

Das Ringen um einen neuen Materiebegriff.

Von Nikolaus Junk S. J.

Die Kernfrage und zugleich das dunkelste Problem der Philosophie der anorganischen Natur ist die Frage nach dem Wesen der Materie. Dabei ist unter Materie nicht zu verstehen die Materie als Wesenskomponente des Seins, sondern die materielle Welt, das anorganische Sein, das uns unmittelbar gegeben erscheint als Objekt unserer Sinne. Obgleich uns diese Materie durch den täglichen Umgang mit ihr so handgreiflich nahegerückt und in der Sinneserfahrung so lebendig-anschaulich gegeben scheint, so müssen wir doch bekennen, daß es trotz unermüdlicher Forscherarbeit und nimmermüdem Denkbemühen bisher noch nicht gelungen ist, zu einem letzten Verständnis dessen zu kommen, was sie eigentlich ist. Die ungeahnten Fortschritte und unerwarteten Ergebnisse der modernen Physik haben eine völlig neue Grundlage geschaffen für die Diskussion des Problems. Die physikalische Forschung über die Materie ist in der Quanten- und Wellenmechanik zu einem gewissen Abschluß gelangt. Die heutige Physik sieht ihre Aufgabe vor allem darin, die mathematisch-physikalischen Theorien auf bestimmte Einzelprobleme anzuwenden. Dabei sind vorläufig keine wesentlich neuen Resultate zu erwarten, die zu einer von der heutigen verschiedenen Auffassung der Materie führen könnten. Somit sind wir berechtigt, an die Ergebnisse der modernen Quantenphysik die philosophische Erörterung des Materieproblems anzuschließen. Die vorliegende Arbeit setzt sich das Ziel, wenigstens die Richtung zu zeigen, in der eine Antwort auf die Frage nach dem Wesen der Materie zu erhoffen ist.

Um das Verständnis für die neue Auffassung von der Materie vorzubereiten und zu erleichtern, seien zunächst einige Tatsachen aus der Geschichte der Lichttheorie wiedergegeben, die auch historisch den Ausgangspunkt bildeten für die moderne Vorstellung von der Materie¹. Im 17. Jahrhundert standen sich zwei miteinander unvereinbare Erklärungen des Lichtes und seiner Erscheinungen gegenüber. Auf der einen Seite vertrat Newton seine *Emissionstheorie*. Danach besteht das Licht aus kleinsten, festen Körperchen, Korpuskeln, die mit ungeheurer

- anat

¹ Eine faßliche Darstellung der Lichttheorien bietet E. Zimmer, Umsturz im Weltbild der Physik, München 1938⁴, 49 ff.

Geschwindigkeit, eben der Lichtgeschwindigkeit, in den Raum hinausgeschleudert werden und gradlinig wie ein Hagelschauer den Raum durchfliegen. Die Lichtbrechung und die Farbenzerstreuung finden in dieser Auffassung ihre Erklärung dadurch, daß den Lichtkörperchen in den verschiedenen Medien eine verschiedene Geschwindigkeit zugeschrieben wird. Dadurch werden sie beim Übergang aus einem Medium in ein anderes aus ihrer Bahn abgelenkt. Da nun die Geschwindigkeit für jede Farbe eine andere ist, ist auch der Ablenkungswinkel für jede Farbe verschieden und deshalb werden die Farben auseinander gezogen, wie es im Spektrum zu sehen ist. Treffen die kleinen Geschosse auf eine Spiegelfläche, dann erleiden sie eine Abstoßung und werden zurückgeworfen, wie wir es bei der Reflexion beobachten.

Gegen diese Auffassung stand Huygens mit seiner *Undulationstheorie*. Diese sieht im Licht einen Wellenvorgang, der sich in einem elastischen Medium, dem Äther, ausbreitet. Licht ist nach dieser Auffassung nicht ein Ding, sondern ein Vorgang an einem Ding, die wellenhafte Erregung des Äthers. Der heftige Streit zwischen beiden Theorien wurde durch Fresnel scheinbar endgültig entschieden zugunsten der Wellentheorie. Nur diese Annahme ist nämlich imstande, die Erscheinungen der Beugung und Interferenz befriedigend zu erklären. Bei diesen Phänomenen tritt unter entsprechenden Bedingungen der seltsame Fall ein, daß Licht zu Licht addiert Dunkelheit ergibt. Nach der Emissionstheorie müßte man erwarten, daß durch das Zusammentreffen zweier Lichtstrahlen die Helligkeit gesteigert würde. Ist das Licht jedoch ein Wellenvorgang, dann ist es möglich, daß an derselben Raumstelle ein Wellenberg des einen Strahles mit einem Wellental des anderen zusammenkommt. Dadurch vernichten sich aber die beiden Wellen gegenseitig und es entsteht Dunkelheit. Damit gelangte die Deutung des Lichtes als Wellenvorgang zu allgemeiner Anerkennung. Nur stellte sich durch spätere Forschung heraus, daß es sich dabei nicht um elastische Schwingungen handelt, sondern um elektromagnetische. Die periodische Änderung der elektromagnetischen Feldstärke, die sich im Raum ausbreitet, ergibt dann den Wellenvorgang. Das sichtbare Licht ist nur ein kleiner Ausschnitt aus dem Gesamtgebiet der elektromagnetischen Wellen, die das Licht im weitesten Sinne oder die Strahlung ausmachen. Somit sind im materiellen Gebiet zwei Bereiche zu unterscheiden, die unüberbrückbar nebeneinander standen: Licht in seiner

weitesten Bedeutung und Materie oder Welle und körperhafte Partikel.

Erst in der neuesten Zeit zwang die Entwicklung der *Quantentheorie* wiederum dazu, zurückzukehren zu einer allerdings etwas anders gearteten korpuskularen Auffassung des Lichtes. Nach der Planckschen Quantentheorie² erfolgt die Aufnahme und Abgabe von Strahlungsenergie nicht stetig, sondern atomistisch, gleichsam tropfenweise in diskreten Quanten, deren Größe von der Wellenlänge der Strahlung abhängt. Je größer die Wellenlänge, desto kleiner ihre Energiequanten und umgekehrt. Während Planck die quantenhafte Natur der Strahlung beschränkt wissen wollte auf die Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie, wobei Energie von der Materie aufgenommen oder abgegeben wird, übertrug Einstein die Quantenvorstellung auf die Strahlung selbst. Er schrieb dem Licht eine nadelartige Struktur zu. Die Strahlung selbst besteht aus Quanten oder Strahlungsatomen, den Lichtquanten, denen man auch den Namen Photonen gab. Wenn diese Auffassung auch nicht einfachhin einer Rückkehr zur Newtonschen Emissionstheorie gleichzuzurechnen ist, so bedeutet sie doch eine irgendwie korpuskulare Auffassung des Lichtes. Das Licht besteht aus kleinsten Stückchen, die verschieden groß sind je nach der Wellenlänge des betreffenden Lichtes. Auf diese Weise gelang es, eine Erklärung zu geben für den sogenannten lichtelektrischen oder Photoeffekt. Bei dieser Erscheinung werden durch auffallendes Licht aus einer Metallplatte kleine Körperchen, Elektronen, herausgeschossen. Steigert man die Intensität des Lichtes, dann erhöht sich zwar die Zahl der herausgeschleuderten Elektronen, nicht aber die Geschwindigkeit, mit der sie das Metall verlassen. Eine Vergrößerung der Geschwindigkeit der freigemachten Teilchen läßt sich nur erreichen durch Licht von kürzerer Wellenlänge. Sieht man im Licht einen Wellenvorgang, dann lassen sich diese Tatsachen nicht verstehen. Unter dieser Voraussetzung würde nämlich durch eine stärkere Einstrahlung den Elektronen eine größere Energie zugeführt; es müßte also die Geschwindigkeit der Elektronen durch intensivere Strahlung gesteigert werden, ähnlich wie ein heftigerer Wind die Äste

² Die Quantentheorie wird dargestellt von F. Reiche, *Die Quantentheorie*, Berlin 1921. — Über die Entwicklung der Theorie berichtet Planck selber in seinem Nobelvortrag (vom 2. Juli 1920), der enthalten ist in M. Planck, *Wege zur physikalischen Erkenntnis*, Leipzig 1933, 68 ff.

eines Baumes in stärkere Bewegung versetzt als ein schwacher Wind. Der Photoeffekt wird aber sofort verständlich, wenn man annimmt, daß das Licht aus Photonen besteht. Da kürzerwelliges Licht Quanten von größerer Energie enthält, ist der Stoß stärker und damit wird den einzelnen getroffenen Elektronen eine größere Energie zugeführt, die sich in der erhöhten Geschwindigkeit zeigt. Zudem hat das Experiment die genaue Entsprechung zwischen der Energie der Photonen und der Bewegungsenergie der fortgeschleuderten Elektronen ergeben.

Noch deutlicher zeigt sich die korpuskulare Natur des Lichtes bei dem *Compton-Effekt*, der sich direkt auf den Zusammenstoß zwischen einem Lichtquant und einem Elektron bezieht. Trifft ein Röntgenstrahl auf ein ruhendes Elektron, dann erteilt er diesem einen Stoß und versetzt es in Bewegung. Zugleich wird der Röntgenstrahl aus seiner Richtung abgelenkt und geht in der neuen Richtung mit vergrößerter Wellenlänge weiter. Die Vergrößerung der Wellenlänge bedeutet, daß der Energiegehalt der Photonen geringer geworden ist. Die verlorene Energie hat das Lichtquant an das Elektron abgegeben und ihm dadurch eine Geschwindigkeit erteilt. Der Vorgang ist ganz ähnlich dem Zusammenstoß zweier elastischer Körper, etwa zweier Billardkugeln. Die stoßende Kugel gibt einen Teil ihrer Energie an die ruhende ab und versetzt sie dadurch in Bewegung; sie selber fliegt mit entsprechend verminderter Energie (Geschwindigkeit) in abgelenkter Richtung weiter. Beim Compton-Effekt verhält sich also das Licht genau so, als bestände es aus kleinen Körperchen und sei kein Wellenvorgang.

Diese neue korpuskulare Auffassung des Lichtes ist jedoch keineswegs imstande, die Wellentheorie zu ersetzen oder zu verdrängen. Die Erscheinungen der Beugung und Interferenz finden nach wie vor ihre einzig mögliche Erklärung durch eine wellenhafte Vorstellung von der Strahlung. Das Licht zeigt also einen doppelten Charakter. Das ist die Paradoxie, zu der die Entwicklung der Quantentheorie geführt hat. Es gibt Erscheinungen, bei denen sich das Licht wie ein Wellenvorgang verhält, und es gibt andere, bei denen es sich wie korpuskulare Materie benimmt. Keine der beiden Auffassungen für sich allein genommen genügt, um die Lichtphänomene zu deuten. Um *alle* Lichterscheinungen erklären zu können, bedarf es zweier Vorstellungen, des Wellen- und des Korpuskelbildes. Ist das Licht nun *zugleich* Welle und Korpuskel?

Zu ähnlichen paradoxen Ergebnissen führte die Entwicklung der Quantenphysik auch bezüglich der Materie. Bekanntlich bestehen alle Körper der materiellen Welt aus winzigen Teilchen, den Atomen. Diese Atome sind nicht, wie man zunächst annahm, kleine unteilbare Kugeln oder starre Klötzchen, sie sind vielmehr lockere Gebilde, die zusammengesetzt sind aus einem positiv elektrischen Atomkern und negativ elektrischen Elektronen. Der einfachste Atomkern ist der Kern des Wasserstoffs, auch Proton genannt. Er hat das minimale Gewicht von nicht einmal zwei quadrillionstel Gramm und *eine* elektrische Elementarladung. Die Masse des Elektrons beträgt etwa den zweitausendsten Teil der Masse des Protons. Neben den Protonen finden sich in den schwereren Atomkernen noch Neutronen, Teilchen von der gleichen Masse wie das Proton, aber ohne elektrische Ladung. Nach dem anschaulichen Modell des Atombaus, das N. Bohr im Jahre 1913 schuf, sind die Bausteine des Atoms, Kern und Elektronen, kleine Körperchen, die die Verhältnisse des Makrokosmos im Kleinen nachbilden³. Die Atome stellen Miniatur-Sonnensysteme dar. Im Zentrum ruht der Kern, den die Elektronen umkreisen wie die Planeten die Sonne. Trotz aller Bemühungen wollte es aber nicht gelingen, die Bewegungen der Elektronen auf ihren winzigen Bahnen im Atom nach den Gesetzen der Mechanik, die die Planetenbewegungen regieren, richtig zu beschreiben.

Um diese Schwierigkeiten zu beheben, faßte L. de Broglie 1924 den kühnen Gedanken, die in den Atomen bewegte Materie nicht als Körperchen, sondern als *Wellen* aufzufassen⁴. Bereits die Relativitätstheorie hatte ergeben, daß Masse und Energie einander äquivalent sind. Jeder trägt Masse eines Körpers kommt Energie zu und jede Energie hat träge Masse. Auf Grund dieser Tatsache und quanten-

³ Über die Bohrsche Theorie unterrichtet der Nobelvortrag von Bohr, Über den Bau der Atome, Berlin 1924². — Eine vorzügliche Einführung in die Atomphysik, bei der die wenigen mathematischen Berechnungen in den Anhang verwiesen sind, gibt Th. Wulf, Die Bausteine der Körperwelt, Berlin 1935. — Eine ausführliche Darstellung unter Anwendung der mathematischen Hilfsmittel bietet A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien, Braunschweig 1922³.

⁴ Vgl. L. de Broglie, Untersuchungen zur Quantentheorie, Leipzig 1927; außerdem den Nobelvortrag desselben Verf. in L. de Broglie, Licht und Materie. Ergebnisse der neuen Physik, Hamburg 1939, 305 ff. — Eine elementare Einführung in die Quanten- und Wellenmechanik, die allerdings einige mathematische Vorkenntnisse erfordert, gibt A. Haas, Materiewellen und Quantenmechanik, Leipzig 1934⁴ u. 5.

theoretischer Erwägungen gelang es de Broglie, eine mathematische Formulierung zu finden, die es gestattet, den bewegten körperlichen Partikeln eine Welle von bestimmter Wellenlänge zuzuordnen. Diese Zuordnung benutzte E. Schrödinger und schuf 1926 die Wellenmechanik⁵, die es ermöglichte, die Probleme des Atombaus und der atomaren Bewegung befriedigend zu lösen. Die Elektronen im Bohrschen Atommodell sind danach nicht als kleine Materieklötzchen, als Stückchen materiellen Stoffes in winzigen Dimensionen zu denken, sondern als Wellen, die den Raum um den Atomkern einnehmen.

Diese theoretisch-physikalischen Ergebnisse ließen sich immerhin noch deuten als reine Formalismen, die uns instand setzen, mathematisch die atomare Wirklichkeit zu meistern. An sich wäre es denkbar, daß die Elektronen trotz der ihnen zugeordneten Wellen von bestimmter Länge und trotz der mathematischen Beschreibung durch Wellengleichungen dennoch als Korpuskeln aufzufassen wären, deren Bewegung sich jedoch, etwa wegen der Kleinheit des Objekts, das sich der Beobachtung entzieht, mathematisch nur beschreiben ließe durch Formeln, wie sie sonst zur Beschreibung von wellenhaften Vorgängen gebraucht werden. Gegen diese Deutung aber spricht das Experiment. Es sind nämlich Erscheinungen bekannt geworden, die nur durch eine wellenhafte Auffassung der Materie erklärt werden können.

Entscheidend für die Wellennatur eines Vorganges sind Beugungs- und Interferenzerscheinungen. Solche Erscheinungen konnten nun wirklich bei der Materie beobachtet werden. Wenn man in einer luftverdünnten Röhre entgegengesetzt geladene elektrische Pole zur Entladung bringt, entstehen korpuskulare Strahlen, d. h. kleine Materiepartikelchen werden mit großer Geschwindigkeit fortgeschleudert. Diese bewegen sich vom negativen Pol, der Kathode, weg zum positiven Pol, der Anode, hin. Wird diesen Teilchen eine Geschwindigkeit von ungefähr 1000 Kilometern pro Sekunde durch eine entsprechende elektrische Spannung erteilt, dann ist ihnen nach dem de Broglieschen Ansatz eine Wellenlänge zuzuordnen von der Größe, wie sie im Bereich der Strahlen den Röntgenstrahlen zukommt. Soll also der Materie in Wirklichkeit ein Wellencharakter zuzuschrei-

⁵ E. Schrödinger, Abhandlungen zur Wellenmechanik, Leipzig 1927; ders., Vier Vorlesungen über Wellenmechanik, Berlin 1928. — K. Darrow, Elementare Einführung in die Wellenmechanik, Leipzig 1929.

ben sein, dann müßten derartig bewegte Elektronen beim Durchgang durch ein Kristallgitter Beugungserscheinungen und Interferenzen zeigen, wie sie bei solchen Durchgängen von Röntgenstrahlen beobachtet werden. Derartige Versuche sind nun tatsächlich den Forschern Davisson und Germer im Jahre 1927 gelungen⁶. Die Beugungsbilder, die sich bei diesen Experimenten ergaben, stimmen genau überein mit den Beugungsbildern von Röntgenstrahlen. Wüßte man nicht, daß es sich um eine korpuskulare Strahlung handelt, man würde diese Bilder zweifellos für Laue-Diagramme halten, d. h. für Beugungsbilder von Röntgenstrahlen. Die Verteilung von hellen und dunkeln Stellen entspricht vollkommen den Erwartungen der de Broglieschen Theorie. Es ist also wahr, bewegte kleine Materieteilchen verhalten sich wie Wellen. Die Beugungserscheinungen und die sich ergebenden Interferenzen lassen sich ja nur deuten unter der Voraussetzung, daß es sich um einen Wellenvorgang handelt. Einige Jahre später ist es dann auch gelungen, mit schwereren materiellen Teilchen, nämlich mit Atomkernen, Interferenzen zu erhalten⁷.

Deutlicher noch tritt der Doppelcharakter der Materie als Welle und Korpuskel in Erscheinung bei den sogenannten *Materialisations- und Entmaterialisierungsphänomenen*. Außer den negativ geladenen Elektronen gibt es, wie die Untersuchung der Höhenstrahlung im Jahre 1932 ergab, auch Teilchen von derselben geringen Masse wie Elektronen, aber mit positiver Ladung, die Positronen⁸. Die Entdeckung dieser Teilchen gelang erst so spät, weil sie wegen ihrer geringen Lebensdauer nur selten vorkommen. Sie waren aber bereits durch Dirac theoretisch vorausgesagt. Ein Jahr nach der Entdeckung der Positronen glückte es in mehreren Ländern fast gleichzeitig auf dem Wege des Laboratoriumsversuches mittels sehr kurzwelliger Gammastrahlung Positronen zu erzeugen, die allerdings immer von negativen Elektronen begleitet sind. Trifft ein kurzwelliger Gammastrahl, dessen Photonen wegen der kurzen Wellenlänge der Strahlung sehr energiereich sind, auf ein Metall auf, dann geht die Strahlung zugrunde und es entsteht ein Elektronen-

⁶ Über Erscheinungen dieser Art vgl. den Bericht von E. Rupp, Über Elektronenbeugungen an dünnen Glimmerblättchen: Naturw. (= Die Naturwissenschaften) 17 (1929), 174 ff.

⁷ Vgl. R. Frisch, Beugung von Protonenwellen: Naturw. 19 (1931), 991.

⁸ W. Bothe, Das Neutron und das Positron: Naturw. 21 (1933), 825 ff. — C. Anderson, Das Positron: Naturw. 22 (1934), 292 ff.

zwillung, ein Positron und ein Elektron⁹. Die Energie des verschwindenden Lichtquants findet sich wieder in der Energie der trägen Masse des Zwillingspaars und dessen Bewegungsenergie. Es handelt sich bei dem Vorgang demnach um eine Materialisation von Licht. Auch der umgekehrte Prozeß ist unterdessen beobachtet worden, daß nämlich ein materielles Elektronenpaar verschwindet unter Auftreten eines sehr kurzwelligen Gammastrahles. Es wird angenommen, daß solche Vorgänge auch für Protonen existieren, wenn sie auch bisher experimentell noch nicht beobachtet worden sind. Wir haben in diesen Fällen eine Umwandlung von Materie in strahlende Energie und umgekehrt von Strahlungsenergie in Materie direkt vor uns. Im Laboratorium sind solche Prozesse nur ziemlich selten zu beobachten, es gilt jedoch als wahrscheinlich, daß sie in den Fixsternen in riesigen Ausmaßen ständig vor sich gehen.

Die Materie zeigt somit, genau wie das Licht, einen doppelten Aspekt, eine korpuskulare und eine wellenhafte Natur. Die letzten Erscheinungen zeigen sogar Übergänge zwischen beiden Formen, eine Überführung von korpuskularer Materie in Strahlung und umgekehrt. Sollen die Materie und die materiellen Vorgänge vollständig beschrieben werden, dann gelingt das nicht durch das Bild, das wir aus unserer makroskopischen Anschauung haben, die uns die Materie als massive Klötzchen, Korpuskeln zeigt. Es ist auch nicht möglich, nur das Wellenbild zur Beschreibung der Materie zu benützen. *Beide* Vorstellungen sind notwendig, um ein vollkommenes Bild von der Materie zu geben. Natürlich können die beiden Bilder nicht verwendet werden zur Beschreibung eines und desselben Tatbestandes, sondern für einige Vorgänge ist das eine Bild zutreffend, für andere das zweite. Mathematisch findet diese Tatsache ihren Ausdruck in dem doppelten Formalismus für die Beschreibung des atomaren Geschehens, der Quanten- und der Wellenmechanik, wobei die Quantenmechanik ausgeht von korpuskularen Teilchen, die Wellenmechanik aufgebaut ist auf der Wellennatur der Materie. Das sind die physikalischen, paradox anmutenden Ergebnisse, die einer philosophischen Theorie der Materie zugrunde gelegt werden müssen.

Auf den ersten Blick möchte es aussichtslos erscheinen, auf dem Boden der durch die Experimente gesicherten Tatsachen zu einem begrifflichen Verständnis dessen zu kommen, was Materie nun eigentlich ist. Positivistisch

⁹ S. E. Zimmer, a. a. O. 235 ff.

eingestellte Denker begnügen sich denn auch mit der bloßen *Feststellung*, daß zur Beschreibung der Vorgänge im Bereich der Atome zwei sich widersprechende Vorstellungen erforderlich sind, die je nach dem vorliegenden Fall angewandt werden müssen. Es leuchtet ein, daß eine ernste Philosophie der Materie sich mit dieser Feststellung nicht ohne weiteres zufrieden geben kann.

Die *mechanistische Erklärung* der materiellen Natur, die in der Materie weiter nichts sieht als bewegte körperliche Teilchen, versagt vollends angesichts der Ergebnisse der modernen Forschung. Die *Materiewellen* finden in dieser Theorie überhaupt keine Erklärung. Mit Recht erblickt man in der Physik von heute eine endgültige Überwindung der mechanistischen Naturerklärung.

Darum nehmen nicht wenige Philosophen ihre Zuflucht zu dem anderen Extrem, zu einer *rein dynamistischen Auffassung* der Materie¹⁰. Diese löst alles materielle Sein auf in ein bloßes Geschehen und läßt die Welt bestehen aus „Wirkungen“ ohne zugrunde liegende Substanz. Es ist zwar zuzugeben, daß eine physikalische *Beschreibung* des Materiellen auf die Substanzialität der Teilchen verzichten kann; eine philosophische *Erklärung* kann jedoch nicht umhin, auch den letzten Materieteilchen einen substanziellen Charakter zuzuschreiben, da ein energetisches Geschehen ohne substanziellen Träger undenkbar ist. Ist somit eine rein dynamistische Erklärung der Materie auch unmöglich, so wird doch eine philosophische Theorie der Materie, die den Tatsachen gerecht werden soll, manche Ähnlichkeiten mit dem energetischen Weltbilde aufweisen müssen.

Auch ein weiterer beachtlicher Versuch¹¹, der eine Lösung der Schwierigkeiten erhofft von einer modifizierten Anwendung des alten aristotelischen Begriffspaares von *Potenz und Akt*¹², kann nicht befriedigen. Diesem Lösungs-

¹⁰ Man vgl. z. B. A. S. Eddington, Das Weltbild der Physik und ein Versuch seiner philosophischen Deutung, Braunschweig 1931. — B. Bavink, Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften, Leipzig 1940⁶, 192 ff., bes. 211 f.

¹¹ Dieser Versuch stammt von A. Wenzl, Metaphysik der Physik von heute, Leipzig 1935.

¹² Der Hylemorphismus, nach dem die Materie aus Urstoff und Wesensform besteht, die in einem Potenz-Akt-Verhältnis stehen, findet in der modernen Physik keine Stütze. Substanzielle Veränderungen, die diese Erklärung rechtfertigen könnten, gibt es im Anorganischen sicher nicht. Aber auch die anderen Gründe, die das System nahelegen sollen, können nicht als hinreichend angesehen werden. Die Eigenart der Ausdehnung, die auch in den letzten Materieteilchen eine Einheit und Vielheit bedingen soll, ist viel-

versuch liegt die Erkenntnis zugrunde, daß es nicht möglich ist, die oben dargelegten Tatsachen in der Weise zu interpretieren, daß man der Materie in Wirklichkeit einen dualistischen Charakter zuerkennt, indem man sagt, sie sei *zugleich* Welle und Korpuskel. Denn diese Behauptung bedeutete einen offenbaren Widerspruch. Wellenhafter Vorgang und dinghafte Partikel sind einander widersprechende Begriffe, die sich gegenseitig ausschließen. Diesem Widerspruch sucht man dann zu entgehen durch die Erklärung, die wellenhafte Natur der Materie sei zwar etwas Reales, habe aber keine *aktuelle* Realität; sie sei nur *der Möglichkeit nach*, potenziell, Korpuskel. Die Welle soll demnach die reale Möglichkeit für die Aktuierung, die „Inkarnation“ der Partikel bedeuten, sie werde in Wirklichkeit Korpuskel bei der energetischen Erscheinung. Diese Lösung gibt indes keine Antwort auf die Frage, was die Welle nun *in Wirklichkeit* ist. Den Wellen muß doch eine aktuelle Realität, eine Wirklichkeit zukommen, da reine Möglichkeiten keine Beugungserscheinungen am Gitter aufweisen können.

Es geht auch nicht an, sich für nur *einen* der beiden Begriffe zu entscheiden, die Materie also *entweder* als Welle *oder* als Korpuskel aufzufassen. Eine dieser beiden Auffassungen für sich allein genommen genügt nämlich nach dem Gesagten nicht, um die ganze Wirklichkeit materiellen Geschehens darzustellen. Dazu sind abwechselnd beide Begriffe notwendig.

Es bleibt also keine andere Lösung übrig als die radikale Folgerung, die Materie sei *keines* von beiden, sie sei *weder* Welle *noch* Korpuskel. Beide Begriffe, der Korpuskelbegriff sowohl wie der Wellenbegriff, versagen, wenn man mit ihrer Hilfe die Materie zu verstehen versucht. Um die Materie begrifflich fassen zu können, sind neue Begriffsbildungen erforderlich und es scheint, daß diese neuen Begriffe aller Anschaulichkeit entkleidet sein müssen. Denn das Versagen der genannten Begriffe scheint seinen Grund in deren anschaulichem Inhalt zu haben. Der Begriff der Welle sowohl wie der der Korpuskel entstammt unserer makro-

leicht anders zu deuten, wie die Ausführungen dieses Artikels noch zeigen werden. Der Gegensatz von passiver Masse und aktiven Kräften, auf den man die Notwendigkeit zweier Wesensbestandteile gründen will, ist wohl nicht vorhanden, da auch die Masse durchaus aktiv zu fassen ist. Auch die Zielstrebigkeit im Anorganischen ist nicht derart, daß sie ein immanentes Formprinzip erforderte. Schließlich läßt sich die Ganzheit der Atomgebilde voll und ganz erklären durch die wirkursächlichen Kräfte ohne die Annahme eigener Formalursachen.

skopischen Erfahrung und Anschauung. Die Korpuskel bedeutet einen kleinen massiven Körper, der nur durch die Kleinheit seiner Ausmaße verschieden ist von einem kompakten Materieklötzchen, wie es uns die Sinne anschaulich darstellen. In gleicher Weise haben wir eine anschauliche Vorstellung von einem Wellenvorgang; man denke etwa an Wasserwellen, die von einem Erzeugungszentrum aus sich über die Wasserfläche hin ausbreiten. Im Bereich des Atomaren ist jedoch die Grenze der Anschaulichkeit über- bzw. unterschritten.

Es gibt zwei voneinander wesentlich verschiedene Grenzen der Anschauung. In den Gebieten der kosmischen Makrowelt und der atomaren Mikrowelt versagt die Anschauung zunächst insofern, als es unmöglich ist, sich ein wirklich anschauliches Bild dieser Objekte zu machen. Schon die Erdkugel können wir uns größenmäßig nicht anschaulich vorstellen. Es ist nur möglich, sich eine Kugel vorzustellen und die Dimensionen ins Riesenhafte gesteigert zu denken, aber das anschauliche Bild, das uns dabei vor Augen steht, hat dann gewiß nicht die Ausmaße unserer Erde. Es ist eine kleinere Kugel, die wir als der Erdkugel *ähnlich* betrachten. Auf diese Weise läßt sich zwar der Erdball der Anschauung zugänglich machen, aber doch mit Hilfe eines fremden, nicht ganz zutreffenden Bildes. Die Schwierigkeiten einer anschaulichen Vorstellung wachsen noch bei den Riesendimensionen kosmischer Welten. In gleicher Weise versagt auch eine wirklich anschauliche Vorstellung bei atomaren Größen. Von einem Atom, das einen Durchmesser von der Größenordnung eines hundertmillionstel Zentimeter hat, können wir uns kein anschauliches Bild machen. Wir versuchen vielleicht, ein solches Atom der Anschauung nahe zu bringen, indem wir ein Miniatur-Planetensystem, von dem wir noch eine Vorstellung haben, ins „Unendliche“ kleiner und kleiner werden lassen. Jedoch müssen wir uns dabei bewußt bleiben, daß wir so nur auf indirektem Wege durch ein ähnliches, in seinen Dimensionen beträchtlich abweichendes Bild uns die Verhältnisse des Atombildes zur Anschauung bringen. Es mag zwar sein, daß diesen unvorstellbar kleinen und unvorstellbar großen Körpern noch anschauliche Eigenschaften zukommen, daß die Ausmaße dieser Gebilde aber unterhalb bzw. oberhalb unseres Vorstellungsvermögens liegen. Eine derartige Veranschaulichung durch ähnliche Bilder ist nur möglich bei Gestalten der euklidischen Geometrie, in der es Ähnlichkeitsverhältnisse gibt. Nicht-euklidische Gebilde lassen sich auf diese Weise

nicht der Anschauung zugänglich machen, weil diese Geometrien keine Ähnlichkeitstransformationen kennen.

Die soeben aufgezeigte Grenze der Anschauung ist nicht prinzipieller, sondern nur gradueller Natur. Es ist aber im Atomaren eine weitere Grenze der Anschauung vorhanden, die prinzipiell nicht überschreitbar ist, weil der Materie in diesem Gebiet überhaupt keine anschaulichen Qualitäten mehr eignen. Jedenfalls ist diese Grenze sicher für die sekundären Sinnesqualitäten. Zu der Erregung des elektromagnetischen Feldes, die mittels der Sinnesorgane eine Farbempfindung hervorzurufen geeignet ist, genügt im Prinzip ein einziges Atom, wengleich auch eine solche Erregung unterhalb der Reizschwelle liegt und deshalb von uns nicht wahrgenommen werden könnte. Beim Elektron aber oder dem Atomkern, die nur einen Teil im Atom ausmachen, verliert die Frage nach ihrer Farbe überhaupt jeden Sinn. Ein Elektron oder Proton kann gar keine Farbe haben. Es wäre sinnlos, den Farbbegriff an das Elektron oder Proton heranzutragen, wenn es auch unmöglich ist, diese Gebilde uns *vorzustellen*, ohne sie irgendwie mit Farbigkeit auszustatten.

Die Paradoxien der Quantenphysik scheinen nun darauf hinzudeuten, daß die gleiche prinzipiell unüberschreitbare Schranke auch für die anschauliche Eigenschaft der Ausdehnung besteht, daß also den letzten Materieteilchen auch keine formelle Ausdehnung mehr zukommt. Somit hätten sie überhaupt keine anschauliche Natur mehr. Eine Korpuskel oder Partikel bedeutet ein Materieteilchen, das mit Masse und Ausdehnung ausgestattet gedacht wird derart, daß seine Realität stetig den Raum ausfüllt¹³. Die Masse im physikalischen Sinn ist das Maß für den Trägheitswiderstand und ist der Energie äquivalent. Energie kommt auch den letzten Aufbauelementen der Materie sicher noch zu; sie tritt ja noch auf im Wellenbild. So scheint das Versagen des anschaulichen Partikelbegriffes oder die Notwendigkeit der komplementären Anwendung der Begriffe Partikel und Welle darin begründet zu liegen, daß den letzten Teilchen noch eine formelle Ausdehnung zugeschrieben wird. Die letzten Bausteine der Materie wären also zu denken als quantitativ einfach, ohne jedoch geistig zu sein, und in irgendeiner Weise auf die Beherrschung des Raumes hingeeordnet. Daß eine solche Auffassung des ma-

¹³ Wenn in der physikalischen Literatur die Partikeln als punktförmige Gebilde betrachtet werden, handelt es sich um eine Abstraktion und Idealisierung zur Erleichterung der mathematischen Rechnungen. Ein solcher Massenpunkt ist ein Punkt, in dem die Masse des ganzen Teilchens konzentriert gedacht wird.

teriellen Seins möglich ist, hat bereits Palmieri¹⁴ nachgewiesen, der durch die Schwierigkeiten des Kontinuumsbegriffes zu dieser Theorie geführt wurde. Wenn diese letzten Materieteilchen hineinwirken in den Bereich, der unserer Beobachtung zugänglich ist, sind die entstehenden Phänomene entweder wellenhaft oder korpuskular. Darum sind die Begriffe der Partikel und der Welle geeignet, die Materie physikalisch zu fassen und sie können auch als behelfsmäßige Mittel dienen, um wenigstens zu einem annähernden Verständnis dessen zu kommen, was Materie ist. Durch den Zusammenbau und das Zusammenwirken unvorstellbar vieler Elementarteilchen wird die materielle Welt gebildet, die unserer Anschauung gegeben ist. Unser Anschauungsvermögen ist ausgerichtet auf den in seiner Größenordnung mittleren Weltbereich, in dem wir mit unserer Leiblichkeit stehen und uns bewegen, in dem wir leben und praktisch mit der Materie arbeiten. Diesen praktischen Umgang mit der Materie zu ermöglichen, ist der erste und eigentliche Zweck unserer sinnlichen Erkenntnisfähigkeiten.

Auf Grund der Physik von heute läßt sich demnach philosophisch über die Materie einstweilen nur folgendes sagen. Es gibt eine Stufe des Seins, die unter dem Reich des Lebendigen steht, die Stufe des materiellen, anorganischen Seins. Auf dieser Stufe gibt es kein Leben mehr mit allem, was dazu gehört, und erst recht keine Geistigkeit. Die letzten Aufbauelemente dieser Materie können nicht mehr richtig erfaßt werden mit den anschaulichen Begriffen, mit denen das materielle Sein faßbar ist in dem Bereich, auf den unsere sinnliche Erkenntnisfähigkeit abgestimmt ist. Welches im einzelnen diese letzten Elemente sind, steht heute noch nicht fest. Mit Sicherheit läßt sich vorerst nur behaupten, daß die Elementarteilchen substanzieller Natur sein müssen, weil sie Träger eines Geschehens sind, und daß sie mit Kräften ausgestattet sind. Wahrscheinlich ist zudem, daß der Begriff der Ausdehnung im Sinne einer ununterbrochenen Erstreckung in den Raum hinein bei den letzten Bausteinen der materiellen Welt nicht verwirklicht ist. Die Materie, die uns anschaulich so unmittelbar gegeben scheint, steht also unserem geistigen Erkennen immer noch recht fern. Eine Aufhellung des geheimnisvollen Dunkels, in das das Wesen der Materie für uns noch gehüllt bleibt, wird ein Zukunftsanliegen des vereinten Bemühens physikalischer Forschung und philosophischer Spekulation sein.

¹⁴ D. Palmieri, *Institutiones Philosophicae*, Rom 1875, vol. II: *Cosmologia, Anthropologia* 23 sqq.