

Zeitschrift: Schweizer Monatshefte : Zeitschrift für Politik, Wirtschaft, Kultur
Herausgeber: Gesellschaft Schweizer Monatshefte
Band: 53 (1973-1974)
Heft: 4

Artikel: Philosophische Probleme der modernen Physik. Teil II, Die Materie
Autor: Gosztonyi, Alexander
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-162855>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

aber viel Einsicht und Ausdauer nötig sein, um in der schweizerischen Politik zu einer effektiven Prioritätsordnung zu gelangen.

¹Vgl. in diesem Zusammenhang: Gerhard Winterberger, Die währungs- und handelspolitische Lage nach den amerikanischen Restriktionsmassnahmen. Sonderabdruck aus dem Protokoll über die 251. Sitzung der Schweizerischen Handelskammer vom 16. September 1971. – ²Was diese beiden Faktoren anbelangt, so sei auf die ausführliche Darstellung von Bernhard Wehrli, Über die Triebkräfte der Inflation. Stimmen zur Staats- und Wirtschaftspolitik, 1967, Nr. 40, S. 5, hingewiesen. – ^{2a} Emil Küng, «Wirtschaft und Politik in der Welt von morgen», in: Schweizer Monatshefte, Heft 3, 1973, S. 167. – ³F. A. von Hayek, Die Verfassung der Freiheit, Tübingen 1971, S. 293/4. – ⁴Vgl. Gerhard Winterberger, Der Ausbau des Instrumentariums der Schweizerischen Nationalbank, in: Schweizer Monatshefte 1967, Heft 10, S. 881 ff. – ⁵Vgl. auch die Stellungnahme des Vororts zur Totalrevision der Bundesverfassung, Zürich 1969, S. 14;

ferner Gerhard Winterberger, Aspekte einer Totalrevision der Bundesverfassung, in: Schweizer Monatshefte, Heft 7, 1969, S. 633. – ⁶Die Gefährdung der freiheitlichen Wirtschaftsordnung durch die Inflation ist besonders eindrücklich herausgearbeitet worden von Wilhelm Röpke, Der Kampf gegen die Inflation unserer Zeit, in: Inflation und Weltwährungsordnung, Zürich 1963, S. 21 ff., sowie in seinem Werk «Jenseits von Angebot und Nachfrage», Zürich 1958, S. 210 ff.; ferner von F. A. von Hayek, Die Verfassung der Freiheit, Tübingen 1971. In jüngster Zeit ist vor allem Hugo Sieber zu erwähnen: Inflation und freiheitliche Wirtschaftsordnung, in: H. Sieber und E. Tuchtfeldt, Probleme der schweizerischen Geldpolitik, Bern 1959, S. 33 ff. Aufrüttelnd ist vor allem auch der Aufsatz von Sieber, Die Zerstörung der freien Wirtschaft durch ihre Anhänger. Wirtschaft und Recht, Nr. 3, 1972.

ALEXANDER GOSZTONYI

Philosophische Probleme der modernen Physik (III)

Fragestellung und Literaturübersicht (Fortsetzung von Heft 2/1973)

Die Materie

Quantenphysik

An der Sitzung der Berliner Physikalischen Gesellschaft vom 19. Oktober 1900 versprach Max Planck, bis zur nächsten Sitzung am 14. Dezember über den physikalischen Sinn einer zum Teil empirisch gewonnenen Strah-

lungsformel nachzudenken, um gewisse Erscheinungen bei der Wärmestrahlung «schwarzer Körper» zu erklären. Plancks Lösung formulierte einen anscheinend von der Not eingegebenen, aber revolutionären Gedanken, gemäss welchem bei der Strahlung nur *diskrete* Energiestufen möglich sind. Die Energiestrahlung ist also nicht kontinuierlich veränderlich, sondern *gequantelt*. Jede Energiestufe muss um einen bestimmten Energiebetrag ($h\nu$) über der anderen liegen, wobei die auftretende Konstante (h) eine neue universelle Naturkonstante, das nach Planck benannte elementare Wirkungsquantum ist, deren Zahlenwert aus Messungen ermittelt wurde ($h = 6,625 \cdot 10^{-27}$ erg. sec).

Von diesem Sitzungsdatum (14. Dezember 1900) an datiert die *Quantentheorie*. Aber erst 1923 gelang es, durch Experimente den endgültigen Beweis für die Richtigkeit der Planckschen Interpretation zu erbringen, nachdem die vorherigen Versuche schon auf die sehr hohe Wahrscheinlichkeit ihrer Gültigkeit hingedeutet hatten. Der junge Einstein konnte aber in seiner ersten, genialen Arbeit von 1905 die Quantentheorie auch für die Lichtstrahlung in Anspruch nehmen. Damit war eine grundlegend neue Möglichkeit zum Verständnis der Materie eingeleitet; sie sollte durch die Entwicklung der Quantenmechanik ausgebaut werden, ist jedoch bis heute nicht endgültig ausgeschöpft.

Die Quantenphysik führte in den zwanziger Jahren zur Erkenntnis, dass die kleinsten Bausteine der Materie, die Atome, die ihrerseits aus Elementarteilchen bestehen, in ihrer Struktur der Vorstellung eines korpuskularen Aufbaus wahrscheinlich nicht in allem entsprechen. Nach dieser Vorstellung nämlich, der Rutherford in seinem berühmten Atommodell Ausdruck verlieh, kreisen um einen Kern (der auch aus Teilchen zusammengesetzt ist) Elementarteilchen, die – so die ursprüngliche Auffassung – theoretisch jede beliebige Bahn einnehmen können. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Bahnen nur in einer diskreten Folge möglich sind und übrigens nicht als reguläre Kurven (Kreis oder Ellipse), sondern in «Zickzack-Linie» in Erscheinung treten. De Brogli ordnete 1924 jeder Bewegung eines Massenpunktes eine Welle zu, und Schrödinger stellte zwei Jahre später der Wellengleichung ähnliche partielle Differentialgleichungen für eine solche zugeordnete Welle auf. Die inzwischen (1925) von Born, Heisenberg und Jordan geschaffene Quantenmechanik erwies sich als mathematisch identisch mit der Schrödingerschen Theorie und konnte auch die de-Broglische Beziehung zwischen Impuls und Wellenlänge interpretieren. Aus der Korpuskulartheorie der Materie wurde eine Wellentheorie.

So meisterhaft man auch diese Wellentheorie der Materie mathematisch zu handhaben verstand, so grosse Schwierigkeiten bot die Ausdeutung ihres physikalischen Inhalts. Bei der Ausdeutung ging es zugleich um die Über-

brückung der Kluft zwischen der klassischen Physik und der Quantenmechanik, der Planck seine Bemühungen – umsonst – widmete. Die Konsequenz ihrer Unüberbrückbarkeit ist Nils Bohrs Lehre von der Komplementarität der älteren Auffassung der Elementarteilchen als Korpuskel und der quantenmechanischen Auffassung als Welle (1927). Heute spricht man eher von einer «Wahrscheinlichkeitswelle», die ein Gebiet umreisst, innerhalb dessen die Elementarteilchen angetroffen werden können.

Es wäre nun leicht, in einer philosophischen Deutung der hier skizzierten Forschungsergebnisse der Quantenmechanik Begriffe zu kreieren, die das «Wesen» der Materie erklären sollen. So könnte es beispielsweise als «Energie» oder «Energierahlung» bezeichnet werden, die sich je nach Experiment einmal in korpuskularer (als Masse), einmal in Wellenform kundgibt. Bei näherem Zusehen sind solche «Definitionen» nichtssagend. Sie verschieben das Problem höchstens von einem Begriff – dem Begriff der Materie – zum anderen – zum Begriff der Energie. Philosophisch ist beispielsweise der Begriff der Energie nicht definierbar, sondern nur physikalisch. Auch die Physik muss dabei auf konkrete Phänomene verweisen. Die philosophische Fragestellung an die Physik liegt auch anderswo, sie betrifft nicht das «Wesen» der Materie, sondern die Anwendbarkeit philosophisch belasteter Begriffe wie Substanz und Kausalität etwa in der neueren Naturphilosophie. Der Frage nach dem «Wesen» der Materie braucht man aber nicht auszuweichen, nur muss man sie im Rahmen der Physik stellen. Wie es sich noch zeigen wird, nötigt sie selbst Physiker zu Aussagen, die philosophischen Charakter haben. Bevor aber die Begriffe Substanz und Kausalität von der Quantenmechanik her erörtert werden, muss die Schwierigkeit bei der Messung von Zustandsgrössen der Elementarteilchen zur Sprache kommen.

Unschärferelation

Diese Schwierigkeit entsteht infolge der Unschärfe der Ortsbestimmung beziehungsweise des Impulses eines Elementarteilchens bei der Messung. Heisenberg formulierte die Beziehung zwischen Ortsbestimmung und Impulsermittlung in der «Unschärferelation». Sie besagt folgendes: Steigert man die Genauigkeit der Ortsmessung durch geeignete Einrichtung des Messinstruments, so verschlechtert man dadurch die Kenntnis des Impulses. Umgekehrt verschlechtert man die Genauigkeit der Ortsbestimmung, wenn man die Genauigkeit der Impulsmessung erhöht. Berücksichtigt man die Wellennatur der Materie und die Quantennatur des Lichtes, so lässt sich an einer grossen Zahl von Gedankenexperimenten zeigen, dass es nicht möglich ist, genauer zu messen, als es die Heisenbergsche Unschärferelation erlaubt. Sieht man von der Gravitation ab, so kann man sagen, dass Materie und

Strahlung die einzigen physikalischen Realitäten sind. Aus den beiden letzten Sätzen folgt aber, dass es schlechthin unmöglich ist, Messungen durchzuführen, in denen man den Zustand eines Systems genauer als in den durch die Unschärferelation festgelegten Grenzen bestimmen kann. Ähnlich wie in der Relativitätstheorie der Messung von sehr hohen Geschwindigkeiten wegen der Unüberschreitbarkeit der Lichtgeschwindigkeit eine Höchstgrenze gesetzt ist, muss man bei Messungen im atomaren Bereich eine unterste Grenze (von der Grössenordnung des Planckschen Wirkungsquantums) berücksichtigen.

Der Grund für die Heisenbergsche Unschärferelation ist der, dass bei Beobachtungen und Messungen von Elementarteilchen das Beobachtungs- beziehungsweise Messinstrument die atomaren Vorgänge *stört*. Messungen sind nämlich in diesem Bereich nur möglich durch einen Eingriff in sie, und ein solcher Eingriff verändert den jeweiligen Zustand des Systems. Die Veränderung erfolgt – für den Beobachter – genau bei der Ablösung des Messinstrumentes vom beobachteten System, dem sogenannten «Schnitt». Denn auch das Messinstrument repräsentiert einen Systemzustand, der Einfluss auf die beobachtete Grösse ausübt. Die Veränderung des Zustandes des atomaren Systems macht aber eine zweite Beobachtung oder Messung nicht möglich. Wurde zum Beispiel der Impuls eines Elementarteilchens gemessen, so kann sein Ort nicht gleichzeitig aufgefunden werden, denn die Messung des Impulses verändert den Zustand des Systems, so dass sich das Elementarteilchen der Messung seines Ortes «entzieht».

Da ferner die Messung des Ortes die jeweilige «Bahn» des Elementarteilchens je nach Messung verschieden angibt, kann man nur die Häufigkeit ermitteln, mit welcher das Elementarteilchen in einem Bereich auftritt, beziehungsweise den Ort grösster Häufigkeit angeben. Die Häufigkeit kann man aber nur statistisch, also mittels des Wahrscheinlichkeitskalküls berechnen. Darum lässt sich in der Quantenmechanik keine «exakte Bahn» der Elementarteilchen zeichnen, sondern nur eine mathematische Wahrscheinlichkeitskurve. Zieht man noch in Betracht, dass das Bewegungsfeld der Elementarteilchen (mathematisch) als *Welle* fassbar ist, so kann die «Bahn» als *Wahrscheinlichkeitswelle* gelten. Sie ist nicht mehr anschaulich, nur mathematisch zugänglich.

Nach diesen Vorbemerkungen können die Begriffe Substanz und Kausalität erörtert werden.

Substanz

Der Begriff der Substanz kann auf Objekte der Physik nur dann bezogen werden, wenn 1. das Objekt Beharrlichkeit aufweist, 2. jede beliebige Eigenschaft auf das Objekt beziehbar ist. Beharrlichkeit bedeutet, dass das Objekt

in allen physikalischen Gesetzen als mit sich selbst identisch auftritt und durch keine Beobachtung oder Messung verändert wird. Der Zustand eines Systems – als beobachtbares Objekt – ist also unter allen Umständen unveränderlich, das heisst mit sich selbst identifizierbar, falls für ihn die Beharrlichkeit gilt. Die Beharrlichkeit – gegeben durch die Erhaltungsgesetze – erlaubt aber noch nicht, den Substanzbegriff auf das Objekt anzuwenden. Erst wenn auch die zweite Bedingung erfüllt ist, kann man bezüglich des Objekts von Substanz sprechen. Jede beliebige Eigenschaft muss dabei *widerspruchsfrei* auf das Objekt bezogen werden können, wobei entscheidbar sein muss, ob eine bestimmte Eigenschaft einem Objekt zukommt oder nicht. An den Objekten der klassischen Physik können sämtliche Eigenschaften gemessen werden, wobei die Objekte die geforderte Beharrlichkeit aufweisen. Man kann also den Substanzbegriff auf sie anwenden.

Verändert jedoch die Messung den Zustand des Systems, so muss die Anwendbarkeit des Substanzbegriffes auf das fragliche Objekt bezweifelt werden. Dies gilt für Objekte der Quantenmechanik, wo allerdings folgende Differenzierung vorgenommen werden muss: Die Beharrlichkeit eines Zustandes in einem atomaren System kann nicht auf Erhaltungssätze zurückgeführt werden wie in der klassischen Physik. Denn die *zeitliche Konstanz* eines Zustandes definiert überhaupt erst, was eine *zeitliche Veränderung* ist. Auch bei den Beobachtungen atomarer Zustände muss also etwas in der Zeit Perennierendes vorliegen, damit Eigenschaften beziehungsweise ihre Veränderung am System überhaupt beobachtet werden können. Die Einschränkung am Substanzbegriff in der Quantenmechanik wird dann deutlich, wenn man beachtet, dass es zwei Arten von Eigenschaften bezüglich der atomaren Systeme gibt: solche, die ohne Änderung des Zustandes gemessen werden können, und solche, deren Messung den Zustand verändert. Die Substanz in der Atomphysik ist nicht Träger *aller* messbaren Eigenschaften, sondern nur derjenigen, die am System ohne Änderung des Zustandes gemessen werden können. Solche Eigenschaften kann man als *objektive* bezeichnen, die anderen als *nicht-objektive* (Impuls und Ort des Elementarteilchens).

Es ist also nicht nötig, in der Physik – die Quantenphysik eingeschlossen – auf die Verwendung des Substanzbegriffes zu verzichten. Die Quantenmechanik hebt den Begriff nicht auf, sondern schränkt ihn bloss ein. Die *Philosophie* ist jedoch nicht berechtigt, unter dem Begriff der Substanz etwas zu verstehen, was über den hier umrissenen Sinn hinausgeht. «Substanz» bedeutet Beharrlichkeit eines Objektes unter allen (Beobachtungs- und Mess-) Umständen, an welchem Objekt man sämtliche Eigenschaften messen kann. Wo dies nicht der Fall ist, kann man nicht von «Substanz» sprechen. Mehr bedeutet der Substanzbegriff nicht.

Kausalität

Der Begriff der Kausalität scheint durch die Quantenmechanik ebenfalls in Frage gestellt. Die *logische* Formulierung des Begriffes lautet: A ist die Ursache von B, wenn es zutrifft, dass, wenn A auftritt, auch B folgt, und wenn B nicht auftritt, auch A fehlt. *Physikalisch* bedeutet die Kausalität eine *gesetzmässige, zeitliche* Folge, die eine *Prognose* ermöglicht. Das Gesetz, welches Ursache und Wirkung verbindet, muss Ort und Zeit des Geschehens als *freie Variable* enthalten. Ein Gesetz, das Ereignisse an verschiedenen Orten und Zeiten miteinander verbindet, ist erst dann ein Kausalgesetz, wenn der gegenwärtige Zustand eines Systems ausreicht, um jeden künftigen Zustand daraus zu berechnen. Die Möglichkeit der Voraussage für die Zukunft ist also jene Bedingung, die ein physikalisches Gesetz zum Kausalgesetz macht. Darum impliziert die Existenz strenger Naturgesetze an sich das Kausalgesetz nicht. Ist also die Beschreibung der Naturvorgänge mit Hilfe von Gesetzen, die das Kausalgesetz bereits implizite enthalten, nicht möglich, so muss man das Kausalgesetz eigens formulieren. Dies ist der Fall in der Quantenmechanik. Denn das Kausalgesetz besagt, dass aus der Kenntnis des Ortes und des Impulses eines Massenpunktes zu einer Zeit die entsprechenden Werte für Ort und Impuls zu jeder späteren Zeit bestimmt werden können, was jedoch in atomaren Systemen nicht möglich ist. Es steht auch kein Naturgesetz zur Verfügung, das die Veränderung des Zustandes des Systems exakt beschreiben und damit die Ermittlung des Kausalzusammenhanges überflüssig machen würde. Ein solches Kausalgesetz findet man jedoch – wegen der Inkommensurabilität von Ort und Impuls – innerhalb der Quantenmechanik nicht. Denn für die zeitliche Veränderung des Zustandes stehen nur Wahrscheinlichkeitsangaben als Prognose zur Verfügung.

Das Kausalgesetz ist in seiner für die klassische Physik gültigen Form für die Quantenmechanik *ungültig*. Man könnte nun meinen, die Tatsache, dass es nicht möglich ist, aus der Kenntnis eines Zustandes zu einer bestimmten Zeit die Messwerte der Eigenschaften zu einer späteren Zeit vorauszusagen, bedeute noch nicht, dass im System keine Kausalität walte. Die grundsätzliche Unbeobachtbarkeit der Kausalität schliesse nämlich ihre Existenz noch nicht aus. Mit dieser Ansicht vertritt man die Theorie der *verborgenen Parameter*, welche die – unbeobachtbare – Kausalwirkung in atomaren Systemen hervorrufen.

Die Annahme der Existenz verborgener Parameter widerspricht jedoch dem Tatbestand. Die Zustandsangabe über ein atomares System ist nämlich als *vollständig* zu betrachten. Sämtliche objektiven Eigenschaften lassen sich daraus berechnen, die nicht-objektiven aber als Wahrscheinlichkeiten vor-

aussagen. In der Quantentheorie gilt, dass das Mass des subjektiven Unwissens (die Entropie) in einem Zustand gleich Null ist. Die Schrödingerschen Gleichungen ermöglichen im weiteren, den Zustand *zeitlich* zu verfolgen. Da eine nicht-objektive Eigenschaft nicht einfach zur Kenntnis genommen werden kann, sondern der Zustand erst durch Wechselwirkung mit dem Messgerät verändert werden muss, gehen bei der Beobachtung (im Messprozess) merkliche Teile der ursprünglich vorhandenen Information verloren. Genauer: Man muss auf diese Information freiwillig verzichten, wenn man den Messapparat vom System isolieren und somit überhaupt eine Messung durchführen will. Die Messung einer nicht-objektiven Eigenschaft setzt also den Verzicht auf so viel Informationen voraus, dass die Voraussage über den Wert der gemessenen Grösse *nach* der Ablesung der Messung nicht mehr möglich ist.

Auch die Quantenmechanik hebt also die Gültigkeit des Kausalgesetzes nicht auf, sie beschränkt sie aber. Es hat nämlich keinen Sinn, von einem «im Verborgenen wirkenden» Kausalgesetz zu sprechen, wenn man nachweisen kann, dass der physikalische Begriff der Kausalität auf den fraglichen Bereich nicht anwendbar ist. Der Kausalbegriff wird daher von dem Wahrscheinlichkeitsbegriff abgelöst, aber – und dies ist entscheidend – nur in Aussagen über ganz bestimmte Eigenschaften, die als nicht-objektive (Impuls und Ort) erkannt werden. Der Wahrscheinlichkeitsbegriff ersetzt den Kausalbegriff nicht generell, auch in der Grössenordnung atomarer Systeme nicht. Denn Kausalität besteht auch dort in bezug auf objektive Eigenschaften. Wendet man sich der nächsten Grössenordnung (bestimmter Moleküle) zu, so tritt an die Stelle der Wahrscheinlichkeit überall bereits die Kausalität.

Für die *Philosophie* ergibt sich daraus der Schluss, dass sie den Kausalbegriff nicht verallgemeinern – etwa als grundsätzlich gültige «Kategorie» auffassen – darf. Die Ablösung der Kausalität durch die Wahrscheinlichkeit bei bestimmten Aussagen in bezug auf atomare Vorgänge fordert auch eine neue Einstellung des Denkens. Das wichtigste Problem, das aus der Beschränkung der Gültigkeit des Kausalgesetzes resultiert, zeigt sich ausserhalb der Physik: Mutationen im Bereich des Lebendigen sind quantenphysikalische Ereignisse, die anscheinend nicht unter dem Kausalgesetz stehen; ihre Häufung zeigt jedoch einen Trend, der sich als eine gerichtete Entwicklung (Evolution der Arten) zu erkennen gibt.

Über die Entwicklung der Quantenphysik aus der Sicht eines Mitgestalters gibt *Werner Heisenberg* einen fesselnden, allgemein verständlichen Bericht in einer Art von Autobiographie «Der Teil und das Ganze»¹. – Wichtige Probleme der Quantenmechanik für die Philosophie und die moderne Weltvorstellung behandelt *Heisenberg* in seiner Essay-Sammlung «Schritte über Grenzen»². Über die Struktur der Materie orientiert in allgemein verständlicher Weise das Rowohlt-Sachbuch Nr. 5 von

Ralph E. Lapp: «Die Materie»³. – Die hier erörterten Probleme der Substanz und der Kausalität werden in «Philosophische Probleme der modernen Physik» von *Peter Mittelstaedt* anspruchsvoll behandelt (Kapitel IV und V). Das Buch bietet auch eine ausgezeichnete Einführung in das Problem der quantenphysikalischen Messung⁴.

Physik als Ontologie

Die Quantenphysik lässt eine eigenartige Tatsache erkennen: Ihr Gegenstand ist letzten Endes nicht die – sinnlich erfahrbare – Materie selbst, keine Korpuskel und keine Wellen, sondern jene Zusammenhänge, deren Erscheinungsform erst Korpuskel beziehungsweise Wellen sind. Aber nicht nur in der speziellen Perspektive der Quantenphysik tritt diese sonderbare Tatsache zutage. Die meisten Begründer und Entfalter der Quantenmechanik waren und sind überzeugt, dass dem, was man gemeinhin «Materie» nennt, etwas Nichtmaterielles zugrunde liegt. Oder mit Heisenbergs Worten: «Die kleinsten Einheiten der Materie sind nicht physikalische Objekte im gewöhnlichen Sinne, sondern Formen, Strukturen oder – im Sinne Platons – Ideen, über die man unzweideutig nur in der Sprache der Mathematik sprechen kann» («Schritte über Grenzen», S. 236). Mit der Nennung Platons ist aber auch der philosophische Hintergrund angedeutet, der dieses Verständnis der Wirklichkeit ermöglicht. Entscheidend ist, dass Heisenberg, Pauli, Heitler und andere Physiker nicht von einer theoretischen philosophischen Konzeption – von Platons Ideenlehre – ausgingen. Es war die quantenphysikalische Forschung selbst, die sie zur Erkenntnis führte, dass das Wesen auch der anschaulich zugänglichen Materie in rein abstrakten Formzusammenhängen besteht.

Zunächst glaubte man freilich, in den Formzusammenhängen, die etwa durch Differentialgleichungen formulierbar sind, nur das wiederzufinden, was man bei der mathematischen Erfassung von Phänomenen in die Materie «hineinprojiziert» hatte. Auf die mathematisch formulierte Frage «antwortete» die Materie gewissermassen ebenfalls «in der Sprache der Mathematik». Man glaubte also nicht mit der Materie selbst, sondern mit dem eigenen Wissen über die Materie konfrontiert zu sein. Dies war aber – so die ursprüngliche Meinung – eine Folge der Quantifizierung der Qualität. Da die Physik in ihrer Perspektive nur das Quantifizierte zu erfassen imstande ist, war nichts anderes zu erwarten, als die Eruierung *ausschliesslich formaler* Zusammenhänge. Die Symmetrieeigenschaften der Schrödingerschen Differentialgleichungen zum Beispiel repräsentieren in einer rein formalen Sprache (in der der Mathematik) die Eigenschaften der Elementarteilchen. Die Frage war nun, was diesen formalen Zusammenhängen zugrunde liegt. Man rang sich allmählich zur Einsicht durch, dass bestimmte

Zusammenhänge nur darum ausschliesslich formal zu beschreiben sind, weil sie tatsächlich etwas rein Formales definieren. Die Grösse, die sie beschreiben, ist also ebenfalls nichtmateriell, nämlich ideell, das heisst etwas Geistiges. Die Analogie zu Platons Ideenlehre – und mehr als Analogie braucht es nicht zu sein – ermöglichte jedoch einen weiteren wichtigen Schritt in der Überlegung: Die zum Ausdruck gebrachten Formzusammenhänge muss man nicht unbedingt als etwas Formales, als reine Quantitäten auffassen. Sie können durchaus als *Qualitäten* verstanden werden, Qualitäten im Sinne von Strukturen, die erst die verschiedenen Erscheinungsformen nicht nur der Materie, sondern der Objekte der Welt schlechthin ermöglichen. Mit diesem Gedankengang vollzog man jedoch eine «Re-Qualifizierung» der Quantitäten, das heisst der vorerst quantifizierten Qualitäten. Interessanterweise gibt es ein Weltverständnis, in dem Quantitäten (Zahlenbeziehungen) und Qualitäten (Objekte, Ereignisse, Lebensphänomene) als die zwei Seiten desselben Wesens aufgefasst werden: in der früher erwähnten altjüdischen Überlieferung.

Physik erscheint von hier aus als Ontologie. Eine Ontologie, die nicht erklügelt, sondern auf dem Boden der exakten Forschung organisch entstanden ist. Sowohl ihr Werdegang als auch ihre Eigenart bieten die Möglichkeit, den schöpferischen Prozess zu analysieren. Dabei geht es nicht um die Darstellung der Leistung einzelner, noch so genialer Physiker, sondern um den Aufweis der Beziehung zwischen der Struktur der Welt und der menschlichen Erkenntnisfähigkeit. Es sind dies Grenzfragen der Erkenntnistheorie, deren Beantwortung eine auf empirischer Basis ermittelte Ontologie voraussetzt.

Zu ihrem Problemkreis gehört auch das theologische Verständnis des hier umrissenen wissenschaftlichen Weltbildes. Physik schliesst den Glauben nicht aus, im Gegenteil, ihr Weltbild weist Dimensionen auf, die wissenschaftlich nicht mehr zugänglich sind, die transrationalen Fähigkeiten des Menschen indes herausfordern. Gewiss wird die Physik keinen «Gottesbeweis» liefern können, aber sie weist auf Zusammenhänge hin, die jenseits ihrer Erkenntnisgrenze liegen und nur durch jene Transrationalität des Menschen interpretiert werden können. Solche Zusammenhänge werden in der allgemeinen Relativitätstheorie, in der Quantenphysik, aber auch im Verständnis des Lebendigen sichtbar.

Die moderne Physik weist über sich hinaus auf ein offenes Weltbild hin. Um seine Offenheit zu erkennen, muss man allerdings die Konsequenzen der Physik radikal zu Ende denken. Die meisten schöpferischen Physiker tun dies und lassen in ihren Aussagen erkennen, dass das physikalische Verständnis der Welt in jene Tiefe führt, in der alles Sein, auch das menschliche, seine Wurzel hat.

Über die Zusammenhänge zwischen der Struktur der Materie in der quantenmechanischen Interpretation und der Platonischen Ideenlehre geben die bereits erwähnten Schriften von *Heisenberg* ausführlich Auskunft^{1, 2}. – Grundlegend zum physikalischen Weltverständnis sind die philosophischen Arbeiten von *Walter Heitler*, der in minutiöser Kleinarbeit Wesen und Grenzen der Physik aufweist und den Blick für die tieferen Zusammenhänge freilegt. Seine Aufsätze in den beiden Sammelbänden «Der Mensch und die naturwissenschaftliche Erkenntnis»⁵ und «Naturwissenschaftliche Streifzüge»⁶ untersuchen auch das Problem der Evolution aus der Sicht der Physik und geben über verschiedene philosophische Fragen der modernen Physik einen sehr klaren Überblick. Eine besondere Erwähnung verdient seine Abhandlung über «Wahrheit und Richtigkeit in den exakten Wissenschaften», in der er aufgrund einer Analyse der modernen Auffassungen über das Wesen der Mathematik die Möglichkeit einer Interpretation nach der Platonischen Ideenlehre aufweist⁷. – *Siegfried Müller-Markus* entfaltet seine Untersuchung des Schöpferischen und eine theologische Interpretation der Physik auf der Basis der Relativitätstheorie und der Atomphysik. Sein zentrales Werk «Wo die Welt nochmal beginnt» stellt in vorbildlich klarer Weise Entstehung und Wesen der Relativitätstheorie und ihre theologischen Konsequenzen dar und zeigt Zusammenhänge mit den religiösen Aspekten der Weltentstehung auf⁸. Seine «Protophysik» analysiert die spezielle Relativitätstheorie im Hinblick auf das Schöpferische, wobei auch die Frage erörtert wird, welche Erkenntnisse Einsteins auf Voraussetzungen beruhen, die einem Glauben gleichkommen⁹. Das zweitgenannte Werk setzt mathematische Kenntnisse voraus. Das Buch «Gott kehrt wieder» entwickelt eine Theologie auf der Grundlage der Atomphysik¹⁰. Die schwierigen Probleme der Quantenmechanik sind darin mit grosser, auch für Laien verständlicher Klarheit dargestellt.

¹Werner Heisenberg, *Der Teil und das Ganze – Gespräche im Umkreis der Atomphysik*, München 1969. – ²Werner Heisenberg, *Schritte über Grenzen – Gesammelte Reden und Aufsätze*, München 1971. – ³Ralph E. Lapp, *Die Materie*, Rowohlt Bildsachbuch Nr. 5, Reinbek 1969. – ⁴Peter Mittelstaedt, *Philosophische Probleme der modernen Physik*, Hochschultaschenbuch Nr. 50/50a, Mannheim 1968. – ⁵Walter Heitler, *Der Mensch und die naturwissenschaftliche Erkenntnis*, Braunschweig 1970⁴. – ⁶Walter Heitler, *Naturphilosophische Streifzüge – Vorträge und Aufsätze*,

Braunschweig 1970. – ⁷Walter Heitler, *Wahrheit und Richtigkeit in den exakten Wissenschaften – Abhandlungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse*, Jahrgang 1972, Nr. 3, Mainz-Wiesbaden 1972. – ⁸Siegfried Müller-Markus, *Wo die Welt nochmal beginnt – Physikalisches Weltverständnis und die Möglichkeit des Glaubens*, Olten-Freiburg i. Br. 1970. – ⁹Siegfried Müller-Markus, *Protophysik – Entwurf einer Philosophie des Schöpferischen*, Den Haag 1971. – ¹⁰Siegfried Müller-Markus, *Gott kehrt wieder*, Stein am Rhein 1972.