch stärker verwischen wird. Weitergehende Aussagen sind durch die eigentümliche erkenntnistheoretische Situation in der Quantenphysik sehr erschwert; es muß dafür auf die Ausführungen des zweiten Teils dieses Artikels verwiesen werden. Immerhin scheinen wohl alle Anzeichen dafür zu sprechen, daß *die gesamte materielle Welt ein einziges substantiell zusammenhängendes Gebilde darstellt, eine einzige Universalsubstanz, welche jedoch eine akzidentelle Aufgliederung, eine Art „Körnung“ aufweist, die in den teilchenhaften Erscheinungen zum Ausdruck kommt.* Soweit die weitere Entwicklung der Physik abgesehen werden kann, wird sie den mit dieser Konzeption gezogenen Rahmen nicht sprengen, sondern ihn mit genaueren Einzelheiten ausfüllen.

Bei dieser Auffassung beantworten sich die im Voraufgegangenen erörterten Fragen nach dem Verhältnis von Individualität und Wechselwirkung von selbst. Das Geschehen im materiellen Bereich erscheint ganz allgemein als akzidentelle Selbstveränderung der materiellen Universalsubstanz (jedoch ohne die Höherentwicklung, die für das immanente Wirken im organischen Bereich charakteristisch ist; siehe oben S. 6 f); die „Wechselwirkung“ spielt nicht zwischen selbständigen Einzelsubstanzen, sondern zwischen verschiedenen Akzidentien der einen Universalsubstanz. Wie aber läßt sich die substantielle Eigenständigkeit und Eigenpersönlichkeit des Menschen, dessen Leib bei dieser Auffassung doch auch zu einem Teil der materiellen Universalsubstanz wird, wahren?

Höhere individuelle Einheiten

Für die Diskussion des Verhältnisses der Einheit der materiellen Universalsubstanz zu der individuellen Selbständigkeit des lebenden Organismus seien im folgenden die Prinzipien der Theorie der sog. „pluralitas formarum“ als gerechtfertigt vorausgesetzt¹⁶, so daß wir uns nur mit ihrer Anwendung auf unsere veränderte Problemstellung zu befassen haben.

Die übliche Auffassung nimmt an, daß im lebenden Organismus eine Vielheit materieller Einzelsubstanzen kraft der Information durch ein höheres substantielles Prinzip (Lebensprinzip, Seele) zu einem Gebilde zusammengefaßt wird, das, allseitig und vollständig betrachtet, als substantielle Einheit angesprochen werden muß, wenn man auch bei einer unvollständigen, sich auf die materielle Komponente beschränkenden Betrachtungsweise noch mit einem gewissen Recht von einer Vielheit von materiellen Substanzen sprechen kann. Bei Zugrundelegung einer einzigen materiellen Universalsubstanz wäre umgekehrt zu sagen: Dadurch, daß die verschiedenen Lebens-

¹⁶ Siehe z. B. C. Frank, *Philosophia naturalis*, Freiburg 2¹⁹⁴⁹, n. 346.

prinzipien oder Seelen je *einen Teil* der materiellen Universalsubstanz informieren, entstehen Gebilde, die, allseitig und vollständig betrachtet, als individuell verschiedene Substanzen angesprochen werden müssen, obwohl auf der Ebene des rein Materiellen der substantielle Zusammenhang der Universalsubstanz erhalten bleibt. Die entscheidende Frage lautet also: Ist eine solche Information *nur eines Teiles* der materiellen Universalsubstanz annehmbar?

Bei der Stellung zu dieser Frage ist zu bedenken, daß, wie weiter unten (S. 28 f.) ausgeführt ist, die Einheit der materiellen Universalsubstanz eine sehr unvollkommene ist. Denn wenn wir die Aufgliederung und „Körnung“ der Universalsubstanz, die in den teilchenhaften Erscheinungen zum Ausdruck kommt, auch nur als akzidentelle Aufgliederung auffassen, so ist wie jedes Akzidens doch auch diese Aufgliederung eine Formung und Bestimmung der materiellen *Substanz*; die *Substanz* wird aufgegliedert, und dies bedeutet in ähnlicher Weise eine Auflockerung des substantiellen Zusammenhangs der Gesamtwelt, wie nach üblicher scholastischer Auffassung das Akzidens der Quantität in die substantielle Einheit der als kontinuierlich ausgedehnt aufgefaßten materiellen Substanz eine potentielle Vielheit hineinträgt. Wenn aber die Einheit der materiellen Universalsubstanz wesentlich unvollkommen und aufgelockert ist — so sehr, daß man im Grunde mit demselben Recht von einer einzigen, aber „aufgegliederten“ wie von vielen, aber miteinander „verschmolzenen“ Substanzen sprechen könnte —, dann wird man es jedenfalls wohl nicht gut als von vornherein unmöglich bezeichnen können, daß ein höheres substantielles Prinzip nicht die ganze Substanz der materiellen Welt, sondern nur einen Teil davon informiert. Mehr als der Ausschluß des Unmöglichkeitsbeweises dürfte aber billigerweise nicht verlangt werden können, da ja auch die übliche Theorie der unio substantialis einen positiven Aufweis ihrer inneren Möglichkeit nicht bieten kann¹⁷.

¹⁷ Bezüglich der *Transsubstantiation* von Brot und Wein in der Eucharistielehre wäre ähnlich anzunehmen, daß nur ein *Teil* der materiellen Universalsubstanz verwandelt und die von diesem Teil getragenen akzidentellen Bestimmungen (die akzidentelle „Körnung“, die den Elementarteilchen von Brot und Wein entspräche) von Gott unmittelbar im Sein erhalten würden — eine Auffassung, die nicht mehr und nicht weniger Schwierigkeiten als die übliche haben dürfte. Zur Bestimmung der Art und Weise, wie der verklärte Leib unter den eucharistischen Gestalten gegenwärtig ist, wäre zunächst die Vorfrage zu klären, ob zwischen dem verklärten Leib und der noch nicht verklärten Welt ein substantieller Zusammenhang besteht. Dies würde im wesentlichen auf die Frage hinauslaufen, ob auch der verklärte Leib in den physikalischen „Wechselwirkungs“-Zusammenhang einbezogen ist, der zwischen allen Teilen der nicht verklärten Welt besteht. Wenigstens nach der Himmelfahrt dürfte dies wohl nicht anzunehmen sein; dies würde bedeuten, daß der dem verklärten Leib entsprechende Teil der materiellen Universalsubstanz aus dem substantiellen Zusammenhang mit der übrigen Welt herausgelöst wäre. Eine solche „Abspaltung“ und damit Verselb-

II. Spezielle Fragen der Quantenphysik

Erkenntnistheoretische Voraussetzungen

Jede Behandlung eines mit der Quantenphysik zusammenhängenden naturphilosophischen Themas hängt wesentlich ab von der Stellungnahme zu der erkenntnistheoretischen Problematik, die durch die Eigenart der quantenphysikalischen Naturbeschreibung, ihre Komplementarität, Nichtobjektivierbarkeit und Subjektbedingtheit, aufgeworfen ist. Für die ausführlichere Behandlung dieser Fragen muß auf frühere Ausführungen¹⁸ verwiesen werden, deren Ergebnis hier nur kurz zusammengefaßt sei:

Die Quantenphysik macht im strengen und unmittelbaren Sinn keine Aussagen über die Natur selbst, sondern nur Aussagen über die Zusammenhänge zwischen den Resultaten möglicher Messungen. Versucht man, aus diesen Aussagen über die Zusammenhänge zwischen Meßresultaten auf entsprechende Strukturen im beobachteten Objekt selbst zurückzuschließen, so müssen zur Erfassung der Gesamtheit aller Phänomene verschiedene Struktursysteme (etwas vereinfachend ausgedrückt: das Struktursystem des Teilchen- und das

ständigung eines Teiles der materiellen Universalsubstanz erscheint schon vom Physikalischen her nicht als befremdlich; denn nach der allgemeinen Relativitätstheorie erscheint es wenigstens grundsätzlich möglich, daß sich bei entsprechender Verteilung der schweren Massen usw. ein Teil der Welt so von dem anderen abschnürt, daß überhaupt kein physikalischer Zusammenhang mehr zwischen den beiden Teilen besteht, daß also nach der Abschnürung zwei voneinander unabhängige Welten und damit zwei (numerisch, nicht qualitativ) verschiedene materielle Universalsubstanzen existieren. (Es wäre dies das Analogon zu der numerischen substantiellen Vervielfältigung, die nach thomistischer Auffassung mit der räumlichen Teilung einer kontinuierlich ausgedehnten Substanz verbunden ist. Würde für eine gewisse Zeit der verklärte Leib in eine echte physikalische „Wechselwirkung“ mit der nicht verklärten Welt treten, so würde dies einen zeitweiligen substantiellen Wiederzusammenschluß bedeuten — so wie nach thomistischer Auffassung die räumliche Verschmelzung zweier kontinuierlich ausgedehnter Substanzen ihre substantielle Vereinigung bedeutet.) Bezüglich der Art und Weise, wie diese „abgespaltene“ Substanz des verklärten Leibes mit ihren Akzidentien unter den eucharistischen Gestalten gegenwärtig ist, könnte man wohl zum größten Teil auf die üblichen theologischen Lösungen zurückgreifen. Verklärung und „Abschnürung“ sind jedoch bei unserer wie bei der üblichen Auffassung keine notwendigen Voraussetzungen der eucharistischen Präsenzweise; bei der Gegenwärtigsetzung im Abendmahlsaal wäre anzunehmen, daß der dem Leib Christi entsprechende Teil der materiellen Universalsubstanz zusätzlich zu seiner natürlichen Existenz- und Wirkweise die eucharistische Präsenzweise erhalte, und diese Annahme dürfte zu keinen zusätzlichen Schwierigkeiten gegenüber der üblichen Auffassung führen.

¹⁸ Schol 28 (1953) 161, 29 (1954) 235. Gegenüber der neuerdings von F. Bopp (Zeitschr. f. Naturforsch. 9a [1954] 579) vorgeschlagenen korpuskularen Auffassung wäre im wesentlichen das gleiche Bedenken zu erheben wie gegenüber der a.a.O. besprochenen Theorie von W. Weizel: Das Zustandekommen von Interferenzeffekten bei *einzelnen*, nicht in Wechselwirkung miteinander stehenden Teilchen bleibt unerklärt. Für ein besonders instruktives Beispiel eines solchen *individuell* reproduzierbaren *wellenhaften* Verhaltens von einzelnen Teilchen vgl. M. Renniger, Zeitschr. f. Physik 136 (1953) 251.

des Wellen-Bildes) herangezogen werden, die sich gegenseitig ausschließen und darum nicht einfachhin als Strukturen des beobachteten Objekts selbst aufgefaßt werden können (Komplementarität und Nichtobjektivierbarkeit der quantenphysikalischen Naturbeschreibung); welches Struktursystem jeweils zu verwenden ist, hängt von der gewählten Beobachtungsanordnung ab (Subjektbedingtheit der quantenphysikalischen Naturbeschreibung).

Der skizzierte Sachverhalt wird vielfach zum Anlaß genommen, um für die Interpretation der Quantenphysik eine positivistische oder halb-idealistische Erkenntnistheorie vorzuschlagen. Hält man demgegenüber im Sinn des kritischen Realismus an der Existenz einer objektiven, vom Beobachter unabhängigen Realität auch im Bereich der Mikrophysik fest, so wird man zur Deutung der erkenntnistheoretischen Situation in der Quantenphysik wohl folgendes zu beachten haben: Die verwendeten Struktursysteme (z. B. das Teilchen- und das Wellen-Bild) haben ihren psychologischen Ursprung in der sinnlichen Anschauung der Makrowelt, und man wird mit gutem Grund annehmen dürfen, daß sie die wirklichen, objektiven Strukturen der Gegenstände der Makrowelt wiedergeben. Die Gegenstände der Makrowelt stellen aber *Kollektive* zahlloser Elementargebilde (Elementarteilchen, Atome, Molekeln) dar, und es ist auch vom Standpunkt des erkenntnistheoretischen Realismus aus durchaus mit der Möglichkeit zu rechnen, daß die Strukturen und Eigenschaften, die ein Kollektiv *als* Kollektiv aufweist, sich nicht unverändert auf die Elemente des Kollektivs übertragen lassen. Man denke etwa an den Temperaturbegriff, der bei einem Makrokörper als Kollektiv zahlloser Atome und Molekeln durchaus sinnvoll, dagegen auf ein einzelnes Atom nicht mehr eindeutig anwendbar ist (weil die Temperatur im wesentlichen dem *Mittelwert* der Energie der ungeordneten Bewegung aller Atome und Molekeln entspricht). Infolgedessen wird man im Hinblick auf die erkenntnistheoretische Situation in der Quantenphysik wohl annehmen dürfen und müssen, daß auch die Begriffe der Länge, der Zeitdauer, der Geschwindigkeit, der Energie usw. und allgemein die Begriffe der physikalischen Naturbeschreibung Strukturen und Eigenschaften zum Inhalt haben, die den Makrokörpern *nur als Kollektiven* vieler Elementargebilde zukommen, und daß diese Begriffe sich darum auf die Strukturen und Eigenschaften des einzelnen Elementargebildes nicht mehr voll-eindeutig anwenden lassen. Von den Strukturen und Eigenschaften der Elementargebilde selbst wird man vielmehr nur sagen können, daß sie eine gewisse *Ähnlichkeit* mit dem im Begriff der Länge, der Zeitdauer, der Geschwindigkeit, der Energie usw. Gemeinten aufweisen müssen, eine Ähnlichkeit von eben der Art, daß sich auf ein Kollektiv solcher

Gebilde *als* Kollektiv die Begriffe der Länge usw. eindeutig anwenden lassen. In dieser Ähnlichkeit ist die beschränkte Brauchbarkeit der makrophysikalischen Begriffe für die Beschreibung der Mikroobjekte begründet; die Verschiedenheit zwischen den Strukturen der Mikroobjekte und dem Inhalt der makrophysikalischen Begriffe bedingt die Einschränkung der Anwendbarkeit der makrophysikalischen Begriffe, d. h. die Komplementarität, Nichtobjektivierbarkeit und Subjektbedingtheit der quantenphysikalischen Naturbeschreibung.

Es wird manchmal die Hoffnung ausgesprochen, daß eine Verfeinerung der physikalischen Begriffsbildung vielleicht doch noch eine adäquate, eindeutige Charakterisierung der Strukturen der Mikroobjekte gestatten werde. Wenn man gemäß allen Hinweisen der Quantenphysik annimmt, daß die Strukturen und Eigenschaften der Mikroobjekte von denen der Makrokörper wesentlich verschieden sind, so dürfte eine solche Hoffnung auch vom Standpunkt des kritischen Realismus aus als ähnlich unbegründet erscheinen wie etwa die Erwartung eines Rot-Grün-Blinden, durch Verfeinerung der auf seinem beschränkten Erfahrungsmaterial aufbauenden Begriffsbildung zu erfassen, was der Normalsehende mit „Rot“ oder „Grün“ erlebt. Denn wenn man davon ausgeht, daß alle positiven Begriffsinhalte durch Abstraktion aus der Erfahrung geschöpft werden, so kann die „Verfeinerung“ der Begriffsbildung nur darin bestehen, daß die in der Erfahrung gegebenen und begrifflich erfaßten Elemente in immer neuen Weisen miteinander kombiniert oder auch teilweise negiert werden. Hat nun ein Objekt Strukturen oder Eigenschaften, die andersartig sind als die Strukturen und Eigenschaften sämtlicher Objekte der möglichen Erfahrung, dann kann die begriffliche Bestimmung eines solchen Objekts einmal so erfolgen, daß zwar eine *Ähnlichkeit* mit Objekten der möglichen Erfahrung ausgesagt, aber gleichzeitig hinzugefügt wird, daß es sich *nur* um eine Ähnlichkeit und nicht um eine Gleichartigkeit handelt; in diesem Fall gibt die Begriffsbestimmung zwar positiv an, welche Strukturen und Eigenschaften gemeint sind, ist aber in dieser Angabe *nicht eindeutig*. Oder es wird ausgesagt, welche bekannten Eigenschaften oder Strukturen dem gemeinten Objekt *nicht* zukommen; in diesem Fall ist die begriffliche Bestimmung zwar eindeutig, aber *nur negativ*. Die begriffliche Bestimmung eines solchen Objekts ist also nie positiv und eindeutig zugleich — weil eben eine positiv-eindeutige begriffliche Bestimmung nur möglich ist bei Objekten, die entweder selbst dem Bereich der möglichen Erfahrung angehören oder doch den Objekten der möglichen Erfahrung gleichartig sind. Da sich nun für die physikalische Begriffsbildung der Bereich der möglichen Erfahrung auf die Gegebenheiten der sinnlichen Anschauung, d. h. auf die Eigenschaften

und Strukturen der Makrokörper beschränkt, und da andererseits die Quantenphysik es zumindest höchst wahrscheinlich gemacht hat, daß die Eigenschaften und Strukturen der mikrophysikalischen Objekte verschieden sind von denen der Makrokörper, muß nach dem Gesagten die Hoffnung auf eine eindeutig-positive begriffliche Erfassung der Eigenschaften und Strukturen der Mikrokörper auch bei aller Verfeinerung der physikalischen Begriffsbildung als unbegründet erscheinen.

Ebenso unbegründet wäre aber die Forderung, zu erklären, *wie* es möglich sein könne, daß ein Makrokörper als Kollektiv zahlloser Atome und Molekeln eine bestimmte Länge und Ausdehnung besitze, wenn diese Atome und Molekeln, einzeln für sich genommen, keine Länge und Ausdehnung im eigentlichen Sinn besitzen, oder *wie* einem makrophysikalischen Geschehensablauf als Kollektiv vieler mikrophysikalischer Einzelprozesse eine bestimmte Zeitdauer zukommen könne, wenn der Begriff des zeitlichen „Dauerns“ auf den mikrophysikalischen Einzelprozeß nicht im eigentlichen Sinn anwendbar ist. Eine solche *Erklärung* des Übergangs von den Eigenschaften der mikrophysikalischen Einzelobjekte zu denen des Kollektivs wäre nur möglich, wenn wir die Eigenschaften der mikrophysikalischen Objekte positiv-eindeutig begrifflich bestimmen könnten; das ist aber nach dem eben Gesagten nicht zu erwarten. Verlangt werden kann nur, daß keine Beweisführung existieren darf, die *positiv* die Unmöglichkeit des gemeinten Übergangs nachweise (so wie die Theodizee es positiv als unmöglich nachweist, daß ein Kollektiv kontingenter Elemente *als* Kollektiv nicht mehr kontingent sei); eine solche Beweisführung dürfte aber schwer zu erbringen sein, wenn man bedenkt, daß wir den Elementargebilden nur *diejenige Form* der räumlichen Ausdehnung, der zeitlichen Dauer usw. absprechen, die die Makrokörper aufweisen, und alles übrige bewußt offen lassen. Außerdem wäre zu bemerken, daß die Quantenphysik immerhin gewisse Hinweise gibt, wie der Übergang von den Eigenschaften der Einzelelemente zu denen des Kollektivs etwa zu denken wäre; so stellen sich z. B. die makrophysikalischen Gesetzmäßigkeiten ganz allgemein als Mittelwerte des Verhaltens der mikrophysikalischen Objekte dar, und bei der mathematischen Behandlung des Zusammenschlusses einzelner Elementarteilchen zu Atomen und Molekülen ergibt sich automatisch, daß dem Atom bzw. Molekül als Ganzem mit wachsender Zahl der zusammengeschlossenen Einzelteilchen eine immer kürzere Wellenlänge der „Wahrscheinlichkeitswelle“, d. h. ein im allgemeinen immer weniger wellenhaftes und immer deutlicher korpuskulares Verhalten zukommt.

Das Problem der materiellen Individuen

Entsprechend der allgemeinen Fragestellung unserer Untersuchung soll im nachstehenden geprüft werden, ob die empirischen Gegebenheiten es rechtfertigen oder zulassen, im materiellen Bereich die Existenz *diskreter, individuell-selbständiger Einzelsubstanzen* anzunehmen.

Z. Bucher will die bejahende Antwort auf diese Frage mit dem Nachweis begründen, daß im Atom und Molekül Gesetzmäßigkeiten wirksam seien, die sich aus den Eigenschaften und Kräften der Teile dieser Gebilde nicht ableiten ließen; infolgedessen müsse im Atom- bzw. Molekülverband der Einfluß eines substantiellen Formfaktors angenommen werden, durch den die Teile dieser Gebilde zu einer substantiellen, individuellen Ganzheit zusammengeschlossen würden. Die Diskussion der Bucherschen Argumente führt unseres Erachtens jedoch zu dem Ergebnis, daß es der modernen Physik jedenfalls prinzipiell gelungen ist, alle Eigenschaften der Atome und Moleküle aus den Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten abzuleiten, die die Teile dieser Gebilde schon in freiem Zustand aufweisen¹⁹; infolgedessen scheint uns der Schluß auf eine substantielle, individuelle Ganzheitlichkeit des Atoms und Moleküls jedenfalls von den physikalischen Gegebenheiten her nicht gerechtfertigt. Wenn es im materiellen Bereich individuelle Einzelsubstanzen gibt, so sind diese demnach wohl nicht bei den Atomen und Molekülen, sondern bei den sog. Elementarteilchen zu suchen.

Bei den Elementarteilchen der modernen Physik erhebt sich die Frage, ob sie wirklich „elementar“, d. h. nicht aus anderen Teilchen zusammengesetzt sind, und wenn ja, ob der Unterschied z. B. zwischen Elektronen, Protonen und Mesonen als Unterschied verschiedener (akzidenteller) Zustände einer und derselben Teilchenart oder als Unterschied *substantiell verschiedenartiger* Teilchenarten aufzufassen ist. Wir wollen die Behandlung dieser Fragen zunächst zurückstellen und vorerst prüfen, mit welchem Recht überhaupt von „einzelnen“, diskreten Teilchen gesprochen werden kann, seien diese nun im vollen Sinn „elementar“ oder auch nicht.

Die Erfahrung zeigt, daß bei einer Messung der elektrischen Ladung das Meßresultat immer ein ganzes Vielfaches einer sog. Elementarladung beträgt, daß sich bei einer Messung der Energie elektromagnetischer Wellen von der Frequenz ν immer ein ganzes Vielfaches des Energiequantums $E = h \cdot \nu$ ergibt, daß die Resultate der Messungen der trägen und schweren Masse ähnliche Diskontinuitäten aufweisen und daß die lokalisierende Beobachtung zumindest der Ladungsdiskontinuitäten eine Genauigkeit der Ortsbestimmung erreichen kann, welche einer Zusammenballung der beobachteten Ladungen auf einen Raumbereich von höchstens etwa 10^{-12} cm Ausdehnung entspräche. Diese Diskontinuität der Meßergebnisse wurde vom Standpunkt der klassischen Physik aus als unmittelbarer Ausdruck einer entsprechenden Diskontinuität der objektiven Wirklichkeit selbst gedeutet; gemäß der Quantenphysik sind jedoch auch diese Beobachtungen nicht einfachhin „objektivierbar“, sondern sie müssen

¹⁹ Siehe Anm. 11 Schluß.

durch komplementäre, d. h. in etwa entgegengesetzte Feststellungen ergänzt werden.

So ist bezüglich der genauen Lokalisation der Ladungszusammenballungen (z. B. eines Elektrons oder Protons) zu bemerken, daß sie ein Element des Teilchenbildes darstellt und darum durch die Betrachtung der entsprechenden wellenhaften Erscheinungen ergänzt werden muß. Die wellenhaften Interferenzerscheinungen weisen aber auf eine Art „Allgegenwart“ etwa des Elektrons hin, die sich über das Millionenfache des klassischen „Elektronenradius“ hin erstreckt²⁰. Gemäß den im vorigen Abschnitt dargelegten erkenntnistheoretischen Voraussetzungen muß dies wohl dahingehend interpretiert werden, daß die mikrophysikalischen Gebilde *weder* die räumliche Existenzweise eines eng zusammengeballten „Teilchens“ *noch* die einer breit ausgedehnten „Welle“ besitzen, sondern eine Art von „Räumlichkeit“, deren eindeutig-positive begriffliche Bestimmung vermittels unserer aus der makrophysikalischen Anschauung gewonnenen Begriffsinhalte nicht möglich ist.

Zu der Diskontinuität, die bei der Messung der Energie einer elektromagnetischen Welle auftritt und die, für sich allein gesehen, als Hinweis auf die Existenz diskreter Energiequanten (Lichtquanten, Photonen) aufgefaßt werden könnte, ist „komplementär“ zu bemerken, daß zwischen der Anzahl solcher Lichtquanten eines bestimmten Energiegehalts, die sich etwa in einem abgeschlossenen Hohlraum befinden, und der elektrischen Feldstärke der entsprechenden elektromagnetischen Welle eine Unschärfenbeziehung ähnlicher Art besteht wie z. B. zwischen Ort und Impuls eines (korpuskular aufgefaßten) Teilchens: Je genauer die elektrische Feldstärke bestimmt ist, desto mehr muß die Anzahl der Lichtquanten unbestimmt bleiben, und umgekehrt²¹. Bei der Betrachtung der Unschärfenbeziehung zwischen Ort und Impuls eines (korpuskular aufgefaßten) Teilchens zeigt die Berücksichtigung der wellenhaften Interferenzerscheinungen, daß die „Unbestimmtheit“ des Ortes nicht als lediglich subjektive Unkenntnis eines an sich objektiv eindeutig bestimmten Ortes aufgefaßt werden kann, sondern letzten Endes daher rührt, daß der makrophysikalische Begriff des eindeutig bestimmten Ortes auf das mikrophysikalische Teilchen gar nicht im eigentlichen, unmittelbaren Sinn anwendbar ist. Die Unschärfenbeziehung zwischen der Anzahl der Lichtquanten und der elektrischen Feldstärke ist aber von prinzipiell gleicher Art wie die Unschärfenbeziehung zwischen Ort und Impuls; folglich ist auch hier anzunehmen, daß

²⁰ Vgl. die in Anm. 18 angegebenen Arbeiten.

²¹ Siehe z. B. W. Heitler, *The Quantum Theory of Radiation*, Oxford 1936, § 7, Gl. 34.

es sich bei der „Unbestimmtheit“ der Lichtquantenzahl nicht um eine lediglich subjektive Unkenntnis der objektiv eindeutig bestimmten Anzahl von Lichtquanten handelt, sondern daß auch der Begriff der (nicht räumlich, sondern seinsmäßig) diskreten, abzählbaren „Quanten“ auf die mikrophysikalische Wirklichkeit im eigentlichen, unmittlaren Sinn gar nicht anwendbar ist.

Eine ähnliche Kritik an der Auffassung der Elektronen, Protonen usw. als diskreter „Ladungsquanten“ ergibt sich aus der Betrachtung der Art und Weise, wie nach der Quantenphysik diese Ladungsträger mit dem von ihnen erzeugten elektromagnetischen Feld (und wie entsprechend Neutronen und Protonen mit dem von ihnen erzeugten „Kernkraftfeld“) zusammenhängen.

Wie oben (S. 11) erwähnt, wurden in der klassischen Physik Elektronen und Protonen als Entitäten sui generis neben dem „Äther“ als dem allverbindenden Medium und Träger der Strukturen des elektromagnetischen Kraftfeldes aufgefaßt; die wechselseitige Beeinflussung zwischen den Ladungsträgern und dem Zustand des Äthers in ihrer Umgebung drückte sich mathematisch-symbolisch darin aus, daß die Kraftlinien des elektrischen Feldes von den positiven Ladungen ausgingen, in die negativen einmündeten und die magnetischen Kraftlinien sich um elektrische Ströme ringförmig zusammenschlossen. Kraft dieser Verknüpfung mit den Kraftlinien des elektromagnetischen Feldes waren rhythmisch bewegte Ladungsträger imstande, elektromagnetische Wellen, d. h. periodische Veränderungen der Kraftlinien, zu erzeugen bzw. zu absorbieren. Um zum Verständnis des quantenphysikalischen Zusammenhangs zwischen den Ladungsträgern und dem von ihnen erzeugten Kraftfeld zu gelangen, kann man von der Erfahrungstatsache ausgehen, daß elektrische Ladungsträger, z. B. die Elektronen in der Elektronenhülle des Atoms, in der Lage sind, Lichtquanten zu emittieren und zu absorbieren. Im mathematischen Formalismus der Quantenphysik ergibt sich das ohne weiteres, wenn man die mathematische Beschreibung des klassisch-physikalischen elektromagnetischen Feldes gemäß den Prinzipien modifiziert, die ganz allgemein den Übergang von der klassischen zur Quantenphysik bewirken (Ersetzung der klassischen Variablen durch Operatoren mit entsprechenden Vertauschungsregeln); daraus ergibt sich automatisch das Auftreten diskreter Werte für die Energie elektromagnetischer Wellen, also das Auftreten von „Lichtquanten“, und die Verknüpfung der Ladungsträger mit den Kraftlinien, die in der klassischen Physik die Ladungsträger zur Emission und Absorption elektromagnetischer Wellen befähigte, bedeutet in der quantenphysikalischen Umdeutung, daß die Ladungsträger die Lichtquantenzahl erhöhen bzw. vermindern, also Lichtquanten emittieren bzw. absorbieren können. Bei dieser Erzeugung bzw. Vernichtung von Lichtquanten können im Unterschied zur klassischen Physik u. U. auch die Ladungsträger selbst verschwinden bzw. neu entstehen; man denke an die Verwandlung eines Gamma-Quants, also eines sehr energiereichen Lichtquants, in ein Elektron-Positron-Paar oder umgekehrt an die Verwandlung eines Elektron-Positron-Paars in zwei Gamma-Quanten.

Prinzipiell gleichartig wie bei dem elektromagnetischen Feld und seinem Zusammenhang mit den elektrischen Ladungsträgern liegen die Verhältnisse bei dem „Kernkraftfeld“ und seinem Zusammenhang mit den Neutronen und Protonen als den entsprechenden „Ladungs“trägern, wenn auch die meisten Einzelheiten hier zur Zeit noch nicht recht durchschaubar sind. Erfahrungsgemäß üben Nukleonen, also Protonen und Neutronen, Kräfte nicht-elektrischer Art aufeinander aus, die

sog. Kernkräfte. Man kann diese Kernkräfte zunächst durch ein klassisch-physikalisch aufgefaßtes Kraftfeld charakterisieren, in dem die Nukleonen die prinzipiell gleiche Rolle spielen wie die elektrischen Ladungsträger im elektromagnetischen Feld; geht man von dieser klassischen Beschreibung gemäß den allgemeinen Prinzipien zur Quantenphysik über, so ergeben sich für die „Wellen“ dieses Kernkraftfeldes wieder diskrete Energiewerte, es treten also wieder „Quanten“ des Kernkraftfeldes auf, die u. U. gleichzeitig Quanten elektrischer Ladung sein können, die sog. *Mesonen*, und die Nukleonen besitzen wieder die Fähigkeit, Mesonen zu erzeugen bzw. zu absorbieren. — Prinzipiell das gleiche wie für die elektromagnetischen und die Kernkräfte gilt für die *Gravitationsanziehung* zwischen schweren Massen; aber da schon die Gravitationswellen, die nach der allgemeinen Relativitätstheorie grundsätzlich vorhanden sein müssen, wegen der Kleinheit der auftretenden Kräfte experimentell nicht nachweisbar sind, ist das theoretisch zu fordernde Auftreten entsprechender Gravitationsquanten erst recht nicht empirisch nachprüfbar.

Wie kommt es nun bei dieser Auffassung zu den eigentlichen *Kraftwirkungen* etwa zwischen elektrischen Ladungen oder Nukleonen? Ihr Zustandekommen wird in allgemeinverständlicher und vereinfachender Weise unter Verwendung des Partikelbildes gewöhnlich so beschrieben: Es seien zwei Nukleonen, etwa zwei Neutronen, betrachtet, die sich im Abstand von etwa 10^{-13} cm gegenüberstehen. An sich besitzen diese Neutronen nach dem oben Gesagten die Fähigkeit, Mesonen zu erzeugen; eine tatsächliche Mesonenerzeugung ist jedoch unter den hier angenommenen Bedingungen nicht ohne weiteres möglich, da die Neutronen an die zu erzeugenden Mesonen Energie abgeben müßten (die Mesonen besitzen eine Ruhemasse, der nach der Relativitätstheorie eine bestimmte Energie entspricht, und außerdem besitzt jedes sich bewegendes Meson natürlich auch eine bestimmte Energie der Bewegung), und die (als ruhend vorausgesetzten) Neutronen besitzen keine frei verfügbare Energie, die sie abgeben könnten. Die Gültigkeit des Satzes von der Erhaltung der Energie, der also der Erzeugung von Mesonen im Wege steht, erfährt jedoch in der Quantenphysik eine Einschränkung durch die Unschärfebeziehung von Energie und Zeit, welche besagt: Ist bei der Vornahme einer Energiemessung der Zeitpunkt, auf den sich diese Energiemessung bezieht, bis auf die Ungenauigkeit Δt bestimmt, so muß die Energiemessung selbst um wenigstens einen solchen Betrag ΔE unbestimmt bleiben, daß gilt: $\Delta t \cdot \Delta E = h$. Dies bedeutet für den Satz von der Erhaltung der Energie: Bezieht man diesen Satz auf ein Zeitintervall von der Größe Δt , so besagt er nicht, daß die Energie absolut konstant bleibt, sondern nur, daß die Schwankungen der Gesamtenergie des Systems den Betrag $\Delta E = h/\Delta t$ nicht überschreiten. Wird Δt sehr klein gewählt, so kann ΔE recht beträchtliche Werte annehmen, und hieraus ergibt sich nun für unsere oben betrachteten Neutronen eine Möglichkeit zur Mesonenerzeugung: Wenn ΔE die Energie ist, die das erzeugende Neutron dem erzeugten Meson mitgeben müßte, so ist die Erzeugung eines Mesons dann möglich, wenn dieses Meson spätestens nach Ablauf der Zeit $\Delta t = h/\Delta E$ wieder von dem erzeugenden oder auch von dem anderen Neutron absorbiert wird; denn für eine so kurze Zeitspanne²² läßt der Energiesatz wegen der Unschärfebeziehung eine Schwankung der Gesamtenergie gerade um den Betrag zu, der für die Erzeugung eines Mesons erfordert ist. Infolgedessen sagt die Quantenphysik, daß es mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zur Erzeugung solcher „kurzlebiger“ Mesonen kommen wird; da darüber aber (wie gewöhnlich in der Quantenphysik) nur Wahrscheinlichkeitsangaben gemacht werden können, ist die Anzahl der Mesonen in der Umgebung der beiden Neutronen „unbestimmt“. Diejenigen Mesonen nun, die von

²² Δt wäre kleiner als 10^{-23} sec.

dem erzeugenden Neutron zu dem anderen hinüberfliegen und von diesem absorbiert werden, bedingen das Auftreten von Kraftwirkungen zwischen den Nukleonen; das läßt sich in der anschaulichen Darstellung zwar nicht mehr verständlich machen, ergibt sich jedoch ohne weiteres aus dem mathematischen Formalismus und erscheint im Wellenbild als gegenseitige Beeinflussung der Materiewellen der Nukleonen, welche durch die Materiewellen der hin und her fliegenden Mesonen vermittelt wird.

Die Quantenphysik bezeichnet Prozesse von der Art der beschriebenen, die also mit dem Energiesatz nur unter Zuhilfenahme der Unschärfenbeziehung von Energie und Zeit vereinbar und infolgedessen nicht direkt beobachtbar, sondern nur an ihren Folgen erkennbar sind, als „virtuelle“ Prozesse — im Gegensatz zu den „reellen“ Prozessen, die mit dem Energiesatz auch ohne Zuhilfenahme der Unschärfenbeziehung vereinbar sind und infolgedessen auch direkt experimentell beobachtet werden können. In prinzipiell der gleichen Weise wie die Kernkräfte zwischen Nukleonen durch „virtuellen“ Mesonenaustausch kommen die elektromagnetischen Kräfte zwischen elektrischen Ladungsträgern durch den „virtuellen“ Austausch von Lichtquanten zwischen den Ladungsträgern zustande. Dabei ergeben die Einzelheiten des physikalischen Formalismus neuartige, der klassischen Elektrodynamik unbekannte Effekte (Lambshift usw.), die sich nach Überwindung großer mathematischer und experimenteller Schwierigkeiten im letzten Jahrzehnt experimentell verifizieren ließen und so die Richtigkeit der quantenphysikalischen Auffassung bestätigen.

Versucht man abzutasten, welche Strukturen der objektiven Wirklichkeit diesen Aussagen der quantenphysikalischen Naturbeschreibung zugrunde liegen, so empfiehlt es sich für die uns interessierende Fragestellung nach der diskret-individuellen Selbständigkeit der Elementarteilchen, von der Arbeitshypothese auszugehen, daß elektrische Ladungsträger und Nukleonen individuell-selbständige Substanzen darstellen, und diese Hypothese dann durch den Vergleich mit den empirischen Gegebenheiten als jedenfalls sehr unwahrscheinlich zu erweisen.

Stellen wir uns im angegebenen Sinn auf den Boden der genannten Hypothese, so müssen wir zunächst nicht nur Elektronen, Protonen und Neutronen, sondern auch „reell“ erzeugte Mesonen und Lichtquanten (deren Erzeugung also mit dem Energiesatz ohne Rückgriff auf die Unschärfenbeziehung vereinbar und infolgedessen unmittelbar beobachtbar ist) als individuell-selbständige Substanzen auffassen; denn die Gründe, die sich zugunsten einer individuellen, substantiellen Selbständigkeit der Nukleonen und Elektronen anführen lassen, treffen auch bei „reellen“ Mesonen und Lichtquanten zu: Solche Mesonen lassen sich in jeder Hinsicht ebensogut als „Einzelteilchen“ nachweisen wie Elektronen, und bei den Lichtquanten haben wir zumindest die diskrete Quantelung von Energie und Impuls (im oben — S. 19 f. — genauer bestimmten Sinn) und den freien selbständigen „Flug“ durch den Raum. Die „reelle“ Erzeugung solcher Teilchen wäre also aufzufassen als eine Erzeugung neuer Substanzen durch eine Art substantieller Teilung der erzeugenden Teilchen, die

ja bei diesem Prozeß tatsächlich das entsprechende Quantum an Masse und Energie verlieren; umgekehrt wäre die „reelle“ Absorption etwa eines Mesons durch ein Nukleon aufzufassen als ein Eingehen und Untergehen der Substanz dieses Mesons in die Substanz des Nukleons²³.

Nun treten genau die gleichen mathematischen Ausdrücke, die im quantenphysikalischen Formalismus der „reellen“ Prozesse dieses substantielle „Hervorgehen“ bzw. „Eingehen“ darstellen (die sog. Erzeugungs- bzw. Vernichtungsoperatoren) auch im Formalismus der „virtuellen“ Prozesse auf; wir müssen also — immer auf der Grundlage der oben angegebenen Arbeitshypothese — wohl schließen, daß es sich auch bei den „virtuellen“ Prozessen um ein substantielles „Hervorgehen“ und „Eingehen“ handelt. Während sich jedoch bei den „reellen“ Erzeugungsprozessen dasjenige Substantielle, das aus der Substanz des erzeugenden Teilchens hervorgeht, von der erzeugenden Substanz so weit abhebt und loslöst, daß es als neues, individuell-selbständiges Teilchen auch experimentell nachgewiesen werden kann, ist bei den „virtuellen“ Prozessen jedenfalls eine solche getrennte experimentelle Nachweisbarkeit des substantiell Hervorgehenden prinzipiell unmöglich. Dieser Unterschied könnte in doppelter Weise gedeutet werden: Einmal könnte man annehmen, daß auch bei den virtuellen Prozessen das substantiell Hervorgehende sich von der erzeugenden Substanz völlig loslöst und somit zu individueller, selbständiger Existenz kommt, daß aber die Lebensdauer dieses selbständigen Teilchens zu kurz ist, um einen experimentellen Nachweis zu gestatten; das wäre die Auffassung, die der üblichen allgemeinverständlichen Darstellung der virtuellen Prozesse auf der Grundlage des Partikel-Bildes, wie wir sie oben wiedergegeben haben, entspräche. Man könnte aber auch annehmen, daß sich bei den virtuellen Prozessen das Substantielle, das aus der erzeugenden Substanz hervorgeht, von dieser erzeugenden Substanz gar nicht völlig loslöst (und dann entsprechend in der absorbierenden Substanz auch gar nicht völlig untergeht, sondern gleichsam als substantielle „Brücke“

²³ Es ist zu beachten, daß wir uns hier auf den Boden der — zu widerlegenden — Hypothese stellen, Elektronen, Protonen und Neutronen stellen individuell-selbständige Substanzen dar. Diese Hypothese bedeutet, daß das Auftreten diskreter Meßresultate bei der Massen- und Energiebestimmung als Ausdruck einer substantiellen Diskretheit der Natur selbst aufgefaßt wird; dann muß aber konsequenterweise eine Aufspaltung dieser Massen- und Energiebeträge als eine substantielle Aufspaltung der diskreten Teilchen gedeutet werden. An sich hat der physikalische Massenbegriff mit dem philosophischen Substanzbegriff (Substanz als *ens in se et per se stans* aufgefaßt) ebensowenig zu tun wie etwa der Begriff der elektrischen Ladung; er stellt begrifflich eine physikalische Bestimmungsgröße zur Kennzeichnung des Verhaltens bei Beschleunigungen und bei Schwerewirkungen dar, so wie der Begriff der elektrischen Ladung eine Bestimmungsgröße zur Kennzeichnung des Verhaltens bei elektrischen Wirkungen darstellt.

oder „Klammer“ zwischen der erzeugenden und der absorbierenden Substanz steht); auch diese Auffassung stände in gutem Einklang mit der Tatsache, daß die virtuellen Teilchen nicht in sich selbst, sondern nur durch ihre Auswirkungen auf die erzeugenden bzw. absorbierenden Teilchen (Verschiebung der Energieterme des Gesamtsystems usw.) experimentell nachweisbar sind.

Um im Rahmen des Möglichen zu einer Entscheidung zwischen diesen beiden Auffassungen zu kommen, sei ein Fall betrachtet, in dem virtuelle Prozesse ebenfalls eine entscheidende Rolle spielen und in dem die erste Auffassung (virtuelle Erzeugung als Erzeugung vollselbständiger, aber kurzlebiger Substanzen) zu Schwierigkeiten führt: die Beugung von Röntgenquanten an den Atomen eines Kristallgitters. Bei einer solchen Beugung treten Interferenzerscheinungen auf, aus denen in der üblichen Weise geschlossen werden muß, daß jedes einzelne durchgehende Röntgenquant von *allen* Atomen des der Strahlung ausgesetzten Kristallbereiches irgendwie beeinflusst wird. Die Wechselwirkung mit den Kristallatomen, welche zu dieser Beeinflussung des Röntgenquants führt, beschreibt die Quantenelektrodynamik als virtuelle Absorption (mit anschließender Reemission) des Röntgenquants durch die Atome²⁴. Wäre nun diese virtuelle Absorption als vollständige, aber kurzzeitige Absorption zu interpretieren, so könnte das Röntgenquant jeweils nur von *einem* Atom in dieser Weise absorbiert werden; die Wechselwirkung mit *mehreren* Atomen wäre also nur möglich als Kette von hintereinandergeschalteten Absorptions- (und Reemissions-) Prozessen. Die Annahme einer solchen Kette stände aber im Widerspruch zu dem quantenphysikalischen Formalismus, in dem als Grund der Interferenzeffekte nur eine einmalige virtuelle Absorption auftritt²⁵; die Beteiligung mehrerer Atome an diesem Prozeß kommt im Formalismus dadurch zum Ausdruck, daß es „unbestimmt“ ist, von welchem Atom das Quant absorbiert wird. Im Wellenbild erscheint der gleiche Vorgang als eine gleichzeitige Anregung der Materiewellen aller Atome durch die einfallende Röntgenwelle. Wir müssen demgemäß die virtuelle Absorption wohl deuten als ein *einmaliges* Geschehen, an dem alle betreffenden Atome *gleichzeitig* beteiligt sind; das erscheint aber nur möglich, wenn die „*Virtualität*“ des Absorptionsprozesses darin besteht, daß das Quant von einem jeden der beteiligten Atome nicht vollständig, sondern nur teilweise absorbiert (und

²⁴ Vgl. W. Heitler a.a.O. § 14 n. 2.

²⁵ Die Absorption und Reemission durch N Atome hintereinander würde einem Prozeß $2 \cdot N$ -ter Ordnung (mit Übergangswahrscheinlichkeiten proportional zu $e^{4 \cdot N}$) entsprechen, während in Wirklichkeit der Interferenzeffekt zu einem Prozeß zweiter Ordnung gehört.

wieder emittiert) wird, so wie es der zweiten der oben zur Diskussion gestellten Auffassungen entspricht.

Die Deutung der virtuellen Emission und Absorption als nur partieller Emission bzw. Absorption erscheint noch näherliegend, wenn man den Emissions- bzw. Absorptionsprozeß allgemein nicht nur unter dem Teilchen-, sondern auch unter dem Wellenbild betrachtet. Im Wellenbild stellt sich die „reelle“ Erzeugung eines Photons als Auslaufen einer elektromagnetischen Welle aus dem schwingenden Atom dar, wofür eine Zeit von etwa 10^{-8} sec. (bei sehr monochromatisch strahlenden Atomen) benötigt wird. Diese Zeit ist darum erforderlich, weil der dem emittierten Photon entsprechende Wellenzug eine Länge von 1—3 m hat (Kohärenzlänge), und wenn ein Wellenzug von dieser Länge mit Lichtgeschwindigkeit aus dem Atom ausläuft, benötigt er dazu 10^{-8} sec. Der „Länge“ des Wellenzuges muß aber irgendeine Realität entsprechen; denn wenn man durch eine passende Versuchsanordnung den Kopf des Wellenzuges mit seinem Ende zur Überdeckung bringt, kann man noch schwache Interferenz beobachten, was nicht mehr möglich ist, wenn man über die angegebene Entfernung hinausgeht. Wenn aber der räumlichen Länge des Wellenzuges irgendeine Realität entspricht, dann muß das gleiche auch für die zeitliche Dauer des Emissionsvorgangs gelten; und wenn auch eine genauere positive Charakterisierung der Realität, die der zeitlichen Dauer des Emissionsvorgangs entspricht, wohl kaum gegeben werden kann, so läßt sich jedenfalls negativ feststellen, daß schon der reelle Emissions- (und entsprechend Absorptions-)Prozeß nicht als momentanes, zeitlich-punktuelles Geschehen verläuft, wie es die alleinige Berücksichtigung des Teilchenbildes nahelegen würde. Für die „Dauer“ der „Zwischenzeit“ zwischen dem „Beginn“ und „Ende“ des Emissions- bzw. Absorptionsvorgangs (die Anführungszeichen sollen darauf hinweisen, daß diese zeitlichen Bestimmungen auf das quantenphysikalische Einzelgeschehen nur im uneigentlichen, übertragenen Sinn angewandt werden können; vgl. oben S. 15 f.) müssen wir also wohl schon bei den realen Prozessen eine Art „Zwischenzustand“ zwischen gänzlicher Nicht-Existenz und völliger Selbstständigkeit des erzeugten bzw. absorbierten Teilchens annehmen; dann erscheint es aber erst recht nicht befremdlich, auch bei den virtuellen Prozessen an einen solchen „Zwischenzustand“ zu denken²⁶.

²⁶ Wenn in der Quantenelektrodynamik oft mehrere hintereinandergeschaltete virtuelle Prozesse auftreten, deren Reihenfolge von wesentlicher Bedeutung ist, so scheint uns dies nicht gegen die Deutung der virtuellen Emission als nur partieller Erzeugung usw. zu sprechen; denn auch zwischen solchen partiellen Prozessen ist eine Ordnung der Aufeinanderfolge denkbar. Allerdings wird diese Ordnung wohl kaum als eine eigentliche zeitliche Aufeinanderfolge aufzufassen sein, weil der Begriff der zeitlichen Aufeinanderfolge auf das mikrophysikalische Einzelgeschehen

Auch folgende Überlegung scheint gegen die Deutung der virtuellen Emission usw. als vollständiger, aber kurzzeitiger Erzeugung usw. zu sprechen: Diese Auffassung entspricht dem Partikelbild und würde konsequenterweise verlangen, daß man auch den Emissions- und Absorptionsvorgang selbst als momentanes, zeitlich-punktuell Geschehen auffaßte, so wie er im Partikelbild erscheint (andernfalls kommt man ja automatisch zu den oben erwähnten „Zwischenzuständen“). Das würde aber bedeuten, daß die Zahl der insgesamt vorhandenen Feldquanten jederzeit objektiv eindeutig bestimmt wäre und die „Unbestimmtheit“ der Feldquantenzahl, die als Folge des virtuellen Feldquantenaustausches im physikalischen Formalismus auftritt (vgl. oben S. 21), als lediglich subjektive Unkenntnis gedeutet werden müßte. Tatsächlich ist aber diese „Unbestimmtheit“ von jener typisch quantenphysikalischen Form, die die Deutung als lediglich subjektive Unkenntnis ausschließt und darauf hinweist, daß der Begriff der diskret abgeteilten, individuell-selbständigen und somit abzählbaren Teilchen im eigentlichen Sinn nicht anwendbar ist; vgl. oben S. 19 f.

Fassen wir aus den angegebenen Gründen die virtuelle Emission und Absorption als irgendwie nur partielle Emission bzw. Absorption auf, so bedeutet dies für den virtuellen Feldquantenaustausch zwischen elektrischen Ladungsträgern oder Nukleonen, daß die erzeugten Feldquanten sich nicht völlig von den erzeugenden Teilchen lösen und auch nicht völlig von den absorbierenden Teilchen aufgesaugt werden, sondern als eine Art substantieller „Klammer“ oder „Brücke“ zwischen den Ladungsträgern bzw. Nukleonen stehen. Ist diese substantielle „Brücke“ ein (relativ) stationäres Gebilde²⁷, oder kommt ihr etwa nur die kurze Lebensdauer zu, die den virtuellen Feldquanten in der auf dem Teilchenbild beruhenden Darstellung zugeschrieben wird? Wollte man das letztere annehmen, so müßte man sich den „Brückenschlag“ zumindest ununterbrochen wiederholt denken; denn da die elektromagnetischen bzw. Kernkräfte zwischen elektrischen Ladungen bzw. Nukleonen ohne Unterbrechung fortbestehen, müßte auch der substantielle „Brückenschlag“, in dem diese Kräfte begründet sind, wenigstens in der Form einer ununterbrochenen Wiederholung fortdauern. Im Wellenbild tritt hier eine Art stationärer „Resonanz“ (Verschiebung der Eigenschwingungen) der Materiewellen der Nukleonen bzw. Ladungsträger auf, welche durch

gar nicht im eigentlichen Sinn anwendbar sein dürfte (siehe oben); man wird vielmehr nur sagen können, daß in irgendeiner Weise der eine (partielle) Prozeß den anderen sachlich voraussetzt.

²⁷ Wir sprechen von einem nur *relativ* stationären Gebilde, weil sich natürlich bei einer Änderung des Zustands der Nukleonen oder Ladungsträger selbst auch ihr Zusammenhang miteinander ändert.

die den virtuellen Feldquanten entsprechenden Materiewellen vermittelt wird. Auch im übrigen dürften die Ausdrücke des mathematischen Formalismus vielleicht weniger auf eine immerfort wiederholte als auf eine einmalige virtuelle Emission hinweisen, also im Sinn eines stationären Zusammenhangs zu deuten sein²⁸. Demgemäß erscheint als das Nächstliegende sicher die Annahme eines (relativ) stationären substantiellen Zusammenhangs, welcher jedoch nicht starr und statisch aufzufassen ist, sondern gerade den Grund des Auftretens von Kraftwirkungen darstellt.

Fassen wir unsere Überlegungen zusammen, so können wir sagen: Wenn man von der Arbeitshypothese ausgeht, daß Elektronen, Protonen und Neutronen diskrete, individuell selbständige Substanzen darstellen, so führt die Berücksichtigung des virtuellen Feldquantenaustausches zwischen diesen Teilchen zu der Annahme einer substantiellen „Brücke“ oder „Klammer“ zwischen ihnen²⁹. Die Existenz einer solchen substantiellen Klammer bedeutet aber gerade, daß die miteinander verklammerten Teilchen sich *nicht* mehr in voller substantieller Diskretheit und individueller Selbständigkeit gegenüberstehen; diese Auflockerung der individuellen Eigenständigkeit ist offenbar um so größer, je intensiver die Wechselwirkung und damit der virtuelle Feldquantenaustausch zwischen den betreffenden Teilchen ist. Da zwischen dem substantiellen Sein der verklammerten Teilchen und dem der Klammer selbst ein „fließender“ Übergang besteht — das besagt ja gerade unsere Deutung der virtuellen Prozesse als nur partieller Emission bzw. Absorption —, wird kaum anzunehmen sein, daß die Klammer von verschiedener substantieller Wesensart ist als die verklammerten Teilchen. Und da prinzipiell alle Teilchen in der Welt wenigstens durch die allgemeine Massenanziehung und den entsprechenden virtuellen Gravitonenaustausch in Wechselwirkung miteinander stehen und somit substantiell mit-

²⁸ Bezüglich der Hintereinanderschaltung mehrerer virtueller Prozesse vgl. oben Anm. 26. — Gewiß rührt der stationäre Charakter des mathematischen Formalismus daher, daß nicht nach Übergangswahrscheinlichkeiten, sondern nach den Energietermen gefragt und die ganze Betrachtungsweise darum schon von vornherein stationär angesetzt wird. Aber es gibt eben in der Natur viele Gebilde, die relativ stationär sind und bei denen die Frage nach den Energietermen berechtigt ist; im übrigen sprechen wir ja ausdrücklich von einem *relativ* stationären Zusammenhang.

²⁹ H. Pohl (Der Weltäther 72 ff.) faßt das Feld, das „Kommunikationsmittel“ zwischen den in Wechselwirkung stehenden Teilchen, als *Akzidens* der als Einzelsubstanzen angesehenen Teilchen auf. Dies rührt daher, daß Pohl beim Begriff des „Feldes“ z. B. im Fall des Elektrons nur die Materiewelle des Elektrons, nicht (jedenfalls nicht ausdrücklich) dagegen den virtuellen Lichtquantenaustausch als quantenphysikalische Form des elektromagnetischen Kraftfeldes im Auge hat. Es scheint uns infolgedessen bei Pohl nicht genügend berücksichtigt, daß die Quantenphysik das Zustandekommen von Wechselwirkung immer mit wenn auch virtuellen *Erzeugungs- bzw. Vernichtungsprozessen* verknüpft; gerade dies führt uns aber, wie oben (S. 23) dargelegt, zu der Annahme eines *substantiellen* Zusammenhangs zwischen den Wirkpartnern.

einander verklammert sind, erscheint die ganze materielle Welt als ein einziges substantiell zusammenhängendes Gebilde — allerdings mit einer gewissen „Körnung“, mit verschiedenen Intensitätsgraden und „Knotenpunkten“ der seinsmäßigen „Dichte“, wie sie in den teilchenhaften physikalischen Erscheinungen zum Ausdruck kommt.

Wir kamen zu diesem Ergebnis, indem wir von der entgegengesetzten Arbeitshypothese, von der Auffassung der Nukleonen usw. als diskret-selbständiger Substanzen ausgingen und diese Hypothese schrittweise an Hand der empirischen Gegebenheiten korrigierten; es kann also nicht eingewandt werden, daß wir unser Ergebnis im Ansatz unserer Überlegungen vorweggenommen hätten. (Wären wir von der entgegengesetzten Annahme ausgegangen, daß es sich bei den teilchenhaften Erscheinungen um eine nicht substantielle, sondern nur akzidentelle Aufgliederung des materiellen Seins handele, und hätten diese Annahme als mit den empirischen Gegebenheiten vereinbar erwiesen, so hätte unser Ergebnis allerdings als in der Wahl des Ausgangspunktes vorweggenommen erscheinen können.) Gewiß ließ sich bei unseren Überlegungen keine unbedingte Gewißheit erreichen; aber die *negative* Aussage, daß die betrachteten Teilchen *keine* individuell voll-selbständigen Substanzen darstellen, dürfte doch wohl alle Gründe für sich haben, wenn auch die *positive* Charakterisierung des Zusammenhangs der „Teilchen“ miteinander mit all den Schwierigkeiten zu kämpfen hat, die sich generell einer in positiver Form versuchten Realinterpretation der quantenphysikalischen Aussagen entgegenstellen; vgl. oben S. 16 f. Aus diesem Grunde konnten alle positiven Aussagen, die wir im vorstehenden machten, nur als Andeutungen gemeint sein, als Hinweise, welche Gegebenheiten des unserer Begriffsbildung zugrunde liegenden Erfahrungsbereiches der mikrophysikalischen Wirklichkeit vermutlich am nächsten kommen dürften. In diesem Sinn ist es auch zu verstehen, wenn wir zum Schluß noch eine abrundende Ergänzung unseres Ergebnisses versuchen:

Die gesamte materielle Welt erscheint nach dem Gesagten als ein einziges substantiell zusammenhängendes Gebilde, das jedoch eine gewisse „Körnung“ aufweist, gewisse „Knotenpunkte“ oder „Verdichtungen“, die sich in dem Auftreten diskreter Meßergebnisse bei Orts-, Energie-, Massenbestimmungen usw. andeuten. In scholastischer Terminologie wird man diese „Körnung“ wohl als akzidentelle Bestimmung der einzigen materiellen Universalsubstanz bezeichnen müssen; immerhin als eine akzidentelle Bestimmung, die die tragende Substanz im wahrsten Sinn „durchformt“ und die so auch den substantiellen Zusammenhang der materiellen Welt in ähnlicher Weise auflockert, wie nach üblicher scholastischer Auffassung das Akzidens

der Quantität in die substantielle Einheit der als kontinuierlich ausgedehnt aufgefaßten materiellen Substanzen eine potentielle Vielheit hineinträgt. Geht man nun von dem Satz der Ontologie aus, daß jedes Seiende zugleich eine ontologische „Einheit“, ein „unum“ darstellt, so kann man diese ontologische Einheit im materiellen Bereich darin verwirklicht sehen, daß die gesamte materielle Welt eine einzige Substanz darstellt; bei dieser Auffassung bedeutet die genannte „Körnung“ eine Auflockerung und Aufgliederung der ontologischen Einheit. Man könnte aber auch in dieser „Körnung“ selbst eine Verwirklichungsweise des „unum“ erblicken — sie verleiht ja den so entstehenden „Teilchen“ wenigstens eine „Andeutung“ von individueller Selbständigkeit —; bei dieser Auffassung stellt dann der substantielle Zusammenhang der materiellen Gesamtwelt eine Auflockerung der ontologischen Einheit dar. In jedem Fall erweist sich die Materie als „minime unum“ — weil sie ja auch „minime ens“ ist.

Die oben (S. 18) berührte Frage, welche physikalischen Teilchen als wirklich „elementar“, d. h. als nicht weiter zusammengesetzt aufzufassen und ob die verschiedenen Arten der heutigen „Elementarteilchen“ nicht als verschiedene Zustände einer und derselben Teilchenart anzusehen seien, verliert bei der hier gebotenen Auffassung etwas von ihrer Dringlichkeit für die Naturphilosophie. Denn auch für ein zusammengesetztes Teilchen wie etwa ein Atom oder Molekül gilt, was eben von der „Körnung“ der materiellen Universalsubstanz gesagt wurde: Als ein wenn auch aus der Wechselwirkung der Teile ableitbares relativ beständiges Ganzes stellt es einerseits eine zusätzliche Aufgliederung der ontologischen Einheit der materiellen Universalsubstanz dar und verwirklicht andererseits in neuer Weise eine „Andeutung“ individueller Selbständigkeit. Die Frage nach der Verschiedenartigkeit oder Gleichartigkeit der physikalischen Elementarteilchen ist auf dem Boden unserer Auffassung zu verstehen als Frage, ob es mehrere, aufeinander nicht rückführbare Arten der akzidentellen Körnung der materiellen Universalsubstanz gibt oder nur eine einzige; die Beantwortung dieser Frage ist für die Naturphilosophie vielleicht weniger bedeutsam als die Feststellung, daß es überhaupt eine solche Körnung gibt. Es sei nur nochmals angemerkt, daß nach unserer Auffassung Lichtquanten, also *Energiequanten*, ebenso eine Körnung der *materiellen* Universalsubstanz darstellen wie etwa Mesonen, die ja die „Energiequanten“ des Kernfeldes sind, oder Elektronen, die kraft der Äquivalenz von Energie und Masse als Massenquanten gleichzeitig auch Energiequanten sind³⁰. Allerdings

³⁰ Die Begründung für diese Auffassung siehe oben S. 27: Zwischen „materiellen“ elektrischen Ladungsträgern und virtuellen Lichtquanten als der substantiellen Klammer zwischen ihnen besteht keine scharfe Abgrenzung, sondern zumindest ein „fließender“ Übergang; darum erscheint ein solches System als ein einziges sub-

darf die materielle Universalsubstanz nicht als träge, bewegungslos und passiv aufgefaßt werden, sondern sie trägt in sich selbst schon ihre dynamische Wirkkraft³¹; am Beispiel des virtuellen Feldquantenaustausches wird ja deutlich, wie Wechselwirkung in Seinskommunikation begründet ist³².

Die vorgeschlagene Auffassung der physikalischen „Teilchen“ als akzidenteller Körnung der einen materiellen Universalsubstanz zeigt jedenfalls vom naturphilosophischen Standpunkt aus viel Verwandtschaft zu den schon in der klassischen Physik unternommenen Versuchen, die „Teilchen“ als singuläre Stellen des Feldes aufzufassen; siehe oben S. 11. Diese Versuche wurden fallen gelassen, weil es nicht gelang, Feldgleichungen aufzufinden, die das Auftreten und den Zusammenhalt solcher Singularitäten ermöglicht hätten. In der Quantenphysik wird dieses Problem sozusagen umgangen: indem man die klassischen Feldgleichungen den „Übersetzungsregeln“ unterwirft, die allgemein den Übergang von der klassischen Physik zur Quantenphysik bedingen (Ersetzung der Variablen durch Operatoren), ergibt sich automatisch das Auftreten teilchenhafter Effekte; umgekehrt ergeben sich bei der Anwendung der gleichen Übersetzungsregeln auf die klassische Punkt-Mechanik von selbst wellenhafte, also feldhafte Erscheinungen.

Der sog. „Individualitätsverlust“, wie er in der quantenphysikalischen Ununterscheidbarkeit gleichartiger Teilchen und den daraus sich ergebenden Folgerungen (Pauli-Prinzip, Austausch-Effekte usw.) zum Ausdruck kommt, wurde im vorstehenden nicht als Gegeninstanz gegen die Annahme diskret-selbständiger Substanzen im materiellen Bereich angeführt; denn die hier zu betrachtenden Effekte ließen sich vielleicht auch durch die Annahme einer besonderen Art von Wechselwirkung zwischen individuell selbständigen Teilchen erklären. Natürlich nicht durch „Kräfte“ im Sinn der klassischen Physik und wohl ebensowenig bei der Auffassung der Teilchen als punktförmiger Korpuskeln; aber die Annahme diskret-selbständiger materieller Substanzen wäre von solchen speziellen Vorstellungen unabhängig. Und da bei bloßer Berücksichtigung der Ununterscheidbarkeits-Effekte die Teilchenanzahl immer als eindeutig „bestimmt“ (im quantenphysikalischen Sinn) angesetzt werden kann und sich somit von hier aus kein Einwand gegen die Anwendbarkeit des Begriffs der (nicht räumlich, sondern seinsmäßig) diskret-abgeteilten und darum abzählbaren Einzelsubstanzen erheben läßt, schien es besser, hieraus nicht auf einen Individualitäts-Verlust im philosophischen Sinn zu schließen.

stantiell zusammenhängendes Gebilde, innerhalb dessen substantielle Wesensunterschiede kaum anzunehmen sein dürften. Wenn aber zwischen Elektronen und virtuellen Lichtquanten kein substantieller Wesensunterschied besteht, liegt kein Grund vor, einen solchen zwischen Elektronen und realen Lichtquanten anzunehmen.

³¹ Vgl. dazu sehr gut H. Pohl a.a.O. 65 f.

³² Auf den beträchtlichen Unterschied zwischen unserer Auffassung und der Annahme B. Bavinks, daß die „Wirkungsquanten“ die letzte, eigentliche Realität darstellten (Ergebnisse und Probleme ⁹1949, 206 ff.) kann aus Gründen des Raummangels nicht näher eingegangen werden.