

Systems bekannt, so können alle diejenigen Bestimmungstücke früherer oder späterer Zustände berechnet werden, die mit den bekannten nach der klassischen Physik in einem eindeutigen Zusammenhang stehen.“ Dies ist aber genau das Kausalprinzip der klassischen Physik. Der Unterschied zwischen der Quantenmechanik und der klassischen Physik liegt also überhaupt nicht in dem Konditionalsatz des Kausalprinzips, sondern nur in den Grenzen, bis zu denen die objektive Bestimmung eines Zustandes vorge- trieben werden kann.

Die Fortdauer des klassischen Kausalprinzips ist kein Zufall. Ein Apparat ist ja nur soweit zum Experimentieren geeignet, als in ihm das Kausalprinzip gilt. Nur wenn z. B. im Mikroskop eine Kette eindeutiger Zusammenhänge vom Objekt zum Bild führt, kann man aus Lage und Gestalt des Bildes auf Lage und Gestalt des Objektes schließen. Somit ist das experimentelle Kenntnisnehmen von der Natur an die Anwendbarkeit des Kausalprinzips auf die Meßinstrumente geknüpft. Man kann in der Tat an Beispielen zeigen, daß ein Apparat dort aufhört, zum Messen geeignet zu sein, wo die quantenmechanische Unbestimmtheit in ihm den Rückschluß vom beobachteten auf den zu untersuchenden Vorgang zu einem statistischen macht.

3. *Objektivierbarkeit.* Jede Beobachtung setzt eine Kausalkette voraus und liefert ein anschauliches Ergebnis. Wir können nur eines nicht mehr: die einzelnen Anschauungsfragmente und Kausalketten zum Modell einer an sich seienden Natur zusammenfügen. Vielmehr hängt es von unserer frei gewählten experimentellen Anordnung ab, welche der zueinander „komplementären“ Seiten der Natur wir zu Gesicht bekommen, und die Kenntnis eines Sachverhaltes schließt die Kenntnis des dazu komplementären Sachverhaltes aus.

Wir werden nun vor die Kardinalfrage der Quantenmechanik gestellt: Handelt es sich dabei um Schwierigkeiten unserer Kenntnisnahme oder des Begriffs der objektiven Natur selbst? Darf man voraussetzen, daß die uns jeweils unbekannt bleibenden Bestimmungstücke an sich existieren und nur „verborgen“ sind, oder darf man das nicht voraussetzen? Die heutige Fassung der Quantenmechanik entscheidet sich für die zweite Antwort. Sie leugnet die Existenz verborgener Parameter; zwar nicht dann, wenn die Unkenntnis lediglich auf dem Verzicht auf eine an sich quantenmechanisch mögliche Kenntnisnahme beruht, aber dann, wenn die unbe-

kannte Größe wegen der zu genauen Kenntnis einer zu ihr komplementären Größe nicht bekannt sein kann. Dies ist keine leere Behauptung, sondern ein Satz mit bestimmten logischen Konsequenzen: Es habe z. B. ein unbekanntes Bestimmungstück X nur zwei mögliche Werte x und y, d. h. bei einer Messung von X sollen nur diese beiden Meßresultate möglich sein. Es soll ferner eine Behauptung A geben, die falsch ist, sowohl wenn die Messung von X den Wert x, wie wenn sie den Wert y ergeben hat. Dann dürfte aus der Annahme, die unbekanntes Werte existieren an sich, gefolgert werden: „X hat sicher entweder den Wert x oder den Wert y; in beiden Fällen ist A falsch; also ist A sicher falsch.“ Diese Folgerung ist aber nach der Quantenmechanik falsch, denn A kann z. B. die Aussage sein: die zu X komplementäre Größe Z hat den bestimmten Wert z (d. h. bei einer Messung von Z wird man mit Gewißheit den Wert z finden). Diese Aussage ist nach der Quantenmechanik falsch, wenn X überhaupt einen bestimmten Wert hat, sie ist aber richtig, wenn man unter Verzicht auf die Messung von X die Größe Z gemessen und den Wert z gefunden hat.

Unser Beispiel hat uns auf eine fundamentale logische Eigenschaft der Quantenmechanik geführt. In ihre Aussagen geht die Kenntnis, die wir von der Natur haben, explicite ein. So ist in unserem Beispiel, wenn X bekannt ist, der Satz „Z hat sicher den Wert z“, oder, anders ausgedrückt, „ich weiß, daß Z den Wert z hat“, falsch, dagegen der bloße Satz „Z hat den Wert z“ weder falsch noch richtig, sondern ungewiß, denn bei einer Messung von Z könnte ja der Wert z herauskommen. Es ist der entscheidende Unterschied der Quantenmechanik von der klassischen Physik, daß sie ihre Sätze gar nicht aussprechen kann, ohne die Art der Kenntnis mit auszudrücken.

Diese Feststellung ist von der Praxis der Physik aus ebenso natürlich, wie sie vom Weltbild nicht nur der klassischen Physik, sondern auch der Philosophie aus revolutionär ist. Eine vollständige experimentelle Aussage, so wie sie im Versuchsprotokoll steht, lautet schematisiert: „Ich habe an diesem Versuchsobjekt unter diesen Versuchsbedingungen diesen Zustand beobachtet.“ Die Hypothese der klassischen Physik lautet, daß dieser Satz stets ersetzt werden dürfe durch den Satz: „An diesem Versuchsobjekt besteht dieser Zustand“, und daß Sätze der letztgenannten Art notwendigerweise entweder richtig oder falsch sein müßten, einerlei, ob es einen Menschen gibt, der weiß, ob sie richtig oder falsch sind. Diese Hypothese hat sich in der älteren Physik stets bewährt. Sie entspricht darüber hinaus einem Grundmotiv fast aller Wissenschaft und Philosophie: dem Glauben

an ein objektives Vorhandensein der Gegenstände unserer Erkenntnis. Zwar kann man nicht leugnen, daß jeder empirische Sachverhalt ein vom Menschen gewußter Sachverhalt ist. Aber man wünscht aus diesem Satz keine in die Struktur unseres Wissens selbst eingreifenden Folgerungen zu ziehen. Der Streit der philosophischen Systeme ging höchstens darum, ob der Satz für unseren allgemeinen Begriff von der Wirklichkeit von Bedeutung sei oder nicht. D. h. man setzte voraus, daß man ohne Änderung der begrifflichen Struktur der Wissenschaft über ihre Objekte, von denen wir wissen, reden könne, ohne ausdrücklich Bezug darauf zu nehmen, daß wir sie wissen; und man diskutierte nur, welchen Sinn die daraus von der naiven Wissenschaft gezogene Folgerung habe, daß die Objekte unabhängig von unserem Wissen „wirklich“ existieren. Die Quantenmechanik hingegen leugnet schon die Voraussetzung dieser Diskussion. Die neue Basis der Quantenmechanik versuchen wir nun formal-logisch und ontologisch noch genauer zu charakterisieren.

Formal-logisch gesehen verwendet die Quantenmechanik einen mehrwertigen Wahrheitsbegriff, in dem eine Aussage neben den Wahrheitswerten „wahr“ und „falsch“ den Wahrheitswert „unbestimmt, und zwar mit der und der Wahrscheinlichkeit, wahr zu sein“, haben kann. Sei etwa A eine Aussage über einen bestimmten konkreten Sachverhalt. Dann hat die volle experimentelle Aussage die Form: „Ich weiß, daß A gilt.“ Die klassische Physik arbeitet statt dessen nur mit „objektiven“ Sätzen der Form: „ A gilt.“ Die volle experimentelle Aussage läßt zwei Arten der Negation zu: die Negation des objektiven Satzes: „Ich weiß, daß A nicht gilt“ und die Negation des Wissens: „Ich weiß nicht, ob A gilt.“ Für die klassische Physik ist von diesen beiden Negationen nur die Negation des objektiven Satzes eine wirkliche Aussage über die Natur. Die Negation des Wissens hingegen kann nach ihr umgeformt werden in den Satz: „ A gilt oder A gilt nicht; und ich weiß nicht, welches von beiden zutrifft.“ Für die Quantenmechanik hingegen kann der objektive Satz „ A gilt“ im allgemeinen überhaupt nur sinnvoll ausgesprochen werden, wenn die volle experimentelle Aussage „Ich weiß, daß A gilt“ zutrifft. Für die Quantenmechanik sind weiterhin die volle experimentelle Aussage und ihre beiden Negationen drei einander gleichgeordnete Aussagen über die Natur. Die klassische Umformung der Negation des Wissens ist falsch; an ihrer Stelle gilt als Folgerung aus der Negation des Wissens der Satz: „Weder gilt A noch gilt A nicht.“

Ontologisch bedeutet dies, daß der Begriff des Objekts nicht mehr ohne Bezugnahme auf das Subjekt der Erkenntnis verwendet werden kann. Freilich wird nicht das empirische Subjekt mit seinen Affekten und seinem persönlichen Schicksal in die Physik eingeführt, sondern es gehen nur zwei Grundfunktionen des Bewußtseins in jeden Satz der Naturbeschreibung ein: Wissen und Wollen. Dies wird vielleicht am deutlichsten aus dem Satz, daß die ψ -Funktion die Wahrscheinlichkeit für jeden möglichen Ausfall jedes möglichen Experiments angibt. Das erste „möglich“ drückt ein Nichtwissen aus; möglich ist ein Vorgang, von dem ich weder weiß, daß er eintreten wird, noch weiß, daß er nicht eintreten wird. Das zweite „möglich“ hingegen drückt ein Wollenkönnen, ein Vermögen aus; möglich ist ein Experiment, das ich entweder ausführen oder unterlassen kann. Es gehört zum quantenmechanischen „Nichtwissen“, daß ich das Nichtgewußte grundsätzlich jederzeit wissen kann, wenn ich nur will. Die einzige Bedingung, welche die Komplementarität der verschiedenen Fragestellungen auferlegt, ist, daß ich, wenn ich etwas Bestimmtes wissen will, auf das dazu komplementäre Wissen verzichte. Die Grenze zwischen dem Gewußten und dem Nichtgewußten ist also selbst nichts „Objektives“, sondern ich kann sie nach meiner Willkür legen, wohin ich will; nur zum Verschwinden bringen kann ich sie nicht. —

Es sei noch eine Erläuterung angeführt. Man hat gelegentlich die Unbestimmtheit von Zustandsgrößen in Zusammenhang gebracht mit der Störung des Objekts durch den Beobachtungsakt. Diese Ausdrucksweise ist mißverständlich. Denn sie erweckt den Eindruck, als habe das Objekt, ehe es beobachtet wird, gewisse Eigenschaften, die nur durch den Beobachtungsakt zerstört würden. So interpretiert würde sie aber eben einen Rückfall in die vor-quantenmechanische Denkweise bedeuten. Richtiger muß man sagen: Vorbedingung für die Möglichkeit, einem Gegenstand eine bestimmte Eigenschaft zuzuschreiben, ist eine Meßanordnung, die gestattet, diese Eigenschaft festzustellen. Gehe ich nun durch Anwendung einer neuen Meßanordnung dazu über, eine zu der vorher gemessenen komplementäre Größe zu messen, so existieren die Bedingungen nicht mehr, unter denen die vorher gemessene Größe überhaupt einen bestimmten Wert haben konnte. Der physische Eingriff in das Geschehen, der notwendig ist, um die alten Versuchsbedingungen durch die neuen zu ersetzen, ist es nun, den man in der zitierten Ausdrucksweise als die „Störung des Objekts durch die Beobachtung“ bezeichnet. Dieser Ausdruck hat also nur einen klaren

Sinn, wenn nicht das fiktive „ungestörte“ Objekt, sondern ein schon durch Beobachtung bekanntes Objekt einer Beobachtung neuer Art unterworfen wird.

4. *Die Frage der Endgültigkeit.* Ist diese Änderung des Objektbegriffs nun unvermeidlich und endgültig? Auf diese Frage ist zunächst mit der Gegenfrage zu antworten: Was kann man überhaupt unter der „Endgültigkeit“ einer physikalischen Theorie verstehen? Innerhalb des Begriffsystems einer fertigen Theorie lassen sich strenge Beweise führen. Daß aber eine Theorie der Erfahrung genau angemessen ist, läßt sich nie mit mathematischer Strenge zeigen. Selbst wenn sie alle bekannten Erfahrungen richtig darstellen könnte, bliebe die Möglichkeit zukünftiger widersprechender Erfahrungen offen. Einen eingeschränkten Begriff der Endgültigkeit hat sich die Physik aber mit dem Begriff des Geltungsbereiches einer Theorie geschaffen. Richtig heißt eine Theorie nicht, wenn sie alle nur denkbaren Erfahrungen umfaßt, sondern wenn es überhaupt eine Gruppe von reproduzierbaren Erfahrungen gibt, welche durch sie richtig dargestellt werden. Stellt eine zweite Theorie eine umfassende Gruppe von Erfahrungen dar, so muß immerhin gefordert werden, daß sie für die durch die erste Theorie dargestellten Erfahrungen in diese erste Theorie als einen „Grenzfall“ übergeht. So hat die klassische Physik einen Geltungsbereich, die Quantenmechanik einen anderen, weiteren; beide sind, was nun eigentlich eine Tautologie ist, für ihren Geltungsbereich endgültig.

Die anfangs gestellte Frage kann nun nur bedeuten: könnte es nicht eines Tages eine noch umfassendere Theorie als die Quantenmechanik geben, welche die von der Quantenmechanik abgewiesene Frage nach den objektiven Werten unbestimmter Größen doch noch zu beantworten gestattete? Diese Möglichkeit ist nicht streng logisch auszuschließen. Man kann der neuen Theorie nur eine einschränkende Bedingung auferlegen: es läßt sich zeigen, daß sie das Geforderte nur leisten kann, wenn sie auf die Persistenz der klassischen Gesetze verzichtet. Sie müßte also im Gegensatz zur Quantenmechanik statt der Beschreibung des unmittelbar Wahrgenommenen durch die klassische Physik eine andere einführen, und zwar in so einschneidender Weise, daß die oben besprochene Unterscheidung von Teilchen und Feld verwischt würde: das Verhalten eines lokalisierten Teilchens müßte in einer Weise, die man klassisch als Beweis für das Vorhandensein eines Feldes ansehen würde, vom Zustand des ganzen Raumes abhängen. Die Schwierigkeit, sich dergleichen auch nur vorzustellen, und das Scheitern

aller bisher in dieser Richtung unternommenen Versuche ist vielleicht für den Physiker das stärkste Argument, eine nochmalige Revision gerade dieser Züge der Quantenmechanik nicht zu erwarten.

Da es sich aber um eine physikalisch nicht streng entschiedene Frage handelt, ist es notwendig, die Gegenargumente zu hören. Diese sind nun, so wie sie heute vorgebracht werden, bewußt oder unbewußt philosophischer Natur. Sie beruhen auf einem metaphysisch gearteten Glauben an die Existenz einer schlechthin objektiven Außenwelt oder auf der — vor allem an Kant anknüpfenden — Überzeugung, daß die Denkmittel der klassischen Physik Vorbedingungen jeder möglichen Erfahrung und darum aus der Erfahrung heraus nicht kritisierbar seien. Wir sehen uns also, wie bei jedem großen naturwissenschaftlichen Fortschritt, aus der wissenschaftlichen Diskussion heraus zum Philosophieren aufgefordert.

Wir weichen dieser Aufforderung nicht aus. In dem nun anzustrengenden Prozeß fungiert die Physik nicht mehr als Richter, sondern als Zeuge. Die Existenz der Quantenmechanik als begrifflich geschlossene Theorie beweist uns, noch ehe über ihre Endgültigkeit entschieden ist, jedenfalls die logische Möglichkeit einer Theorie, welche den soeben genannten philosophischen Forderungen widerspricht. Sie gibt uns damit das Mittel in die Hand, in den Beweisketten der Einwände Lücken festzustellen und zu zeigen, daß die Einwände jedenfalls nicht Gegenbeweise, sondern Glaubenssätze sind. Sie regt uns schließlich an, uns den Hintergrund des Glaubens klarzumachen, aus dem die Einwände stammen.

II. Philosophische Vorfragen.

1. *Problemstellung.* Wenn wir uns nun aufs philosophische Gebiet wagen, suchen wir, durch manche schlechte Erfahrung zielloser philosophischer Debatten gewarnt, nach einem Leitfaden, einem methodischen Prinzip. Wir nehmen die Physik zum Vorbild und versuchen, uns wie sie an die Phänomene zu halten. Wir wollen uns bemühen, allgemeine Sätze nicht unbeesehen zu glauben, sondern zu fragen: Was wissen wir schon, und welche Ansichten folgen aus diesem Wissen bereits, welche gehen darüber hinaus? Ob mehr zu erreichen ist, muß der Versuch lehren. Meist kann die Philosophie dem denkenden Menschen den Entschluß zur Wahl eines eigenen Standpunktes nicht abnehmen, sondern nur ihm zeigen, was er tut, wenn er sich zu diesem oder jenem Standpunkt entschließt.