

DER DURCH DIE PHILOSOPHIE VERMITTELTE EINFLUSS DER KULTUR AUF DIE PHYSIK

1. Die These

Ziel dieses Beitrags ist die Untersuchung des konkreten Einflusses der Kultur auf die Physik, vermittelt durch die Philosophie. Der untersuchte Zeitraum ist streng umgrenzt — die Herausbildung der Quantenmechanik. Untersuchungsobjekt ist die *Interpretation* (reflection, Sinngebung) der philosophischen Voraussetzungen der Quantenmechanik durch die Physiker selbst. Sie ist ein sicheres Zeichen für den durch die Philosophie vermittelten Einfluss der Kultur auf die Physik. Dabei geht es um die Analyse der "sekundären" Interpretation, d.h. um eine Analyse nach der Etablierung der physikalischen Theorie.

Ein erstes mit der aufgestellten These verbundenes Problem lässt sich in die Frage kleiden, wieso die Interpretation der philosophischen Voraussetzungen durch die Schöpfer der Quantenmechanik ein *sicheres* Zeichen für den oben behaupteten Einfluss der Kultur auf die Wissenschaft, in diesem Falle auf die Physik, ist. Die analysierten Beispiele zeigen, dass bei der Interpretation der philosophischen Voraussetzungen "allgemein-kulturelle" Termini verwendet werden, die man dann ihrerseits durch philosophische Begriffe erklärt.

Die Verwendung allgemein-kultureller Termini wie "Denkstil", "Schönheit", "Komplementarität" kann auf die Notwendigkeit eines "Dialogs" mit anderen Formen geistiger Tätigkeit zurückgeführt werden. Dieser Dialog kann nicht in der Sprache der Physik geführt werden. Deshalb wählt man allgemein-kulturelle Termini. Die Benutzung philosophischer Begriffe zeigt, dass die Philosophie eine rationalisierte Form der Weltanschauung und damit die Quintessenz der Kultur ist. Ausserdem kann sich nur durch die Interpretation bestimmter philosophischer Voraussetzungen eine wissenschaftliche Gemeinschaft herausbilden. Das Verhältnis der wissenschaftlichen Gemeinschaft zu den philosophischen Voraussetzungen der physikalischen Theorie ist ein

wichtiger Faktor für die “kollektive Tätigkeit” auf dem Gebiet der Quantenmechanik.

Die *Einschätzung* der philosophischen Voraussetzungen übersteigt den Rahmen dieses Beitrags. Wir glauben aber, dass Trends zur dialektischen und materialistischen Interpretation der wissenschaftlichen Erkenntnis durch die Physiker selbst eindeutig auszumachen sind.

Alle hier angedeuteten Probleme führen zu der Frage: “Warum ist die Interpretation der philosophischen Voraussetzungen durch die Schöpfer der Quantenmechanik nötig? ”

2. Die Notwendigkeit der Interpretation

Diese Notwendigkeit ergibt sich aus der Tatsache, dass die Physik die erste Naturwissenschaft ist, die in ihrer Entwicklung eine “zweite” Revolution durchmacht. Ein Gebiet wird gewöhnlich dann als Wissenschaft betrachtet, wenn die sie konstituierenden Begriffe ein relativ geschlossenes logisches System bilden. Ein solches System stellte die Newtonsche Mechanik dar. Durch ihre Entstehung oder genauer durch die Entstehung der klassischen Mechanik erlebte die Physik ihre “erste” Revolution. Sie trat aus der vorwissenschaftlichen in die wissenschaftliche Periode ihrer Existenz. Durch die Entwicklung der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik vollzog sich die “zweite” Revolution der Physik: sie trat in eine neue Entwicklungsphase ein. Das revolutionäre dieses Übergangs besteht in der Tatsache, dass sowohl Relativitätstheorie als auch Quantenmechanik im Unterschied zur klassischen Physik relativ geschlossene Begriffssysteme darstellen. So wurde das Problem der *Entwicklungsprinzipien der physikalischen Erkenntnis* aktuell.

Die Entwicklung der physikalischen Erkenntnis wurde zum *Gegenstand der Interpretation* durch die Physiker selbst. In keiner anderen Epoche lässt sich eine solch ausgeprägte “Selbstbewusstwerdung” der Physik beobachten. Diese “Selbstbewusstwerdung” kann ihrerseits wieder philosophisch re-interpretiert werden. In diesem Zusammenhang kam der Interpretation der Voraussetzungen für die Errichtung physikalischer Theorien besondere Bedeutung zu.

3. Beispiele

Die Frage des *Einflusses der Kultur auf die Naturwissenschaft* wurde zum erstenmal explizit von Schrödinger im Jahre 1932 gestellt. Er geht vom Gedanken Zolas über die Kunst als Natur, gesehen durch das Prisma des Temperaments, aus. Doch, so fragt Schrödinger, gibt es eine solche Subjektivität auch in der Naturwissenschaft? Er vertritt die These, dass naturwissenschaftliche Hypothesen nicht invariant sind in bezug auf die Kultur, sondern von ihr abhängen. Schrödinger weist auf einige Züge des modernen Lebens hin, die auf die Naturwissenschaft Einfluss nehmen: Tatkraft, Befreiung von Traditionen, Relativität, Statistik als Methode der Problembetrachtung.

Im Jahre 1953 stellt Max Born die Frage nach dem *Denkstil* in der Physik,² ausgehend von einer Überlegung Einsteins und Paulis. Born definiert Denkstil als allgemeine Tendenzen im Denken, die sich sehr langsam ändern und bestimmte philosophische Perioden mit für sie charakteristischen Ideen auf allen Gebieten menschlicher Tätigkeit, einschliesslich der Wissenschaft, bilden. Interessant ist, dass Born — wie übrigens auch Schrödinger — auf einen Begriff der Ästhetik zurückgreift und ihn als dominierende philosophische Ideen bestimmt, die für den Aufbau physikalischer Theorien Bedeutung haben.

Vom Standpunkt des Einflusses der Kultur auf die Entwicklung der physikalischen Erkenntnis ist bemerkenswert, dass die Kunst den grössten Einfluss hat, ein Gebiet das von Kreativität lebt. Im Unterschied zu den Grundlagenwissenschaften, in denen die Widerspiegelung der Realität den grössten Raum einnimmt, kreiert der Künstler in starkem Masse eine Art "zweiter Natur". Einen ähnlichen Vorgang beobachten wir in der modernen Physik. Sie hat die Idee von miteinander konkurrierenden Ideen akzeptiert, d.h. über ein und dasselbe experimentelle Material können verschiedene Theorien aufgestellt werden und jede von ihnen erklärt das Experiment gleichermassen befriedigend.

Im Zusammenhang mit dem Problembereich "Denkstil" muss hervorgehoben werden, dass der Einfluss der Kunst als kulturelles Phänomen immer einer philosophischen Idee untergeordnet ist. Durch die Verbindung des Denkstils in der Physik mit dieser oder jener philosophischen Auffassung kommt die Wertabhängigkeit dieses Begriffs zum Vorschein. Der Begriff "Denkstil" ist wertbezogen, da die Physik in jeder Etappe ihrer Entwicklung einer sinnvollen Auswahl aus dem

Gesamtensemble der Wirklichkeit bedarf. Und eben diese Auswahl trifft der Denkstil, der wiederum durch die Entwicklung der Philosophie, der Wissenschaft, der gesellschaftlichen Verhältnisse usw. bestimmt ist. Auf der anderen Seite bestimmt der Denkstil den Begriff der Wissenschaftlichkeit jeder Periode, das Wissenschaftsverständnis und das Wissenschaftsideal.

Eine Interpretation des Begriffs "Ideal" in der Wissenschaft nimmt Heisenberg in seiner Vorlesung in der Bayrischen Akademie der Künste aus dem Jahre 1970 vor.³ Heisenberg geht von der Voraussetzung aus, dass die *Schönheit* der Natur sich in den Naturwissenschaften widerspiegelt. Und er fragt: Wo ist das Schöne in den exakten Wissenschaften? Um es zu identifizieren benutzt Heisenberg zwei Begriffe des Schönen, beide antiken Ursprungs.

Die erste Definition beschreibt Schönheit als *Harmonie*: die Teile des Ganzen passen sowohl zum Ganzen, als auch zueinander. Die zweite Bestimmung greift nicht auf konstituierende Teile zurück, sondern beschreibt Schönheit als Merkmal des Ewigen und Erhabenen, kaum durch die materiellen Erscheinungen durchschimmernd. In der Pythagoräischen Schule wurde im Zusammenhang mit der Beschäftigung mit Musik und Mathematik eine grossartige Entdeckung gemacht: die Ursache der Harmonie liegt in Zahlenverhältnissen begründet. Damit wurden mathematische Verhältnisse zur Quelle der Schönheit. Diese Entdeckung eröffnete nach Heisenberg den Weg zu einer völlig neuen philosophischen Idee: Die Grundlage alles Existierenden ist nicht die uns in den Empfindungen gegebene materielle Substanz, sondern das ideale Prinzip der Form. In eben dieser Idee sieht Heisenberg die Basis aller exakten Wissenschaft. Das Verständnis der gesamten Vielfalt erreicht man durch das Sich-Bewusst-Machen des allen Erscheinungen immanenten Formgesetzes, ausgedrückt in einer mathematischen Sprache. Nach einer ausführlichen historischen und logischen Analyse des Schönheitsbegriffs schliesst Heisenberg mit der Bemerkung, dass in nicht geringerem Masse als in der Kunst, das Schöne in den exakten Wissenschaften die wichtigste Quelle von Inspiration und Klarheit sei.

Es ist nicht mein Ziel, die Ideen Heisenbergs zu *analysieren*. Sie sollten lediglich *thematisiert* werden. Unter diesem Gesichtspunkt soll hier schliesslich noch Einsteins Auffassung von der "äusseren Rechtfertigung und inneren Vollkommenheit der physikalischen Theorie" er-

wähnt werden.

4. Niels Bohr und die wissenschaftliche Gemeinschaft

Unsere Haupthese ist, dass die Beziehung zwischen dem Begründer einer physikalischen Theorie und der wissenschaftlichen Gemeinschaft vom Charakter der philosophischen Voraussetzungen dieser Theorie bestimmt wird. Sind diese nicht neu oder werden sie nicht eindeutig interpretiert, entsteht eine *Schule* im gewöhnlichen Sinne. Je mehr experimentelles Material eine Theorie erklärt oder verallgemeinert, desto grösser ist die wissenschaftliche Gemeinschaft. Aus psychologischer Sicht vereinen sich die Mitglieder der wissenschaftlichen Gemeinschaft wegen des *geringen Risikos*: man arbeitet im Rahmen des akzeptierten Paradigmas. Eine solche Schule entspricht der Wissenschaftsentwicklung zu einem bestimmten Moment. Sie wird am Leben erhalten durch alle, die an der Entwicklung dieser Wissenschaft interessiert sind.

Wenn der Autor einer physikalischen Theorie seine philosophischen Voraussetzungen klar formuliert und diese für die wissenschaftliche Gemeinschaft neu sind, entsteht eine *Forschungsrichtung in der Wissenschaft*. Die Interpretation der philosophischen Voraussetzungen führt zu einer Ausdehnung der Theorie auf nichtphysikalische Bereiche. Der Autor wird Vertreter einer bestimmten Kultur. Und er bietet Risiken an. Er hat Freunde und Gleichgesinnte. Ihre Mehrheit befindet sich jedoch ausserhalb der Physik.

Bohr war ein Einzelgänger. Seine philosophischen Auffassungen wurden erst im Laufe der *weiteren Entwicklung der Physik akzeptiert*. Diese These soll nun durch die Untersuchung von Bohrs Verhältnis zur wissenschaftlichen Gemeinschaft der Physik begründet werden.

Zu diesem Zweck werden im Verhältnis Bohrs zur wissenschaftlichen Gemeinschaft drei Perioden unterschieden: 1. Aufnahme in die wissenschaftliche Gemeinschaft, 2. Schaffung einer wissenschaftlichen Gemeinschaft, 3. "Hinausgehen" über die Grenzen der wissenschaftlichen Gemeinschaft. Diese Einteilung ist allerdings relativ: zur Zeit der Aufnahme in die wissenschaftliche Gemeinschaft hatte er schon eine neue gegründet und als er in ihrem Zentrum stand, hatte er ihre Grenzen schon gesprengt.

Die *Aufnahme* Bohrs in die wissenschaftliche Gemeinschaft lässt sich genau datieren: im März 1912 fährt er zu Rutherford nach Manchester. Vorher hatte er eine glänzende Dissertation verteidigt, die zu lesen J. Thomson im Herbst 1911, als Bohr in Cambridge war, keine Zeit fand. Wissenschaftshistoriker erklären diese Tatsache damit, dass Bohr Thomsons Auffassungen kritisiert hatte. Das ist kein völlig nebensächliches Moment in Bohrs Verhältnis zur wissenschaftlichen Gemeinschaft. Feuer⁴ weist darauf hin, dass man Bohr mit dem Wort "renunciation" verbindet und dass eine bekannte These von ihm besagt: "Meine Urteile dürfen nicht als Behauptungen verstanden werden, sondern als Fragen." Laut Feuer ist Bohr in dieser Hinsicht von Kierkegaard beeinflusst.

Jeder, der die Geschichte der Quantenmechanik und speziell die Geschichte der von Bohr geleiteten Kopenhagener Schule kennt, weiss von Bohrs sprichwörtlicher "theoretischen Bescheidenheit." Theoretische Bescheidenheit nicht in dem Sinne, dass er jederzeit bereit wäre, seine Ideen aufzugeben, sondern dass er sie ständig neu durchdachte und neuformulierte, falls es dafür Argumente gab. Bekannt ist Bohrs Überlegung, dass eine Hypothese trivial oder nicht sehr tiefsinnig ist, wenn ihre direkte Gegenhypothese offensichtlich falsch ist. Ist die Gegenhypothese jedoch sinnvoll, so ist die Hypothese nicht trivial.

Sollte das der Einfluss Kierkegaards sein? Feuer erwähnt auch eine andere weitverbreitete These, nämlich dass Einstein "Machist" sei. Doch wenn man Einsteins Auffassungen aufmerksam analysiert, stellt sich heraus, dass dieser nur insofern Machist ist, als er die klassische Auffassung von einem absoluten Raum und einer absoluten Zeit ablehnt. Er übernimmt Machs Kritizismus, aber nicht dessen Lösung. Ebenso mag Bohr von Kierkegaard beeinflusst sein, doch hat er von ihm allenfalls die kritische Einstellung sich selbst und anderen gegenüber übernommen. Bei Bohr ist sie jedoch auch mit *Vertrauen* zu diesen anderen verbunden (und das ist sicher nicht mehr Kierkegaard)! Der Denkstil Bohrs war nicht der Thomsons und deshalb haben sich ihre Wege getrennt.

Im März 1912 ist Bohr also in Manchester. Er beschäftigt sich an Ort und Stelle mit Rutherfords Atommodell. Rutherford selbst war auswärts. Im April kommt er zurück. Zu dieser Zeit ist Rutherford recht enttäuscht von den grossen Physikern, die am Solvay-Kongress im

Herbst 1911 teilgenommen haben (Lorentz, Nernst, Poincaré, Einstein, M. Curie, Sommerfeld, Langevin). Im Mai 1911 veröffentlichte er sein Atommodell, doch auf dem Kongress nahm niemand Notiz davon. Die experimentellen Ergebnisse sprachen zwar für sein Modell, doch seine theoretische Erklärung erwies sich als recht schwierig. So schwierig, dass niemand der 23 auf dem Kongress anwesenden Forscher auch nur eine theoretische Erklärung versuchte. Bohr akzeptierte Rutherfords Modell und wendete die Ideen Plancks und Einsteins darauf an. Auf diese Art und Weise gliedert er sich der wissenschaftlichen Gemeinschaft, geführt von Rutherford, an.

Am 6. März 1913 (wieder in Dänemark) schreibt Bohr an Rutherford und schickt ihm einen Artikel mit seiner Auffassung über den Bau des Atoms. Kurz darauf fährt er selbst nach England, diskutiert den Artikel mit Rutherford und schickt ihn am 5. April zur Veröffentlichung. Es gibt wohl kaum einen anderen Artikel in der Geschichte der Physik, dem von seiten der wissenschaftlichen Gemeinschaft soviel Aufmerksamkeit und Zustimmung — und das sofort nach der Publikation — zuteil wurde. Innerhalb eines Jahres — bis zum Herbst 1914 — hat Bohr bereits die Zustimmung von Hevesy, Sommerfeld, Evans, Courant, Einstein und Moseley. In Birmingham, Göttingen und München wurden Diskussionen veranstaltet. Das Bohrsche Atommodell ist eine *wissenschaftliche Tatsache*.

Der Erfolg des Modells liegt darin, dass es eine grosse Zahl experimenteller Daten erklärt. Bohrs Leitidee war die Erklärung der *Stabilität* des Atoms, seine philosophische Voraussetzung das *Korrespondenzprinzip*. Dieses Prinzip wurde von Bohr zwar erst 1918 explizit formuliert, doch liess er sich schon 1913 von ihm leiten.

Der Sinn des Korrespondenzprinzip ist, dass jede neue physikalische Theorie die alte als Grenzfall enthalten muss. Das ist zweifellos eine neue und revolutionäre Auffassung. Bohrs drei Postulate, mit deren Hilfe er die Quantentheorie Plancks mit dem Rutherfordschen Atommodell in Einklang bringt beruhen nicht auf der klassischen Bewegungsauffassung. Ausserdem wollte Bohr dieses Modell aber mit der klassischen Physik vereinigen. Die Verbindung zur klassischen Physik ergibt sich aus der Tatsache, dass das Modell zur Erklärung *experimenteller Daten* aufgestellt worden ist. Diese Daten sind aber mit "klassischen Geräten" erhoben und in klassischer Sprache formuliert worden.

Das Korrespondenzprinzip *vereinigt somit die von Bohr gegründete wissenschaftliche Gemeinschaft.*

Die *Schaffung* einer wissenschaftlichen Gemeinschaft durch Bohr beginnt formal gesehen 1916 mit seiner Berufung als Professor nach Kopenhagen. Doch laut Danin⁵ hatte Bohr schon 1914 in Manchester entschieden, dass er nun auch ohne Rutherford arbeiten könne. Bohr wollte eine *Quantenphilosophie* entwickeln und das war völlig ausserhalb des Stils der Schule von Rutherford.

Welches war die wissenschaftliche Gemeinschaft, in die Bohr vor der Gründung seiner eigenen Schule aufgenommen wurde? Das Problem der Schulen in der modernen Physik ist umstritten. Einige meinen, dass alle Nobelpreisträger der letzten Jahrzehnte ihre eigenen Schulen gegründet haben⁶. Andere sind dagegen der Auffassung, dass Planck und Einstein keine Schulen gegründet haben,⁷ und Laitko⁸ meint, dass Einstein eine besondere Art von Schule ins Leben gerufen habe. Herneck schliesslich schreibt, dass wenn man Schulen mit einem bestimmten Denkstil in Zusammenhang bringt, Planck und Einstein Schulengründer seien.⁹

Meine Auffassung ist der Schwabes am nächsten. Planck und Einstein haben keine Schulen, sondern Forschungsrichtungen begründet haben. Wir ziehen den Ausdruck "wissenschaftliche Gemeinschaft" vor und meinen damit die Gemeinschaft der im Moment an einem Problem arbeitenden Wissenschaftler. Formal gehörte Bohr zur Schule Rutherfords. Doch wie wir zu zeigen versucht haben, hat er sie mit seinem Eintritt schon wieder verlassen, da er für die Erklärung des Rutherford'schen Modells Ideen von Planck und Einstein benutzte. Damit hat er sich der wissenschaftlichen Gemeinschaft der Physiker, die sich mit diesem Problem beschäftigen, angeschlossen.

Als Bohr das Institut für theoretische Physik in Kopenhagen gründet (im März 1921) wird er zum Kopf der sogenannten "Kopenhagener Schule". Er wird zum Zentrum der neuen wissenschaftlichen Gemeinschaft jener Zeit und in diesem Sinne hat er sie auch *gegründet*. Fast alle grossen Physiker waren in Kopenhagen. Zwischen 1921 und 1926 hatte das Institut 40 ausländische Gäste. Nur Einstein war meines Wissens nicht in Kopenhagen und kann auch nicht zu Bohrs wissenschaftlicher Gemeinschaft gezählt werden.

Die wichtigsten Merkmale der Bohrschen Schule sind "*Jugendlichkeit*" und *Internationalität*. Die "Biographie" der Schule bis zu Beginn des 2.

Weltkriegs ist folgende: Ihr erstes Mitglied ist der Holländer Kramers. Nach der ihm kommt Klein aus Schweden. 1919 hält Bohr eine Vorlesung bei Lorentz in Leiden und lernt Ehrenfest kennen, der dort schon einen Lehrstuhl hat. Hevesy kommt aus Ungarn nach Kopenhagen. 1920 hält Bohr eine Vorlesung in Berlin und trifft sich mit Planck und Einstein. Sven Roseland trifft im Institut ein. 1922 ist Bohr in Göttingen und lernt Heisenberg und Pauli kennen und lädt sie nach Kopenhagen ein. Bohr diskutiert mit Born, Courant und Frank. Im gleichen Jahr sagt er die Existenz des Elements "Hafnium" voraus. Im Jahre 1927 hält er einen Vortrag auf der Konferenz in Como und gleich danach einen auf dem 5. Solvay-Kongress. Letzteren diskutiert er mit Pauli. Auf dem Kongress setzt er sich zum ersten Mal mit Einsteins Auffassungen auseinander. Schon 1925 hatte er an der Diskussion und den "Spin" teilgenommen und im Herbst 1926 Schrödinger in Kopenhagen empfangen. Gleichzeitig weilte auch Dirac dort. 1929 hält Gamow einen Vortrag auf der Kopenhagener Konferenz und 1930 kommt Landau zum ersten Mal zu Bohr. 1936 formuliert Bohr die Idee von der "Zusammengesetztheit" des Atomkerns. Viele Physiker behaupteten später, dass nur selten eine Idee so stark auf unser Denken gewirkt habe, wie diese. Der Artikel von Bohr und Wheeler über den Mechanismus der Kernteilung erschien dann am 1. September 1939, dem ersten Tag des 2. Weltkriegs!

In diesen knapp 20 Jahren wurde die wissenschaftliche Gemeinschaft um Bohr durch die *Erklärung alter und Voraussage neuer experimenteller Resultate* durch die Schaffung der Quantenmechanik zusammengehalten. Das Paradigma der Bohrschen Schule und der gesamten wissenschaftlichen Gemeinschaft war das *Korrespondenzprinzip*. Von ihm liess man sich leiten. Die Schule "funktionierte" nur dank der Persönlichkeit Bohrs. *Die Beziehungen zwischen ihm und jedem einzelnen Mitglied der Gemeinschaft waren stärker als die Beziehungen der Gemeinschaftsmitglieder untereinander*. Nur die Persönlichkeit Bohrs erlaubte die Entwicklung neuer Ideen, ohne ihn wäre die Schule eine Qualifizierungsstätte gewesen, aber keine Quelle neuer Hypothesen.

Bemerkenswert ist, dass in dieser Periode das Korrespondenzprinzip als stillschweigende theoretische Voraussetzung von niemanden angetastet wurde. Die Gemeinschaft wurde also von einem den Erfordernissen der Wissenschaftsentwicklung entsprechenden Paradigma zusammengehalten. Und man arbeitete *ohne Risiko*. Nur Bohr selbst ging ein Risiko

ein, als er die Quantenphilosophie entwickelte. Diese Philosophie ist das **Komplementaritätsprinzip**. In Lehrbüchern wird es als Verallgemeinerung der Unbestimmtheitsrelation eingeführt. Die Biographien von Bohr und Heisenberg zeigen jedoch, dass beide gleichzeitig zur Unbestimmtheitsrelation bzw. zum Komplementaritätsprinzip gelangten: Im Februar 1927 war Heisenberg bei Bohr in Kopenhagen. Nach langer und anstrengender Diskussion fährt Bohr zum Skilaufen nach Norwegen und Heisenberg erholt sich in Kopenhagen. Als Bohr zurückkommt hat er bereits das Komplementaritätsprinzip formuliert und Heisenberg kann seine Unbestimmtheitsrelation vorstellen. Viele Wissenschaftshistoriker haben darauf aufmerksam gemacht, dass Bohr zwischen 1925 und 1927 nichts publiziert hat. Während dieser Zeit hat ihn die Idee der Komplementarität als Quantenphilosophie beschäftigt.

Die wissenschaftliche Gemeinschaft in ihrer grossen Mehrheit akzeptierte die Unbestimmtheitsrelation. Dem Komplementaritätsprinzip gegenüber bleibt sie kühl. Bohr hatte durch sein Prinzip die Realität des Welle-Teilchen-Dualismus anerkannt und gleichzeitig damit die Begriffe der alten Naturbeschreibung ernsthaft erschüttert. Er entwickelt seine Philosophie auf der Grundlage des Einsteinschen Verständnisses vom Doppelcharakter des Lichts — und Einstein ist der erste, der sich offen kritisch über diese Philosophie äussert.

Obwohl Bohr das Komplementaritätsprinzip ständig vervollkommen hat, lässt es sich etwa so formulieren: In der Atomphysik wird das Wort "Komplementarität" zur Charakterisierung von Beziehungen zwischen Daten benutzt, die unter verschiedenen Versuchsbedingungen gewonnen wurden und nur auf der Grundlage sich gegenseitig ausschliessender Vorstellungen anschaulich interpretiert werden können. Das ist für Bohr eine allgemeine erkenntnistheoretische Aussage. Er hat einige Male versucht, eine Diskussion darüber hervorzurufen: Zuerst im August 1932 auf dem Kongress für Strahlentherapie in Kopenhagen, wo er einen Vortrag zum Thema "Licht und Leben" hielt, dann auf dem Biologenkongress in Bologna 1937 und schliesslich durch seine Rede auf dem internationalen Kongress für Anthropologie und Ethnologie im Jahre 1938. Aber alle Referate hielt er vor Nichtphysikern. Bohr hat die Grenzen der wissenschaftlichen Gemeinschaft überschritten. Seine Arbeit im Rahmen der wissenschaftlichen Gemeinschaft wird — unabhängig von der Diskussion mit Einstein — durch seine anderen Entdeckungen bestimmt. Er geht über die wissenschaftliche Gemein-

schaft hinaus, weil er einen Weg sucht, der ein neues Verständnis der Physik als Wissenschaft und neue Ergebnisse vorbereiten könnte. Deshalb wird er zum Einzelgänger.

Das *“Hinausgehen”* über die Grenzen der wissenschaftlichen Gemeinschaft begann mit der Formulierung des Komplementaritätsprinzips. Bohr hat deutlich gesagt, dass es sich um ein gnoseologisches Prinzip handelt, und zwar um eine Philosophie der Quantenmechanik. Wie jede Philosophie sprengt sie Grenzen der Physik als Wissenschaft, erweitert die Theorie, die auf der Basis dieser Physik entwickelt wurde. Die theoretische Arbeit Bohrs nach dem 2. Weltkrieg bis zu seinem Tode im Jahre 1962 ist der Verteidigung dieser Philosophie gewidmet. Bohr wendet sein Komplementaritätsprinzip auf Biologie und Psychologie, auf das Verhältnis der Wissenschaften untereinander und auf die Beziehungen zwischen verschiedenen Kulturen an.

Streng betrachtet *fixiert das Komplementaritätsprinzip eine Situation in der Physik und erklärt diese als allgemeine Charakteristik der Erkenntnis*. Wie ist dann der anhaltende Einfluss des Komplementaritätsprinzips zu erklären? Hat Bohr versucht, Korrespondenz- und Komplementaritätsprinzip zu verbinden? Meines Wissens nicht! Als Philosoph hat Bohr letzteres vorgezogen: Die letzten 20 Jahre seines Lebens hat er der Verteidigung des Komplementaritätsprinzips gewidmet. Er behauptete, dass zwei Komplementärtheorien ein Objekt vollständig beschreiben. Aber was ist ein *“Objekt an sich”*? *Sicher etwas zutiefst Widersprüchliches*. Doch zu dieser Schlussfolgerung, die eine Basisbehauptung der materialistischen Dialektik ist, gelangte Bohr nicht. Ihn hinderte die Tatsache, dass die Physik als formales theoretisches System widersprüchliche Behauptungen über ein und dasselbe Objekt ausschliesst. Wenn ein formales System Widersprüche zulässt, kann man in seinem Rahmen alles beweisen und alles widerlegen!

Wenn Physiker mit widersprüchlichen Aussagen über Objekte konfrontiert werden, formulieren sie diese in einem bestimmten Prinzip, das zur Grundlage der Theorie wird. So gehen diese Widersprüche in das System der Wissenschaften ein.¹⁰ Für die Quantenmechanik spielt die Unbestimmtheitsbeziehung diese Rolle. Sie wird von der Quantenmechanik nicht interpretiert, sondern ihr zugrunde gelegt. Unter anderem Aspekt jedoch kann man das Korrespondenz- und das Komplementaritätsprinzip als Ausdruck von *Bohrs Methode* betrachten. Er hat oft hervorgehoben, dass seine Philosophie ein Prisma ist, durch das

er den *Sinn der menschlichen Erkenntnis* verstehen wolle. Sein Ziel war, die *Einheit des Wissens* aufzuzeigen, und zwar unter logischem, historischem und gnoseologischem Gesichtspunkt. Die historische Form der Einheit des Wissens ist das Korrespondenzprinzip, die gnoseologische das Komplementaritätsprinzip. In einem solchen Fall müsste eine neue physikalische Theorie die Quantenmechanik als Grenzfall in sich enthalten. Wenn dem so ist, wieso war Einstein mit Bohr nicht einverstanden?

Das Verhältnis Bohrs zur wissenschaftlichen Gemeinschaft seiner Zeit kann nicht unabhängig von seinem Dialog mit Einstein betrachtet werden. Der Inhalt der modernen Physik ist die Relativitätstheorie und die Quantenmechanik. Einstein hat an der Entwicklung beider Anteil, Bohr an der Schaffung letzterer. Beide Theorien stellen nicht nur eine neue Tappe in der Entwicklung der Physik dar, sondern haben auch einen tiefen philosophischen Sinn. Die Relativitätstheorie hat die Auffassung des gesunden Menschenverstands von der Absolutheit der Gleichzeitigkeit revidiert und die Quantenmechanik verwarf die Idee von der Absolutheit des Ortes eines physikalischen Objekts. Einstein und Bohr haben sich gegenseitig geschätzt und geachtet. Als Physiker gab es keine Differenzen zwischen ihnen. Einstein befriedigte die Quantenmechanik als physikalische Theorie nicht, doch hat er sie nicht verworfen. Die Meinungsverschiedenheiten zwischen ihm und Bohr waren philosophischer Natur und haben letztlich die wissenschaftliche Gemeinschaft auseinanderbrechen lassen. Ihr grösserer Teil fand sich auf seiten Bohrs. Einstein wurde von Schrödinger und von Laue unterstützt.

Einstein und Bohr haben sich gegenseitig geschätzt und geachtet, das ist wahr. Aber Tatsache ist auch, dass Einstein am 22.12.1950 an Schrödinger schrieb, dass die Frage *nach der Realität* nicht umgangen werden könne, wenn man ehrlich ist.¹¹ Bohr war aber einer derjenigen (und vielleicht der bedeutendste), der diese Problem umging. Seine These war, dass man das Objekt nicht von der Art und Weise seiner Beobachtung trennen könne. Dadurch wird die Unbestimmtheitsrelation und das Komplementaritätsprinzip fixiert. Man kann nicht auf die Frage antworten, was das "Objekt an sich" sei. Der Streit ist philosophisch, die Wertungen vielleicht sogar moralisch!

Wie verhielt sich die wissenschaftliche Gemeinschaft zu dieser Frage? Die praktizierenden Physiker unterstützen in ihrer Mehrheit Bohr.

Das scheint der oben gemachten Behauptung zu widersprechen, dass die Physiker das Komplementaritätsprinzip kühl aufgenommen haben. Für die Konferenz in Como traf das auch zu. Doch gleich nach der Konferenz begann die Diskussion zwischen Bohr und Einstein. Die Gemeinschaft der Physiker hatte zwischen *zwei philosophischen Voraussetzungen* zu wählen. Und sie entschied sich für Bohr. Nicht jedoch weil sie den tieferen Sinn des Komplementaritätsprinzips erfasst hätte, sondern weil dieses Prinzip die Existenz der Quantenmechanik nicht in Frage stellte. Und die Quantenmechanik hatte sich als erfolgreich arbeitende physikalische Theorie erwiesen. Die Mehrheit der Physiker identifizierte das Komplementaritätsprinzip mit der Unbestimmtheitsrelation:

Betrachtet man Bohr nicht unter dem Gesichtspunkt seiner Beziehung zur wissenschaftlichen Gemeinschaft sondern unter dem seines Verhältnisses zu Einstein, so zeigt sich, dass sein Komplementaritätsprinzip den *gegenwärtigen* Zustand der Quantenmechanik, bzw. der physikalischen Erkenntnis überhaupt, widerspiegelt. Mehr können wir heute auch nicht sagen. In diesem Sinne ist Bohrs Prinzip dem Hauptparadigma der Quantenmechanik adäquat. In seinem Rahmen wird die Frage nach der Natur des Mikroobjekts unabhängig von der Beobachtung zur Scheinfrage. Und da auch andere Wissenschaften im Laufe ihrer Entwicklung mit diesem Problem konfrontiert werden, kann das Paradigma für sie erweitert werden.

Die Forderungen Einsteins führen zu dem Risiko, neue Wege zu suchen. Wenige nehmen dieses Risiko auf sich, solange die Möglichkeiten der Quantenmechanik nicht ausgeschöpft sind. Bohr ging niemals ruhig in Diskussionen mit Einstein, obwohl dieser ihn nicht mit physikalischen Mitteln widerlegen konnte. Und deshalb bemerkt Polikarov in seinem Buch über Einstein: "... einige gegenwärtige Physiker sind der Meinung, dass Einsteins Herausforderung an die Quantentheorie sein letzter Beitrag von bleibendem Wert zur Fundamentalphysik ist."¹²

Welches ist nun Bohrs Verdienst in dieser Diskussion? Meines Erachtens besteht sein Beitrag darin, dass er die *Erkenntnis der Realität zum Problem erhoben hat*: Erst durch das Korrespondenz-, später durch das Komplementaritätsprinzip. Einstein hat die Frage nach der Realität immer wieder gestellt, Bohr dagegen die nach der Entwicklung der Widersprüche bei der Erkenntnis dieser Realität.

5. *Schlussfolgerung*

Kriterium für die Entwicklung der Wissenschaft (und natürlich auch der Physik) ist ihre wachsende relative Selbständigkeit, die Geschlossenheit ihres Begriffssystems *und* die zunehmende Vielseitigkeit ihres Verhältnisses zur natürlichen, sozialen und kulturellen Umwelt. Die Berücksichtigung der philosophischen Voraussetzungen bei der Aufstellung physikalischer Theorien fördert das Verständnis von: 1. der Verbundenheit der Wissenschaft mit anderen Kulturformen wie Kunst, Philosophie, Moral, sozialem Leben; 2. der Art und Weise des Einflusses der Kultur auf die Wissenschaft. Am einleuchtendsten ist die Auffassung, dass die Kultur über die *Philosophie* auf die Wissenschaft wirkt und die Philosophie wiederum durch die methodologischen Voraussetzungen bei der Formulierung physikalischer Theorien; 3. der Interpretation der philosophischen Voraussetzungen als notwendigen Prozess, der nicht nur zur Bestimmung des Platzes der Wissenschaft im System der Kultur führt, sondern auch grössere Objektivität der wissenschaftlichen Erkenntnis sichert

Hieraus folgt, dass die Bestimmung des *Wertes der Physik* als Wissenschaft nicht nur von internen Kriterien geleitet werden darf, sondern dass immer das Verhältnis zur Kultur im weitesten Sinne berücksichtigt werden muss. Je "objektiver" die Wissenschaft ist, in desto grösserem Ausmasse verwirklicht sich dieses Verhältnis. Je vielseitiger eine Wissenschaft mit der "kulturellen Umwelt" verbunden ist, desto entwickelter ist sie. So schützt sie sich vor Relativismus und Einseitigkeit gleichermaßen.

ANMERKUNGEN

1. E. Schrödinger, *Über Indeterminismus in der Physik. Ist die Naturwissenschaft milieubedingt? Zwei Vorträge zur Kritik der wissenschaftlichen Erkenntnis*, Leipzig 1932.
2. M. Born, *Physik im Wandel meiner Zeit*, Berlin 1958, S. 113 —114.
3. W. Heisenberg, *Schritte über Grenzen*, München 1971.
4. L. S. Feuer, *Einstein and the Generation of Science*, New York 1947.
5. D. Danin, *Niels Bohr*, Moskau 1978 (Russisch).
6. K. Mothes, *Ansprache des Präsidenten*, in: J. — H. Scharf (Hrsg.), *Struktur und Funktion*, Halle 1970, S. 32.
7. K. Schwabe, *Naturwissenschaftliche Schulen*, in: S. R. Mikulinskij et al. (Hrsg.), *Wissenschaftliche Schulen*, Bd. 1, Berlin 1977, S. 393.
8. H. Laitko, *Der Begriff der wissenschaftlichen Schule — theoretische und praktische Konsequenzen seiner Bestimmung*, in: S. R. Mikulinskij et al., *op. cit.*, S. 357 — 290.
9. F. Herneck, *Einige Schwerpunkte bei der Erforschung wissenschaftlicher Schulen*, in: S. R. Mikulinskij et al., *op. cit.* S. 337 — 340.
10. S. Petrov, *Logische Paradoxa in der philosophischen Interpretation*. Sofia 1971 (Bulgarisch).
11. E. Schrödinger, *Planck, Einstein, Lorentz. Briefe zur Wellenmechanik*. Wien 1963.
12. A. Polikarov, *Einstein — verschiedene Projektionen*. Sofia 1985 (Bulgarisch).