

# DIE CHEMIE

(Angew. Chemie, Neue Folge)

55. Jahrgang, Nr. 13/14, Seiten 99—114, 28. März 1942

## Die moderne Atomlehre und die Philosophie\*) Von Dr. C. F. Freiherr v. WEIZSÄCKER, Bln.-Dahlem

### Inhalt.

- I. Der Inhalt der modernen Atomlehre.
  - 1. Anschaulichkeit.
  - 2. Kausalität.
  - 3. Objektivierbarkeit.
  - 4. Die Frage der Endgültigkeit.
- II. Philosophische Vorfragen.
  - 1. Problemstellung.
  - 2. Der Realismus der klassischen Physik.
  - 3. Sensualismus und Positivismus.
  - 4. Das Problem des „A priori“.
- III. Kant und die Quantenmechanik.
  - 1. Thesen Kants.
  - 2. Vergleich mit der Quantenmechanik.
  - 3. Folgerungen für den Begriff „A priori“.
  - 4. Meditationsstufen.

Die moderne Naturwissenschaft hat philosophische Fragen aufgeworfen, die im Rahmen der bekannten philosophischen Systeme der Vergangenheit und der Gegenwart schwerlich eine vollständige Antwort finden werden. Die vorliegende Arbeit möchte der Vorbereitung einer sachgenauen Antwort dienen, indem sie einige bereits bekannte philosophische Thesen prüft, die sich auf die genannten Fragen beziehen. Sie stellt sich also keine historische, sondern eine vorbereitend-systematische Aufgabe. Die Beschränkung der besprochenen Naturwissenschaft auf die Atomlehre, die in der Quantenmechanik heute eine geschlossene theoretische Darstellung besitzt, erfolgt nur, um den Kreis der Fragen nicht von vornherein zu weit zu ziehen; da die Quantenmechanik zugleich die empirisch am besten belegte und die radikalste der modernen Theorien ist, kann man aus ihr wohl gegenwärtig am meisten für die philosophischen Fragen lernen. An philosophischen Lehren wird hauptsächlich das System Kants besprochen. Denn das Ungenügen der heute mit ihm konkurrierenden naiv-realistischen und positivistischen Ansichten drängt die Fragestellung von selbst in die Richtung, die Kant eingeschlagen hat. Die Antworten, die Kant auf seine Grundfragen gegeben hat, erweisen sich angesichts der modernen Physik weder als richtig noch als falsch, sondern als zweideutig. Indem wir versuchen, an Hand der heutigen Erkenntnisse eine richtige und eine unrichtige Deutung der Kantschen Thesen auseinanderzuhalten, gewinnen wir ein Prinzip der Kritik der Kantschen Philosophie und zugleich einen Ausgangspunkt für die weitere philosophische Bearbeitung der modernen Physik.

### I. Der Inhalt der modernen Atomlehre.

Es ist zunächst notwendig, die Behauptungen der Quantenmechanik kurz zusammenzufassen<sup>1)</sup>). Dabei interessieren uns zunächst die Fragen, ob die Quantenmechanik, wie man oft gesagt hat, auf die Anschaulichkeit der Naturbeschreibung und auf das Kausalprinzip verzichtet habe. Wir werden sehen, daß beide Thesen ungenau sind, und daß der entscheidende Punkt der Quantenmechanik im Verzicht auf die „Objektivierbarkeit“ des Naturgeschehens liegt. Wir prüfen schließlich, wieweit den Behauptungen der Quantenmechanik vom physikalischen Standpunkt aus Endgültigkeit zugesprochen werden kann.

**1. Anschaulichkeit.** Der Begriff der Anschaulichkeit ist zweideutig. In der modernen Physik bekommt er einen eingeschränkten, aber genauen Sinn durch die Gleichsetzung von

\*) Auszüge vorgetragen auf der Ostdeutschen Vortragveranstaltung des VDCh am 12. Februar 1942 in Breslau.

1) Vgl. hierzu und als Ausgangspunkt unseres philosophischen Ansatzes die Arbeiten N. Bohr: Atomtheorie und Naturbeschreibung, Berlin 1931, und die Aufsätze: Physic. Rev. 48, 696 [1935]; Erkenntnis 6, 293 [1936]; New Theories on Physics, Paris 1939, S. 11.

W. Heisenberg: Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie, Leipzig, 2. Aufl. 1940; Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft, Leipzig, 2. Aufl. 1936.

G. Hermann: Die naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik, Berlin 1935.

Die hier dargestellte Form der quantenmechanischen Thesen ist ausführlich begründet in Z. Physik 118, 489 [1941].

„anschaulich“ und „klassisch“. In welchem Sinn und mit welchem Recht werden beide Begriffe gleichgesetzt?

Als „klassische Physik“ bezeichnet man heute die Newtonsche Mechanik, die Maxwellsche Elektrodynamik und alle die Disziplinen, die sich durch irgendeine modellmäßige Deutung ihrer Grundphänomene auf Mechanik und Elektrodynamik zurückführen lassen; so die Akustik (auf Grund der Deutung des Schalls als Wellenbewegung), die Wärmelehre (auf Grund der kinetischen Theorie der Wärme), die Optik (auf Grund der elektromagnetischen Lichttheorie). In welchem Sinne ist diese Physik nun „anschaulich“? Auf diese Frage pflegt man die Antwort zu erhalten: sie beschreibt alle physikalischen Phänomene als Zustände von Gebilden, die sich im dreidimensionalen euklidischen Raum befinden, und als Änderungen dieser Zustände in einer eindimensionalen, objektiven Zeit. Doch ist dies offenbar ein sehr abstrakter Begriff von Anschaulichkeit. Man denke einmal an das, was Goethe unter Naturwissenschaft verstand: das Anschauen der reinen Phänomene. Die klassische Physik bleibt gerade nicht beim Anschauen der Urphänomene Licht, Schall, Wärme stehen, sondern führt sie auf unanschauliche, nur indirekt beweisbare Bewegungsvorgänge zurück. Das Weltbild der klassischen Physik, für das diese Bewegungsvorgänge schließlich die einzigen Realitäten waren, leugnete somit geradezu die physische Realität des Angeschauten und überließ es den unfertigen Wissenschaften der Sinnesphysiologie und Psychophysik, nachträglich zu erklären, wie jene Phänomene der Anschauung „zustande kommen“. Die klassische Physik zahlt diesen Preis, um dafür die Einheitlichkeit des Weltbildes zu erhalten. Sie projiziert gleichsam die anschaulich gegebene Welt auf eine Ebene reiner Begriffe.

Aber immerhin ist es eben die anschaulich gegebene Welt, die durch diese Projektion abgebildet wird. Zwar sind dem Anschauungsvermögen des normalen Menschen keineswegs alle Sätze der euklidischen Geometrie unmittelbar einleuchtend oder gar selbstverständlich; aber wenn man unsere Anschauung von dem Raum, in dem wir die äußeren Gegenstände vorfinden, überhaupt in die Sprache einer axiomatisierten Geometrie übersetzen wollte, sah man sich eindeutig auf die euklidische Geometrie geführt. Zwar enthält das unmittelbare Erlebnis des Lichtes nichts von Wellenvorgängen; aber wenn man die Erscheinungen der Lichtausbreitung — bis in ihre durch die Worte Interferenz und Beugung angedeuteten Feinheiten hinein — überhaupt durch zusammenhängende Begriffe darstellen wollte, mußte man von einem räumlich und zeitlich periodisch modulierten Feld der Lichterregung reden. So bilden die Sätze der klassischen Physik die Struktur der durch die Anschauung gegebenen Welt ab; die Begriffe der klassischen Physik bilden die Präzisionssprache, in welcher der Physiker angibt, wie ein Apparat gebaut werden soll, und mitteilt, was er gesehen hat.

Die klassische Physik hat dadurch eine eigentümliche Mittelstellung zwischen der Welt der Empfindungen und der Welt der Dinge. Für eine Theorie der Empfindung und Wahrnehmung gibt sie die objektiven Dinge an, welche die Empfindung auslösen und in der Wahrnehmung erscheinen. Z. B. gestattet sie beim Vergleich von Reiz und Reaktion, den Reiz objektiv zu definieren. Umgekehrt liefert sie bei der Erforschung der Objekte der Außenwelt, die sich heute mehr und mehr jenseits des unmittelbar Wahrnehmbaren abspielt, die Sprache, in der jede Botschaft, die uns von jenen nicht direkt wahrgenommenen Objekten kommt, ausgedrückt werden muß. Da alles Angesehene mit der klassischen Physik beschrieben wird, ist die klassische Physik nun in der physikalischen Forschung der Repräsentant der Anschauung.

An dieser Stelle lernen wir zu unterscheiden zwischen zwei Bedeutungen der klassischen Physik: als Weltbild und als methodisches Hilfsmittel. In der Physik sind untrennbar miteinander

verwoben Aussagen auf Grund unmittelbarer Wahrnehmung und Extrapolationen auf nicht Wahrgenommenes, ja in vielen Fällen auf praktisch nicht Wahrnehmbares. Das Weltbild der klassischen Physik nimmt an, auch alles Nichtwahrgenommene müsse --- wenigstens in den Grundzügen — dieselben Eigenschaften haben wie das Wahrgekommen. Dies ist eine Hypothese, und zwar, wie die heutige Physik lehrt, eine in weitem Umfang falsche Hypothese. Die klassische Physik als methodisches Hilfsmittel bleibt von dieser Kritik unberührt. Denn immer verlangt die empirische Nachprüfung der physikalischen Sätze, daß wenigstens indirekt eine Verbindung zwischen dem Objekt und der Wahrnehmung hergestellt wird (z. B. durch Vergrößerungs- und Verstärkereinrichtungen, deren bekanntestes Beispiel das Mikroskop ist). Der wahrgenommene Vorgang in der Natur oder im Meßapparat aber wird jedenfalls mit den Begriffen der klassischen Physik beschrieben. Aus dieser Tatsache ergibt sich sogar eine Voraussetzung für die Richtigkeit jeder neuen Theorie: sie muß in dem Grenzfall, in dem sie auf Gegenstände unserer täglichen Erfahrung angewandt wird, in die klassische Physik übergehen. —

Wodurch unterscheidet sich nun die Quantenmechanik von der klassischen Physik? Sie hat entdeckt, daß dasselbe physikalische Objekt zwei verschiedene, einander scheinbar ausschließende Erscheinungsformen besitzt: Teilchen und Feld (oder Welle). Diese beiden Formen, unter denen alle atomaren Objekte im Experiment erscheinen, sind nicht aus einer größeren Anzahl gleichwertiger Möglichkeiten herausgegriffen; sie bilden vielmehr eine vollständige Disjunktion. Ein Teilchen ist ein physikalisches Gebilde, daß sich, wenn es sich an einem Ort befindet, nicht gleichzeitig an einem davon entfernten Ort befinden kann; ein Feld ist ein durch den Raum verbreitetes Gebilde. Die Teilchennatur eines Gebildes folgt aus allen Experimenten, die eine Lokalisation seiner Wirkungen beweisen (z. B. Nebelkammeraufnahmen); die Feldnatur eines Gebildes folgt aus allen Experimenten, die ein Zusammenwirken mehrerer voneinander entfernter Orte beweisen (Interferenz). Welchen Sinn kann nun die Behauptung haben, ein Elektron sei sowohl Teilchen als auch Feld? Die Erfahrung zeigt zwar sowohl Lokations- als auch Interferenzeffekte der Elektronen. Wie wird aber der hierin scheinbar liegende Widerspruch vermieden? Der Widerspruch besteht nicht zwischen den tatsächlich beobachteten Eigenschaften des Elektrons; er tritt nur auf, wenn man annimmt, diese Eigenschaften kämen dem Elektron auch dann zu, wenn man darauf verzichtet, sie zu beobachten. Dies sei an einem Beispiel erläutert.

Habe ich ein Elektron soeben an einem bestimmten Ort vorgefunden, so sagt das Teilchenbild: an diesem Ort ist ein Teilchen; das Wellenbild: hier ist ein auf engsten Raum zusammengedrängtes „Wellenpaket“. Beide Darstellungen sind richtig und widersprechen einander nicht. Aber nach einiger Zeit müßte das Teilchen in irgendeiner Richtung davongelaufen sein, das Wellenbild hingegen sich nach allen Richtungen ausgebreitet haben. Der hierin liegende scheinbare Widerspruch wird vermieden durch die Bemerkung, daß ich den Impuls (also Bewegungsrichtung und -größe) des Elektrons gar nicht kenne; denn die Ortsmessung setzt die Wechselwirkung des Elektrons mit einem ortsfesten Meßapparat voraus, der dem Teilchen bei seiner Bewegung beliebige Ablenkungen geben kann. Ich kann also auch nach dem Teilchenbild nur prophezeien, daß ich das Teilchen bei einer wiederholten Ortsmessung irgendwo in der Nähe des ersten Ortes finden werde; und es ist die statistische Grundannahme der Quantenmechanik, daß die Wahrscheinlichkeit, das Elektron an einem bestimmten Ort vorzufinden, durch die Intensität der ihm entsprechenden Welle an demselben Ort gegeben ist. Der Widerspruch, der darin liegt, daß das Teilchen nur eine Bahn durchlaufen und daher nicht, wie das Wellenbild fordert, jeden Punkt der Umgebung erreichen kann, wird also dadurch vermieden, daß der Impuls, aus dem ich die Bahn des Teilchens vorausberechnen könnte, nicht bekannt ist, und ich daher nicht weiß, welche Bahn das Teilchen zurücklegen wird; oder umgedeutet, Wellenbild und Teilchenbild lassen sich nur dann vereinbaren, wenn angenommen wird, daß der Impuls eines Teilchens von bekanntem Ort gar nicht bekannt sein kann. Wollte man, wie es in der klassischen Physik ohne weiteres möglich wäre, den Impuls durch eine zweite Messung bestimmen, so würde dadurch — wie man wieder aus der gleichzeitigen Gültigkeit des Wellenbildes ableiten kann — infolge der Wechselwirkung des Elektrons mit dem neuen Meßapparat sein Ort eben um so viel unbestimmt, daß die dem Wellenbild widersprechende Vorausberechnung der Bahn nun wegen Ortsunkenntnis unmöglich wäre.

Was folgt aus diesen Gesetzmäßigkeiten für die Frage nach der anschaulichkeit der Quantenmechanik? Die ganze obige Betrachtung hält sich im Rahmen der Anschauung. Wir haben nicht angenommen, daß Teilchen- und Wellenbild dort, wo die Erfahrung sie verlangt, doch nur genäherte Darstellungen

seien. Vielmehr gilt in der Quantenmechanik der Satz von der Persistenz der klassischen Gesetze; er besagt: wenn irgend eine klassisch definierte Größe durch Messung bekannt ist, so sind alle Folgerungen, die nach der klassischen Physik aus dieser Kenntnis gezogen werden können, exakt richtig. Das heißt, man kann jedes Bild da, wo es aus der Erfahrung gefordert ist, in aller Strenge anwenden; nur darf man nicht annehmen, die Bestimmungsstücke, welche durch das gerade vorliegende Experiment nicht angegeben werden, hätten gleichwohl bestimmte Werte. Wir haben also nicht auf die Anschaulichkeit der Naturbeschreibung verzichtet, sondern nur darauf, den anschaulichen Bestimmungsstücken der Natur einen vom jeweiligen Beobachtungszusammenhang unabhängigen „objektiven“ Sinn zuzuschreiben.

Dies wird besonders deutlich durch den allgemeinen Formalismus der Quantenmechanik. Er beschreibt unser Wissen über ein Objekt durch die Angabe einer abstrakten „ $\psi$ -Funktion“. Die Verbindung dieser Funktion mit der Erfahrung besteht darin, daß aus ihr die Wahrscheinlichkeit für jeden möglichen Ausfall jedes möglichen Experiments vorausgesagt werden kann. Dabei sind alle möglichen „Experimente“ nur Messungen klassisch definierter Größen. Soweit man also „klassisch“ und „anschaulich“ gleichsetzen darf, ist die Quantenmechanik eine völlig anschauliche, aber nicht objektivierbare Naturbeschreibung.

**2. Kausalität.** Die Quantenmechanik macht gewisse Voraussagen nur mit Wahrscheinlichkeit, z. B. die Voraussage des Impulses, den man an einem Elektron von bekanntem Ort messen wird. Bedeutet das einen Verzicht auf das Kausalprinzip?

Wenn wir die klassische Physik als kausal bezeichnen, so schränken wir damit den Begriff der Kausalität ebenso ein wie oben den der Anschaulichkeit. Kausalität heißt in der klassischen Physik nichts weiter als Existenz eines eindeutigen funktionalen Zusammenhangs zwischen den Zuständen zu verschiedenen Zeiten: „Ist der Zustand eines abgeschlossenen Systems in einem Zeitpunkt vollständig bekannt, so kann man den Zustand des Systems in jedem früheren oder späteren Zeitpunkt grundsätzlich berechnen“. Dieser Konditionalsatz wird nun in der Quantenmechanik nicht falsch, sondern unanwendbar, weil die Voraussetzung niemals realisiert ist: der Zustand eines Systems kann nicht im klassischen Sinne vollständig bestimmt werden, da die Gewinnung einer Kenntnis (z. B. des Orts eines Teilchens) die der dazu „komplementären“ Kenntnis (z. B. des Impulses) ausschließt. Der Konditionalsatz selbst gehörte aber eigentlich nur dem klassischen „Weltbild“ und nicht der Praxis an, in der ja niemals ein Zustand vollständig bekannt war. Man konnte vielmehr praktisch nur so viel berechnen, als aus den jeweils bekannten Bestimmungsstücken des Systems folgte, d. h. man konnte nur diejenigen Folgerungen ziehen, auf welche die jeweils unbekannten Bestimmungsstücke keinen Einfluß haben konnten. Dies bleibt nun auch in der Quantenmechanik richtig. In der Quantenmechanik gilt der Konditionalsatz, den wir oben als den Satz von der Persistenz der klassischen Gesetze bezeichnet haben, und der, auf das vorliegende Problem angewandt, aussagt: „Sind einige Bestimmungsstücke des Zustandes eines Systemus bekannt, so können alle diejenigen Bestimmungsstücke 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 Praxis. 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 vorgetrieben werden kann.

Die Fortdauer des klassischen Kausalprinzips ist kein Zufall. Ein Apparat ist ja nur so weit 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 segenden 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 Sachverhalts schließt die Kenntnis des dazu komplementären Sachverhalts 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 Bestimmungsstücke 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 unbekannte 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 Bestimmungsstück 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, als auch wenn sie den Wert y ergeben hat. Dann dürfte aus der Annahme, die unbekannten Werte existierten 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, explizit 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 anzudrücken.

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 schematisch: „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 von 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 ist oder nicht. Das heißt, 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 stattdessen 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 jedem Satz der Naturbeschreibung ein: Wissen und Wollen. Dies wird vielleicht am deutlichsten aus dem Satz, daß die  $\psi$ -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 nicht Gewußte grundsätzlich jederzeit wissen kann, wenn ich nur will. Die einzige Bedingung, welche die Komplementarität der verschiedenen Fragestellungen auferlegt, ist, daß ich, wenn ich etwas Bestimmales 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 angefügt. 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, che es beobachtet wird, gewisse Eigenschaften, die nur durch den Beobachtungsakt zerstört würden. So interpretiert würde sie aber eben einen Rückfall in die vorquantenmechanische Denkweise bedeuten. Richtiger muß man sagen: Vorbedingung für die Möglichkeit, einem Gegenstand eine bestimmte Eigenschaft zuzuschreiben, ist eine Maßanordnung, die gestattet, diese Eigenschaft festzustellen. Gehe ich nun durch Anwendung einer neuen Maßanordnung dazu über, eine zu der vorher gemessenen komplementären Größe zu messen, so existieren die Bedingungen nicht mehr, unter den die vorher gemessene Größe überhaupt einen bestimmten Wert haben kann. 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 Objektbegriffes 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 Begriffssystems 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 umfassendere 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 unbestimpter Größen doch noch zu beantworten gestattete? Diese Möglichkeit ist nicht streng logisch auszuschließen. Man kann der neucren 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 Wahrgekommenen 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 physikalische 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 anzustrebenden Prozeß fungiert die Physik nicht mehr als Richter, sondern als Zeuge. Die Existenz der Quantenmechanik als begrifflich geschlossener 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. Wie wollen uns bemühen, allgemeine Sätze nicht unbesehen 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 Standpunkts nicht abnehmen, sondern nur ihn zeigen, was er tut, wenn er sich zu diesem oder jenem Standpunkt entschließt.

Das Objekt unserer Untersuchung ist das, was der Physiker „Erfahrung“ nennt. Die Physik hat einen festen Begriff von Erfahrung und beschränkt sich darauf zu prüfen, ob das, was sie im einzelnen behaupten will, wirklich Erfahrung sei. Wir wollen untersuchen, worin diese Erfahrung eigentlich besteht und woher sie ihre Gewißheit bezieht.

Wir wählen ein Beispiel eines primitiven Erfahrungsatzes: „Hier steht ein Stuhl.“ Wollen wir die Quelle unserer Kenntnis genau bezeichnen, so sagen wir: Ich sehe einen Stuhl.“ An diesem Satz können wir wenigstens dreierlei unterscheiden: den Stuhl, das Sehen, den Satz. Das heißt, es gibt Dinge, es gibt Empfindungen, es gibt Urteile. Die drei sind uns aber gleichzeitig und zusammengehörig gegeben. Nur durch die Empfindung weiß ich von den Dingen, und nur von Dingen weiß ich durch die Empfindung. Ferner ist mein Wissen von Dingen und Empfindungen zum mindesten nur komplett in der Form von Urteilen, und nur auf Dinge und Empfindungen beziehen sich die Urteile, mit denen wir uns hier beschäftigen werden.

Es ist nun wohl ein Drang nach Vereinfachung, der die Menschen inmer wieder veranlaßt hat, die drei Elemente zu trennen. Wir werden es im folgenden vor allem mit den Versuchen zu tun haben, entweder im Ding oder in der Empfindung das eigentlich „Wirkliche“ zu sehen. Den ersten Versuch nennen wir Realismus, den zweiten Sensualismus.

**2. Der Realismus der klassischen Physik.** Die Physik beruht darauf, daß man Urteile fällen kann, welche über das durch unmittelbare Empfindung Gegebene hinausgehen. Ohne diese Tatsache hätte nicht einmal die Sprache einen Sinn, welche wir verwenden, um die einzelnen Erfahrungen mitzuteilen.

Welche Empfindungen sind z. B. mit dem Ausdruck „dieser Stuhl“ bezeichnet? Es ist zunächst eine Reihe wirklicher Empfindungen (Gestalt, Farbe der Teile usw.), von denen ein kleiner Teil meinem Bewußtsein als diese Empfindungen gegenwärtig ist, ein größerer Teil ihm vergegenwärtigt werden kann, wenn ich die Aufmerksamkeit auf sie richte; noch niemals aber habe ich mir die Gesamtheit aller Empfindungen, die ich auch nur an diesem einen Stuhl habe, ins Bewußtsein rufen können. Es schließt sich eine Reihe bloß möglicher Empfindungen an, die ich augenblicklich nicht habe, aber durch freien Entschluß herbeiführen könnte (Anblick der Rückseite des Stuhls, Körpergefühl beim Sitzen auf dem Stuhl, Anstrengung beim Tragen des Stuhls usw.). Erst die berechtigte Erwartung, daß jene möglichen Empfindungen eintreten, wenn ich dazu das Nötige tue, gibt dem Begriff Stuhl die Bedeutung, die er tatsächlich hat. In derselben Weise geht über das direkt Wahrgeommene hinaus die Erwartung, daß die Dinge so wie bisher auch in Zukunft mit sich identisch bleiben, und allgemein die Erwartung der Reproduzierbarkeit von Erfahrungen, welche die Grundlage für die Aufstellung von Naturgesetzen bildet. Ich darf sogar so weit gehen, wissenschaftlich von Dingen zu reden, die ich nie gesehen habe (z. B. eine in einem fremden Laboratorium aufgestellte Versuchsanordnung, oder ein Kontinent, den ich noch nicht besucht habe), die nie jemand gesehen hat (die Rückseite des Mondes), die voraussichtlich nie jemand sehen wird (die inneren Teile der Erdkugel).

Alle diese Tatsachen faßt unser alltägliches Bewußtsein und mit ihm die klassische Physik zusammen in der Überzeugung, daß es wirkliche Dinge gibt, welche existieren, einerlei, ob sie wahrgenommen werden oder nicht. In diesem Sinne sind wir alle praktisch Realisten. Wir kennen uns selber gar nicht anders als in einer realen Welt lebend. Wie wollen nun aber versuchen, zu unterscheiden, was an diesem Realismus schlichte Beschreibung des unserem Bewußtsein unmittelbar Gegebenen ist und was an ihm Theorie ist. Die soeben geschilderte Sachlage selbst bewirkt, daß diese Grenze nicht ganz leicht zu ziehen ist. Wir können nicht etwa ein allgemeines Kriterium dafür angeben, wo in jedem Einzelfall diese Grenze liegt, sondern wir können nur zwei grundsätzlich verschiedene Fassungen der realistischen Überzeugung unterscheiden. Diese beiden Fassungen wollen wir den praktischen und den prinzipiellen Realismus nennen.

Die Unterscheidung geht aus von der Tatsache, daß inmerhin alle „Dinge“, von denen wir reden können, grundsätzlich auf unsere Erfahrung bezogen sind. Dies gilt von unseren alltäglichen Urteilen und wird am deutlichsten dort, wo wir die Kenntnis von der Außenwelt mit methodischer Bewußtheit anstreben: in der Naturwissenschaft. Zwar prüft die Physik nicht jedes über die Wahrnehmung hinausgehende Urteil tatsächlich nach, aber sie unterstellt jedes derartige Urteil grundsätzlich der Kontrolle der Erfahrung: Eine einzige fraglose Gegenerfahrung genügt, um es aus der Physik

auszuscheiden. Die Physik redet zwar nicht nur von erfahrenen, aber nur von (direkt oder indirekt) erfahrbaren Dingen. Als Objektivierbarkeit wollen wir nun die Eigenschaft unserer gewöhnlichen Aussagen über Dinge bezeichnen, daß ihr Inhalt nicht von den Bedingungen abhängt, unter denen die sie verifizierenden Erfahrungen gewonnen werden. Der praktische Realismus sagt dann nur aus, daß es objektivierbare Aussagen über die Außenwelt gibt und daß diese sogar den Bereich unserer normalen Erfahrung erfüllen. Der prinzipielle Realismus sagt hingegen aus, daß es keine nicht objektivierbaren Aussagen gebe.

Erst die Quantenmechanik hat erlaubt, diese Unterscheidung sauber durchzuführen. Denn erst ihr Beispiel hat uns darauf aufmerksam gemacht, daß der prinzipielle Realismus keine logische Folge des praktischen ist. Der praktische Realismus ist die Haltung sowohl der klassischen als auch der modernen experimentellen Praxis und zugleich die theoretische Haltung der Quantenmechanik. Der prinzipielle Realismus entspricht dem klassischen „Weltbild“. Vom empirischen Standpunkt aus besteht heute offenbar kein Grund mehr, am prinzipiellen Realismus festzuhalten. Der Wunsch danach, der gleichwohl sehr verbreitet ist, entspringt aus einer dritten Auffassung, die wir als metaphysischen Realismus bezeichnen können.

Der metaphysische Realismus unterscheidet sich von den bisher besprochenen Thesen dadurch, daß es schwer ist, ihm eine prüfbare Fassung zu geben. Er besagt etwa: „Die Dinge existieren in Wirklichkeit.“ Es ist nur die Frage, was ein solcher Satz bedeuten mag. Für den praktischen Realismus ist er eine reine Tautologie, denn die Dinge sind ja das durch die Erfahrung Gegebene, und es ist daher unklar, was man als existent bezeichnen soll, wenn nicht die Dinge. Der metaphysische Realismus aber gibt sich im allgemeinen mit dieser Deutung nicht zufrieden. Er ist überzeugt, daß die Welt „an sich“ unabhängig von unserer Erfahrung eine Welt von Dingen sei und folgt daraus den prinzipiellen Realismus, d. h. die Unabhängigkeit jeder richtigen Aussage über Dinge von der Art der Erfahrung.

Es ist wichtig, zu erkennen, daß der metaphysische Realismus keine wissenschaftliche These, sondern eine Weltanschauungsform ist. Er gewährt seinem Anhänger die Beruhigung, daß er in einem entscheidenden Punkt wisse, wie die Welt beschaffen sei. Wer ihn aufgibt, muß sich zunächst vorkommen wie „Kolumbus, der den Mut besaß, alles bis dahin bekannte Land zu verlassen, in der fast wahnsinnigen Hoffnung, jenseits der Meere doch wieder Land zu finden“ (Heisenberg). Dies ist eine der menschlichen Entscheidungen, die durch philosophisches Denken allein nicht erzwungen werden können. Doch kann das Denken sie vorbereiten. Es kann in unserem Fall zeigen, daß schon der Sinn der Worte, in denen der metaphysische Realismus seine These ausspricht, unklar ist. Dies ist in der empiristischen Philosophie geschehen. Wir wenden uns ihr zu und kommen am Schluß des Aufsatzes noch einmal auf den eigentümlichen Charakter persönlicher Entscheidung zurück, den die Philosophie angenommen hat.

**3. Sensualismus und Positivismus.** Die empiristische Philosophie geht aus von der Überzeugung, daß wir alles, was wir wissen, durch die Sinne wissen (Locke). Wir stellen die Kritik dieser Ansicht zurück und verfolgen ihre Konsequenzen. Die erste folgerichtige Weiterbildung ist die Lehre von Berkeley, daß wir überhaupt nichts über eine wirkliche Welt wissen. Wir brauchen nicht auf Berkeleys einzelne Argumente einzugehen; es genügt der Hinweis, daß ja jeder Sinneseindruck Trug, Täuschung oder Halluzination sein könnte. Zwar folgt aus diesem Gedankengang nicht, daß den Sinneseindrücken keine wirkliche Welt entsprechen kann, sondern nur, daß ihnen keine wirkliche Welt zu entsprechen braucht; aber eben dies genügt, um jeden Schluß von der Erfahrung auf die wirkliche Welt zu entwerten. Die nächste, wiederum folgerichtige Stufe stellt die Lehre von Hume und Mach dar, die als prinzipieller Sensualismus dem prinzipiellen Realismus analog gegenübergestellt werden kann. Sie argumentiert: Der metaphysische Realismus, der behauptet, hinter den Sinneseindrücken stehe eine wirkliche Welt, und der Solipsismus, der behauptet, hinter den Sinneseindrücken stehe keine wirkliche Welt, sind beide grundsätzlich weder beweisbar noch widerlegbar, da sie das einzige Beweismittel, das wir besitzen, die Erfahrung, nicht als Beweismittel gelten lassen. Also sind sie überhaupt keine wissenschaftlichen Sätze, sondern nur ein Mißbrauch der Worte. Es ist ein Mißbrauch der Worte, den

Begriff „wirklich“ auf eine jenseits jeder möglichen Erfahrung liegende Welt anzuwenden und damit erst den Sinneseindrücken den abwertenden Charakter des „bloßen Scheins“ zu geben. Sind uns nur Sinneseindrücke gegeben, so können auch nur sie und, in abgeleiteter Sinn, die „Bündelungen“ von Empfindungen zu „Dingen“ oder „Naturgesetzen“ wirklich genannt werden; alles, was den Anspruch erhebt, wirklich zu sein, muß auf Sinneseindrücke zurückgeführt werden können.

Als Kritik des metaphysischen Realismus ist dieser Gedankengang eine der schönsten Anwendungen des methodischen Prinzips, dem auch wir uns anschließen wollen: daß man sich an das Gegebene halten solle. Wenn die Voraussetzung, daß uns nur Sinneseindrücke gegeben seien, richtig ist, so ist auch die gezogene Folgerung einwandfrei. Wenn die Voraussetzung unrichtig ist, so bleibt die Art der Argumentation immer eine Warnung gegen die voreilige Erwartung, Begriffe wie „wirklich“ müßten unter allen Umständen einen präzisen Sinn haben. Der Gedankengang hat genug geleistet, wenn er uns mahnt, derartige Begriffe nicht ohne Besinnung darauf, welche Phänomene ihnen möglicherweise entsprechen könnten, zu verwenden. Ohne das Gefühl für Tragweite und Grenzen eines Begriffs, das nur die Übung in dieser Art der Besinnung verleiht, kann niemand hoffen, in tiefer philosophische Fragen einzudringen.

Als positive Behauptung verfällt der prinzipielle Sensualismus aber demselben Fehler wie der prinzipielle Realismus. Leben an der Kritik, die er dem Begriff des Dings gegenüber anwendet, läßt er es dem Begriff der Empfindung gegenüber fehlen. Unserem Bewußtsein sind keineswegs „Empfindungen an sich“ gegeben. Vielmehr nehmen wir unmittelbar „Dinge“ wahr, an denen erst eine neue Konzentration der Aufmerksamkeit einzelne Empfindungselemente entdeckt. Wir sehen nicht Farbflecke, sondern Bäume, Menschen, ja die Freude auf einem Gesicht — eine Realität, die kein Ding ist, aber noch weniger eine Sinneseindrücke. Es ist eine bloße Hypothese — und vermutlich eine falsche —, daß sich alles unserem Bewußtsein hinsichtlich der Dinge Gegebene in elementare Sinneseindrückungen analysieren lasse.

Die Antwort, immerhin hätten wir doch die Dingbegriffe selbst als Kinder erworben zur Zusammenfassung der zunächst disparaten vorliegenden Empfindungen, trifft den methodischen Sinn unseres Einwandes nicht. Denn unser erwachsenes Bewußtsein kennen wir wenigstens ein Stück weit, dasjenige, das wir als Kinder in jener ersten Zeit hatten, aber nicht. Es ist zwar sehr wichtig zu bedenken, daß unser Bewußtsein nicht immer da war, sondern geworden ist, aber als methodischer Ausgangspunkt der gesamten Erkenntnislehre kann nicht sein unbekannter Anfang, sondern nur der heutige Stand dienen. Vermutlich deuten wir die Hypothese der Analysierbarkeit in elementaren Empfindungen in die kindliche Entwicklung hinein. Und diese Hypothese selbst ist im Grunde ein Relikt des Realismus, denn unsere Annahme distinkter Sinneseindrücke ist weitgehend durch unsere Kenntnis der Sinnesorgane bestimmt. Es ist die Aufgabe der sinnesphysiologischen und -psychologischen Forschung, den berechtigten „praktischen Sensualismus“ vom prinzipiellen ebenso abzugrenzen, wie es die Quantenmechanik im Fall des Realismus getan hat. —

Der moderne „Positivismus“ hat den Fehler des prinzipiellen Sensualismus erkannt. Er hat aber keinen neuen positiven Ansatz an die Stelle des verworfenen gesetzt, sondern lediglich das Prinzip der oben dargestellten Kritik der neuen Einsicht gemäß formuliert (und im übrigen meist in kritikloser Weise angewandt). Er nimmt dabei einen logisch-sprachlichen Standpunkt ein. Das heißt, er verbietet das Aussprechen „sinnloser Sätze“ in der Wissenschaft. Er stützt sich etwa auf den folgenden Gedankengang: Wissenschaft beruht darauf, daß den Phänomenen (dem Gegebenen) Symbole (Worte, mathematische Zeichen) zugeordnet werden. Sie besteht in dem Versuch, zwischen diesen Symbolen Verknüpfungen herzustellen, welche die zwischen den Phänomenen bestehenden Verknüpfungen strukturgeleich abbilden. Dem Sinn der Symbole entsprechend gibt es Verknüpfungsregeln. Den Regeln widersprechende Verknüpfungen sind nicht falsch, sondern sinnlos. So z. B. grammatisch unmögliche Sätze oder mathematisch unmögliche Behauptungen wie: „Der dritte Brennpunkt dieser Ellipse liegt da und da.“ Oft ist die Sinnlosigkeit eines Satzes oder einer Frage eine große Entdeckung, wie: „Wurzel welcher algebraischen Gleichung ist  $\pi$ ?“ oder: „Wo befindet sich dieses Elektron gegebenen Impulses?“ Letztere Frage ist in der klassischen Physik sinnvoll, in der Quantenmechanik sinnlos.

Gegen diesen Gedankengang ist nichts einzuwenden, wenn geklärt ist, unter welchen Bedingungen man überhaupt wissen kann, ob ein Satz sinnlos ist. In Strenge ist dazu notwendig, daß der Satz einem geschlossenen System mathematischer Sätze angehört, in dem man eindeutig entscheiden kann, welche Aussagen überhaupt gebildet und welche bewiesen werden können. Es ist bemerkenswert, daß dies nicht nur in der reinen Mathematik, sondern auch in der Physik geschehen kann. Vorbedingung dafür ist das Bestehen einer in sich geschlossenen Theorie der jeweils betrachteten Phänomene. Man kann also vor der Aufstellung einer derartigen Theorie die Sinnlosigkeit einer Behauptung höchstens vermuten, aber nicht beweisen. Ferner bleibt wegen der Unabgeschlossenheit der Erfahrung stets der Vorbehalt künftiger Revision der Theorie. Daß man angesichts dieses Vorbehalts überhaupt wagt, die definitive Sinnlosigkeit gewisser Fragen bestimmt zu vermuten, beruht nur darauf, daß diese Vermutung den logischen Raum schafft für die Einführung neuer positiver Aussagen: So schafft z. B. die Vermutung der Sinnlosigkeit der gleichzeitigen beliebig genauen Angabe von Ort und Impuls den Raum für die Vereinbarkeit von Wellen- und Teilchenbild.

Beschränkt der Positivismus seine Behauptungen auf diese Fälle, so ist er richtig, sagt aber nicht mehr aus, als die Wissenschaft schon weiß. Er ist dann gewissermaßen die Nullmenge unter den philosophischen Systemen, mit dem Verdienst der radikalsten Selbstkritik. Er hat weiter das Verdienst, gewisse wichtige logische Sachverhalte bekanntgemacht zu haben. Tatsächlich haben die Vertreter des Positivismus aber meist die engen Grenzen mißachtet, innerhalb derselben der Begriff „sinnlos“ einen Sinn hat, und haben ihre Kritik wahllos wie Sonne und Regen über Böse und Gute ausgegossen. Dabei wäre es möglich gewesen, die tieferen philosophischen Fragen in der Sprache des Positivismus wenigstens zu stellen.

**4. Das Problem des A priori.** Charakterisieren wir die Erkenntnis als das Zuordnen von Symbolen zu Phänomenen, so beschäftigt sich die reine Logik mit den Regeln der Verknüpfung von Symbolen untereinander, während die Philosophie außerdem fragen muß, wie es bei der Zuordnung der Symbole zu den Phänomenen eigentlich zugeht. Wir haben ja bemerkt, daß jedes Wort über die Phänomene im strengen Sinn hinausgeht. Andererseits brauchen wir die Sprache, um die

Phänomene überhaupt zu kennzeichnen, mitzuteilen und zu unterscheiden. Das bedeutet aber, daß wir eigentlich gar nicht im Besitz der Phänomene sind. Das am unzweifelhaftesten Gegebene ist für einen Philosophen, der sich an die Phänomene halten will, immer noch die Sprache selbst. Es bedarf jedesmal einer besonderen Anstrengung, wenn nachgeprüft werden soll, ob ein Wort oder ein Satz die Phänomene wiedergibt; und das Ergebnis dieser Untersuchung kann stets nur in Sätzen ausgesprochen werden, welche andere Worte ununtersucht benutzen. Paradox könnte man dem positivistischen Glaubensbekenntnis: „Es gibt nur das Gegebene“ entgegenhalten: „Es gibt gar kein Gegebenes“, oder lieber genauer: „Es gibt kein definitiv oder schlechthin Gegebenes“. Unsere Erkenntnisarbeit gleicht dem Entwirren eines Garnknäuels, bei dem wir die Enden nicht in der Hand haben, sondern von ein paar freigelegten Fäden in der Mitte nach beiden Seiten weiterschreiten müssen.

Indem wir erst die Dinge, dann die Empfindungen und schließlich den Begriff des Gegebenen selbst in Frage zogen, haben wir gewiß „alles bekannte Land verlassen“ und befinden uns auf hoher See. Gibt es wenigstens ein paar Sterne, an denen wir uns orientieren können?

Die Physik hat sich in ihren speziellen Fragen in den letzten Jahrzehnten mehrfach in einer ähnlichen Lage befunden. Es hat sich dabei öfters bewährt, wenn man die Fragerichtung umkehrte und gerade den Sachverhalt, der die Quelle aller Schwierigkeiten war, voraussetzte und zum Ausgangspunkt des weiteren Aufbaus machte. Können wir den Sachverhalt, der uns hier in die Schwierigkeiten geführt hat, genau bezeichnen?

Wir fragten nach dem Wesen und den Quellen der Erfahrung. Dabei stellten wir fest, daß schon das einfachste Erfahrungsurteil Behauptungen involviert, deren Inhalt wir weder erfahren haben, noch je in Vollständigkeit erfahren können. Empirie ist ohne nichtempirische Elemente nicht möglich. Der Versuch, die Erfahrung durch ihr Objekt (die Dinge) oder ihr Medium (die Empfindung, das Gegebene) eindeutig und vollständig zu charakterisieren, ist gescheitert. Wie wäre es, wenn wir die nichtempirischen Elemente der Erfahrung ins Auge fassen, ihre Existenz an die Spitze der Untersuchung stellten und ihre Wirksamkeit erforschten?

Nichtempirisch ist ein anderes Wort für a priori. Wir treten damit in den Problemkreis der Philosophie Kants ein.

Eingeg. 21. November 1941. [A. 91.] (Schluß folgt.)

## Über die spektralanalytische Nachweisempfindlichkeit von Legierungsbestandteilen in Stahl und Eisen\*

Von Dr. O. SCHLIESSMANN

Mitteilung aus den Chemischen Laboratorien der Firma Fried. Krupp A.-G., Essen

**Inhalt:** Allgemeines — Schrifttum — Nachweisgrenzen ohne Eisen — Anwendungsbepiele — Nachweisgrenzen in Eisenlösungen — Nachweisgrenzen bei festen Proben — Visuelle Empfindlichkeit im Bogen und Funken.

Die hohe spezifische Nachweisempfindlichkeit einiger leicht anregbarer Elemente, wie Alkalien, Erdalkalien, stellt die Emissionsspektralanalyse seit ihrer Entdeckung in die Reihe unserer empfindlichsten Mikromethoden. Auch für die übrigen Elemente liegen die Erfassungsgrenzen und daher auch die erreichbaren Konzentrationsstufen mit nur vereinzelten Ausnahmen außergewöhnlich niedrig, so daß die Emissionsspektralanalyse für die verschiedensten Aufgabengebiete als universales Hilfsmittel herangezogen werden kann. Die Höhe der Nachweisempfindlichkeit ist zwar in erheblichem Maß von der chemischen Bindung des Fundstoffes, von der Art des Grundstoffes und den experimentellen Arbeitsbedingungen abhängig. Deinzufolge ist es für jeden Aufgabenkreis notwendig, die bei den üblichen Arbeitsbedingungen vorhandenen Nachweisgrenzen gesondert zu ermitteln. Diese Feststellung muß sich in einigen Fällen auch auf abweichende Arbeitsweisen erstrecken, bei denen die praktischen Erfordernisse an Empfindlichkeit noch erreicht werden können. In linienreichen Stoffsysteinen, wie bei Eisenanalysen, erfahren die nachzuweisenden Elemente häufig eine wesentliche Einengung ihrer Nachweisgrenzen. Die hierbei auftretenden Werte sollen im folgenden unter den erwähnten Gesichtspunkten betrachtet werden.

\* Vortrrogen auf der 25. Vollversammlung des Chemikerausschusses des Vereins deutscher Eisenhüttenleute in Düsseldorf am 24. September 1940; s. a. Arch. Eisenhüttenwes. 15, 167 [1941]; Techn. Mitt. Krupp, Forschungsber. 4, 268 [1941].

Die bisher veröffentlichten Angaben erstrecken sich meistens auf Lösungen reiner Elemente, welche in die Funkenbahn gebracht und deren Erfassungsgrenzen aus der Konzentration und dem Volumen dieser Lösungsmenge errechnet worden sind. Auf solche Weise gelangt man beim spektrographischen Nachweis von Metallspuren (z. B. Pb, Mn) zu Werten bis herab zu  $10^{-4} \gamma^1$ . Im allg. ist jedoch nach Ansicht erfahrener Spektralanalytiker als Mittelwert eine größere Stoffmenge in der Größenordnung von 0,01—1 γ zugrunde zu legen<sup>2)</sup>. Bei unmittelbarer Verdampfung und Anregung von Legierungsbestandteilen führt das Funkenlicht zufolge des geringen Materialabbaues der Probe<sup>3)</sup> häufig nur zu Nachweisgrenzen, die schon bei Mengenverhältnissen von 1:10000 (0,01%) liegen. Noch niedrigere Konzentrationen sind meist nur durch Bogenanregung bei hoher Auflösung<sup>4, 5)</sup> zu bestimmen. Lediglich Aluminium wird im kondensierten Funken für den Konzentrationsbereich von 0,010—0,10% durch spektrographische Betriebsanalysen ermittelt<sup>6, 7)</sup>. Beobachtet man weiterhin die Nachweisgrenzen der visuellen spektroskopischen Bestimmung im Funkenlicht<sup>8)</sup>, so beginnen diese meist erst im Konzentrationsgebiet über 0,1%. Zur visuellen Messung niedriger Gehalte bleibt noch die Ver-

<sup>1)</sup> W. Späth, Wiener Anz. 18, 142 [1932].

<sup>2)</sup> W. Gerlach: Die chemische Emissionsspektralanalyse, II. Teil, S. 61.

<sup>3)</sup> A. Schönig: Beiträge zur quantitativen Spektralanalyse, S. 89, Diss. T. H. München 1936.

<sup>4)</sup> A. Gatterer: Spektrareines Eisen, Commentationes, Pontific. Acad. Sci. 1, 77 [1937].

<sup>5)</sup> A. Rivas: Beih. zur Ztschr. des VDCh Nr. 29, Berlin 1937; auszugsweise veröffentlicht diese Ztschr. 50, 903 [1937].

<sup>6)</sup> G. Hartleit, Arch. Eisenhüttenwes. 18, 295 [1930/40].

<sup>7)</sup> O. Schlieemann, ebenda 14, 311 [1940/41].

<sup>8)</sup> G. Scheibe u. G. Limmer, Metallwirtsch., Metalltechn. 11, 107 [1932].