

DER MATERIEBEGRIFF DER MODERNEN PHYSIK

W. Büchel S. J.

Der Begriff der Materie, die Auffassung des materiellen Seins ist in den letzten zwanzig Jahren Gegenstand lebhafter Erörterung geworden. Den Anstoß dazu gab die Entwicklung, die sich in der Physik etwa seit der Jahrhundertwende vollzogen hatte. Bis dahin hatte es als allgemein angenommene empirische Grundlage jeder naturphilosophischen Spekulation gegolten, daß man im Bereich des Anorganischen zwei große Gruppen von Erscheinungen unterscheiden könne: Die Strahlungsvorgänge (Lichtstrahlen, Röntgenstrahlen usw.), die alle irgendwie als ein wellenartiges Geschehen aufzufassen seien, und die korpuskulare Vorgänge, in denen materielles Sein in Form kleinster Körperchen erscheine. Das Neue in der sog. Quantenphysik war nun die Erkenntnis, daß man diese scharfe Trennung nicht aufrechterhalten kann, daß man vielmehr sowohl bei den Strahlungsvorgängen wie bei den „körperhaften“ Erscheinungen beide Auffassungen, die wellenhafte und die korpuskulare, miteinander verbinden muß. Physikalisch ist diese Erkenntnis heute experimentell und theoretisch gesichert; hinsichtlich der naturphilosophischen Deutung gehen die Auffassungen, soweit überhaupt eine philosophische Erklärung versucht wird, noch weit auseinander. Der vorliegende Aufsatz will eine Deutung geben in der Weiterführung von Gedanken, die N. Junk zur Lösung des Problems beigetragen hat¹⁾. Dazu muß zunächst auf die Begriffe der Welle und der Korpuskel mit ihren wesentlichen Eigenschaften näher eingegangen (I) und dargelegt werden, wie diese Begriffe von der Physik zur Beschreibung der Strahlungsvorgänge und der materiellen Elementarteilchen verwandt werden (II). Daraus können wir die für unsere Frage entscheidenden Elemente eines neuen Materiebegriffes ableiten (III) und schließlich auf das umstrittene Problem des Determinismus in der Mikrophysik zu sprechen kommen (IV).

I.

Der Begriff der Welle kann man in der abstrakt-verallgemeinerten Form, in der er in der heutigen Physik verwandt wird, ungefähr wie folgt umschreiben: Eine Welle besteht in periodischen Aenderungen einer bestimmten physikalischen Größe, die sich über einen gewissen Raumbereich erstrecken und nach räumlichen und zeitlichen Gesetzmäßigkeiten miteinander zusammenhängen. — Zur Veranschaulichung dieser abstrakten Definition dient am besten das Beispiel der Wasserwellen, wie sie etwa entstehen, wenn man einen Stein ins Wasser wirft. In diesem Fall ist die physikalische Größe, die sich periodisch ändert, die Erhebung bzw. Senkung der Wasseroberfläche gegenüber ihrer Ruhelage; der Raumbereich, über den sich diese Aenderungen erstrecken, ist die betreffende Wasserfläche; die räumlichen und zeitlichen Gesetzmäßigkeiten bestehen darin, daß Wellenberge und Wellentäler immer in bestimmtem Abstand aufeinander folgen, daß für die Schwingung eines Punktes der Wasseroberfläche immer eine bestimmte Zeit erforderlich ist, daß Punkte, die vom Wellenzentrum weiter entfernt sind, in ihrer schwingenden Bewegung um einen gewissen Betrag verspätet erscheinen gegenüber Punkten, die näher zum Wellenzentrum hin liegen usw.

Lassen wir eine Welle von ihrem Erregungszentrum aus auf verschiedenen Wegen zu jeweils demselben Punkt gelangen, so treten die sog. Interferenzen auf. Entsprechende Erscheinungen haben wir, wenn wir auf

einer Wasserfläche Wellen ausgehen lassen, von zwei etwas voneinander entfernten Wellenzentren, die im gleichen Rhythmus miteinander schwingen. Wir haben dann auf der Wasseroberfläche gewisse Punkte, die so zu den beiden Wellenzentren liegen, daß in ihnen von beiden Zentren aus stets genau gleichzeitig ein Wellenberg bzw. ein Wellental erzeugt wird; die Folge davon ist, daß Wellenberg und -tal dort doppelt so hoch bzw. tief sind, wie sie sonst wären: Die Wellen verstärken sich gegenseitig. Andere Punkte dagegen liegen so, daß in dem gleichen Augenblick, in dem von dem einen Wellenzentrum aus in ihnen ein Wellenberg erzeugt wird, von dem anderen Zentrum ein Wellental kommt; Wellenberg und -tal heben sich gegenseitig auf, und an diesem Punkt bleibt die Oberfläche dauernd ruhig; Die Wellen, die von den beiden Zentren kommen, löschen sich in diesem Punkt gegenseitig aus. Dieses gegenseitige Sich-Verstärken bzw. -Auslöschen zweier oder mehrerer Wellen ist für den Begriff der Welle charakteristisch; es tritt nicht nur bei den Wasserwellen auf, sondern in entsprechender Weise überall und nur da, wo der abstrakt-verallgemeinerte Wellenbegriff Anwendung findet, und dient darum der Physik als entscheidendes Kennzeichen für die wellenhafte Natur einer physikalischen Erscheinung.

Der Begriff der Korpuskel ist leichter zu beschreiben: Man versteht darunter ein kleines Körperchen, mit einer bestimmten Masse und oft auch elektrischen Ladung, das sich mit einer gewissen Geschwindigkeit längs einer Bahn durch den Raum bewegt.

Diese beiden Begriffe haben im Laufe der letzten Jahrzehnte im Gebrauch der Physik eine Umformung in vielen wesentlichen Merkmalen erfahren, worauf wir im zweiten Abschnitt näher eingehen werden. Stellen wir sie sich zunächst noch einmal so gegenüber, wie sie etwa bis zur Jahrhundertwende von der Physik und durchgängig noch bis heute von der Naturphilosophie gesehen werden, so können wir in ihren wesentlichen Eigenschaften einen dreifachen Gegensatz feststellen:

1) Bei der Welle haben wir es zu tun mit einem Geschehen, bei der Korpuskel dagegen mit einem substantziellen Sein. (Natürlich ist dieses substantzielle Sein keineswegs mit der trägen oder schweren Masse identisch; diese stellen jeweils nur eine der verschiedenen physikalischen Eigenschaften an diesem Sein dar.)

2) Hinsichtlich der Raumbezogenheit gilt von der Korpuskel, daß sie immer nur an einem einzigen Raumpunkt gegenwärtig ist — in der mathematischen Berechnung setzt die Physik die Korpuskel durchweg als punktförmig an, und wenn dies auch eine Idealisation ist, so ist auf jeden Fall die Ausdehnung der Korpuskel selbst für die Verhältnisse des Mikrokosmos äußerst klein —, während die Welle stets einen ausgedehnten Raumbereich erfüllt.

3) Die Aufnahme, der Transport und die Abgabe von Energie, elektrischer Ladung usw. erfolgt bei Korpuskel und Welle in sehr verschiedener Weise. Nehmen wir zur Veranschaulichung an, daß von einem gewissen Punkt aus Energie und elektrische Ladung auf einen in einiger Entfernung aufgestellten Schirm übertragen werden sollen. Bei dem Transport von elektrischer Ladung durch Korpuskeln kann jeweils nur so viel und so wenig Ladung, jeweils nur ein solches „Quantum“ an Ladung übertragen werden, wie gerade der Ladung einer Korpuskel entspricht; diese Ladung bleibt während des ganzen Weges ungeteilt beisammen und wird auch beim Auftreffen auf den Schirm geschlossen an den einen Punkt abgegeben, in dem die Korpuskel auf den Schirm trifft; die übrigen Punkte der Schirmoberfläche erhalten von dieser Ladung nichts. Auf Ganze gesehen vollzieht sich also die Ladungsübertragung (und ein Gleiches gilt für die Uebertragung von Energie u. ä.) durch Korpuskeln unstetig, stufenweise, „quantenhaft“. Anders bei der Uebertragung von Energie durch Wellen. Hier geschieht die Uebertragung durch die Schwingung der Welle; die Energie wird infolgedessen nicht stufenweise, „quantenhaft“ abgegeben wie bei der Uebertragung durch Korpuskeln, sondern in stetigem, kontinuierlichem Gleichmaß. Sie bleibt dann auch während des Transportes nicht beisammen, sondern verteilt sich über den ganzen Raum, den die Welle einnimmt, und beim Auftreffen auf den Schirm wird sie nicht geschlossen an einem Punkt, sondern stetig über die ganze Oberfläche hin verteilt abgegeben. Der Energietransport durch Wellen vollzieht sich also in jeder Hinsicht stetig und kontinuierlich.

II.

Wir sind auf diese Unterschiede zwischen Welle und Korpuskel deswegen näher eingegangen, weil sie gerade die charakteristischen Merkmale darstellen, nach denen wenigstens bis etwa 1900 die Physik und im Anschluß daran durchweg bis heute die Naturphilosophie einer Erscheinung eine wellenhafte oder korpuskulare Natur zuschreibt. So hatte man festgestellt, daß beim Licht und entsprechend bei den Röntgenstrahlen Interferenzerscheinungen auftreten; solche sind aber nur möglich, wenn es sich um ein periodisches Geschehen handelt, das sich nicht an einem einzigen Punkt abspielt, sondern sich über einen ganzen Raumbereich hin erstreckt. Diese zwei Eigentümlichkeiten, die somit experimentell festgestellt waren und auch bis heute absolut unangetastet geblieben sind, sind nun dem Wellenbild eigentümlich; daraus schloß man, daß es sich beim Licht tatsächlich um irgendeinen Wellenvorgang handele, und daß auch die Energieübertragung durch Licht- und Röntgenstrahlen in der stetig-kontinuierlichen Weise erfolge, wie das dem Wellenbild entspricht. Umgekehrt war bei den materiellen Elementarteilchen (Elektronen, Protonen, Neutronen usw.) experimentell erwiesen, daß sie Energie bzw. elektrische Ladung genau in der unstetig-quantenhaften Weise übertragen, wie es dem Korpuskelbild eigentümlich ist; daraus schloß man wieder, daß man es bei ihnen wirklich mit Korpuskeln zu tun habe, d. h. mit Substanzen, die in wenn auch nicht absoluter, so doch angenähert punktförmiger Weise im Raum gegenwärtig sind.

Es ist nun das Verdienst der Quantenphysik, aufgezeigt zu haben, daß diese Schlüsse zum Teil verfrüht waren. Sie wies nämlich nach, daß bei Licht- und Röntgenstrahlen die Energieübertragung nicht stetig-kontinuierlich, sondern unstetig-quantenhaft erfolgt, und daß bei den materiellen Elementarteilchen Interferenzerscheinungen auftreten, die also ein periodisches Geschehen voraussetzen, das sich über einen ganzen Raumbereich hin erstreckt. Beides ist sowohl theoretisch wie experimentell aufs beste gesichert.

Wie läßt sich das miteinander vereinbaren? Die diskontinuierlich-quantenhafte Uebertragung von Energie und Ladung kann die Physik nach wie vor physikalisch erfassen und mathematisch behandeln nur mittels des Korpuskelbildes, desgleichen die Interferenzerscheinungen nur unter dem Wellenbild; es bleibt also nichts anderes übrig, als zu sagen: Zur Beschreibung der Strahlungsvorgänge wie der materiellen Elementarteilchen genügt nicht der eine Begriff der Welle bzw. Korpuskel allein, sondern es muß jeweils „komplementär“ noch der andere hinzugenommen werden. Näherhin geschieht die Verkoppelung der beiden Bilder in der Weise, daß man sagt: Die Elementarteilchen (wozu jetzt nicht nur die „materiellen“ Elementarteilchen, sondern auch die „Lichtkörperchen“, die sog. Photonen zu rechnen sind), sind Korpuskeln, deren Ladung und Energie während ihrer Wanderung durch den Raum unteilbar beisammen bleibt; aber diesen Korpuskeln kann man keine bestimmte Bahn zuschreiben, auf der in jedem Augenblick ihr jeweiliger Aufenthalt genau festgelegt ist, sondern es besteht immer nur eine gewisse Wahrscheinlichkeit dafür, an diesem oder jenem Punkt eine Korpuskel anzutreffen, und diese Wahrscheinlichkeit ist es, die sich wellenförmig ausbreitet. Die Schwingungsweite der Welle, also die Höhe der Wellenberge und Tiefe der Wellentäler, gibt ein Maß ab für die Wahrscheinlichkeit, an der betreffenden Stelle eine Korpuskel zu finden. Wo sich durch Interferenz die Wellen verstärken, ist diese Wahrscheinlichkeit besonders groß; wo sich die Wellen gegenseitig auslöschen, ist die Wahrscheinlichkeit gleich Null. Das Schicksal der einzelnen Korpuskel bleibt dabei unbestimmt; haben wir es aber zu tun mit einer großen Anzahl von Korpuskeln, so werden sich diese im Durchschnitt entsprechend der Schwingungsweite der Welle verteilen. (NB. Wenn wir im Voraufgegangenem und im Folgenden von „Teilchen“ reden, so ist „Teilchen“ nicht, wie oft im Sprachgebrauch der Physik, gleichbedeutend mit „Korpuskel“, sondern es soll einfach als gemeinsame Bezeichnung dienen für Protonen, Neutronen, Elektronen, Lichtquanten usw., gleichgültig, ob diese als Korpuskeln oder als Wellen auftreten.)

Diese Theorie der „Wahrscheinlichkeitswellen“ ist für die mathematische Behandlung der mikrophysikalischen Probleme einstweilen die einzig brauchbare

und wird es wohl noch für lange Zeit bleiben, aber philosophisch ist sie äußerst unbefriedigend; denn der Begriff der Wahrscheinlichkeit bezieht sich doch wesentlich auf unser subjektives, unvollkommenes Erkennen; hier aber tritt die Wahrscheinlichkeit auf einmal als eine objektive, reale Größe auf, die sich wellenförmig ausbreitet. Um dieser Schwierigkeit zu begegnen, schlägt A. Wenzl vor²⁾, auf das aristotelische Begriffspaar von Akt und Potenz zurückzugreifen und den beiden Erscheinungsformen der Welle und der Korpuskel eine verschiedene Seirsstufe zuzuschreiben: Je nachdem, in welcher Weise das Elementarteilchen auftritt, ist es aktuell Korpuskel und potentiell Welle bzw. umgekehrt. Dieser Auffassung steht einmal entgegen, daß man dann folgerichtig von einer beständigen Verwandlung der Elementarteilchen aus Korpuskeln in Wellen und wieder zurück in Korpuskeln sprechen müßte. Nun ist zwar der Gedanke des Entstehens und Vergehens und des Sich-Verwandels von Elementarteilchen ineinander an sich der Physik nicht fremd, aber sie bringt ihn nicht in Zusammenhang mit dem Wechsel des Wellen- und Korpuskelbildes, sondern mit den sog. Materialisationserscheinungen, mit der Verwandlung von Lichtkörperchen in Elektronenpaare u. ä. Außerdem geht die Deutung Wenzls wie die meisten ähnlichen Versuche aus von der Voraussetzung, daß die Bilder der Welle und der Korpuskel als Ganzes, mit allen in ihnen enthaltenen Merkmalen einander gegenüberzustellen und dann irgendwie miteinander zu verbinden seien, während wir oben gezeigt haben, daß es jeweils nur einzelne Elemente dieser Bilder sind, die die Physik veranlassen, die Elementarteilchen bald unter dem Bild der Welle, bald unter dem der Korpuskel zu behandeln: Vom Wellenbild die Interferenzerscheinungen, vom Korpuskelbild der un stetig-quantenhafte Transport von Energie und elektrischer Ladung. Die Interferenzerscheinungen besagen, wie oben gezeigt, ein räumlich-zeitlich periodisches Geschehen, das sich über einen ganzen Raumbereich erstreckt; der un stetig-quantenhafte Transport von Energie und Ladung setzt irgendwelche ungeteilten, in sich abgeschlossenen Substanzen voraus. Dieses und nur dieses sind die Elemente der beiden Bilder, die tatsächlich zur Beschreibung und Erklärung des mikrophysikalischen Geschehens herangezogen werden, und dementsprechend sind auch die Anwendungsbereiche der beiden Bilder abgegrenzt: Das Korpuskelbild wird immer und nur da angewandt, wo es sich in irgendeiner Weise um Austausch von Energie, Impuls, Masse, Ladung u. ä. handelt, das Wellenbild dann, wenn die Ausbreitung in Raum und Zeit betroffen ist³⁾. Von den übrigen Elementen der beiden Bilder, von der kontinuierlichen Energieübertragung der Welle und der punktförmigen Raumbezogenheit der Korpuskel wird nicht nur abstrahiert, sondern sie werden direkt gelehnet, indem eben überall da, wo es sich um Ausbreitung in Raum und Zeit handelt, das Korpuskelbild mit seiner punktförmigen Raumbezogenheit ausgeschieden und durch das Wellenbild mit seiner eigentümlichen Raumbezogenheit ersetzt wird, und umgekehrt beim Austausch von Energie u. ä. Darin besteht der große Erklärungswert der Theorie der Wahrscheinlichkeitswellen, daß es in ihr gelungen ist, wenigstens für die mathematische Behandlung die brauchbaren Elemente des Korpuskel- und des Wellenbildes von den unbrauchbaren zu trennen und die brauchbaren miteinander zu verbinden, die unbrauchbaren dagegen auszuschneiden⁴⁾. Genau so muß darum die Philosophie vorgehen, wenn sie den Materiebegriff sucht, der den neuen Erkenntnissen der Physik gerecht werden soll.

III.

Bauen wir nun aus diesen einzelnen Elementen einen neuen Materiebegriff synthetisch auf, so müssen wir ungefähr sagen: Das Elementarteilchen ist ein substanzielles Sein. Es ist nicht an einem einzelnen Raumpunkt lokalisiert, sondern in einem gewissen Raumbereich überall gegenwärtig, und zwar so, daß überall nicht nur ein Teil des Teilchens, sondern das ganze ungeteilte Teilchen mit seiner ganzen, ungeteilten Masse, Energie, Ladung usw. gegenwärtig ist. Dabei ist das Teilchen nicht etwas Starres, Ruhendes, sondern trägt in sich ein beständiges räumlich-zeitlich periodisches Geschehen.

Lassen sich diese Elemente ohne Widerspruch vereinen? In einem anschaulichen Bild, in einem anschaulichen Modell gewiß nicht. Im Bereich des Anschaulichen finden wir die einzelnen Elemente nur im Korpuskel- bzw. Wellenbild, jedesmal unlöslich mit den anderen Elementen des Bildes zu einem Ganzen

verwoben, und diese beiden Bilder, als Ganzes genommen, schließen sich gegenseitig aus, wie wir oben gesehen haben. Aber muß alles, was wirklich ist, darum auch anschaulich vorstellbar sein? Denken wir etwa an die Seele: Sie ist anschaulich in keiner Weise mehr vorstellbar und doch gewiß äußerst real. Und wenn wir nun die Art und Weise ins Auge fassen, wie die Seele im Körper gegenwärtig ist — wir können sie zwar nicht uns anschaulich vorstellen, aber doch gedanklich erschließen —, so kommen wir zu einem Begriff, der schon viel Ähnlichkeit hat mit dem neuen Materiebegriff, den wir suchen: Die Seele ist in allen Teilen des Körpers gegenwärtig; denn alle Glieder des Körpers sind lebendige Glieder; lebendig sind sie aber nur dadurch, daß die an sich leblose materielle Substanz mit einem Lebensprinzip, eben der Seele, zuinnerst seismäßig verbunden ist. Auf der anderen Seite ist die Seele in allen Gliedern nicht in der Weise gegenwärtig, daß in dem einen Glied nur ein Teil und in dem anderen Glied wieder nur ein Teil der Seele gegenwärtig wäre; ein solches Auseinanderreißen in Teile ist durch die Geistnatur der Seele ausgeschlossen. Wo die Seele ist, da ist immer die ganze Seele, mit ihrem ganzen Wesen, mit allem was zu ihr gehört. Die ganze Seele ist wie im Kopf so auch in den verschiedenen Gliedmaßen gegenwärtig, und doch wohnt in dem ganzen Körper natürlich nur eine einzige Seele. Ähnlich müssen wir uns nun die Raumbezogenheit des Elementarteilchens denken: Innerhalb eines gewissen Raumbereiches, eben des Reiches, über den sich die entsprechende „Welle“ erstreckt, ist das Elementarteilchen überall gleichzeitig gegenwärtig, und zwar überall mit seinem ganzen Sein, mit seiner ganzen Ladung, Energie usw., aber doch so, daß es eben nur ein Teilchen und nicht mehrere Teilchen sind.

Damit hätten wir die Erklärung für die „Allgegenwärtigkeit“ und gleichzeitige Ungeteiltheit des Teilchens gefunden. Wie ist es nun mit dem räumlich-zeitlich periodischen Geschehen? Auch hier kann uns der Vergleich mit der Seele zu Hilfe kommen; denn wenn auch die ganze Seele überall im Körper gegenwärtig ist, so ist sie es doch nicht überall in der gleichen Weise. Die Seele, die in den einzelnen Körpergliedern gegenwärtig ist, ist die wesenhaft geistige Seele, wesenhaft mit Verstand und freiem Willen ausgerüstet; aber man kann darum nicht sagen, daß die Seele in den Gliedern denke oder wolle; diese geistigen Fähigkeiten sind in den Gliedern gleichsam „gebunden“ und können nur im Gehirn in Tätigkeit treten. Ähnlich müssen wir auch von dem Elementarteilchen sagen, daß es zwar überall mit seiner ganzen Energie usw. gegenwärtig ist, daß aber diese Energie oder, allgemeiner gesprochen, die Fähigkeit des Teilchens, nach außen hin wirksam zu sein, an den verschiedenen Punkten in verschiedener Weise mehr oder weniger stark „gebunden“ bzw. „freigegeben“ ist. So erhalten wir dann diese räumlich-periodische Verschiedenheit, die eine der wesentlichen Voraussetzungen der Interferenzerscheinungen ist. Und wir können sagen, daß die Schwingungsweite der Welle, die in der Theorie der Wahrscheinlichkeitswellen ein Maßstab für die Wahrscheinlichkeit der Gegenwart einer Kugel an der betreffenden Stelle ist, in unserer Auffassung einen Maßstab abgibt für den größeren oder geringeren Grad, in dem an der betreffenden Stelle die Energie des Teilchens gebunden bzw. freigegeben ist. Wir werden darauf im nächsten Abschnitt nochmals zurückkommen⁵⁾.

Einstweilen bleibt uns als letztes zu erklären die Verbindung des substanzialen Seins mit dem zeitlich-periodischen Geschehen, die wir in unserem neuen Materiebegriff haben. Auch diese Elemente schließen sich keineswegs aus, wie wir am Beispiel nicht nur der Seele, sondern jeder lebenden Substanz sehen können. Denn jedes Leben besagt — im Bereich des Endlichen — wesenhaft Veränderung, Werden und Vergehen, also ein Geschehen, und zwar ein Geschehen, das sich nicht nur sozusagen äußerlich am Sein der lebenden Substanz abspielt, sondern das sich gerade in diesem Sein vollzieht. Deshalb kann es keinen Widerspruch bedeuten, wenn wir auch bei den materiellen Elementarteilchen annehmen, daß ihr Sein kein starres, statisch-ruhendes Sein ist, sondern in sich ein beständiges Geschehen trägt, eben diese zeitlich-periodischen Veränderungen, dieses Pulsieren, das zusammen mit der räumlich-periodischen Verschiedenheit die Voraussetzungen für alle Interferenzerscheinungen bildet. —

Wir haben im Vorausgehenden verschiedentlich die materiellen Elementarteilchen mit der Seele verglichen. Zur Vermeidung von Mißverständnissen soll nochmals betont werden, daß dabei der Vergleichspunkt nur in der Raumbezogen-

heit liegt: So ähnlich, wie die Seele im Körper gegenwärtig ist, so ähnlich ist das Elementarteilchen innerhalb des Bereiches seiner „Welle“ gegenwärtig. Dabei bleibt der abgrundtiefe Unterschied bestehen, daß die Seele ein lebendiger Geist, das Elementarteilchen dagegen tote Materie ist. Denn das Wesen des Geistes liegt in der Fähigkeit, verstandesmäßig zu erkennen und frei zu wollen, nicht in dieser Art der Raumbezogenheit; diese Art der Raumbezogenheit ist auch der Tierseele und wahrscheinlich dem Lebensprinzip der Pflanze eigen, die doch bestimmt nicht geistig sind. — Wenn wir zuletzt das Elementarteilchen mit der lebendigen Substanz verglichen, dann nur, um zu zeigen, daß der Begriff eines substanzialen Seins, welches in sich ein beständiges „Pulsieren“ trägt, keinen Widerspruch besagt; damit soll aber wieder der wesentliche Unterschied zwischen dem Lebensgeschehen und dem Geschehen in der materiellen Welt in keiner Weise geleugnet werden, ein Unterschied, der sich u. a. darin ausdrückt, daß das Lebensgeschehen — im Bereich des Endlichen — wesentlich eine Entwicklung besagt, einen Fortschritt vom Unentfalteten, Keimhaften zum Entfalteten, vom Unvollkommenen zum Vollkommenen, während das materielle Geschehen keine Entwicklung kennt, sondern immer auf der wesentlich gleichen Stufe stehen bleibt. Ebenso findet sich die Ganzheit des Organismus, die allem Lebensgeschehen ihren Stempel aufdrückt und sich auf rein wirkursächliche Faktoren nicht zurückführen läßt, im Anorganischen trotz scheinbarer Ansätze in Wirklichkeit nicht vor. Deswegen können wir uns auch der Auffassung nicht anschließen, die auf Grund der modernen Physik den Elementarteilchen eine Art Wahlfreiheit zuschreiben will; denn Wahlfreiheit setzt immer geistiges Leben voraus; von geistigem Leben finden sich aber bei den Elementarteilchen keinerlei Anzeichen. —

Aus dem Vorstehenden ergibt sich von selbst, was über das Verhältnis des Wellen- und Korpuskelbegriffes zur Wirklichkeit zu sagen ist. Welle und Korpuskel sind nur anschauliche Hilfsmodelle, Bilder, mit denen wir eine in sich anschaulich nicht mehr vorstellbare Wirklichkeit angenähert beschreiben. Wir können diese Bilder verwenden, weil sie jeweils einige Seiten der Wirklichkeit angenähert richtig wiedergeben — das Korpuskelbild das substanziale Sein und den quantenhaften Energieaustausch, das Wellenbild das räumlich-zeitliche Pulsieren —; wir müssen diese Bilder, wenigstens einstweilen, in der mathematisch-physikalischen Behandlung der Probleme verwenden, weil wir noch keine anderen Begriffe haben, die mathematisch so durchentwickelt wären und uns eine solche Fülle von mathematischen Operationen gestattet, wie das bei den Bildern der Welle und Korpuskel der Fall ist. Deswegen besagt es z. B. auch gar nichts über die Dimensionalität des wirklichen Raumes, wenn in der Theorie des Zusammenwirkens mehrerer Elektronen „Konfigurationsräume“ mit sechs, neun und mehr Dimensionen auftreten; es ist das nur ein Ausdruck dafür, daß die Beziehungen zwischen den einzelnen unanschaulichen Elementarteilchen so kompliziert sind, daß sie sich bei der Verwendung des Wellenbildes nur mehr in dem Kunstgebilde eines „Raumes“ mit neun und mehr Dimensionen mathematisch bewältigen lassen⁶⁾.

IV.

In der Theorie der Wahrscheinlichkeitswellen ist die Schwingungsweite der Welle ein Maßstab für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Korpuskeln an der betreffenden Stelle. Das Schicksal der einzelnen Korpuskel ist nur insofern festgelegt, als die durchschnittliche Verteilung einer großen Anzahl von Korpuskeln, denen allen dieselbe Welle zugeordnet ist, der Schwingungsweite der Welle entsprechen muß. Dies ist der Grundgedanke der Theorie, der sich auch experimentell bestätigte, soweit eine experimentelle Nachprüfung des Verhaltens einzelner Elementarteilchen möglich war, und an diesem Punkt glauben nun manche, den Gedanken der Freiheit in die Mikrophysik einführen zu müssen⁷⁾. Dabei argumentiert man folgendermaßen: Alle Momente, durch die das Auftreten einer Korpuskel kausal bestimmt wird, sind in dem Bild der Wahrscheinlichkeitswelle erfaßt; wenn nun durch diese Wahrscheinlichkeitswelle das Auftreten der einzelnen Korpuskel nur in einem sehr weiten Rahmen festgelegt ist, so muß die letzte, endgültige Bestimmung erfolgen durch einen freien Wahlakt des Elementarteilchens selbst⁸⁾. Wir haben schon oben dargelegt, weshalb wir

einen solchen freien Wahlakt der Elementarteilchen nicht annehmen können; wir müssen also noch zeigen, wie denn nach unserer Auffassung der Zusammenhang zwischen der Schwingungsweite des Wellenbildes und dem Auftreten der Korpuskeln hergestellt wird.

Zunächst: Was ist überhaupt gemeint mit der Aussage: „Es tritt eine Korpuskel auf?“ Eine Korpuskel tritt offenbar dann auf, wenn ein Elementarteilchen nicht als Welle, sondern als Korpuskel erscheint, wenn das Korpuskelbild zur Beschreibung des Elementarteilchens anwendbar wird. Nun erstreckt sich, wie oben gezeigt, der Anwendungsbereich des Korpuskelbildes auf die energetischen Reaktionen, auf die Vorgänge, bei denen in irgendeiner Form Elementarteilchen aufeinander einwirken, so daß Energie von dem einen Teilchen auf das andere übertragen wird. Die Aussage „Es tritt eine Korpuskel auf“ bedeutet also: Es ist ein Elementarteilchen vorhanden, und es findet irgendeine energetische Reaktion zwischen diesem Elementarteilchen und seiner Umgebung statt.

Zu demselben Ergebnis führt eine andere Ueberlegung: Wenn der Physiker sagt: „Da und da tritt eine Korpuskel auf“, so will er damit ausdrücken: An diesem Punkt ist ein Elementarteilchen feststellbar, macht sich in irgendeiner Form als gegenwärtig bemerkbar. Ein solches Feststellen, ein solches Sich-bemerkbar-Machen eines Elementarteilchens ist aber nie möglich, ohne daß dieses Teilchen in irgendeiner Weise auf seine Umgebung, auf andere Elementarteilchen einwirkt, sei es nun, daß es eine photographische Platte schwärzt, einen Schirm zum Leuchten bringt, in der Wilson-Kammer Ionenbildung hervorruft oder im ‚Gamma-Strahlen-Mikroskop‘ ein Photon aus seiner Bahn ablenkt. Wenn das Teilchen in keiner Weise auf seine Umgebung einwirkt, dann ist es für die Erkenntnis-mittel des Physikers einfach nicht feststellbar, einfach nicht vorhanden. Das Einwirken des Elementarteilchens auf seine Umgebung bedeutet aber immer einen Energie-Austausch, eine energetische Reaktion, und so kommen wir wieder zu dem Ergebnis: Die Aussage: „Es tritt eine Korpuskel auf“ bedeutet: Es findet eine energetische Reaktion statt. Wenn wir also wissen wollen, wie nach unserer Auffassung die Schwingungsweite des Wellenbildes und das Auftreten der Korpuskeln zusammenhängen, dann müssen wir diese Frage jetzt so formulieren: „Wie hängt die Schwingungsweite der Welle mit dem Zustandekommen von energetischen Reaktionen zusammen?“

Wir haben schon im dritten Abschnitt ausgeführt, daß nach unserer Auffassung die Energie, Ladung usw. des Elementarteilchens im gesamten Bereich der Welle überall ganz, ungeteilt gegenwärtig ist, daß sie aber an den verschiedenen Punkten in verschiedener Weise gebunden, abgeschirmt bzw. freigegeben ist. Dabei wird der Grad der Bindung bzw. Freigabe beschrieben durch die Schwingungsweite des Wellenbildes. Wenn nun zwischen diesem Elementarteilchen und etwa einem Atom ein Energieaustausch stattfinden soll, so ist es klar, daß von seiten des Elementarteilchens die Vorbedingungen für das Zustandekommen einer solchen energetischen Reaktion am günstigsten sind an den Stellen, wo seine Energie am wenigsten gebunden ist, also an den Stellen großer Schwingungsweite der Welle. Ob und wo tatsächlich ein Energieaustausch zustandekommt, hängt nicht nur von dem Elementarteilchen selbst ab, sondern auch von dem Atom, mit dem die Energie ausgetauscht werden soll, und von anderen noch mitwirkenden Faktoren; der energetische Prozeß wird darum da zustandekommen, wo die Gesamtbedingungen dafür am günstigsten sind, wenn auch dort vielleicht von seiten des Elementarteilchens die Energie stärker gebunden war als an anderen Stellen⁹⁾. Für den Einzelfall läßt sich also aus der Schwingungsweite der Welle kein eindeutiger Schluß ziehen auf das Zustandekommen einer energetischen Reaktion oder, in der Sprechweise des Physikers, auf das ‚Auftreten einer Korpuskel‘, obwohl es objektiv-kausal eindeutig determiniert ist.

Dieser Gedanke sei noch etwas weiter ausgeführt an dem Beispiel etwa eines Elektronenstroms, der durch einen Beugungskristall hindurchgeht und dann auf einen Leuchtschirm trifft. Alle Elektronen sollen die gleichen physikalischen Eigenschaften, also, im Wellenbild dargestellt, an den gleichen Stellen die Maxima und Minima der Schwingungsweite haben. Dann ist nach unserer Auffassung jedes einzelne Elektron über die ganze Oberfläche des Schirms hin gleichzeitig gegenwärtig, wobei aber an den verschiedenen Stellen die Energie entsprechend der Schwingungsweite der Welle in verschieden starker Weise gebunden ist. Damit

nun irgendwo die Energie des Elektrons an ein Atom der Schirmoberfläche abgeben und so der Schirm zum Leuchten angeregt wird, muß eine doppelte Bedingung erfüllt sein: Einerseits darf die Energie des Elektrons an dem betreffenden Punkt nicht zu stark gebunden sein, muß einigermaßen leicht abgegeben werden können; andererseits muß das Atom der Schirmoberfläche in einem Zustand sein, der die Aufnahme der Energie gestattet. An dem Punkt, wo die Gesamtbedingungen, sowohl von seiten des Elektrons als auch des aufnehmenden Atoms und noch anderer etwa beteiligter Faktoren, am günstigsten sind, an diesem Punkt findet dann tatsächlich der Energieaustausch zwischen dem Elektron und dem betreffenden Schirmatom statt. Gleichzeitig hört das Elektron auf, über die ganze Schirmoberfläche hin gegenwärtig zu sein, und ist nur mehr in dem Raum gegenwärtig, der von dem absorbierenden Atom erfüllt wird. (Physikalisch ausgedrückt: Dadurch, daß das Elektron an einem Punkt seine Energie abgibt und dementsprechend als Korpuskel auftritt, wird für alle anderen Punkte die Amplitude der Wahrscheinlichkeitswelle dieses einen Elektrons zu Null.)

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß im Einzelfall der Punkt, an dem die Energieabgabe stattfindet, keineswegs an den Maxima der Schwingungsweite der Welle zu liegen braucht, sondern eben da, wo die Gesamtbedingungen am günstigsten sind. Anders wird es, wenn wir das durchschnittliche Verhalten aller Elektronen des ganzen Elektronenstromes betrachten, die ja alle, im Wellenbild dargestellt, an denselben Stellen die Maxima und Minima ihrer Schwingungsweite haben. Auf der Schirmoberfläche ist kein Punkt vor dem anderen besonders ausgezeichnet; deshalb besteht durchschnittlich bei allen Atomen die gleiche Aufnahmebereitschaft für die Energie eines Elektrons. Von seiten der Elektronen aber sind die Bedingungen für die Abgabe der Energie immer am günstigsten in den Maxima der Schwingungsweite ihrer Wellen, weil dort die Energie am lockersten gebunden ist und am leichtesten abgegeben werden kann. Infolgedessen wird es in diesen Maxima am häufigsten zum Energieaustausch kommen; in den Minima wird nur ganz selten eine Abgabe von Energie stattfinden; und an den dazwischen liegenden Punkten wird die durchschnittliche Häufigkeit des Energieaustausches der Schwingungsweite der Welle entsprechen — in der Sprechweise des Physikers: Die durchschnittliche Verteilung der Korpuskeln entspricht der Schwingungsweite der Wahrscheinlichkeitswelle⁴⁰).

Auf diese oder eine ähnliche Weise läßt sich wohl die sonderbare Erscheinung der „Wahrscheinlichkeitswellen“ philosophisch befriedigend erklären, ohne daß man einen freien Wahlakt des Elementarteilchens einzuführen braucht. Was dieser freie Wahlakt leisten sollte, die letzte eindeutige Determinierung des Auftretens der Korpuskeln innerhalb des von der Wahrscheinlichkeitswelle gezogenen weiten Rahmens, ist schon durch objektiv-kausale Faktoren geschehen. Der Schein der Unbestimmtheit entsteht dadurch, daß man im Wellenbild die Gesamtheit aller kausal-determinierenden Faktoren erfaßt glaubt. Das wäre richtig, wenn das „Auftreten einer Korpuskel“ etwas wäre, was nur von dem betreffenden Elementarteilchen selbst abhängt; tatsächlich dürfte es aber, wie gezeigt, immer eine energetische Reaktion zwischen dem Elementarteilchen und irgendeinem „Partner“ bedeuten, deren Zustandekommen von dem Partner wesentlich mitbestimmt wird. Diese Einflüsse sind im Wellenbild oft überhaupt nicht und oft nur unzureichend erfaßt, und daher kommt es dann, daß, vom Wellenbild her gesehen, das Auftreten einer Korpuskel mehr oder weniger unbestimmt erscheint.

Es muß aber noch ein Zweites berücksichtigt werden: Auch wenn festgelegt ist, zwischen welchem Elektron und welchem Atom ein Energieaustausch stattfindet, so wird sich dieser energetische Prozeß doch nie genau an einem Punkt abspielen; vielmehr wird er sich über einen gewissen Raumbereich hin erstrecken, wie ja auch das Atom und das Elektron selbst keine punktförmigen Gebilde sind, sondern immer einen gewissen Raumbereich in der ihnen eigentümlichen Art erfüllen. Infolgedessen wird sich das Bild der streng punktförmigen Korpuskel nie mit völliger Exaktheit anwenden lassen, sondern immer gewisse Unbestimmtheiten, eine gewisse „Verschwommenheit“ zeigen. Das ist ausgedrückt in den berühmten „Unbestimmtheitsrelationen“ der Quantenphysik, die besagen, daß Ort und Geschwindigkeit einer Korpuskel nie gleichzeitig mit vollständiger Genauigkeit bestimmt sein können⁴¹). Diese Unbestimmtheitsrelationen bedeuten also eine Grenze nicht für die Gültigkeit des Determinismus oder gar des Kausalitäts-

prinzips, sondern für die Anwendbarkeit unserer aus der Anschauung gewonnenen bildhaften Vorstellungen.

* * *

Wir haben im Vorausgehenden einen Begriff des materiellen Seins entwickelt, der sich von der herkömmlichen Auffassung der materiellen Substanzen als kleiner, stetig ausgedehnter Körperchen beträchtlich unterscheidet. Aehnliche Gedanken waren vereinzelt schon früher, u. a. von Leibniz¹²⁾ und vor allem von Palmieri¹³⁾ vorgelegt worden; bei beiden Forschern waren es die spekulativen Schwierigkeiten des Kontinuum-Begriffes, die sie zur Auffassung der Materie als eines „quantitativ einfachen“ Seins veranlaßten. Es ist klar, daß ein solcher Materiebegriff für die naturphilosophische Spekulation ganz neue Fragen aufwirft und neue Anregungen vermittelt. Darauf weiter einzugehen, würde jedoch den Rahmen dieses Aufsatzes überschreiten¹⁴⁾, in dem zunächst nur die empirischen Grundlagen geklärt werden sollten, auf denen jede philosophische Spekulation aufbauen muß.

¹²⁾ N. Junk, Das Problem der Kausalität in der modernen Quantenphysik, PhJB. 54 (1941) 266—320;

ders. Das Ringen um einen neuen Materiebegriff, Scholastik 16 (1944) 521—533. — Dort auch weitere Literaturangabe.

¹³⁾ A. Wenzl, Metaphysik der Physik von Heute, Leipzig 1935.

¹⁴⁾ vgl. E. Zimmer, Umsturz im Weltbild der Physik, München 1942², 198: „Licht und Materie sind nicht Wellen und sind auch nicht Korpuskeln. Sie verhalten sich, ‚als ob‘ sie Körper wären, immer wenn es sich um Energie- und Impulsaustausch handelt. Aber etwas Wesentliches an Realität fehlt diesen Körpern, ich kann ihnen keinen bestimmten Ort, keine Bahn, längs der sie sich bewegen, zuschreiben. Denn ihre durchschnittliche Ausbreitung in Raum und Zeit ist so, ‚als ob‘ sie Wellen wären.“

¹⁵⁾ Entsprechendes gilt von der von Heisenberg entwickelten Matrizenmechanik, der anderen Form, in der das Geschehen der Mikrophysik mathematisch erfäßbar ist: Sie geht aus vom Korpuskelbild und hält von diesem fest die quantenhafte Energieübertragung; im übrigen laufen aber die ganzen abstrakten Rechenoperationen der Matrizenrechnung darauf hinaus, der Korpuskel ihre Bindung an einen bestimmten Ort und eine bestimmte Bahn zu nehmen.

¹⁶⁾ Zur Abhebung unserer Auffassung gegenüber der Theorie der elektrischen ‚Ladungswolke‘, wie sie Schrödinger anfänglich zur Deutung der Materiewellen vorgeschlagen hatte, sei nur kurz auf Folgendes hingewiesen: Schrödinger löste das elektrische Elementarquantum auf in eine ‚Ladungswolke‘, deren Dichte jeweils der Schwingungswerte der Welle entsprechen sollte. Die einzelnen Teile der Wolke mußten dann aufeinander elektrische Abstoßungskräfte ausüben, und wenn man diese berücksichtigte, führte die Rechnung zu der Erfahrung widersprechenden Ergebnissen. Deswegen wurde der Vorschlag Schrödingers später wieder fallen gelassen. Nach unserer Auffassung dagegen bleibt die elektrische Ladung des Elektrons ungeteilt zusammen und ist als Ganzes überall gegenwärtig, wenn auch in verschiedenem Grade gebunden bzw. freigegeben, und es ist leicht verständlich, daß diese eine und dieselbe Elementarladung auf sich selbst nicht solche elektrischen Abstoßungskräfte ausübt, wie sie sonst zwischen verschiedenen gleichnamigen Ladungen bestehen, und wie sie darum auch zwischen den voneinander verschiedenen Teilen der Schrödingerschen Ladungswolke hätten auftreten müssen.

¹⁷⁾ Vgl. dazu F. Weizsäcker, Zum Weltbild der Physik, 1. Aufl. S. 40: „Die Begriffe ‚Teilchen‘ und ‚Welle‘ ... treten also nur auf als durch unsere Anschauungsformen geforderte Deutungen eines nicht mehr unmittelbar anschaulichen Geschehens.“ Ferner: N. Junk, Mathematik und wirkliche Welt, Schol. 18 (1943) S. 174. — Zu den Elementen des Korpuskelbildes gehört es auch, wenn die Physik vom Elektronenradius, Protonenquerschnitt usw. spricht. Es handelt sich dabei um Größenwerte, die deduktiv abgeleitet sind unter der Voraussetzung, daß man es bei den Elementarteilchen mit Korpuskeln zu tun habe. Damit ist keineswegs gezeugnet, daß diese Größenwerte selbst eine grundlegende Bedeutung im Naturgeschehen haben; nur ihre Deutung gerade als Querschnitt von Korpuskeln usw. gehört zu der subjektiv-bildhaften Einkleidung.

¹⁸⁾ So z. B. noch neuestens P. Jordan, Die Stellung der Naturwissenschaft zur religiösen Frage, Universitas 2 (1947) 5 ff.; A. Wenzl, Wandlung des naturwissenschaftlichen Weltbildes und ihre weltanschaulichen Folgen StZ 72 (1946/47) 227—230.

¹⁹⁾ oder, wie es z. B. Jordan a. a. O. als möglich hinstellt, durch einen jeweils neuen freischöpferischen Akt Gottes.

²⁰⁾ Dabei ist wohl zu beachten: Wenn einmal ein solcher energetischer Prozeß zustande kommt, dann geht natürlich die ganze Energie, die ganze Ladung des Elementarteilchens in diesen Prozeß ein und nicht etwa nur ein Teil, wie es bei der ursprünglichen Schrödingerschen Theorie der elektrischen Ladungswolke gewesen wäre, gleichwie ja schon vorher das ganze Teilchen mit seiner ganzen Energie, wenn auch gegebenenfalls in stärkerer Bindung, dort gegenwärtig war.

¹⁰⁾ Bei dieser Deutung ist auch der Grundgedanke der Deutung von Wenzl irgendwie wieder aufgenommen. Nach Wenzl bedeutet die Welle die reale Möglichkeit für das Auftreten der Korpuskel. In unserer Auffassung beschreibt die Welle die Bindung bzw. Freigabe der Energie des Teilchens; diese ist aber die reale Voraussetzung, die reale Möglichkeit für das Zustandekommen energetischer Reaktionen, also für das ‚Auftreten von Korpuskeln‘.

¹¹⁾ In ähnlicher Weise ist auch die zweite Unbestimmtheits-Relation hinsichtlich des Zeitpunktes einer Energieübertragung und der Größe des übertragenen Energiebetrages zu deuten, worauf wir hier jedoch nicht näher eingehen können.

¹²⁾ G. W. Leibniz, *Monadologie* n. 1.

¹³⁾ D. Palmieri, *Institutiones Philosophicae*, Rom 1875, vol. II: *Cosmologia, Anthropologia* 23 sqq.

¹⁴⁾ Es sei nur darauf hingewiesen, daß die Annahme quantitativ einfacher materieller Substanzen natürlich keineswegs die Annahme der ganzen Monadenlehre bedeutet.

Summary.

By employing the notions of undulation and corpuscles in a complementary manner, modern physical science comes to derive, for the material corpuscles, a relation to space after the model of quantitatively simple substances. The static character of the physical laws makes it impossible suitably to express such a relation by means of the conceptions of undulation and corpuscles and to grasp the totality of all the factors by which an energetical process is determined.

Résumé.

En usant les notions d'ondes et de corpuscules d'une façon complémentaire, la physique moderne dérive pour les corpuscules matériels une relation spatiale pareille à des substances simples par rapport à la quantité. C'est au caractère statique des règles de physique qu'est dû l'impossibilité de reproduire cette relation convenablement par les concepts d'ondes et de corpuscules et de saisir le tout des éléments qui déterminent un procès énergétique.