

---

# Der physikalische Wahrheitsbegriff

Von

**Hans Reichenbach** (Berlin)

Es ist zweierlei, einen philosophischen Begriff im praktischen Denken *anwenden*, und ihn in reiner, sinnhafter Bedeutung zu *formulieren*. Vor der Notwendigkeit, Sätze als wahr zu behaupten, steht jeder, und das tägliche Leben wie die Wissenschaft haben Methoden entwickelt, nach denen man mehr oder weniger bewußt den Wahrheitsentscheid trifft. Was aber Wahrheit ist, das ist mit der Anwendung der Begriffe noch nicht gegeben, das bedarf einer philosophischen Besinnung über Sinn und Bedeutung erkenntnistheoretischer Operationen. Ihnen einen Einblick in solche erkenntnistheoretische Forschung zu geben, ist das Ziel meiner heutigen Ausführungen.

Eine Bemerkung sei hier noch vorausgeschickt, die sich insbesondere an die Physiker wendet. Wenn ich hier von Erkenntnistheorie spreche, so verstehe ich darunter etwas anderes als weite Kreise in der Schulphilosophie unserer Tage; ich verstehe darunter nämlich *nicht* eine Disziplin, die aus reiner Vernunft Erkenntnisse schöpft und dann den Fachwissenschaftlern Vorschriften machen will. Für mich ist vielmehr Erkenntnistheorie mit exakter Naturwissenschaft untrennbar verbunden. Denn nur in der Analyse wissenschaftlichen Denkens kann die Methode der Erkenntnistheorie bestehen; die Fachwissenschaft muß unter Zuhilfenahme logisch axiomatischer Methoden analysiert werden, wenn die Frage nach Sinn und Voraussetzung der Erkenntnis beantwortet werden soll. Diese Wendung von einer Analyse der erkennenden Vernunft zur Analyse des kristallisierten Produktes der Erkenntnis ist der charakteristische Grundzug moderner Naturphilosophie; diese junge philosophische Arbeitsrichtung konnte deshalb nur in einer philosophischen Periode der Physik geboren werden, wie wir sie in unserer Gegenwart erleben. So sind denn auch die Vertreter dieser Richtung, die Sie zu dieser Tagung für Erkenntnislehre eingeladen haben, aus der Physik und Mathematik hervorgegangen. Trotz dieser engen Verknüpfung

ist jedoch heute eine Differenzierung der Arbeitsgebiete unvermeidlich geworden. Die Physiker selbst sind zu sehr mit physikalischer Arbeit belastet, als daß sie die Durchführung der erkenntnistheoretischen Analyse noch geben könnten; andererseits kann erkenntnistheoretische Einstellung für den Physiker geradezu hinderlich sein, weil sie ihn unter Umständen von der konkreten (und übrigens im Anfangsstadium nicht immer erkenntnistheoretisch zu rechtfertigenden) Arbeit zurückhalten könnte. Freilich gilt dies nicht allgemein, denn daß gelegentlich, und gerade an entscheidenden Stellen, der Physiker erkenntnistheoretischer Einsichten bedarf, um in der Physik weiterzukommen, ist ja durch die Entwicklung der Relativitätstheorie und der Quantentheorie hinreichend bekannt geworden. Von dieser Tatsache wird auch der nachfolgende Vortrag von Herrn Heisenberg, dem wir ganz besonders um die erkenntnistheoretische Durcharbeitung der Quantenmechanik zu Dank verpflichtet sind, Zeugnis ablegen, und es wird sich herausstellen, daß die Frage nach der Charakterisierung der Wahrheit, über die ich Ihnen heute vortragen möchte, in einem sehr engen Zusammenhang steht mit den Untersuchungen, um die man in der Quantenmechanik gegenwärtig bemüht ist.

Es gibt eine sehr einfache und zunächst überzeugende Charakterisierung der Wahrheit: danach ist Wahrheit die Übereinstimmung von Vorstellung und Gegenstand. Eine Formulierung dieser Art findet sich schon bei Plato, und man findet sie auch noch bei Kant. Seitdem hat die erkenntnistheoretische Kritik an dieser Formulierung eingesetzt; ich nenne vor allem die Namen Helmholtz, Heinrich Hertz und in neuerer Zeit Schlick. In dieser Kritik ist klargelegt worden, daß das Wort Übereinstimmung in der gegebenen Wahrheitscharakterisierung nicht sinnvoll ist, da es sich in der Vorstellung auf der einen Seite und in dem Gegenstand auf der anderen Seite um unvergleichbare Dinge handelt; sinnvoll kann hier nur von einem Abbilden in mathematischem Sinne gesprochen werden, von einer eindeutigen Zuordnung zwischen Gegenstand und Vorstellungsbildern, ohne daß über eine Ähnlichkeit dieser beiden gänzlich verschiedenen Elemente eine Aussage gemacht wird. Am bekanntesten ist die Formulierung geworden, welche Heinrich Hertz<sup>1)</sup> diesem Gedanken gegeben hat: „Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und

---

<sup>1)</sup> Heinrich Hertz, Die Prinzipien der Mechanik, Barth, Leipzig 1894, S. 1 u. 2.

zwar machen wir sie von solcher Art, daß die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände . . . Die Bilder, von welchen wir reden, sind unsere Vorstellungen von den Dingen; sie haben mit den Dingen die eine wesentliche Übereinstimmung, welche in der Erfüllung der genannten Forderung liegt, aber es ist für ihren Zweck nicht nötig, daß sie irgendeine weitere Übereinstimmung mit den Dingen haben. In der Tat wissen wir auch nicht, und haben auch kein Mittel, zu erfahren, ob unsere Vorstellungen von den Dingen mit jenen in irgend etwas anderem übereinstimmen, als allein in eben jener einen fundamentalen Beziehung.“

Durch das Hinzutreten des mathematischen Abbildungsbegriffs ist die gegebene Wahrheitscharakterisierung in eine Form gebracht worden, in der man sie mit den logischen Mitteln moderner Erkenntnis-kritik erfassen kann. Dabei stellt sich allerdings nach einiger Untersuchung heraus, daß die genannte Wahrheitscharakterisierung schwere Mängel besitzt; wir wollen diese jetzt zusammenstellen.

Der erste Mangel ist die Koppelung des Wahrheitsbegriffs mit dem Determinismus. Denn die Eindeutigkeit der Zuordnung zwischen Bildern und Dingen setzt voraus, daß tatsächlich ein derartiges eindeutiges Entsprechen zwischen Bildern und Dingen stattfindet. Das tritt besonders in der H e r t z schen Formulierung zutage, welche verlangt, daß nicht nur die gerade beobachteten Bilder den gegenwärtig vorliegenden Dingen, sondern auch die denknotwendigen Folgen der Bilder den naturnotwendigen Folgen der Dinge zugeordnet sein sollen; dies ist nichts anderes als Determinismus. Da aber der Determinismus eine Theorie ist, die selbst durchaus der philosophischen Kritik bedarf, so ist es höchst bedenklich, einen so fundamentalen Begriff wie den Wahrheitsbegriff von der Frage des Determinismus abhängig zu machen.

Zweitens ist es ein Fehler der gegebenen Wahrheitscharakterisierung, daß sie keine Mittel angibt, wie man *vor* der Beobachtung entscheiden kann, ob ein Satz wahr ist. Wenn der Astronom den Satz ausspricht, daß an dem und dem Tage eine Sonnenfinsternis stattfinden wird, so wollen wir *heute* schon wissen, ob dieser Satz wahr ist; aber die gegebene Wahrheitscharakterisierung erlaubt diesen Entscheid erst, *nachdem* die Sonnenfinsternis beobachtet worden ist. Denn erst dann läßt sich feststellen, ob die denknotwendigen Folgen mit den naturnotwendigen Folgen übereinstimmen. Damit aber wird die gegebene Wahrheitscharakterisierung praktisch unzu-

reichend, denn der Wissenschaftler will durchweg gerade *vor* der Bestätigung durch die Beobachtung wissen, ob er seinen Sätzen glauben darf.

Drittens muß festgestellt werden, daß es mit der Unentscheidbarkeit noch um eine Stufe schlimmer steht bei allgemeinen Sätzen. Denn allgemeine Sätze sprechen eine Behauptung für alle Fälle aus; da aber stets nur endlich viele Fälle beobachtet werden können, so sind allgemeine Sätze *niemals* als wahr entscheidbar. Die allgemeinen Sätze der Naturwissenschaft verlieren damit jede Berechtigung.

Worauf beruhen die genannten Einwände? Man erkennt leicht, daß die in ihnen auftretenden Schwierigkeiten ihren Grund darin haben, daß die Aussagen der Physik *Prophezeiungssätze* sind; denn nur weil diese Aussagen auf die Zukunft gehen, entstehen die genannten drei Schwierigkeiten. Soweit es sich dagegen nur um *Berichtsätze* handelt, fallen die genannten Schwierigkeiten fort. Berichtsätze enthält die Physik *auch*, so enthält das Protokoll des Experimentalphysikers Berichtsätze. Ihre Wahrheit ist einfach zu entscheiden: sie besagt nichts anderes als das Zutreffen von Wahrnehmungserlebnissen. Aber die Wissenschaft begnügt sich nicht mit Berichtsätzen, sondern geht stets zu Prophezeiungssätzen über. Wie soll aber die Wahrheit der Prophezeiungssätze entschieden werden? Das Protokoll des Experimentalphysikers kann wahr sein, obgleich die darauf gestützte Prophezeiung falsch ist. *Die Wahrheit der Prophezeiungssätze ist also von anderer Natur als die Wahrheit der Berichtsätze; hier liegt das große erkenntnistheoretische Problem der naturwissenschaftlichen Wahrheit.* Man hat dieses Problem bisher verschleiert, indem man die Prophezeiungssätze dadurch in Berichtsätze verwandelt, daß man sich einen späteren Beobachter denkt, der erst nach dem Zutreffen oder Nicht-Zutreffen des Wahrnehmungserlebnisses seine Entscheidung trifft. Aber das ist eine Verfälschung des Problems, denn was wir brauchen, ist gerade der Wahrheitsentscheid *vor* der Bestätigung; wir müssen wissen, wie Prophezeiungssätze als Prophezeiungen zu beurteilen sind, und darauf gibt uns die Verwandlung von Prophezeiungssätzen in Berichtsätze eines späteren Zeitpunktes keine Antwort.

Die Situation verschlimmert sich noch, weil sich bei genauerer Betrachtung herausstellt, daß auch die sogenannten Berichtsätze der Physik in Wahrheit stets Prophezeiungen enthalten. Die Angaben im Protokoll des Experimentalphysikers umschließen nämlich durchaus Prophezeiungen. Wenn dort etwa von einer beobachteten elek-

trischen Stromstärke von 2,4 Ampere die Rede ist, so ist dabei im stillen z. B. stets der Gedanke mitgedacht: wenn man an Stelle eines Drehspulamperemeters ein Hitzdrahtinstrument genommen hätte, so hätte sich derselbe Wert 2,4 Ampere ergeben. Das wird zwar meistens nicht ausgesprochen, aber doch stets stillschweigend vorausgesetzt; wenn der Experimentalphysiker das nicht glauben würde, dann würde er aus seinen Versuchen niemals die Schlüsse ziehen dürfen, die er tatsächlich zieht. Ein anderes Beispiel: Wenn der Geologe berichtet, daß die nördliche Alpenkette aus Kalkstein besteht, dann enthält dieser „Bericht“ stets auch Prophezeiungen, z. B. die Prophezeiung, daß man beim Bohren durch die Humusschicht einer Alpenwiese auf Kalkstein stoßen wird. Will man diesen Prophezeiungsbestandteil der naturwissenschaftlichen Sätze abstreifen, so muß man sehr weit zurückgehen, und es bleiben dann nur noch Berichte im erkenntnistheoretischen Sinne übrig; derartige Sätze haben die Form „hier jetzt grün mit weiß“, „hier jetzt tick-tack und hell“. Wenn es auch wahr ist, daß alle Berichtsätze letzten Endes auf derartige Berichte in erkenntnistheoretischem Sinne zurückgehen, so kann sich doch der Naturwissenschaftler niemals auf diesen reinen Bericht beschränken. Er behauptet stets mehr, und er muß das, weil er neue Prophezeiungen in seine Berichte einschließen will.

Es gibt in dieser Situation eine Radikallösung, die auch von einigen durchzuführen versucht wird. Nach dieser Auffassung ist der erkenntnistheoretische Bericht der eigentliche Inhalt aller naturwissenschaftlichen Sätze; alles andere daneben sei Zutat der Phantasie, sei Begleitvorstellung. Prophezeiungssätze gibt es dann in der Naturwissenschaft nicht. Wenn wir gewissen Sätzen sprachlich die Form von Prophezeiungen geben, so ist dies nur eine eigenartige Verkleidung von Berichtsätzen; der Satz „morgen wird die Sonne aufgehen“ heißt danach soviel wie „gestern, vorgestern usw. ist die Sonne aufgegangen“. (Seine Bedeutung umschließt für diese Auffassung auch noch einiges mehr, jedoch auch nur Vergangenes und keine Zukunftsaussage.) Es ist richtig, daß man mit dieser Auffassung zu einer strengen Lösung des Wahrheitsproblems kommt; nur leider um den Preis einer gewaltsamen Verdrehung physikalischen Denkens. Man hat zwar das Problem der Prophezeiungssätze eliminiert, aber man hat auch die ganze Physik eliminiert, denn die Physik begnügt sich nun einmal nicht mit der Konstatierung vergangener Erlebnisse. Ich kann deshalb in dieser Wendung des Problems keine Lösung sehen; es geht nicht an, einem Problem die Sinnhaftigkeit

zu bestreiten, weil man mit den bisherigen begrifflichen Mitteln keine befriedigende Lösung findet.

Für mich ist deshalb das Wahrheitsproblem stets ein Problem der Prophezeiungssätze. Der Wahrheitsbegriff der Berichtssätze wird zwar in der Naturerkenntnis ebenfalls benutzt, weil sie letzten Endes auf erkenntnistheoretischen Berichten fußt; aber dieser Wahrheitsbegriff ist nicht hinreichend für die Naturwissenschaft. Das brennende Problem ist vielmehr gerade die Wahrheit der Prophezeiungssätze.

Wie hat man sich bisher mit der geschilderten Schwierigkeit in der Wahrheit der Prophezeiungssätze abgefunden?

Man hat sich eine Hilfskonstruktion gemacht. Danach ist der Prophezeiungssatz „an sich“ wahr oder falsch, nur unser Wissen darum ist unvollkommen. Wir können uns in unserem Wissen dieser idealen Wahrheit wohl nähern, sie aber niemals erreichen. Das ist die bisher übliche Wendung des Problems; die Unentscheidbarkeit wird auf die Unvollkommenheit des Menschen abgeschoben, das Ideal strenger Wahrheit dagegen wird für die Sätze an sich festgehalten.

So verbreitet die geschilderte Auffassung auch ist, sie kann nicht festgehalten werden; denn sie macht den Wahrheitsbegriff zu einem ganz leeren Begriff, weil sie keine Mittel angibt, wie man sich der idealen Wahrheit annähern kann. Wenn ein Satz in allen Fällen wahr sein soll, so ist es keine Annäherung, wenn er in tausend Fällen zugetroffen ist; denn von tausend bis Unendlich ist es genau so weit wie von Null bis Unendlich. Solange der Wahrheitsbegriff nicht vom Annäherungsbegriff her erfaßt wird, bleibt er notwendig leer. Denn nur der Annäherungsprozeß ist für uns erlebbar, niemals das Ideal selbst; man kann deshalb den Wahrheitsbegriff nur dann erfassen, wenn der Annäherungsprozeß einen selbständigen Sinn in sich trägt, wenn der Annäherungsprozeß den Wahrheitsbegriff definiert. Das Ideal hat nur die Bedeutung eines limes, und wie der limes nichts für sich Bestehendes ist, sondern nur denjenigen Sinn übernimmt, den der Näherungsprozeß in sich trägt, so kann auch der Wahrheitsbegriff der Naturerkenntnis nur durch die Formulierung des in der Naturerkenntnis tatsächlich vorliegenden Näherungsprozesses seinen Sinn erhalten.

Dies bedeutet aber nichts anderes, als daß wir dem *Wahrscheinlichkeitsbegriff* in der Erkenntnistheorie eine gegenüber dem Wahrheitsbegriff primäre Stellung zuweisen müssen. Denn der Annäherungsvorgang der wissenschaftlichen Erkenntnis benutzt den Wahr-

scheinlichkeitsbegriff; der Physiker bezeichnet seine Sätze stets als mehr oder weniger wahrscheinlich, und hinzutretende Erfahrungen machen einen Prophezeiungssatz wahrscheinlicher, niemals aber wahr. Die Wahrheit wird deshalb nur als Grenzfall der Wahrscheinlichkeit zu definieren sein. Wenn man bisher in der Theorie der Wahrscheinlichkeit zunächst versucht hat, den Wahrscheinlichkeitsbegriff auf den Wahrheitsbegriff zurückzuführen, so wird die Aussichtslosigkeit dieses Weges jetzt unverkennbar: es liegt umgekehrt, eine Theorie der Wahrheit kann nur gegeben werden durch eine Theorie der Wahrscheinlichkeit.

Wenn man dies bisher übersehen hat, so liegt dies darin begründet, daß wir es bei sehr vielen physikalischen Sätzen mit außerordentlich großen Wahrscheinlichkeiten zu tun haben. Man hat diese großen Wahrscheinlichkeiten dann mit der Gewißheit identifiziert und vergessen, daß diese für praktische Zwecke berechnete Gleichsetzung von der Erkenntnistheorie niemals übersehen werden darf. Dieser Fehler führt in Auswirkungen von allergrößter Tragweite. Man hat sich auf diese Weise ein Modell physikalischer Forschung konstruiert, aus dem man die Theorie der Erkenntnis entnehmen wollte; aber man hat vergessen, daß dieses Modell nicht mit der wirklich vorliegenden Erkenntnis identisch ist, und hat aus dem Modell gewisse ideale Züge des Erkenntnisverfahrens abgelesen, die für das wirklich vorliegende Erkenntnisverfahren keinen Sinn besitzen. Es ist eine Hypostasierung des Modells, der die Erkenntnistheorie in ihrer bisherigen Wahrheitstheorie zum Opfer gefallen ist; nur der Rückgang auf das ursprüngliche Erkenntnisverfahren selbst kann noch Rettung bringen.

Wir stehen hier vor einer allgemeinen Gefahr wissenschaftlichen Denkens; denn ebenso wie die Erkenntnistheorie sich ein Modell physikalischer Erkenntnis konstruiert hat, hat man auch innerhalb der Physik Modelle konstruiert, deren Überspannung zu falschen Vorstellungen über Grundzüge des Naturgeschehens geführt hat. Newtons Vorstellung einer Anziehungskraft zwischen den Planeten hat man lange für die Urform aller Wirkungsübertragung angesehen; heute wissen wir, daß zwar die mathematische Formel Newtons ihren Wert als Näherungsgesetz behält, daß dagegen die hinzutretenden Vorstellungen einer anziehenden Kraft nur Begleitvorstellungen sind, denen kein Erkenntniswert zukommt. Erst wenn das formulierte Gesetz von dem Modell getrennt wird, erlangt es wissenschaftlichen Bestand, und so sehr auch das Modell als sub-

jektives Hilfsmittel bei der ersten Aufstellung der Gesetze genützt hat, seine Festhaltung über diesen Zweck hinaus bedeutet nur eine Gefahr, weil sie in irrige Konsequenzen führen kann. Ähnlich hat Boltzmann sein großartiges Theorem aus der Vorstellung abgeleitet, daß die Moleküle wie elastische Kugeln zusammenstoßen; heute wissen wir, daß der allgemeine Gedanke einer statistischen Auflösung des zweiten Wärmesatzes seinen Wert behält, nicht aber das mechanische Modell, mit dem er ursprünglich gekoppelt war. Auch die gegenwärtigen Theorien beruhen noch neben ihrem begrifflichen Gehalt auf der Scheinbegründung durch ein Modell. So liegt der Einsteinschen Theorie das Modell zugrunde, daß alles Weltgeschehen aus Koinzidenzen besteht, deren Netzwerk das eigentlich Objektive sei, während die metrischen Abmessungen des Netzwerks beliebig gedehnt werden können — ein Bild von grandioser Richtigkeit für die Welt im Großen, während im Kleinen der Begriff der Koinzidenz und der raumzeitlichen Ordnung höchst problematisch geworden ist. Jedes Modell hat immer nur beschränkte Gültigkeit, und nichts ist so gefährlich wie die Verkennung dieser Grenzen; denn die Züge des Modells erfassen die Natur immer nur in einem gewissen Annäherungsgrad, niemals aber in ihrer völligen Allgemeinheit. So müssen wir bereit sein, heute auch den letzten Zug aufzugeben, der allen bisherigen physikalischen Modellen gemeinsam war: den Gedanken des Determinismus. Nicht einmal die bloße Bestimmtheit eines Geschehens durch das andere, seien es nun räumliche Kugeln oder raumzeitliche Koinzidenzen, läßt sich heute noch aufrechterhalten. Auch diese Bestimmtheit war nur eine Idealisierung, die für viele Zwecke brauchbar war; aber sie als letzte erkenntnistheoretische Wahrheit postulieren zu wollen, wäre nichts als eine völlig ungerechtfertigte Überspannung des Modells.

Die Entwicklung geht dabei gewöhnlich schrittweise vor sich. Zunächst bemerkt man die Idealisierung gar nicht, die man durch Konstruktion des Modells vollzogen hat. Nach einiger Zeit aber tauchen merkwürdige Schwierigkeiten auf; das System zeigt Widersprüche und unlösbare Rätsel. In seiner Not greift der Physiker dann zu dem Werkzeug erkenntnistheoretischer Überlegungen, und es zeigt sich, daß die physikalische Schwierigkeit aus einer erkenntnistheoretischen Befangenheit entsprang. Einsteins berühmte Kritik des Gleichzeitigkeitsbegriffs ist eins der schönsten Beispiele für diese Entwicklung, und die Versuche, welche gegenwärtig in der Quantenmechanik zur Kritik des Kausalitätsgedankens gemacht werden,

entspringen dem Zwang einer ähnlichen Situation. In letzterem Fall freilich war die erkenntnistheoretische Kritik der physikalischen Entwicklung bereits vorausgelaufen; denn die philosophische Analyse der bisherigen Physik hatte bereits herausgestellt, daß der Kausalgedanke eine zu enge Fassung sei, daß ein allgemeinerer Gesetzeszusammenhang der Natur, ein *Wahrscheinlichkeitszusammenhang*, angenommen werden muß, für den die Quantenmechanik nur eine spezielle, natürlich höchst interessante Form bedeutet<sup>1)</sup>. Mit dieser Vorwegnahme einer späteren physikalischen Entwicklung hat die neuere Naturphilosophie bereits zeigen können, daß sie auf dem richtigen Wege ist, wenn sie physikalische Erkenntnisse zu philosophischen Entdeckungen auswertet und weiterführt.

Aber wir müssen nun etwas genauer darauf eingehen, aus welchem Grunde der Gedanke der strengen Kausalität eine Überspannung des Modells bedeutet. Man erkennt dies, wenn man bedenkt, daß die physikalischen Gesetze ideale Zusammenhänge beschreiben, die in der Natur niemals streng realisiert sind. Wir haben es stets mit Beschreibungen der Natur zu tun, in denen wir einen gewissen Idealfall des Geschehens voraussetzen, und schließen von ihnen auf das Zutreffen anderer Beschreibungen; aber die Kausalität kann uns diesen Schluß nur garantieren, wenn die idealen Voraussetzungen des Schlusses wirklich erfüllt sind — und das ist eben niemals der Fall. Man muß sich einmal ganz klar darüber werden, daß das Kausalprinzip in seiner strengen Form eine gänzliche leere, weil unanwendbare Aussage bedeuten würde, wenn man es nicht anders fassen könnte als in der aus dem Modell entnommenen Form. Für das Modell ist es sinnvoll, aus dem Vorhandensein des Zustandes *A* auf das Eintreten des Zustandes *B* zu schließen. Für die Wirklichkeit aber ist mit der Behauptung eines derartigen Implikationszusammenhangs nichts, aber auch gar nichts ausgesagt, weil uns kein einziger Fall bekannt ist, in dem der Zustand *A* streng realisiert ist. Es hilft hier auch nichts, die Kausalforderung durch eine Stetigkeitsforderung zu ergänzen von der Art, daß der angenäherte Zustand *A* wenigstens den angenäherten Zustand *B* bestimmen soll — denn wir wissen nicht einmal, ob der Zustand *A* auch nur angenähert realisiert ist. Wir wissen nämlich nur, daß der Zustand *A* mit einer gewissen *Wahrscheinlichkeit* realisiert ist; und wenn wir auch den

<sup>1)</sup> Vgl. hierzu H. Reichenbach, Die Kausalstruktur der Welt und der Unterschied von Vergangenheit und Zukunft, Ber. d. bayer. Akad. math. Klasse, 1925, S. 133.

Zustand  $A$  nur innerhalb eines gewissen Genauigkeitsspielraums  $\varepsilon$  festlegen, so können wir doch die vorliegende Behauptung stets nur mit Hilfe des Wahrscheinlichkeitsbegriffs formulieren: mit großer Wahrscheinlichkeit liegt Zustand  $A$  innerhalb des Genauigkeitsspielraums  $\varepsilon$  — das ist alles, was wir wissen. Wenn wir trotzdem auf das Eintreten des Zustandes  $B$  mit Wahrscheinlichkeit schließen, so ist eben hierin der Gebrauch des Wahrscheinlichkeitsbegriffs enthalten. Man merkt dies im allgemeinen deshalb nicht, weil man den Spielraum  $\varepsilon$  gewöhnlich so wählt, daß die zugehörige Wahrscheinlichkeit sehr groß wird; man kann deshalb praktisch die vorkommenden Wahrscheinlichkeitsaussagen von Gewißheitsaussagen nicht mehr unterscheiden. Aber wenn man deshalb den Kausalbegriff in der üblichen strengen Form der physikalischen Erkenntnis zugrunde legt, so liegt eben hierin jene Überspannung des Modells, von der wir sprechen. Für viele physikalische Zwecke darf man allerdings den Wahrscheinlichkeitscharakter der Naturgesetze vergessen und sich mit dem Modell des strengen Naturgesetzes begnügen; wenn man aber die damit vollzogene Idealisierung bei erkenntnistheoretischen Überlegungen vergißt, so begeht man damit einen entscheidenden Fehler, durch den sich die Theorie der physikalischen Erkenntnis vollständig verzerrt. Übrigens enthält die praktische Physik bei näherem Zusehen den Wahrscheinlichkeitsbegriff doch noch; er hat sich dort nur in den schmalen Bereich der Fehlerregulation versteckt. Aber gerade aus der Form der Gaußschen Exponentialkurve mit ihrem asymptotischen Verlauf nach beiden Seiten sollte genügend deutlich werden, daß das Zutreffen des Resultats innerhalb des Genauigkeitsintervalls  $\varepsilon$  stets nur mit großer Wahrscheinlichkeit, niemals mit Gewißheit behauptet werden darf.

Man könnte gegen den geschilderten Gedankengang einwenden, daß der Wahrscheinlichkeitsbegriff stets an das Auftreten bestimmter zahlenmäßiger Beschreibungen geknüpft ist, wie sie etwa die Astronomie oder Geodäsie durchzuführen hat, daß er aber noch nicht auftritt in der Formulierung der physikalischen Gesetze, weil diese noch keinerlei Annahmen über die Anfangsbedingungen des Geschehens enthalten. So sei es zwar richtig, daß die Annahme über den Verlauf einer bestimmten Planetenbahn nur mit Wahrscheinlichkeit gemacht werden kann; dagegen könne mit Sicherheit behauptet werden, daß die Planetenbahn etwa die Poissonsche Differentialgleichung erfüllt, denn diese gilt für jede Form der Anfangsbedingungen und umschließt zugleich die störenden Einwir-

kungen der anderen Planeten. Es läßt sich jedoch leicht zeigen, daß auch dieser Ausweg versagt. Denn der Physiker wird niemals ernstlich behaupten können, daß seine Differentialgleichungen in völlig strenger Genauigkeit gelten. Auch das Zutreffen der Differentialgleichungen ist nämlich an die Erfüllung besonderer äußerer Umstände gebunden, welche niemals streng vorliegen. So wissen wir heute, nach der Gravitationstheorie Einsteins, daß auch die Poissonsche Differentialgleichung keineswegs für jede Form von Massenanziehung gültig ist; daß sie vielmehr nur für sehr spezielle Gravitationsfelder zutrifft, wie sie streng niemals verwirklicht sind. Wir besitzen nun allerdings in der Einsteinschen Gravitationsgleichung ein umfassenderes Instrument, welches für Gravitationsfelder von sehr viel allgemeinerem Typ zutrifft; dennoch wird kein Physiker behaupten, daß diese Gleichung nun letzte, unumstößliche Wahrheit sei. Vor solcher Überspannung der Einsteinschen Gleichung warnt uns schon der Gedanke, daß die Einsteinsche Gravitationstheorie eine phänomenologische Theorie der Materie ist, deren Zutreffen einstweilen nur für die grobe Materie gewährleistet ist, während ihre Geltung im Bereich der Quantengesetze noch höchst problematisch erscheint. Wir müssen deshalb dabei stehenbleiben, daß auch die funktionelle Form des Gesetzes stets eine Schematisierung bedeutet, ebenso wie schon in der Wahl der Parameter und der Bestimmung ihres Betrages eine Schematisierung enthalten ist; auch das Zutreffen des Naturgesetzes in der von Integrationskonstanten freien Form der Differentialgleichung kann nur mit Wahrscheinlichkeit behauptet werden, weil dieses Zutreffen an die Erfüllung gewisser Bedingungen geknüpft ist, über deren Vorliegen wir nur mit Wahrscheinlichkeit etwas aussagen können.

Es gibt deshalb keine Möglichkeit, dem Wahrscheinlichkeitsbegriff in der Naturerkenntnis zu entrinnen. Jede physikalische Aussage, sei sie die Aussage über ein einzeln vorliegendes physikalisches System oder über die Geltung eines physikalischen Gesetzes im allgemeinen, ist eine Wahrscheinlichkeitsaussage, und nur eine Theorie der Wahrscheinlichkeit kann deshalb für das logische Problem der physikalischen Aussage eine Antwort geben. Wenn manche hiergegen eingewandt haben, daß die Wahrscheinlichkeit physikalischer Aussagen im allgemeinen etwas anderes sei als die Wahrscheinlichkeit statistischer Aussagen, daß man zwischen einer philosophischen Wahrscheinlichkeit und einer mathematischen Wahrscheinlichkeit unterscheiden müsse, so bedeutet dies einen folgenschweren Irrtum.

Ich habe die Unhaltbarkeit dieses Standpunktes in einer Reihe früherer Arbeiten<sup>1)</sup> dargelegt und dort auch den genauen Nachweis gegeben, daß es sich hier um einen und denselben Wahrscheinlichkeitsbegriff handelt. An dieser Stelle sei zur Verdeutlichung nur kurz darauf hingewiesen, daß das Auftreten einer Wahrscheinlichkeitsfunktion in der Fehlertheorie ebensowohl wie in der Theorie der Glücksspiele die Identität dieser irrtümlich geschiedenen Wahrscheinlichkeitsbegriffe beweist. Im Gegenteil scheint es mir eine der wichtigsten Tatsachen der Naturerkenntnis zu sein, daß ein und derselbe Wahrscheinlichkeitsbegriff in den sogenannten statistischen Gesetzen der Physik ebenso wie in jeder physikalischen Aussage anderer Art auftritt; erst die Aufdeckung dieser Tatsache macht eine befriedigende Theorie der physikalischen Erkenntnis möglich. Denn mit ihr ist das Problem der physikalischen Aussage auf das Problem der Wahrscheinlichkeitsaussage reduziert; das Geltungsproblem der physikalischen Aussage ist in die Philosophie des Wahrscheinlichkeitsbegriffs übertragen worden, und mit den hier inzwischen schon weit vorgeschrittenen Methoden können wir das Wahrscheinlichkeitsproblem der Physik seiner Lösung zuführen.

Die Bedeutung dieser Wendung des Problems der physikalischen Wahrheit wird deutlich, wenn wir jetzt den entwickelten Gedanken benutzen und untersuchen, in welcher Weise in der Physik Wahrscheinlichkeitsaussagen behandelt werden. Denn es wird dabei herauszutreten, welches die speziellen Bedingungen sind, die zu dem Schema der strengen Kausalität und damit der strengen Wahrheit geführt haben, von deren Geltung also die Berechtigung dieses älteren Modells allein abhängt.

Es stellt sich nämlich heraus, daß das Auftreten der Wahrscheinlichkeitsaussagen dem Physiker stets unbequem ist und daß er ein Hilfsmittel ersonnen hat, der allgemeinen Wahrscheinlichkeitsaussage zu entgehen. Dieses Hilfsmittel besteht darin, daß er durch gewisse Kunstgriffe die Wahrscheinlichkeit einer vorliegenden Aussage in einen nahe bei 1 gelegenen Wahrscheinlichkeitsgrad einer anderen Aussage verwandelt; die damit entstehende spezielle Wahrscheinlichkeitsaussage von hohem Wahrscheinlichkeitsgrad aber kann er dann wie eine Gewißheitsaussage behandeln. Für diese Verwandlung bieten sich nun zwei Wege dar; der Wahrscheinlichkeitsgrad wird der 1 nahegebracht

---

<sup>1)</sup> Vgl. die Literaturzusammenstellung am Schluß des Heftes.

- 1) durch genaue Analyse des Einzelvorgangs, d. h. Vermehrung der bestimmenden Parameter und Verfeinerung der funktionalen Form (kausale Methode);
- 2) durch Übergang zu großen Anzahlen (statistische Methode).

In diesen beiden Methoden liegt die Quelle für jene Doppelheit physikalischer Gesetze, wie sie in den beiden Typen der kausalen und statistischen Gesetze formuliert worden ist. Aber was man fälschlich als zwei ganz verschiedene Formen physikalischer Gesetze aufgefaßt hat, stellt sich bei näherer Betrachtung als Doppelheit der Methoden dar, mit welchen eine Wahrscheinlichkeitsaussage in eine andere Wahrscheinlichkeitsaussage von hohem Wahrscheinlichkeitsgrad übersetzt werden kann. Die Verschiedenheit der physikalischen Sachgebiete bringt es mit sich, daß man bald die eine, bald die andere Methode bevorzugt; so wählt man in der Gastheorie die zweite Methode, weil die erste Methode praktisch undurchführbar ist, während man etwa in der Himmelsmechanik die erste Methode benutzt, weil hier diese Methode recht gut durchführbar ist, andererseits der Übergang zu großen Zahlen hier vielfach gar nicht möglich ist. Aber man muß sich darüber klar sein, daß jede physikalische Aussage, gleichgültig in welchem Sachgebiet, stets nach beiden Methoden behandelt werden kann, und daß die Behauptung zweier prinzipiell verschiedener Gesetzestypen unhaltbar ist, weil diese beiden Formen der Gesetzlichkeit in dem einen Begriff des Wahrscheinlichkeitsgesetzes zusammenfallen.

Und hier entsteht nun die Möglichkeit, denjenigen Weg der Verallgemeinerung aufzuzeigen, den die heutige Quantenmechanik eingeschlagen hat. Denn was in der Heisenbergschen Ungenauigkeitsrelation behauptet wird, ist nichts anderes, als daß der erste Weg, der der kausalen Methode, nicht beliebig weit durchgeführt werden kann<sup>1)</sup>. Das ist für den Erkenntnistheoretiker nicht weiter überraschend, denn es gibt keinerlei prinzipiellen Grund, der die Möglichkeit des genannten ersten Weges gewährleisten könnte. Ich habe aus solchen Überlegungen heraus schon ein Jahr vor dem Ent-

<sup>1)</sup> Neuerdings hat die Ungenauigkeitsrelation eine etwas engere Form angenommen: Man kann stets Experimente derart machen, daß ein bestimmter, beliebig vorgegebener Parameter des Geschehens auch beliebig genau vorausberechnet werden kann. Aber dies geschieht stets auf Kosten anderer Parameter; für die Kombination aller Parameter läßt sich die Wahrscheinlichkeit der Vorausberechnung nicht beliebig nahe an 1 steigern. Infolgedessen, bleibt der oben dargelegte Gedanke einer prinzipiellen Begrenzung der Vorausberechnung durch diese Fassung der Ungenauigkeitsrelation unberührt.

stehen der Quantenmechanik auf die Möglichkeit hingewiesen, daß die zukünftige Entwicklung der Quantentheorie zu der Behauptung einer prinzipiellen Grenze für die Steigerung der Wahrscheinlichkeit auf dem Wege der Analyse des Einzelvorgangs führen könne<sup>1)</sup>; und es erscheint in der Tat für die hier dargelegte Auffassung physikalischer Erkenntnis eine ganz natürliche Entwicklung, wenn sich jetzt in der quantenmechanischen Begrenzung des Kausalitätsgedankens diese Wendung vollzogen hat.

Von manchen Seiten ist gegen die hier geschilderte Entwicklung der Einwand vorgebracht worden, daß die geschilderte Begrenzung des Kausalitätsgedankens nur eine Begrenzung für unsere Kenntnis der Natur sei, daß dagegen die Idee eines an sich streng kausalen Geschehens nicht beeinträchtigt sei. Ich glaube jedoch durch die im vorangehenden dargelegte Behandlung der Kausalaussage zur Genüge dargelegt zu haben, daß eine solche Rettung der Kausalität nur eine Scheinlösung darstellt. Jene Idee des streng kausalen Geschehens hat ja nur Sinn als Aussage über einen Grenzprozeß; wenn dieser Grenzprozeß jetzt aber nicht mehr möglich ist, so hat damit die strenge Kausalaussage jeden angebbaren Sinn verloren. Es ist die vorhin geschilderte Verwechslung des Modells mit der Realität, die sich in solcher Auffassung ausspricht. Sie vergißt, daß Aussagen über das Modell nur soweit für die tatsächlich vorliegende Erkenntnis Sinn besitzen, als sie in Aussagen über die Zuordnung des Modells zur Wirklichkeit übersetzt werden können. Dies sei für diejenigen bemerkt, welche den Kausalgedanken durch sogenannte philosophische Überlegungen vor der Quantenmechanik retten möchten. Die Philosophen lieben es, sich vor der exakten Forschung in das Gebiet der Leeraussagen zu flüchten. Ähnlich wie neuerdings Carnap in äußerster Konsequenz positivistischer Gedanken den Kampf gegen dieses philosophische Schattenreich auf andern Gebiete aufgenommen hat, müssen wir ihn hier auf dem Gebiet der Kausalität durchführen. Er bedeutet hier, auf dem Gebiet der Prophezeiungsaussagen, die Erkenntnis, daß lediglich der Wahrscheinlichkeitsaussage, nicht aber der strengen Wahrheitsaussage ein Sinn zukommt.

Manche haben in der geschilderten Begrenzung der kausalen Methode eine Krisis der physikalischen Erkenntnis sehen wollen; aber es dürfte aus den dargelegten Überlegungen zur Genüge klar werden, daß hier eine Krisis nur für den vorliegt, der die klassische

---

<sup>1)</sup> Die Kausalstruktur u. s. w. S. 138; vgl. oben Fußnote S. 164.

Physik nicht erkenntnistheoretisch zu durchschauen vermochte. Es handelt sich vielmehr um eine durchaus stetige Verallgemeinerung des bisherigen Erkenntnisverfahrens; nicht etwa wird Verzicht auf physikalische Gesetzmäßigkeit überhaupt geleistet, sondern es wird lediglich der Übergang zu einer Gesetzmäßigkeit von allgemeinerem Typus vollzogen. Wer diesen erkenntnistheoretischen Zusammenhang eingesehen hat, der wird die neue Entwicklung durchaus als einen Gesundungsprozeß empfinden, in dem die Struktur der Erkenntnis viel klarer heraustritt als in der früheren naiven Erkenntnistheorie. Ich darf zur Verdeutlichung an die Relativitätstheorie erinnern, deren physikalische und psychologische Auswirkung ja heute schon historisch geworden ist, nachdem die Theorie Allgemeingut der wissenschaftlichen Forschung wurde. Nur die Unverständigen — heute darf man das ja wohl sagen — konnten in der Relativitätstheorie einen Zusammenbruch der Physik sehen, konnten von „Wegsinken des festen Bodens unter den Füßen“ und „Verzicht auf objektive Erkenntnis“ sprechen. Wer sich dagegen hingearbeitet hat in die Theorie, wer ihre Grundbegriffe durchdacht, die Notwendigkeit ihrer Fragestellungen begriffen hat, der hat erkannt, daß durch sie die physikalische Erkenntnis nur klarer und sicherer geworden ist, weil sie scharfe Begriffe und Antworten an Stellen gegeben hat, wo die alte Theorie die Probleme übersah. Genau so liegt es mit der Quantenmechanik und der Aufdeckung des Wahrscheinlichkeitscharakters aller Erkenntnis. Nur wer das Erkenntnisproblem nicht zu Ende denkt, wer das konstruierte Modell mit der Realität verwechselt und darum an dem Dogma eines „an sich“ bestehenden, nach strengem Determinismus verlaufenden Geschehens festhält, kann in dem Wahrscheinlichkeitscharakter der Quantenmechanik einen Verzicht auf Erkenntnis sehen. Wer aber erkannt hat, daß die Realität zwar durch Modelle beschrieben, nicht aber selbst vom Charakter des Modells gedacht werden darf, der begreift, daß Aussagen über das Reale nur in der Form von Beziehungen zwischen den beschreibenden Begriffen gemacht werden können. Diese Erkenntnis aber führt zu einer Einsicht in die Natur des Erkenntnisproblems, mit der sich die ältere Theorie der physikalischen Erkenntnis an Tiefe nicht messen kann.

Denn diese Erkenntnis bedeutet nichts geringeres als den Übergang von dem Wahrheitsbegriff der Modellphysik zu dem Wahrscheinlichkeitsbegriff einer erkenntniskritischen Physik, für welche limes-Aussagen nur den Sinn von Konvergenzprozessen besitzen und

eben darum nur mit Hilfe des Wahrscheinlichkeitsbegriffs formuliert werden können. Es gibt ja keine Wahrheit für physikalische Aussagen, sondern erreichbar ist stets nur *Wahrscheinlichkeit*; will man trotzdem den Wahrheitsbegriff benutzen, so kann er für die Physik nur den Grenzfall bedeuten, wo die Wahrscheinlichkeit gleich 1 ist. Wahrheit ist also ein Spezialfall des Wahrscheinlichkeitsbegriffs. Darum kann der Wahrheitsbegriff nur durch den Wahrscheinlichkeitsbegriff, nicht aber der Wahrscheinlichkeitsbegriff durch den Wahrheitsbegriff definiert werden. Die genauere Durchdenkung dieser Fragen führt aus der strengen Logik in eine allgemeinere *Wahrscheinlichkeitslogik* hinein, ein Übergang, den man dem Verhältnis von euklidischer Geometrie zu R i e m a n n scher Geometrie vergleichen kann. Wie ich mir diese Wahrscheinlichkeitslogik vorstelle, das habe ich vor einem Jahr, auf unserer ersten Tagung für Erkenntnislehre, formuliert und darf dafür auf den in der Zeitschrift „Erkenntnis“<sup>1)</sup> herausgekommenen Bericht jener Tagung verweisen. Heute war es mir darum zu tun, Ihnen den Zusammenhang dieser philosophischen Gedanken mit der modernen Quantenmechanik aufzuzeigen. Stärker als je sind heute physikalische Probleme mit erkenntnistheoretischen Problemen verflochten; und ich glaube sagen zu dürfen, zum Nutzen beider.

<sup>1)</sup> „Erkenntnis“ I, 1930, Heft 2—5, S. 158.