

Quantentheorie – Philosophisch betrachtet.

Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1964

### **Vorwort zur Digitalisierten Ausgabe**

Ein 1964 in der DDR publiziertes Buch zu philosophischen Problemen der Physik ist auf der einen Seite sicher von historischem Interesse. Es zeigt die Auseinandersetzungen um eine schöpferische Entwicklung des dialektischen Materialismus im Zusammenhang mit den Erkenntnissen der Physik im Quantenbereich. Auf der anderen Seite ist zu prüfen, welche Erkenntnisse mit aktueller Bedeutung es enthält. Da philosophische Einsichten in das, was die Welt im Innersten zusammenhält, über die spezialwissenschaftlichen Erkenntnisse einer Zeit hinausreichen, sind sie hier, neben den historischen Aspekten, kurz zu thematisieren. So wird auf aktuelle physikalische Hypothesen in philosophischer Sicht verwiesen.

Mein Dank gilt Kurt W. Fleming, dem Kollegen und Initiator für die Digitalisierung von bestimmten nicht mehr neu aufgelegten philosophischen Werken aus DDR-Verlagen. Er macht sie Interessierten auf seiner Internetseite des Max-Stirner-Archivs zugänglich. Nach der rigorosen „Abwicklung“ des philosophischen Personals an Einrichtungen der DDR und der Makulatur ihrer Bücher gab es, nachdem das angerichtete Unheil für die philosophische Diskussion, gerichtet gegen den eigentlich doch geforderten Pluralismus, Forderungen ausgewiesener westlicher Philosophen, doch noch einmal die Publikationen aus der DDR durchzusehen und sie neu aufzulegen. Doch das geschah nicht. Die Digitalisierung und Präsentation im Internet macht es nun möglich, sich ein eigenes Bild über die philosophischen Debatten in der DDR zu machen. Vielleicht gelingt es dadurch, die geleisteten Beiträge zur schöpferischen Entwicklung der Philosophie zu verdeutlichen und ein von manchen gemaltes, dazu gehören leider frühere etablierte Vertreter des dialektischen Materialismus, verfälschtes Bild über eine parteipolitisch indoktrinierte und dogmatisch ausgerichtete Naturphilosophie in der DDR zu korrigieren.

#### *Zur Situation der Wissenschaftsphilosophie in der DDR*

Der Kampf gegen den Dogmatismus auf dem Gebiet der Wissenschaftsphilosophie in der DDR war in der Zeit, in der das Buch erschien, nicht einfach. Internationale Debatten in Ost und West waren zu verarbeiten. In der „Einleitung“ wird das mit der Feststellung verdeutlicht: „Aus der Physik wurden philosophische Schlußfolgerungen gezogen, die weit über den Rahmen der Physik selbst hinausreichten. Der Kampf zwischen Materialismus und Idealismus verband sich mit der philosophischen Interpretation der physikalischen Ergebnisse. Thesen von der Akausalität der Mikrophysik und der Willensfreiheit des Elektrons, von ursachenlosen Quantensprüngen und widersprüchlichen Eigenschaften der Elementarobjekte brachten eine scharfe Polemik der dialektischen Materialisten gegen die Vertreter idealistischer Philosophien hervor. In diesem entschiedenen Kampf ging manchmal das berechtigte Anliegen vieler Naturwissenschaftler nach einer positiven Antwort auf ihre philosophischen Fragen verloren.“ (siehe S. 19 in dieser Datei)

Zwei Anmerkungen dazu sind erforderlich, die erstens auf die wesentlichen Einflüsse aus der Sowjetunion mit ihrem umfangreichen physikalischen und philosophischen Potenzial verweisen und zweitens mein Verständnis von Philosophie deutlich machen, das mich beim Schreiben des Buches leitete:

*Erstens:* Die Ablehnung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse in der sowjetischen Literatur wirkte sich stark auf die philosophischen Debatten in der DDR aus. Das betraf u. a. die philosophische Kritik an der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie, der Relativitätstheorie, der Mesomerie in der Chemie und den Kampf gegen den Mendelismus-Morganismus mit der Ablehnung der Genetik. Es war aus meiner Sicht kontraproduktiv, wie manche „Dialektiker“

Erkenntnisse mit angeblich dialektischen Argumenten ablehnten. (Hörz 1988) Politische Restriktionen und Repressionen bis zum 20. Parteitag der KPdSU traf viele naturwissenschaftlich Forschende und Lehrende. Ich hörte in Gesprächen Berichte von unmenschlicher Lagerhaft, von Denunziationen und der rigorosen Entfernung aus Ämtern und Arbeitsstellen. Da meine wissenschaftliche Tätigkeit in die Zeit fiel, in der man 1956 vom „Tauwetter“ sprach, verschrieb ich mich voll im Sinne der marxistischen Philosophie, wie ich sie verstand, der Suche nach der Wahrheit. Das bedeutete Anerkennung der experimentell untermauerten und in sich konsistenten Theorien, zu denen für mich die Quantenmechanik gehörte und die Suche nach einer dialektisch-materialistischen Deutung der physikalischen Erkenntnisse. Das schloss zugleich philosophisch berechtigte Hinweise auf offene Probleme ein, doch auch die Kritik problematischer Auffassungen marxistischer Philosophen. In der hier vorliegenden Arbeit ging es z. B. um einseitige Auffassungen von Michail Erasmowitsch Omeljanowski (1904-1979).

Später verband uns mit ihm und seinen Mitarbeitern, nach einer Reihe persönlicher Gespräche und gemeinsamen Tagungen, eine konstruktiv-kritische Zusammenarbeit mit dem von mir initiierten und geleiteten Bereich „Philosophische Fragen der Wissenschaftsentwicklung“ am Philosophischen Institut der Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW), der bis zu seiner „Abwicklung“ mit dem Institut 1991 (trotz positiver nationaler und internationaler Reputation), wichtige Ergebnisse erzielte. Dazu gehörte als Forschungsergebnis das Buch „Experiment, Modell, Theorie“. (Hörz, Omeljanowski 1982) Die Diskussionen mit sowjetischen Physikern und Philosophen waren für mich stets anregend, solange Argumente eine Rolle spielten und keine vorgegebenen Formeln als Prinzipien verteidigt wurden.

*Zweitens:* Ich betonte stets mit der weltanschaulichen und ideologischen Funktion der Philosophie vor allem ihre Heuristik. (Hörz 1974) Sie bestimmte damals und auch heute meine Zusammenarbeit mit in der Naturwissenschaft, besonders der Physik, Tätigen. Dabei ist dialektischer Materialismus für mich nicht in erster Linie Ideologie. Im Sinn der Ideologie als motiv- und willensbildender Kraft und der Weltanschauung als Welterklärung, Gedankenprovokation und Lebenshilfe trete ich weiter für die marxistische Vision von einer zukünftig humaneren Gesellschaft ein. Eine humane Gestaltung der Zukunft ist, wenn die Menschheit nicht in Barbarei verfallen oder sich selbst vernichten will, unbedingt erforderlich. Dazu bedarf es des Bündnisses aller Humanisten mit unterschiedlicher weltanschaulicher Haltung, wie wir das in unserem Buch mit Argumenten belegen. (Hörz, H. E., Hörz, H. 2013). Wichtig ist für mich als Wissenschaftsphilosoph die philosophische Analyse neuer spezialwissenschaftlicher Erkenntnisse und sozialer Erfahrungen, um Dialektik als immer wieder aktuelles Denkinstrument zu begründen und zu entwickeln. (Hörz 2009) Es geht deshalb bei der Betonung dialektisch-materialistischer Ansichten im vorliegenden Text darum, Philosophie als Wahrheitssuche zu betreiben und nicht in eine sektiererische Enge zu verfallen. Diese Haltung zum Verhältnis von Philosophie und Naturwissenschaften war konzeptionelle Grundlage der Arbeit im genannten Bereich an der AdW. (Erpenbeck, Hörz 1977)

Physiker haben berechtigte Fragen an die Philosophie, die sie indirekt stellen oder direkt als Probleme formulieren, manchmal mit eigenen, auch kritikwürdigen, Auffassungen. In der „Einleitung“ zum Buch wird das so charakterisiert: „Das Anliegen des Physikers ist die philosophische Begriffsanalyse, die wissenschaftliche philosophische Deutung seiner Ergebnisse und die Ausarbeitung einer allgemeinen Methodologie. Die Lösung dieser Aufgaben durch den Philosophen bringt notwendig eine Entwicklung der marxistischen Philosophie mit sich. Dabei gilt es mit Praktiken des philosophischen Arbeitens zu brechen, die das Bündnis zwischen Naturwissenschaftlern und Philosophen hemmen. Dazu gehört die Verkündung bereits bekannter Leitsätze und Prinzipien ohne Anwendung auf das vorhandene einzelwissenschaftliche Material, die Dogmatisierung des eigenen Standpunkts als des einzig richtigen und die Mißachtung der Rolle des dialektischen Materialismus als Methode. Die Anwendung der

Philosophie auf die naturwissenschaftlichen Ergebnisse bringt viele ungeklärte Probleme mit sich, um die es sich zu streiten lohnt. Voraussetzung für die Entwicklung der Wissenschaft ist der offene und sachliche Meinungsstreit um diese Probleme. Die vorliegende Arbeit soll ein Beitrag zu dieser Diskussion um die philosophischen Probleme der modernen Physik, speziell der Quantentheorie sein.“ (siehe S. 21 in dieser Datei) In diesem Sinne betrieb ich meine Studien, brachte Ergebnisse der Forschung in die Lehre ein und trat auf nationalen und internationalen Tagungen auf.

Meine Auffassung von philosophischer Forschung und Lehre brachte mir in der DDR Kritik ein. Sie wurde in Beratungen mit dem Vorwurf geäußert, ich würde immer allgemein über Philosophie reden, statt den ideologisch-weltanschaulichen Charakter der marxistischen Philosophie besonders hervorzuheben. Wie steht es damit? Die auf spezialwissenschaftlichen Gebieten Forschenden und Lehrenden stellen, wie schon betont, berechnete Fragen an die Philosophie, die sich der Pflicht zur Beantwortung nicht entziehen darf. In der konstruktiven Zusammenarbeit erfüllt sie dabei ihre heuristische Funktion. Erkenntnisse sind so, unabhängig von der weltanschaulichen Haltung, zu gewinnen. Es ging und geht stets um den Kern von Wahrheit, der sich in unterschiedlichen argumentativ begründeten philosophischen Analysen bei den verschiedenen philosophischen Systemen, die einem bestimmten „Ismus“ anhängen, findet. Die Wahrheit hat keiner für sich gepachtet. Arthur Schopenhauer (1788-1860) bemerkte: „Die Wahrheit ist keine Hure, die sich jedem an den Hals wirft, welche ihrer nicht begehren, vielmehr ist sie eine so spröde Schöne, daß selbst, wer ihr alles opfert, noch nicht ihrer Gunst gewiß sein darf.“ (Schopenhauer 1979, S. 16) Wahrheitssuche ist nicht einfach, doch für unser Leben erforderlich.

#### *Buchpublikation: Probleme und Reaktionen*

Als Wissenschaftsphilosoph, der sich mit naturwissenschaftlichen Erkenntnissen befasste, Vorlesungen zu philosophischen Problemen der Naturwissenschaften hielt und in nationalen und internationalen Diskussionen mit interdisziplinärem Charakter sich dazu äußerte, war es wichtig, sich einen eigenen Standpunkt zu den philosophischen Auseinandersetzungen um die Quantenmechanik zu erarbeiten. Ihn stellte ich in diesem Buch dar.

Die Publikation wissenschaftlicher Arbeiten in der DDR erfolgte erst, wenn dazu positive Gutachten vorlagen. Ich sammelte eine Reihe negativer Erfahrungen, da fadenscheinige und argumentativ nicht nachvollziehbare Gründe zu negativen Stellungnahmen führten. (Hörz 2005) Mancher Verlag sicherte sich bei Buchpublikationen ab, indem er die Begutachtung von Stellen mit politischem Einfluss vornehmen ließ. Dazu gehörte das Institut (später Akademie) für Gesellschaftswissenschaften beim Zentralkomitee der SED. Meine 1960 erfolgte Promotion an der Humboldt-Universität mit „summa cum laude“ zum Dr. phil. in den Fächern Philosophie und Physik umfasste die Dissertation „Über die philosophische Bedeutung der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen“. Der Deutsche Verlag der Wissenschaften wollte sie publizieren. Doch ein negatives Gutachten verhinderte das. Der Kollege aus der genannten Einrichtung konnte mir zwar auf meine Anfrage nach seinen Arbeiten auf diesem Gebiet keine nennen. Doch sein Gutachten, das ich dann zu lesen bekam, enthielt immerhin die bemerkenswerte Einsicht, ich hätte zwar sehr viele bürgerliche Autoren zitiert, jedoch nur wenige Arbeiten der Klassiker des Marxismus-Leninismus. Das war damals eine „Killerphrase“, die es dem Verlag nicht gestattete, das Buch zu publizieren. Vergessen hatte der Gutachter allerdings, dass die bürgerlichen Wissenschaftler, die ich umfassend zitierte, sich als Physiker zum Gegenstand meiner Arbeit äußerten. Außerdem waren die nicht gerade umfangreichen einschlägigen Äußerungen der Klassiker berücksichtigt.

Es gab Lob für unsere Arbeiten, doch Angriffe blieben nicht aus. Manche sahen in unserer Arbeit positivistische Anklänge, die nicht mit dem Marxismus übereinstimmten. Darunter

war auch der Vorwurf, ich hätte die Materie-Definition von Lenin revidiert, da ich Materie zwar als außerhalb und unabhängig von unserem Bewusstsein erfasste, doch zugleich betonte, dass sie erkannt werden muss und wird. Es ging mir, gegen die Überbetonung der Grundfrage der Philosophie nach dem Verhältnis von Materie und Bewusstsein, um die Relevanz der Subjekt-Objekt-Dialektik für die Analyse naturwissenschaftlicher Erkenntnisse, also um die praktische und theoretische Aneignung der Wirklichkeit. Das machte ich in meinen Lektionen an der Parteihochschule der SED deutlich (Hörz 1965). Im Abschnitt des vorliegenden Buchs sind deshalb „Neue Züge der objektiven Realität in der Quantenmechanik“ dargestellt. Trotz mancher Vorwürfe arbeitete ich auf meinem Forschungsgebiet weiter und Anerkennung blieb nicht aus.

Im Gespräch mit dem damaligen Dekan der Philosophischen Fakultät der Humboldt-Universität, dem Anglisten Martin Lehnert, fragte ich, ob er eine Habilitationsarbeit annehmen würde, die sich mit dem Thema meiner Dissertation in umfassenderen Sinne beschäftigen würde. Er meinte, es sei der Sinn der Habilitation, ein vorher spezieller bearbeitetes Gebiet der Forschung umfassender zu behandeln. So habilitierte ich 1962 mit der Arbeit „Philosophie und Quantenmechanik“. Ich reichte sie wiederum beim Deutschen Verlag der Wissenschaften zur Publikation ein. Diesmal war es ein sowjetischer Kollege, er lehrte am Institut für Gesellschaftswissenschaften, der ein negatives Gutachten schrieb. Darin monierte er u. a., dass ich mich kritisch mit seinem Lehrer Omeljanowski auseinandersetzte. Der verantwortliche Lektor für diese Publikation war Siegfried Wollgast. Er ließ sich durch die ablehnende Stellungnahme nicht entmutigen, sondern bat mich, einige Änderungen, die meine inhaltlichen Aussagen nicht beeinträchtigten, vorzunehmen und mit dem Gutachter zu sprechen. Das geschah. Mit Verzögerung erschien dann das Buch 1964 unter dem Titel „Atome, Kausalität, Quantensprünge“.

Von der scientific community wurde es international gut aufgenommen. Positive Rezensionen in verschiedenen ausländischen Zeitschriften erschienen. Manche Philosophen aus der DDR übten jedoch Zurückhaltung, da sie meinten, positivistische Anklänge in meinen Arbeiten zu finden oder darin sogar eine Herabsetzung der Philosophie durch Darstellung physikalischer Sachverhalte vermuteten. Vor allem wissenschaftsphilosophisch Interessierte, die selbst interdisziplinäre Kontakte pflegten, lobten die Darlegungen. Eine der positiven Reaktionen war für mich der Hinweis, dass ein Professor der Physik das Buch für seine Vorlesungen nutzte, um den Blick der Studierenden für die philosophischen Aspekte des Fachs zu erweitern.

Das Verhältnis von Philosophie und Naturwissenschaften beschäftigte auch andere. Auf zwei Beispiele wies mich unser österreichischer Freund Professor Dr. Gerhard Oberkofler im Zusammenhang mit seinen wissenschaftshistorischen Arbeiten hin. Auf den dabei erwähnten österreichischen Philosophen Walter Hollitscher (1911-1986), mit dem wir freundschaftlich verkehrten und dessen enzyklopädisches Wissen meine Frau und ich sehr schätzten (Hörz 2005, S. 202-211), ist später noch zurückzukommen. Das erste Beispiel betrifft den Schweizer Kunsthistoriker und Essayisten Konrad Farner (1903-1974). Gerhard O. hatte mich auf eine Stelle in dessen Brief vom 18.3.1964 an Walter Hollitscher aufmerksam gemacht, die mein Buch betraf. Ich schrieb Gerhard O., dass ich ein Vorwort für die digitalisierte Ausgabe des Buches vorbereite und deshalb die Stelle gern zitieren würde. Darauf antwortete er am 14.09.2013 u. a.: „Lieber Herbert, ich freue mich sehr, wenn Du die Briefstelle von Konrad Farner zitierst! Hollitscher und Farner waren jedenfalls seit 1959 (wahrscheinlich schon früher) in vertrautem Kontakt, auch 1969 und darnach. Der ganze Brief vom 18. März 1964 aus Thalwil (Thalwil ist bei Zürich, dort wohnte Farner, es haben 1956 vor seinem Wohnhaus Schweizer Antikommunisten mit Plakaten etc. eine Art Lynchstimmung gegen ihn aufgebaut):“ Ich zitiere nur einige Stellen daraus: „Lieber Freund Hollitscher, ... Noch etwas anderes: soeben habe ich die Lektüre eines jetzt erschienenen Buches angefangen: Herbert Hörz,

Atome, Kausalität, Quantensprünge. Ich finde das, was ich bis jetzt gelesen, sehr gut. Ich nehme an, dass Du gelegentlich eine Besprechung machst.“ Gerhard O. schreibt weiter: „Farner ist also selbst in Zürich auf Dein Buch gekommen, er hat, das kann ich jetzt schon sagen, sehr intensiv wichtige Neuerscheinungen verfolgt. Farner und Hollitscher haben sich sonst nicht gegenseitig Literatur empfohlen, Farner war also offenkundig von Deiner Arbeit gefesselt. ... In dem so gut ausgewählten Buch von Hermann Klenner & Co ‚Lob des Kommunismus. Alte und neue Weckrufe für eine Gesellschaft der Freien und Gleichen‘ (Ossietzky Verlag 2013) ist Farner Seite 173-176 mit seiner Stelle ‚Große Hoffnung‘ (1969) aufgenommen ...“ (Beutlin, Klenner, Spoo 2013)

Das zweite Beispiel betrifft den Musikwissenschaftler Georg Knepler, mit dem wir oft über Philosophie in persönlichen Gesprächen diskutierten und den ich für meine Helmholtz-Studien bat, sich aus aktueller Sicht zum Verhältnis von Melodie und Klang zu äußern, wozu Gustav Fechner (1801-1887) an Hermann von Helmholtz (1821-1894) Fragen gestellt hatte. (Hörz 1994, S. 213 ff.) Gerhard O. schrieb am 08.07.2013; „Lieber Herbert, wahrscheinlich kennst Du das nicht. In den Beiträgen zur Musikwissenschaft 1980 schreibt Georg Knepler in einer kritischen Rezension zu einem Repräsentationswerk der DDR im Bereich der Musikwissenschaft: ‚Ich befinde mich im vollen Einverständnis mit zwei anerkannten marxistischen Forschern, die kürzlich formuliert haben, es bedürften die Grundprinzipien und weltanschaulichen Grundlagen des Marxismus keinerlei Revision. Zu ergänzen, erweitern und vervollkommen sind hingegen alle Schlußfolgerungen, die aus ihnen gezogen werden‘. Und da zitiert er J. Erpenbeck/H. Hörz: Philosophie contra Naturwissenschaft? Berlin 1977.“

Es geht um ein wichtiges philosophisches Problem, das mich in meinen Arbeiten immer wieder beschäftigte. In welchem Verhältnis stehen Grundprinzipien der marxistischen Philosophie zu ihren Präzisierungen und philosophischen Hypothesen? Die Frage war auch für die philosophische Betrachtung der Quantentheorie relevant, wie Debatten dazu zeigen.

*Debatten um Grundprinzipien, Präzisierungen  
und philosophische Hypothesen*

Mit Darstellungen zu den Funktionen der Philosophie, darunter vor allem der heuristischen, zur Differenzierung im Allgemeinheitsgrad philosophischer Aussagen und ihren Beweis, also zum Prozess philosophischer Verallgemeinerung, unterschied ich, auch für die marxistische Philosophie, zwischen den Grundprinzipien, den mit dem Wissen einer bestimmten Zeit präzisierten philosophischen Aussagen, die mit neuen Erkenntnissen zu korrigieren sind, und den philosophischen Hypothesen. (Hörz 1974, S. 92-207)

Prinzipien sind allgemeine Grundsätze theoretisch-methodischen Verhaltens. Sie unterliegen, falls es sich nicht um Glaubenssätze handelt, folgenden Kriterien: Nicht-Ableitbarkeit, Widerspruchsfreiheit im logischen Sinn, maximaler Erklärungswert im Gültigkeitsbereich, Praxisüberprüfung. Grundprinzipien materialistischer Dialektik, die für die philosophische Interpretation spezialwissenschaftlicher Erkenntnisse wesentlich sind, umfassen: das Prinzip der Unerschöpflichkeit des materiellen Geschehens; das Prinzip der Strukturiertheit der Materie; das Prinzip der dialektischen Determiniertheit; das Prinzip der Entwicklung. (Hörz 2009, S. 67 ff.) Diese Prinzipien, in ihrer Allgemeinheit nicht beweisbar, sind so zu präzisieren, dass sie in der konkreten Form, die auf dem Wissen der Zeit basiert, durch neue Erkenntnisse erweitert oder widerlegt werden können.

Diese Analyse philosophischer Verallgemeinerung richtete sich einerseits gegen den nicht selten anzutreffenden Dogmatismus geschlossener philosophischer Schulen, die sich mit ihren Prinzipien kritik-immun machen. Manche Marxisten verfielen ihm ebenfalls. Auf der anderen Seite war eine, später in der Postmoderne mit der Dekonstruktion von Theorien anzutreffende, doch vorher schon vorhandene, Beliebigkeit philosophischer Interpretationen

von sozialen Erfahrungen und wissenschaftlichen Erkenntnissen zurückzuweisen. Die Beseitigung, im Sinne der Aufgabe, von Grundprinzipien galt im Marxismus als Revisionismus. Leider wurde dabei nicht zwischen wirklichem Revisionismus und notwendiger Revision überholter Auffassungen unterschieden. Mit der Differenzierung philosophischer Aussagen nach ihrem Allgemeinheitsgrad war theoretisch der Weg für einen wissenschaftlichen Meinungsaustausch unter Marxisten geebnet, die, solange sie Marxisten bleiben wollten, an die Grundprinzipien gebunden waren. Sie konnten jedoch begründet über präzisierte Aussagen streiten und philosophische Hypothesen aufstellen.

Es war auf dieser theoretischen Grundlage ebenfalls möglich, unter zeitweiligem Absehen von weltanschaulich unterschiedlich begründeten Prinzipien, sachliche Auseinandersetzungen um philosophisch relevante neue Erfahrungen und Erkenntnisse mit allen Interessierten und Sachkundigen zu führen. Das galt auch für die philosophische Interpretation der Quantentheorie. Die Analyse der Auffassungen von Heisenberg und der Briefwechsel mit ihm bestätigen das.

Mit meinem Kollegen Paul Feyerabend (1924-1994) gab es viele Diskussionen über seine These „Anything goes“, die gegen einen Methodendogmatismus gerichtet war. Uns verband bald ein freundschaftliches Verhältnis, das sich aus der gegenseitigen Achtung für unsere Arbeiten und aus brieflichen und persönlichen Diskussionen entwickelte. Er studierte mein Buch „Atome, Kausalität, Quantensprünge“, als wir uns noch nicht persönlich kannten. Die darin vorgenommene philosophische Betrachtung der Quantenmechanik war ein Thema, das ihn ebenfalls beschäftigte. Wie er schrieb, wollte er sich mit mir darüber unterhalten. Er nahm meine Einladung an, am Philosophischen Institut der Humboldt-Universität zu sprechen. Später trafen wir uns in Berlin, Zürich und Berkeley, dort bei ihm zu Hause. Wir stimmten in vielen Auffassungen überein, vor allem darin, dass es keinen Stillstand bei der schöpferischen Entwicklung der Philosophie geben dürfe. (Hörz 2005, S. 167-173)

Dabei beschäftigte mich die Rolle philosophischer Hypothesen als einem wichtigen Moment im Prozess der philosophischen Verallgemeinerung. Sie drücken wissenschaftlich begründete Vermutungen über mögliche zukünftige Beiträge der Naturwissenschaften zur Philosophie aus und enthalten heuristische Hinweise für die Lösung offener Probleme. Sie waren mit den spezialwissenschaftlichen Hypothesen zu verbinden, um deren philosophischen Gehalt zu analysieren. Darüber sprach ich auf dem Philosophie-Kongress in Berlin 1965. Doch auch darüber gab es unterschiedliche Auffassungen von Marxisten. Das zeigen die Debatten mit meinem ungarischen Kollegen Tibor Elek, der sich mit philosophischen Problemen der Naturwissenschaft befasste und den ich später, auf seine Einladung, an seiner Wirkungsstätte in Budapest besuchte. (Hörz 2005, S. 409 f.)

Unsere Auseinandersetzungen bezogen sich auf die philosophischen Grundprinzipien des Marxismus, die ich präzisieren wollte, um den dialektischen Materialismus schöpferisch auf der Grundlage neuer Erkenntnisse weiter zu entwickeln. Er klammerte sich dogmatisch an sie. So war er mit meiner philosophischen Deutung der Quantenmechanik nicht einverstanden. Er meinte, moderne Naturwissenschaft existiere nur dann, wenn sie allgemeine Gesetze zu Kausalität und Bewegung zur Kenntnis nehme, die materialistische Dialektik explizit vertrete. Dazu prangerte er typische Fehler von Wissenschaftlern an, so die falsche Verwendung des Materiebegriffs, weil Stoff als Materie bezeichnet würde. Die damit verbundenen Fragen der Physiker an die Philosophie interessierten ihn nicht. Die vom sowjetischen Physiker Wladimir Alexandrowitsch Fock (1898-1974) vertretene Deutung der Quantentheorie lehnte er ab. Das führte ihn zur kritischen Stellungnahme zu meinem Buch, da ich die Kopenhagener Deutung der Quantentheorie in der statistischen Denkweise und der statistischen Gesetzeskonzeption konstruktiv-kritisch auf der Grundlage des dialektischen Determinismus verarbeitete hatte.

Bei meinem Besuch an seinem Lehrstuhl an der Technischen Universität Budapest, fragte ich ihn nach seiner Stellung zu Heisenberg. Ich betonte die aktive Rolle des Subjekts bei der Gestaltung der Wirklichkeit, wie sie in der Rolle des Beobachters diskutiert wurde, was zu einer neuen Auffassung von der Wirklichkeit führen müsse, wie ich sie in dem ihm bekannten Buch dargelegt hatte. Er sah in den Auffassungen Heisenbergs zum Faktischen keine weiter zu lösende Problematik, wie sie mich mit der Beziehung von Möglichkeit und Wirklichkeit beschäftigte. Heisenberg sei, so Elek, mit dem Übergang von Demokrit zu Plato zwar objektiver Idealist und teleologisch orientiert, nähere sich jedoch immer mehr in der wissenschaftlichen Arbeit dem Materialismus an. Das war eine gängige Interpretation, die mir jedoch nicht ausreichte. So stellte der Platonismus Heisenbergs die Frage nach der Rolle der Mathematik, die nicht durch Etikettierung als objektiver Idealismus zu beantworten war. Ins Gästebuch von Elek schrieb ich dann, dass marxistische Philosophen unterschiedliche Auffassungen haben können, was für die Entwicklung der Wissenschaften und Philosophie fruchtbar sei und der Freundschaft keinen Abbruch tue.

Leider blieben manche Marxisten bei der Verteidigung der Grundprinzipien stehen, die sie manchmal belehrend weitergaben. Doch die eigentliche philosophische Arbeit besteht, ausgehend von der Kritik überholter präzisierter Auffassungen zu den Prinzipien, in heuristischen Hinweisen zur Lösung offener Probleme.

#### *Zur philosophischen Deutung der Quantentheorie*

Die Diskussionen um die philosophische Deutung der Quantentheorie fanden international in Publikationen, auf Kongressen, in Briefwechseln und in Streitgesprächen statt. Bekannt ist die Auseinandersetzung zwischen Albert Einstein (1879-1955) und Max Born (1882-1970) um die Deutung der Quantenmechanik. (Hörz 2006) Born war als Vertreter der statistischen Interpretation der Quantenmechanik Freund und philosophischer Antipode von Einstein. Dieser glaubte nicht an den würfelnden Gott. Am 4.12.1926 schrieb er an Born den, wie dieser meinte, „niederschmetternden Satz“: „Die Quantenmechanik ist sehr achtungsgebietend. Aber eine innere Stimme sagt mir, daß das doch nicht der wahre Jakob ist. Die Theorie liefert viel, aber dem Geheimnis des Alten bringt sie uns kaum näher. Jedenfalls bin ich überzeugt, daß der nicht würfelt.“ (Born H., Born M., 1969, S. 131) 1930 bestätigte Einstein in einem Brief an einen Einsender noch einmal seinen Standpunkt: „Ich bin überzeugter Determinist. Ich habe in meinem Vortrag gesagt, daß die neueste Theorie der Quantenvorgänge eine wesentliche indeterministische Theorie ist, indem sie annimmt, daß die letzten Gesetze statistischer Natur seien. Ich habe aber hinzugefügt, daß nach meiner Überzeugung diese theoretische Basis später wieder durch eine deterministische ersetzt werden wird. Abgesehen davon ist zu bemerken, daß die deterministische Auffassung der Lebensvorgänge durch jene Theorie nicht wesentlich beeinflußt wird.“ (Albert Einstein in Berlin, 1979, S. 145)

Diese Debatte um den Determinismus war einer der wichtigsten philosophischen Streitpunkte in der Physik des 20. Jahrhunderts. Im Kern ging es um die Anerkennung des objektiven Zufalls auch in der Physik, die bis dahin dem Laplaceschen Determinismus folgte. Es gab viele Physiker, die nach deterministischen Deutungen suchten oder sich der Anerkennung des objektiven Zufalls in der Physik anschlossen. Die im Buch dargestellten Überlegungen des französischen Physikers Louis de Broglie (1892-1987) und seines Assistenten Jean-Pierre Vigier (1920-2004), des US-amerikanischen Quantenphysikers und Philosophen David Bohm (1917-1992) und des sowjetisch-russischen Physikers Jakow Petrowitsch Terlezki (1912-1993) auf der einen und von Born, Heisenberg, Fock als Vertretern der statistischen Deutung auf der anderen, bestätigen das. Die Suche nach neuen Deutungen, nach verrückten Ideen in der Physik, hört nicht auf. Sie war damals nicht und ist auch heute nicht an Grenzen gebunden, seien sie geografisch oder weltanschaulich. In jedem philosophischen Lager gibt es Interpretationen neuer Erkenntnisse. Das wollte ich mit meinem Buch ebenfalls belegen.

Einstein suchte mit einer einheitlichen Feldtheorie das Problem physikalisch zu bewältigen und scheiterte. Zwar lässt sich die Natur einseitig modellieren und das mit Erfolg, doch es wird immer Hinweise, experimenteller oder theoretischer Art, geben, die zeigen, dass so keine einheitliche Erklärung erreicht wird. Die Suche nach einer Welttheorie oder Weltformel wird weitergehen und zu wichtigen Lösungen von Welträtseln führen, auf deren Grundlage dann die alten Rätsel ein neues Gewand erhalten und die Neugier der Menschen erneut herausfordern.

Vor einiger Zeit gab es eine Diskussion über eine physikalische Theorie, die sich mit Mechanismen unterhalb der Beobachtungsgrenze befasste. Auf Anfrage nach der philosophischen Bedeutung bemerkte ich über den Verfasser: „Seine Argumentation, die er mir später kurz in einem Gespräch erläuterte, beruht, wie auch im Artikel deutlich, auf Annahmen, die nicht belegt sind. Man kann immer, wie bei den verborgenen Parametern, Mechanismen auf einer Ebene postulieren, die dem Experiment nicht zugänglich ist. Auf meine Bemerkung, dass es Experimente geben müsse, die seine Theorie besser erklären kann als andere, meinte er, das wäre der Fall.“

#### *Auseinandersetzungen zur philosophischen Deutung in der DDR*

An der Auseinandersetzung um die philosophische Deutung der Quantenmechanik beteiligten sich in der DDR, wie im Buch ausgewiesen, Physiker und Philosophen mit unterschiedlichen Argumenten und Standpunkten. Sie reichten von der Ablehnung der Theorie über die Suche nach deterministischen Ergänzungen bis zu mehr oder weniger konsequenten Annäherungen an die statistische Deutung. Ich will das mit wenigen Bemerkungen zu Walter Hollitscher und zum Physiker und Wissenschaftshistoriker Gerhard Harig (1902-1966) andeuten. In einer Studie zu ihren Auffassungen ging ich auf die philosophischen Probleme der Quantentheorie ein. (Hörz 2002) Harig hatte sich schon in den dreißiger Jahren des vergangenen Jahrhunderts mit neuen Erkenntnissen der Physik auseinandergesetzt. Nach ihm war die theoretische Physik zu einer Art physikalischer Erkenntnistheorie geworden. Das Prinzip, nach dem nur Beziehungen zwischen prinzipiell beobachtbaren Größen in der Quantenmechanik eine Rolle spielen, sah er als die Forderung, allein die Erfahrung zur Grundlage der Theorie zu machen. Zu möglichen agnostischen Folgerungen aus den Unbestimmtheitsrelationen, nach denen wir prinzipielle Erkenntnisschranken zu berücksichtigen haben, meinte er, damit würde die Physik zu ihrem eigenen Gegner. Er deutete die Lage so, dass Begriffe durch vertiefte Erkenntnis vorher nicht vermutete Grenzen aufweisen können, denn sie seien Abstraktionen. Bei der Anwendung auf Erscheinungen, bei denen sie versagen, treten Paradoxien auf. Er nahm die Unbestimmtheitsrelationen als eine reale Tatsache und verwies auf die wechselseitige Abhängigkeit von Ort und Impuls als dialektische Gegensätze zwischen kanonisch konjugierten Parametern. Dieser Zusammenhang sei exakt zu erforschen. In späteren Arbeiten in den fünfziger Jahren, als die Debatten um die Quantenmechanik in der DDR umfangreich geführt wurden, lehnte er berechtigt die Deutung der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen als Indeterminiertheit des Subatomaren ab und sah sie als Ausdruck des Zusammenhangs zwischen Makrophysik und Mikrophysik.

Hollitscher vertrat dagegen angesichts der Unabgeschlossenheit der Quantentheorie die Auffassung, keinen triftigen Grund dafür zu sehen, die These von der „prinzipiell nicht eindeutig kausalen Ordnung“ der Quantenvorgänge zu akzeptieren. Er äußerte Skepsis gegenüber dieser Behauptung und berief sich auf Einstein, der die Quantenmechanik als unabgeschlossene Theorie sah und auf eine direkte (kausale) Beschreibung der Wirklichkeit wartete. Hollitscher sprach von „Quantenmystik“ als Neuauflage des philosophischen Subjektivismus und Irrationalismus. Später bemerkte er zu Heisenberg, er habe seine Entdeckung zur „positivistischen Unbestimmtheitsphilosophie“ aufgebläht. Mit Hinweis auf die Arbeiten von D. Bohm

und J.-P. Vigié sah er die grundsätzliche Möglichkeit einer prinzipiell deterministischen Theorie der Quantenvorgänge.

Während Harig die Aufgabe stellte, den dialektischen Zusammenhang zwischen den kanonisch konjugierten Variablen philosophisch genauer zu analysieren, was dem Anliegen entsprach, das ich dann im Buch verfolgte, vertraute Hollitscher auf die deterministische Entwicklung der Physik. Es waren jedoch diese deterministischen Theorien, die m. E. zwei prinzipielle Mängel aus der Sicht materialistischer Dialektiker aufwiesen. Erstens ergänzten sie die Quantenmechanik durch die Existenz verborgener Parameter, die nicht nachweisbar waren und auch zu keinen neuen Erkenntnissen führten. Sie befriedigten nur die Auffassung von einer durchgängig mechanisch-deterministischen Welt im Sinne von Laplace. Zweitens hemmten sie die von Harig u. a. geforderte philosophische Analyse der dialektischen Beziehungen durch nicht nachweisbare Parameter.

Mein Buch orientierte sich mehr in der Richtung, die Harig und andere vertraten, denn an den Auffassungen von Hollitscher, mit dem ich später oft über den dialektischen Determinismus sprach. Einmal meinte er, es sei wohl an der Zeit, die philosophische Deutung neuer physikalischer Erkenntnisse sachkundigeren jüngeren Philosophen zu überlassen.

### *Ergebnisse mit aktueller Bedeutung*

Das Buch enthält eine Reihe von wichtigen Ergebnissen, die aktuelle Bedeutung haben. Einige seien kurz charakterisiert:

*Erstens:* Für die Wahrnehmung der heuristischen Funktion der Philosophie als Hinweis auf offene Probleme ist eine konstruktiv-kritische Diskussionsatmosphäre wichtig. Will man Probleme lösen, dann sind weltanschauliche Differenzen aus der Gegenüberstellung bestimmter „Ismen“ um der sachlichen Auseinandersetzung willen zurückzustellen. Im Gespräch mit Thomas S. Kuhn (1922-1996) bei meinem Besuch am MIT stellte ich fest, dass sehr wohl eine gemeinsame Diskussionsbasis über Wissenschaftstheorie existiert, solange wissenschaftliche Erkenntnisse und begründete Argumente eine Rolle spielen.

*Zweitens.* Wer Wissenschaftsphilosophie betreibt, hat sich in die theoretischen Probleme des Fachs einzuarbeiten, ohne dem Fach zu verfallen. Das geschah im vorliegenden Buch mit der Darstellung der physikalischen Grundlagen als Ausgangspunkt für philosophische Debatten. Dabei ist die erkenntniskritische Funktion der Philosophie zu wahren, indem offene Fragen gestellt und eventuell mit Hypothesen beantwortet werden.

*Drittens:* Das mit der Quantenmechanik verbundene Bewegungsproblem, das seinen konkreten Ausdruck im Welle-Korpuskel-Dualismus fand, ist nicht an diese physikalische Theorie gebunden. Der Welle-Korpuskel-Dualismus warf die Frage nach der Einheit der Natur generell auf. Wie kann sie begrifflich gefasst werden? Es gab verschiedene physikalische Lösungsvorschläge. Man nahm verborgene Parameter an, um die statistische Theorie deterministisch zu ergänzen. Doch das brachte philosophisch und physikalisch nichts. Feldtheorien sollten eine allgemeine physikalische Welterklärung geben. Das scheiterte. Es bewährte sich, mikrokosmische Zufälligkeiten statistisch zu behandeln, um dann die Dynamik im Meso- oder Makrokosmos zu finden. Das war philosophisch nicht befriedigend, weil Statistik (Zufall) und Dynamik (Determiniertheit) in verschiedenen Seins-Ebenen gesucht wurden. Das widersprach einer einheitlichen Welterklärung. Doch es gibt einen dialektischen Ausweg, den ich beschritt. Fasst man mit Feldern und Wellen Wirkungsmöglichkeiten im Geschehen und mit den Korpuskeln oder dem Faktischen nach Heisenberg, die realisierten Möglichkeiten, dann weist philosophisch der Welle-Korpuskel-Dualismus auf die Einheit von Möglichkeit und Wirklichkeit im Geschehen hin. Für die Bewegung zeigten die Zenonschen Aporien, nach denen der fliegende Pfeil ruht, Denkschwierigkeiten einseitiger Haltungen. Bewegung konnte nun als Einheit von Momenten der Ruhe als Diskontinuität (Korpuskel-Eigenschaft)

und des kontinuierlichen Übergangs von einem Ruhemoment zum anderen (Welleneigenschaft) verstanden werden. Elementarobjekte haben beide Eigenschaften, theoretisch mit verschiedenen Bildern erfasst. Das Bewegungsproblem in seiner dialektischen Einheit von Kontinuität und Diskontinuität, von Übergängen und Ruhemomenten, von Möglichkeit und Wirklichkeit wird uns auch in anderen Bereichen immer wieder beschäftigen.

*Viertens:* Die philosophische Deutung der Quantenmechanik warf erkenntnistheoretische Probleme auf. Beachtet man die objektive Wechselwirkung, die ständig stattfindet, ob sie beobachtet wird oder nicht, dann kann die Beziehung zwischen Beobachter und Wirklichkeit als Teil der universellen Wechselwirkung gesehen werden. Wir erhalten keine Erkenntnis der objektiven Realität an sich. Sie ist zwar bewusstseinsunabhängig, doch Regularitäten des wirklichen Geschehens erkennen wir nur, wenn wir mit Experimenten Fragen an die Wirklichkeit stellen und nach Antworten suchen. Jedes Experiment ist ein objektiver Analysator der Wirklichkeit, dessen Ergebnisse von uns zu synthetisieren sind. Ob sie uns dann zur Wahrheit geführt haben, ist wiederum an den Konsequenzen von Theorien praktisch zu überprüfen.

*Fünftens:* Die Quantenmechanik führte uns zu einer neuen Sicht auf die Beziehungen von Kausalität, Determinismus, Gesetz und Zufall in der Natur.

*Sechstens:* Das Verhältnis von Logik und Dialektik stand zur Diskussion. Im Buch wird dazu auf die Widerspiegelung objektiver dialektischer Widersprüche im Denken eingegangen.

Die beiden letzten Punkte sollen kurz erläutert werden.

#### *Dialektischer Determinismus: Kausalität, Gesetz und Zufall*

Einstein vertrat eine Wirklichkeitsauffassung, in der die Potenzialität des Geschehens, d. h. von möglichen Ereignissen, die mit Wahrscheinlichkeit eintreten können, wobei sich Potenzen jedoch nicht unbedingt (notwendig) realisieren, beseitigt werden sollte, um eine vollständige Beschreibung der Wirklichkeit zu erreichen. Das wurde in dem 1935 veröffentlichten Einstein-Podolsky-Rosen[EPR]-Paradoxon deutlich. Das philosophische Problem besteht darin, dass die zwei kollidierenden Elektronen, an denen, nach der Entfernung voneinander, Ort oder Impuls an einem gemessen werden, wobei auf das andere wegen der Erhaltungssätze geschlossen wird, idealisiert als nicht wechselwirkend mit anderen Teilchen gesehen werden.

Der Hinweis, die Realität von Ort und Impuls des einen Elektrons wäre abhängig von der Messung am anderen, obwohl beide weit entfernt sind, ist philosophisch dann nicht schlüssig, wenn Messung als Ausdruck ständiger Wechselwirkung gesehen wird, die, unabhängig von der Existenz eines Beobachters, immer stattfindet. Das EPR-Paradoxon bindet die Unbestimmtheitsrelation von Ort und Impuls an den messenden Beobachter des einen Teilchens und schließt dann auf das andere, als ob es, weil es keiner Messung unterliegt, nicht wechselwirkt. Die Unbestimmtheitsrelationen erfassen jedoch die Realität der Bewegung jedes Teilchens, unabhängig davon, ob es beobachtet wird oder nicht. Jede Bewegung ist eine Einheit von Ruhepunkten (Ort) und Übergängen (Impuls). Die neue Wirklichkeitsauffassung der Quantenmechanik zeigte, dass Zustände von Teilchen nicht mehr isoliert durch Ort oder Impuls darstellbar sind, sondern beide voneinander abhängen. Das Argument von Einstein gegen die statistische Deutung der Quantenmechanik ist nicht schlüssig.

In meinem Buch wird die vorher entwickelte philosophische Konzeption eines dialektischen [Determinismus](#) weiter verfolgt. Einstein betonte, überzeugter Determinist zu sein. Das könnte in der Konsequenz bedeuten, alles Geschehen sei vorherbestimmt. So wäre auch sein Diktum zu verstehen, dass Gott nicht würfelt. Dafür könnte die Auffassung von Kausalität ins Feld geführt werden, nach der sie als Verbindung von Ursache und Wirkung zu fassen ist, wobei ein Ereignis notwendig andere Ereignisse hervorruft. Notwendigkeit als Kausalitätsmerkmal

führt jedoch zu einer Überbestimmung, die mit unseren Erfahrungen nicht übereinstimmt, da Zufälle eine Rolle spielen. Eine Kausalbeziehung ist Einwirkung auf ein System als Ursache, die durch den vorhandenen Bedingungskomplex zu einem Möglichkeitsfeld führt, aus dem Möglichkeiten realisiert werden. Diese Einwirkung als Anfangsursache führt zu einem Ergebnis des Kausalprozesses als Endwirkung. Nur in Grenzfällen wird die Anfangsursache notwendig die Endwirkung hervorrufen, etwa beim Brechen eines Schusses nach dem Ziehen des Abzugs. Dazu muss das System einwandfrei funktionieren. Für die Verbindung der Anfangsursache mit der Endwirkung sind viele Kausalbeziehungen im Mechanismus der Schusswaffe erforderlich. Um es klar zu sagen: Wir laufen der Kausalität immer hinterher, ohne sie je vollständig zu erkennen. Was wir erkennen, sind wesentliche Kausalbeziehungen der Art, dass unter bestimmten Bedingungen eine Verhaltensmöglichkeit sich notwendig oder mit hoher Wahrscheinlichkeit verwirklicht, was jedoch nicht ausschließt, dass sich unter anderen Bedingungen eine Möglichkeit mit geringerer Wahrscheinlichkeit, eventuell durch menschliches Verhalten bedingt, verwirklicht. So züchten Menschen Tiere und Pflanzen mit höheren Erträgen zu ihrem Nutzen, die in der Natur, auf sich gestellt, zu Grunde gehen würden. Erkannte wesentliche Kausalbeziehungen, objektive Gesetzessysteme und Bedingungskomplexe sind Handlungsgrundlage, doch kein deterministischer Automatismus des Geschehens. Zufälle und menschliche Handlungen sind zu beachten.

Das hat generelle Bedeutung. Denken wir etwa an die Freiheitsproblematik. Freiheit ist das auf sachkundigen Entscheidungen beruhende verantwortungsbewusste Handeln der Menschen unter konkret-historischen Bedingungen. Objektive Gesetze, Regularitäten und wesentliche Kausalbeziehungen geben uns mit Möglichkeitsfeldern und ihrer bedingt zufälligen wahrscheinlichen Verwirklichung von bestimmten Möglichkeiten daraus einen Handlungsspielraum. (Hörz 2009)

Es sind die objektiven Zufälle, d. h. die aus der Unerschöpflichkeit des wirklichen Geschehens in seinem Beziehungsgeflecht sich ergebenden möglichen Ereignisse, die sich mit bestimmter Wahrscheinlichkeit realisieren können, doch nicht notwendig eintreten. Im Zusammenhang mit den Theorien der Selbstorganisation sprechen wir von Bifurkationen und Fluktuationen. Fluktuationen sind Schwankungen zwischen mindestens zwei möglichen Zuständen eines Systems, von denen sich einer realisiert, ohne dass die Bedingungen für die Verwirklichung gerade dieser Möglichkeit genau bestimmbar sind. Sie sind Zufallsprozesse, denn Zufälle sind mögliche Ereignisse, die sich nicht unbedingt realisieren, für deren Realisierung jedoch eine Wahrscheinlichkeit existiert. Philosophisch geht es in den Auseinandersetzungen um Statistik und Dynamik darum, die Einheit der Natur in ihrer Widersprüchlichkeit zu erfassen, die sich im Welle-Korpuskel-Dualismus zeigte und die von Physikern wie Einstein auf eine dynamische Theorie reduziert werden sollte, während andere sich mit der Statistik zufrieden gaben. Heute stehen wir weiter in allen Bereichen vor dem Problem, Statistik und Dynamik so miteinander zu koppeln, dass wir zu sinnvollen Prognosen über das weitere Geschehen komplexer Prozesse, wie etwa des Wetters, der Naturkatastrophen oder noch problematischer, der gesellschaftlichen Entwicklung, kommen.

Mit einem dialektischen Determinismus und der statistischen Gesetzeskonzeption kann man philosophisch den Zusammenhang zwischen Dynamik und Statistik herstellen, indem das Verhältnis von System und Elementen in die Betrachtung einbezogen wird. Dazu ist der Kausalitätsbegriff zu präzisieren und die innere Struktur von Gesetzen zu beachten, die Zufall und Notwendigkeit verbindet. Statistische Gesetze (Gesetzessysteme) sind allgemeinnotwendige und wesentliche Beziehungen von Ereignissen, nach denen sich eine Möglichkeit für das System notwendig verwirklicht (dynamischer Aspekt), Elementmöglichkeiten ein Möglichkeitsfeld mit Realisierungswahrscheinlichkeiten bilden (stochastischer Aspekt) und sich bestimmte Möglichkeiten mit Wahrscheinlichkeit realisieren (probabilistischer Aspekt). So führt die Schrödinger-Gleichung zu einer notwendigen Verteilung von Teilchen auf einem

Schirm nach dem Durchgang durch einen Doppelspalt. Teilchen folgen stochastischen Verteilungen und für das Auftreffen auf bestimmten Punkten existieren Wahrscheinlichkeiten. Die Struktur der Kausalität ergibt sich als inhaltlich und zeitlich gerichtete Vermittlung des Zusammenhangs, die Grundlage für Erkenntnis und Gestaltung ist. Mit dieser Konzeption, die im Buch die philosophische Interpretation der Quantentheorie durchzieht, sind viele Probleme zu lösen, die vom Verständnis der Natur über die sozialen Systeme bis zur Erkenntnistheorie reichen.

### *Logik und Dialektik*

Ein im Buch behandeltes Problem ist das Verhältnis von Logik und Dialektik, das weiter aktuell ist. 1958 erschien von Georg Klaus (1912-1974) in der DDR die „Einführung in die formale Logik“. Später folgte dann die bearbeitete Fassung mit dem Titel „Moderne Logik. Abriss der formalen Logik“, die von 1964 bis 1973 sieben Auflagen erlebte. Die „Einführung“ befasste sich mit dem damals aktuellen Streit um das Verhältnis von Logik und Dialektik. Klaus bemerkte im Vorwort von 1958, dass es in der DDR „noch kein befriedigendes Lehrbuch der Logik gibt.“ 1955 war zwar ein Logikbuch vom ungarischen Philosophen Béla Fogarasi (1891-1959) erschienen (Fogarasi 1955). Klaus kritisierte an diesem Buch die Missachtung der formalen Logik gegenüber einer dialektischen Logik. Er nannte es eine „Selbsttäuschung“, wenn Fogarasi zur zweiten Auflage meinte, sein Buch würde das Interesse an Logik in der DDR befriedigen. Klaus setzte dagegen, wegen der fehlenden logischen Literatur in der DDR sei jedes „beliebige Lehrbuch“ „berufen, dieses Vakuum zu füllen.“ Dabei käme „Fogarasis Darstellung einer breiten Strömung der Unterschätzung der modernen Logik und der Neigung zu einer Dialektisierung der formalen Logik entgegen.“ (Klaus 1958, S. V f.) Klaus hatte berechtigt die formale Logik verteidigt, ohne die wir nicht miteinander kommunizieren könnten. Doch das Problem, im Buch behandelt, der logisch einwandfreien Formulierung dialektischer Widersprüche blieb.

Das Verhältnis von Logik und Dialektik wird immer mal wieder diskutiert. In einer brieflichen Debatte mit Werner Loh von der Zeitschrift „Erwägen, Wissen, Ethik“, die an der Universität in Paderborn herausgegeben wird, ging es im Zusammenhang mit meinem dort veröffentlichten Hauptartikel „Dialektik als Heuristik“, den abgedruckten Kritiken und meiner Replik (EWE 2006) um dialektisches Denken. Im Brief vom 31.03.2006 schrieb ich an ihn: „Ich stimme Ihnen zu, dass dialektisches Denken erst am Anfang steht. Die Fragen nach der dialektischen Logik sind m. E. berechtigt. Immer mal wieder gibt es Auffassungen, die die dialektische Logik der formalen und mathematischen Logik entgegen stellen. Ich halte es für wichtig, die Dialektik in die Logik einzubringen, so wie Sie es versuchen, ohne die logischen Regeln zu verletzen. Insofern steht auch die Synthese von mathematischer und dialektischer Logik aus. Vielleicht will sie keiner, weil ihre Verbindung nicht einfach ist. Auch das Zögern, entsprechende Beiträge zu publizieren, deutet das Problem an.“

Meine Überlegungen zum Verhältnis von logischem und dialektischem Widerspruch, seit 1959 in Publikationen begründet, fand im vorliegenden Buch eine umfassende Darstellung im Zusammenhang mit der Quantenmechanik. Sie knüpft bei der logisch widerspruchsfreien Formulierung dialektischer Widersprüche daran, dass wir die erkannten Strukturen und Prozesse gedanklich verarbeiten und sprachlich ausdrücken. Wir strukturieren dabei Prozesse in ihren gegensätzlichen Komponenten, was widerspruchsfrei zu erfassen ist, wenn wir den Gedanken von Aristoteles berücksichtigen, dass es nicht sein dürfe, dass das Gleiche dem Gleichen gleichzeitig und in derselben Beziehung zugesprochen werde. Prozesse sind keine feststehenden Strukturen, also nicht gleichzeitig. Sie sind logisch widerspruchsfrei nicht in verschiedenen Beziehungen zu erfassen. Dialektik will diese Beziehungen zu verschiedenen Zeiten jedoch logisch widerspruchsfrei formulieren. Das ist möglich, indem man in logisch widerspruchsfreie Formulierungen den Zeitfaktor und die Bedingungen eingibt. Dann kommt

es zu Aporien, zu gegensätzlichen Aussagen, deren Synthese zu suchen ist. Auch innerhalb der Logik wäre, wie etwa Loh es fordert, über die Erwägungsfunktion und Alternativen zu diskutieren. Eventuell hängt die Vernachlässigung der Erwägungsdiskontinuität in der Logik mit der Ablehnung der Dialektik zusammen, die mit Kant von manchen als Logik des Scheins gesehen wird, die zu entlarven sei.

*Aktuelles: Hypothesen der Elementarteilchenphysik in philosophischer Sicht*

Es ist keineswegs so, dass die philosophische Deutung quantentheoretischer Erkenntnisse schon abgeschlossen ist. Physikalisch stehen die Verbindung von Quantentheorie und Relativitätstheorie aus. Die Quantenfeldtheorie ist Grundlage für die Modellierung von Gitterstrukturen, um Eigenschaften von Elementarteilchen zu erfassen. Quanteneffekte werden in der Biophysik und in anderen Forschungsbereichen untersucht. Es existiert das Standardmodell der Elementarteilchentheorie. Das Higgs-Teilchen scheint entdeckt zu sein. Das sind physikalische Erklärungen wirklichen Geschehens. Doch auch alte philosophische Interpretationen erscheinen in einem neuen Gewand.

Aus dem EPR-Paradoxon und anderen Paradoxien werden aktuell wieder subjektivistische Konsequenzen gezogen. So geht es in der online-Ausgabe von „Spektrum der Wissenschaft“ vom 18.10.2013 um eine neue Quantentheorie. Sie sei ein neues Modell namens Quanten-Bayesianismus – kurz QBismus –, das Quanten- und Wahrscheinlichkeitstheorie kombiniere, um die Widersprüche zu entschärfen. Einer der Widersprüche bezieht sich auf das EPR-Paradoxon, wenn es heißt: „In der Quantenwelt scheinen sich Teilchen an zwei Orten zugleich aufzuhalten; Information pflanzt sich vermeintlich mit Überlichtgeschwindigkeit fort.“ Die neue Theorie steht jedoch im Gegensatz zu Einstein. Er strebte eine deterministische Theorie mit seiner einheitlichen Feldtheorie an, die das objektive Geschehen unter Leugnung des objektiven Zufalls erfasst. Über die neue Theorie heißt es: „Nach der herkömmlichen Auffassung wird ein Quantenobjekt, etwa ein Elektron, durch die Wellenfunktion repräsentiert – durch einen mathematischen Ausdruck, der die Eigenschaften des Objekts beschreibt. Will man vorhersagen, wie sich das Elektron verhalten wird, so berechnet man, wie sich seine Wellenfunktion zeitlich entwickelt. Das Ergebnis liefert die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das Teilchen eine bestimmte Eigenschaft haben wird – zum Beispiel, dass es an einem Ort sein wird und nicht an einem anderen. Probleme entstehen, sobald Physiker annehmen, die Wellenfunktion sei real. Darum bestreitet der QBismus die objektive Realität der Wellenfunktion. Indem er Quanten- und Wahrscheinlichkeitstheorie kombiniert, deutet der QBismus die Wellenfunktion als reine Gebrauchsanleitung, als mathematisches Werkzeug, mit dessen Hilfe der Beobachter klügere Entscheidungen über die ihn umgebende Quantenwelt trifft.“

Wie schon im vorliegenden Buch gezeigt wird, drückt die Wellenfunktion, die als mathematische Darstellung nicht objektiv-real ist, die Möglichkeit des Verhaltens von Elementarteilchen aus. Wellen sind damit Verhaltensmöglichkeiten, wobei sich aus dem Möglichkeitsfeld durch ein Teilchen eine bestimmte Möglichkeit realisiert, für die vorher eine Realisierungswahrscheinlichkeit existierte. Wir haben es also mit dem dialektischen Verhältnis von Möglichkeit (Wellen) und Wirklichkeit (Teilchen) zu tun, das im Wellen-Korpuskel-Dualismus ausgedrückt wird. Es geht um die theoretische Erfassung objektiver dialektischer Beziehungen und nicht etwa um die subjektive Sichten eines Beobachters, die unabhängig vom wirklichen Geschehen ist. Dieser Eindruck könnte entstehen, wenn es über die neue Quantentheorie heißt: „Nach dieser Deutung existiert die Wellenfunktion nicht objektiv, sondern gibt nur die subjektive Befindlichkeit einer Person wieder.“ (Baeyer 2013) Über den objektiven Gehalt der theoretischen Erfassung von Quantenphänomenen in der Wellen- oder Matrizenmechanik wird physikalisch nichts Neues gesagt, doch eine problematische, nicht neue, philosophische Interpretation angeboten. Das vorliegende Buch liefert entsprechende Argumente gegen diese subjektivistische Deutung.

Es gibt jedoch offene physikalische Probleme mit philosophischer Relevanz. Dazu gehören die Hypothesen von der Existenz dunkler Materie und dunkler Energie. Manche der 1964 behandelten dialektischen Beziehungen von Kontinuität und Diskontinuität, von Beobachtung und Wechselwirkung, von Notwendigkeit, Gesetz und Zufall sind nun mit anderem physikalischen Material zu verbinden, um prinzipielle philosophische Aussagen mit dem neuen Wissen zu präzisieren. Eventuell ergeben sich daraus philosophische Hypothesen über noch zu lösende Aufgaben und mögliche zukünftige Beiträge der Physik zur Philosophie.

Im Zusammenhang mit einem Bericht im Mai 2013 vor dem Plenum der Leibniz-Sozietät über die Entdeckung des Higgs-Teilchens tauchten Fragen auf, die den Massenursprung und andere aktuelle Hypothesen betrafen. Eine Antwort des Philosophen für den interessierten Laien wurde erbeten, die ich als Kommentar auf die Internet-Seite der Leibniz-Sozietät unter dem Titel „Hypothesen der Elementarteilchenphysik in philosophischer Sicht“\* stellte. Er enthält Hinweise auf aktuelle Probleme bei der philosophischen Deutung neuer Erkenntnisse, die auf der Quantentheorie aufbauen und soll deshalb hier wiedergegeben werden.

Eine Möglichkeit, die mit Massenursprung, dunkler Materie, dunkler Energie und Supersymmetrie verbundenen Hypothesen der Elementarteilchenphysik für den interessierten Laien zu erläutern, sehe ich in der philosophischen Sicht auf sie. Ergebnisse der Forschungen zur Materiestruktur am bisher größten, bezogen auf Energie und Frequenz der Kollisionen von Teilchen, Teilchenbeschleuniger LHC. Sie sind für die Philosophie als Brücke zwischen Wissenschaft und Weltanschauung in verschiedener Hinsicht bedeutsam. Es geht um weltanschauliche Fragen, wie die nach der Struktur und Entwicklung kosmischer Prozesse, um philosophische Interpretationen dessen, was die Elementarteilchenphysik uns lehrt und um erkenntnistheoretisch-methodologische Probleme, wie die Rolle physikalischer Hypothesen im physikalischen Erkenntnisprozess. Die Beziehungen von Physik und Philosophie waren so schon Bestandteil meines [Briefwechsels mit Werner Heisenberg](#). Die Physik hat mehrere Entwicklungsstadien durchlaufen, doch immer erwiesen sich experimentell bestätigte und theoretisch in sich konsistente Erklärungen mit neuen Erkenntnissen als Grenzfälle, die unter angegebenen Bedingungen weiter gelten. So führt uns jede Suche nach Naturkonstanten, die den Wirkungsbereich von Theorien begrenzen, zu neuen Mechanismen physikalischen Verhaltens. Wir sind gespannt, was der LHC uns noch für verborgene Geheimnisse offenbart, die entweder das bisherige Standardmodell bestätigen, es präzisieren oder seine Grenzen offenbaren.

Der Ausdruck „**dunkle Materie**“ könnte insofern irreführend sein, als er nicht vom philosophischen Materiebegriff unterschieden wird. **Materie** im philosophischen Sinn ist die außerhalb und unabhängig von uns existierende objektive Realität, die wir theoretisch erklären und experimentell analysieren. Elementarteilchenphysik untersucht dazu elementare Materiestrukturen, die stoffliche, auch materielle genannt, und energetische Komponenten haben. Sie deckt Symmetrien und ihre Durchbrechung auf und sucht nach strukturellen Beziehungen oder Dimensionen des Geschehens. **Materiestruktur** umfasst so Materiearten und Materieformen. **Materiearten** in der Elementarteilchenphysik sind vor allem die bisher bekannten, mit dem Standardmodell erfassten Teilchen, doch auch die potenziellen, d. h. theoretisch vorhergesagten Teilchen, wie das Higgs-Boson, um das es in dem Vortrag ging, und eventuell weitere, bisher nicht theoretisch erfasste oder experimentell nachgewiesene Elementar- und Fundamenteilchen. **Materieformen** verweisen auf Struktur-, Bewegungs- und Entwicklungszusammenhänge, also in der Elementarphysik auf Kräfte (starke, schwache und elektromagnetische Wechselwirkung sowie Gravitation). Eventuell gibt es weitere Arten der Wechselwirkung. Eine **einheitliche Theorie** hat den Zusammenhang von Bausteinen (Teilchen) und Kräften (Wechselwirkungen) zu erfassen. Die bisherigen Erkenntnisse zeigen, dass

---

\* <http://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2013/03/Naumann-Weltmaschine.pdf>

beide nicht scharf voneinander zu trennen sind, da kein Teilchen-an-sich, ohne Wechselwirkung mit anderen, existiert. Verschiedene theoretische Ansätze heben den Teilchen- oder Wellenaspekt hervor. Alle versuchen, die grundlegende Dynamik als Einheit von Bausteinen und Kräften zu erfassen. Dabei wird das bisher nicht Erklärbare mit Hinweisen auf etwas verbunden, was erst noch zu suchen und zu finden ist, eben die dunkle Materie und Energie sowie die Supersymmetrie. Wie Faust wollen wir erkennen, was die Welt im Innersten zusammenhält.

**Philosophisch-weltanschaulich** ist es wichtig, dass wir etwas über die unerschöpfliche Wirklichkeit erfahren können, obwohl wir sie nie experimentell vollständig erfassen und nie theoretisch allseitig erklären können. Welträtsel, auch die über die Struktur und Entwicklung des Kosmos und die elementaren Bestandteile allen Geschehens, lösen wir schrittweise, ohne sie voll aufzuklären. Die Neugier treibt uns weiter, auch wenn wir nach dunkler Materie und Energie suchen. Wir leben mit relativen Wahrheiten, die einen Kern absoluter Wahrheit enthalten, da sie unter den Bedingungen weiter gelten, unter denen sie erkannt wurden. Zugleich gilt: Wir irdischen Menschen sind ein Teil des Kosmos. Wir leben und gestalten, möglichst effektiv und human, auf der Grundlage bisheriger Erkenntnisse, unsere natürlichen, soziokulturellen und mental-spirituellen Lebensbedingungen.

Im Buch „Materialistische Dialektik. Aktuelles Denkinstrument zur Zukunftsgestaltung“ (Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2009) habe ich ausgeführt, dass wir verschiedene Weltbegriffe haben. Wenn wir meinen, dass 80% dunkler Materie im Vergleich mit der uns zugänglichen sichtbaren existieren, dann legen wir schon einen engen Weltbegriff zu Grunde. Worauf beziehen sich die 80%? Doch nur auf das, was wir meinen, erkennen zu können. **Erkenntnistheoretisch-methodologisch** geht es dabei um die von uns erkennbare und beeinflussbare Welt, die wir beobachten und mit deren Materiestruktur wir experimentieren. Diese für uns Menschen mit ihren Substanzen und Relationen erfahrbare Welt nenne ich die erste Welt ( $W_1$ ), über die wir theoretisch und praktisch Erkenntnisse gewinnen. Daraus schließen wir mit der philosophisch begründeten Annahme von der Universalität und Ewigkeit der Naturgesetze, die uns Extrapolationen ermöglicht, auf eine zweite Welt ( $W_2$ ), die zwar noch über unseren Erkenntnishorizont hinausgeht, doch auf theoretischen Folgerungen begründet ist. Sie ist die konstruierte philosophisch-theoretische Welt, in der sich theoretische Naturwissenschaftler, Mathematiker und Philosophen bewegen, indem sie von  $W_1$  auf  $W_2$  schließen. So schließen Physiker von der sichtbaren Materie in der ersten Welt auf die dunkle und von der erfassbaren Energie auf dunkle Energie, weil nur so experimentell feststellbare Zusammenhänge in der ersten Welt physikalisch zu erklären sind. Die zweite Welt ist das Forschungsfeld, das wir bearbeiten und von der wir erst noch Erkenntnisfrüchte ernten. Über die dritte Welt ( $W_3$ ), Kosmos, Universum, Natur genannt, wissen wir nur, dass sie philosophisch erschlossene oder spekulativ erdachte Rahmenbedingung für das Geschehen ist, das wir in  $W_1$  und  $W_2$  feststellen. Schließen wir eine wissenschaftlich nicht erfassbare, sondern nur durch Glauben begründete, von einem erdachten Schöpferprinzip geschaffene, Welt aus, dann ist die Frage: Können wir der dritten Welt außer ihrer Existenz weitere Merkmale zusprechen? Denkbar, weil aus der bisherigen Erkenntnis ableitbar, sind die in dialektischen Grundprinzipien festgehaltenen Merkmale der Unerschöpflichkeit, der Strukturiertheit, der Determiniertheit und der ewigen Veränderung und Entwicklung. Es sind unsere Erfahrungen und theoretischen Einsichten, aus denen wir solche philosophischen Aussagen ableiten, die auf die Welt als Ganzes zutreffen sollen, jedoch vor allem unserem Vorhaben nach Welterklärung dienen. Dabei können wir bestimmte Denkmöglichkeiten nicht ausschließen, wie die Existenz anderer vernunftbegabter Wesen, eventuell in den von uns ausgemachten habitablen Zonen. Antiwelten sind möglich. Aus der Mathematik wissen wir, dass der Raum eigentlich eine n-dimensionale Struktur ist, die wir zur Dreidimensionalität vereinfachen, die praktisch nur als Abstraktion in gedachten Raumpunkten mit Länge, Breite und Höhe existiert, doch

nirgends direkt aufweisbar ist. Weitere Strukturen sind aufzufinden. **N-Dimensionalität** ist so eine Forderung nach weiteren wesentlichen Strukturbeziehungen zu forschen, die räumlichen und zeitlichen Charakter haben.

Wir vergleichen stets Prozesse in der unserer Erfahrung zugänglichen ersten Welt ( $W_1$ ) oder in der als denkmöglich konstruierten hypothetischen, weil erst zu erforschenden, zweiten Welt ( $W_2$ ), um invariante Beziehungen oder objektive Gesetze zu entdecken, deren bedingte Universalität wir annehmen, um von  $W_1$  auf  $W_2$  zu extrapolieren und damit Aussagen über  $W_3$  zu gewinnen, deren Struktur wir nur allgemein mit Prinzipien bestimmen können. Wie weit solche Extrapolationen gerechtfertigt sind, ist immer neu an Folgerungen zu testen, soweit sie prüfbar sind. Das gilt auch für die Annahme der dunklen Materie und Energie sowie der Supersymmetrie.

Wenn wir nun aus philosophischer Sicht die Frage nach dem **Ursprung der Masse** stellen, dann geht es um die Wechselwirkung bestimmter Materiearten, die wir selbst erfahren und experimentell als Gravitation nachweisen. Diese kann wiederum als Kraft erfasst werden im Sinne einer Materieform, eventuell mit der Materieart von Teilchen als Gravitonen verbunden. Den konkreten Zusammenhang hat die Physik zu klären. Für das philosophische Verständnis ist es wichtig, dass, wie bisher nachgewiesen und einleuchtend, Materiearten und Materieformen nur theoretisch zu trennen sind. Die physikalische Realität zwingt uns zur Erforschung der Zusammenhänge zwischen ihnen. Der endgültige Nachweis von der Existenz des Higgs-Bosons bestätigt die theoretische Annahme seiner Existenz. Es geht also weniger um einen „**Ursprung**“ im Sinne einer noch zu findenden vorhergehenden Ursache für die Masse, sondern um die theoretische Erklärung und experimentelle Erforschung des Mechanismus der vor sich gehenden Prozesse unterschiedlicher Wirkungen der Masse. Weltanschaulich problematisch würde es, wenn nach einer Ursache der Ursache gesucht und eine übernatürliche Ursache als erste angenommen würde.

Die Suche nach der **dunklen Materie** drückt ebenfalls unser Streben aus, genauer zu erfahren, was in der von uns erfahrbaren Welt vor sich geht und welche Schlüsse auf die Welt als Ganzes daraus zu ziehen sind. Die Annahme von der Existenz dunkler Materie ist ein theoretisches Hilfsmittel, um die Bewegungen der für uns sichtbaren Materie in ihren Gravitations-Wechselwirkungen zu erklären. Es ist der Hinweis darauf, dass wir die Materiestruktur in ihren Materiearten noch weiter zu erforschen haben. Das gilt auch für die Suche nach der **dunklen Energie**. Sie ist eine hypothetische Form der Energie zur Erklärung für die Expansion des uns zugänglichen Weltalls. Hier wäre weiter über offene und geschlossene Modelle des Weltalls, über die Theorie paralleler Universen usw. zu diskutieren, da die Expansion den uns zugänglichen Teil des Alls und ihre Extrapolation auf das All als Ganzes betrifft.

Fragen wir nach dem Zusammenhang zwischen der hypothetischen Materieart (dunkle Materie) und der hypothetischen Materieform (dunkle Energie) und den realen Arten und Formen, dann geht es auch um ihre Beziehungen. Das führt zu der Frage nach dem Verhältnis von Symmetrie und Asymmetrie des elementaren und kosmischen Geschehens. Wir linearisieren die nichtlinearen und symmetrisieren asymmetrische wirkliche Prozesse, um sie besser zu erkennen. Dabei haben wir theoretisch die Durchbrechung von Symmetrien auch in der Physik zu beachten und nicht-lineare stochastische Prozesse in der statistischen Physik zu erfassen. Sind einfache Symmetrien durchbrochen, was experimentell nachweisbar ist, dann können wir umfassendere Symmetrien einführen. Wir kommen dann zur **Supersymmetrie (SUSY)** als hypothetische Symmetrie der Teilchenphysik, die Bosonen (Teilchen mit ganzzahligem Spin) und Fermionen (Teilchen mit halbzahligem Spin) ineinander umwandelt. Teilchen, die sich unter einer SUSY-Transformation ineinander umwandeln, nennt man Superpartner. Es wird nach einheitlichen Theorien gesucht, die derzeit supersymmetrisch sind. Ob Supersymmetrie existiert und Superpartner gefunden werden, wird die weitere experi-

mentelle Untersuchung zeigen. Sollten gravierende Gegenargumente gefunden oder Experimente durchgeführt werden, deren Ergebnisse damit nicht zu erklären sind, werden neue Theorien entwickelt.

Aus meiner Sicht kann man kurz und philosophisch sagen: Dunkle Materie, dunkle Energie, Supersymmetrie und die Suche nach neuen Dimensionen oder strukturellen Beziehungen sind wichtige Gedankenprovokationen. Sie stacheln unsere Neugier an. Indem wir den stofflichen (Materiearten) und energetischen (Materieformen) Prozessen, strukturellen (Dimensionen) und symmetrischen Beziehungen (Supersymmetrie) als Erklärungshypothesen experimentell nachgehen und sie theoretisch in ihrem Erklärungswert ausbauen, kommen wir eventuell wesentliche Schritte bei der Erklärung des Elementarteilchenverhaltens weiter. Welchen praktischen Nutzen solche Erkenntnisse haben, ist dann weiter zu klären. Für unser Weltbild ergeben sich, ohne die Grundaussagen über den Zusammenhang der drei Welten prinzipiell zu verändern, eine Reihe zu präzisierender Erkenntnisse über die Materiestruktur.

#### *Kurzer Schlusssatz*

Zum Schluss kann ich nur noch den Wunsch äußern, interessierte Leser zu finden, die in der Lage sind, auf der Grundlage des Gelesenen, weiterzudenken.

Herbert Hörz im Oktober 2013

#### *Literatur*

Albert Einstein in Berlin (1979), Teil I, Darstellung und Dokumente, bearbeitet von Christa Kirsten und Hans-Jürgen Treder, Berlin, Akademie-Verlag.

Baeyer, Hans Christian von (2013), Eine neue Quantentheorie. Spektrum.de vom 18.10.2013: <http://www.spektrum.de/alias/titelthema-quanten-bayesianismus/eine-neuequantentheorie/1201696> (Zugriff am 25.10.2013)

Wolfgang Beutin, Hermann Klenner, Eckart Spoo (Hrsg.) (2013), Lob des Kommunismus. Alte und neue Weckrufe für eine Gesellschaft der Freien und Gleichen. Hannover: Verlag Ossietzky.

Born, Hedwig, Born, Max (1969), Der Luxus des Gewissens. Erlebnisse und Einsichten im Atomzeitalter, München: Nymphenburger Verlagshandlung GmbH.

Erpenbeck, John, Hörz, Herbert (1977), Philosophie contra Naturwissenschaft? Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften (Reihe: Weltanschauung heute, Bd. 16).

EWE (2006), Erwägen, Wissen, Ethik, Dritte Diskussionseinheit, Jg. 17/2006, Heft 2. Fogarasi, Bela (1955) Logik. Berlin: Aufbau Verlag (2. Auflage 1956).

Hörz, Helga E., Hörz, Herbert (2013) Ist Egoismus unmoralisch? Grundzüge einer neomodernen Ethik. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag.

Hörz, Herbert (1965), Materie und Bewusstsein. Untersuchung philosophischer Kategorien unter besonderer Berücksichtigung der Naturwissenschaften. Lektionen der Parteihochschule „Karl Marx“ beim ZK der SED. Berlin: Dietz-Verlag.

Hörz, Herbert (1974), Marxistische Philosophie und Naturwissenschaften. Berlin: Akademie-Verlag (2. Aufl. 1976; russ: Moskau: Progress, 1982, Parallelausgabe: Köln: Pahl-Rugenstein, 1974).

Hörz, Herbert, Omeljanowski, Michail E. (Hrsg.) (1982), Experiment – Modell – Theorie. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1982; russ. Ausgabe: Eksperiment, Model', Teorija. Moskva: Nauka.

Hörz, Herbert (1988), Der Mensch als biopsychosoziale Einheit – Wesen, Genese und Determinanten. In: E. Geissler, H. Hörz (Hrsg.): Vom Gen zum Verhalten. Berlin: Akademie-Verlag, S. 1-17.

Hörz, Herbert (1994), Physiologie und Kultur in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Briefe an Hermann von Helmholtz. Marburg: Basiliken-Presse.

Herbert Hörz (2002), Geschichte und Philosophie der Naturwissenschaften als Einheit von Logischem und Historischem. Bemerkungen zum wissenschaftlichen Wirken von Harig und Hollitscher. In: Naturwissenschaftliches Weltbild und Gesellschaftstheorie. Werk und Wirken von Gerhard Harig und Walter Hollitscher. Naturwissenschaft im Blickpunkt von Philosophie, Geschichte und Politik. Kolloquium am 31. Mai 2002 in Leipzig. Rosa-Luxemburg-Stiftung Sachsen, Texte zur Philosophie. Heft 14, Hrsg. Volker Caysa, Helmut Seidel, Dieter Wittich, S. 107-132.

Hörz, Herbert (2005), Lebenswenden. Vom Werden und Wirken eines Philosophen vor, in und nach der DDR. Berlin: trafo Verlag.

Hörz, Herbert (2006), Albert Einstein im Spannungsfeld zwischen Physik und Philosophie, in: Micromaterials and Nanomaterials, A Tribute to Albert Einstein, 5 (2006), S. 6-19.

Hörz, Herbert (2009), Materialistische Dialektik als Denkinstrument zur Zukunftsgestaltung. Berlin: trafo Verlag.

Klaus, Georg (1958), Einführung in die formale Logik, Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften (2. Auflage 1959).

Schopenhauer, Arthur (1979), Die Welt als Wille und Vorstellung. Sämtliche Werke, Band I. Leipzig: Insel-Verlag.

## Einleitung

Die Diskussion philosophischer Probleme der modernen Naturwissenschaft in unserer Republik wird immer umfassender. Es festigt sich das Bündnis zwischen Naturwissenschaftlern und marxistischen Philosophen. Das auferlegt den Philosophen die Pflicht, die Klärung des Verhältnisses von Naturwissenschaft und dialektischem Materialismus voranzutreiben. Durch die Klassiker des Marxismus-Leninismus wurden dazu bereits wichtige, prinzipielle Feststellungen getroffen, die auch heute noch volle Gültigkeit besitzen. Auf der Grundlage dieser grundsätzlichen Beantwortung der Frage nach dem Verhältnis von dialektischem Materialismus und Naturwissenschaft gilt es heute viele Feststellungen zu präzisieren, die Kategorien und Gesetze des dialektischen Materialismus durch die Verarbeitung des umfangreichen naturwissenschaftlichen Materials zu bereichern und die Fragen zu beantworten, die die Naturwissenschaftler an die Philosophen stellen.

Die Physik hat sich seit Beginn unseres Jahrhunderts in geradezu erregendem Tempo entwickelt. Erklärte man Max Planck noch bei der Aufnahme seines Studiums, die Entwicklung der Physik sei im wesentlichen abgeschlossen, so wurde gerade er einer der Bahnbrecher der modernen Physik. Von der Entdeckung der Quanten über die Untersuchung der Bestandteile des Atomkerns bis zur Erforschung kurzlebiger Elementarteilchen, wie des Omega-Mesons mit einer Lebensdauer von  $10^{-22}$  s, entwickelte sich die Physik. Gab es hinsichtlich der Untersuchung der Elementarobjekte<sup>1</sup> in den zwanziger Jahren mit der Formulierung der Quantenmechanik zunächst einen relativen Abschluß, so zeigte die folgende Zeit, daß es keinen Stillstand gibt. Heute geht es um die Erforschung der inneren Struktur der Elementarteilchen, die mit großem technischem Aufwand betrieben wird. In Dubna, Genf, Berkeley, Brookhaven und an anderen Orten stehen große Elementarteilchenbeschleuniger, die den Elementarteilchen und Ionen eine Energie von Millionen und Milliarden eVolt erteilen: Die dadurch gewonnenen experimentellen Ergebnisse bilden wichtige Grundlagen zur Überprüfung der Hypothesen über die Struktur der Elementarteilchen. Mit dieser grandiosen experimentellen und theoretischen Entwicklung der Physik war eine umfangreiche Diskussion philosophischer Probleme der modernen Naturwissenschaft verbunden. Aus der Physik wurden philosophische Schlußfolgerungen gezogen, die weit über den Rahmen der Physik selbst hinausreichten. Der Kampf zwischen Materialismus und Idealismus verband sich mit der philosophischen Interpretation der physikalischen Ergebnisse. Thesen von der Akausalität der Mikrophysik und der Willensfreiheit des Elektrons, von ursachelosen Quantensprüngen und widersprüchlichen Eigenschaften der Elementarobjekte brachten eine scharfe Polemik der dialektischen Materialisten gegen die Vertreter idealistischer Philosophien hervor. In diesem entschiedenen Kampf ging manchmal das berechtigte Anliegen vieler Naturwissenschaftler nach einer positiven Antwort auf ihre philosophischen Fragen verloren. Das stellt die marxistischen Philosophen vor die Aufgabe, ihren Standpunkt zum Verhältnis von Philosophie und Naturwissenschaft zu überprüfen und die Aufgaben der Philosophie gegenüber der Naturwissenschaft und den Naturwissenschaftlern zu bestimmen. Das Ziel des Bündnisses zwischen marxistischen Philosophen und Naturwissenschaftlern ist es, sowohl eine wirksame Hilfe für die Arbeit des Naturwissenschaftlers zu geben als auch zur Entwicklung der marxistischen Philosophie beizutragen.

In der Entwicklung der Wissenschaft gab es unter den Naturwissenschaftlern zeitweilig Tendenzen einer Ablehnung der Philosophie. Hermann von Helmholtz schreibt über die Zeit Hegels: „Die Naturforscher wurden von den Philosophen der Borniertheit geziehen; diese von

---

<sup>1</sup> Unter Elementarobjekten verstehen wir sowohl Strahlung als auch Teilchen. Der Nachweis von Wellen- und Korpuskeleigenschaften bei allen mikrophysikalischen Erscheinungen läßt es nicht zu, die Wellen- bzw. die Korpuskeleigenschaften in der Bezeichnung besonders hervorzuheben. Um die Einheit von Wellen- und Korpuskeleigenschaften zu betonen, benutzen wir den Ausdruck Elementarobjekt.

jenen der Sinnlosigkeit. Die Naturforscher fingen nun an ein gewisses Gewicht darauf zu legen, daß ihre Arbeiten ganz frei von philosophischen Einflüssen gehalten seien, und es kam bald dahin, daß viele von ihnen, darunter Männer von hervorragender Bedeutung, alle Philosophie als unnütz, ja sogar als schädliche Träumerei verdammt.<sup>2</sup> Helmholtz teilte diese Meinung nicht. Er unterschied zwischen der Metaphysik und der Philosophie, wobei jene für die Philosophie nach seiner Meinung dieselbe Rolle spielt wie die Astrologie gegenüber der Astronomie. Es ist interessant, daß H. von Helmholtz dabei auf den Zusammenhang von Philosophie und Naturwissenschaft verweist. Er schreibt in einem Brief vom Jahre 1875 an Fick: „Ich glaube, daß der Philosophie nur wieder aufzuhelfen ist, wenn sie sich mit Ernst und Eifer der Untersuchung der Erkenntnisprozesse und der wissenschaftlichen Methoden zuwendet. Da hat sie eine wirkliche und berechtigte Aufgabe. Metaphysische [3] Hypothesen aufbauen ist eitel Spiegelfechtereie ... Die Philosophie ist unverkennbar deshalb ins Stocken geraten, weil sie ... von der kräftigen Entwicklung der Naturwissenschaft noch kein neues Leben in sich aufgenommen hat.“<sup>3</sup>

Das Verdienst von Marx und Engels besteht darin, daß sie der Philosophie nicht nur wieder aufgeholfen haben, sondern eine wissenschaftliche Philosophie begründeten. Sie taten das in der Auseinandersetzung mit der bisherigen Philosophie, indem sie das positive Gedankengut verarbeiteten. Dabei schufen sie die Grundlage für die Entwicklung einer Wissenschaft von der Gesellschaft. Sie deckten die allgemeinsten Gesetze der Natur, der Gesellschaft und des Denkens auf und wiesen die Gültigkeit der allgemeinsten Gesetze in der Natur nach.<sup>4</sup> Damit war das Gerüst der Wissenschaft von den allgemeinsten Gesetzen geschaffen. Lenin verteidigte die Grundprinzipien der marxistischen Philosophie und entwickelte die Philosophie in solchen entscheidenden Fragen der Erkenntnistheorie, wie dem Materiebegriff, der Theorie der Wahrheit, der Theorie des Erkenntnisprozesses weiter.<sup>5</sup> Auch dabei spielten die Ergebnisse der Naturwissenschaft eine große Rolle.

Trotz dieser positiven Entwicklung der Philosophie finden wir auch heute noch Tendenzen zur Ablehnung der Philosophie bei bürgerlichen Naturwissenschaftlern. Das ist mit der Tatsache verbunden, daß fast alle führenden Physiker philosophische Aussagen machen. Weizsäcker findet die Erklärung darin, „daß es eine Philosophie, die dieses adäquate Verständnis (der Physik durch die Philosophie – H. H.) liefern könnte, bis heute noch nicht gibt“<sup>6</sup>.

Dieser Auffassung widersprechen die Äußerungen solcher bedeutenden Physiker wie des sowjetischen Wissenschaftlers S. I. Wawilow, der die Forderung aufstellte, daß die moderne Naturwissenschaft auf den Positionen der modernen wissenschaftlichen Philosophie stehen muß. Diese moderne wissenschaftliche Philosophie sieht er im dialektischen Materialismus. Er hielt die Anwendung der dialektisch-materialistischen Methode bei der physikalischen Forschung für notwendig.<sup>7</sup> Physiker, wie Fock, Terlezki, Blochinzew, Iwanenko, Schpolski u. a., heben die Bedeutung des dialektischen Materialismus als wissenschaftlicher Grundlage für die Deutung der Ergebnisse der modernen Physik hervor.

Der Forderung vieler Physiker in den kapitalistischen Ländern nach [4] philosophischer Analyse steht ihre Unkenntnis der Grundprinzipien des dialektischen Materialismus entgegen. Diese Unkenntnis hat nicht nur erkenntnistheoretische, sondern auch soziale Wurzeln. C. F. v. Weizsäcker wendet sich mit Recht gegen die Ablehnung der Philosophie durch einige Phy-

<sup>2</sup> H. v. Helmholtz, Natur und Naturwissenschaft, Bücher der Bildung, Bd. 11, München o. J., S. 113.

<sup>3</sup> L. Königsberger, Hermann von Helmholtz, Bd. I, Braunschweig 1902, S. 243.

<sup>4</sup> Vgl. F. Engels, Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft; F. Engels, Dialektik der Natur, in: Marx/Engels, Werke, Band 20, Berlin 1962.

<sup>5</sup> Vgl. W. I. Lenin, Materialismus und Empirio-kritizismus, in: W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, Berlin 1962.

<sup>6</sup> F. v. Weizsäcker, Zum Weltbild der Physik, Stuttgart 1958, S. 201.

<sup>7</sup> I. W. Kusnezow in: Вопросы философии 7/61, стр. 73 сл.

siker. Er schreibt: Der Physiker „merkt dabei aber nicht, daß jedes Wort, mit dem er sich und anderen zu erklären sucht, was er eigentlich tut und was er meint, wenn er solche Begriffe wie Wahrheit, Wirklichkeit, Natur, Phänomen usw. gebraucht, bereits ein Stück Philosophie ist, und daß er mit seiner Ablehnung des Fachphilosophen nicht die Philosophie losgeworden, sondern selbst ein philosophischer Dilettant geworden ist. Unbewußte Philosophie ist aber im allgemeinen schlechter als bewußte, und so kehren gerade die tiefsten Denker in der modernen Physik unweigerlich zum eigenen Philosophieren zurück. Ihr philosophischer Dilettantismus führt sie dann aber oft dazu, den neuen Wein in alte Schläuche zu gießen und ihre Erkenntnisse in Begriffen auszudrücken, die gerade durch diese Erkenntnisse überholt sind.“<sup>8</sup>

Das Anliegen des Physikers ist die philosophische Begriffsanalyse, die wissenschaftliche philosophische Deutung seiner Ergebnisse und die Ausarbeitung einer allgemeinen Methodologie. Die Lösung dieser Aufgaben durch den Philosophen bringt notwendig eine Entwicklung der marxistischen Philosophie mit sich. Dabei gilt es mit Praktiken des philosophischen Arbeitens zu brechen, die das Bündnis zwischen Naturwissenschaftlern und Philosophen hemmen. Dazu gehört die Verkündung bereits bekannter Leitsätze und Prinzipien ohne Anwendung auf das vorhandene einzelwissenschaftliche Material, die Dogmatisierung des eigenen Standpunkts als des einzig richtigen und die Mißachtung der Rolle des dialektischen Materialismus als Methode. Die Anwendung der Philosophie auf die naturwissenschaftlichen Ergebnisse bringt viele ungeklärte Probleme mit sich, um die es sich zu streiten lohnt. Voraussetzung für die Entwicklung der Wissenschaft ist der offene und sachliche Meinungsstreit um diese Probleme. Die vorliegende Arbeit soll ein Beitrag zu dieser Diskussion um die philosophischen Probleme der modernen Physik, speziell der Quantentheorie sein. Sicher sind viele der hier vorgetragenen Auffassungen anfechtbar oder sie werden durch die Entwicklung der Physik und die philosophischen Diskussionen überholt. Deshalb ist der Verfasser für sachliche Einwände und kritische Hinweise dankbar. Es geht um die Weiterentwicklung der marxistischen Philosophie durch den Streit um noch ungeklärte Probleme der modernen Physik.

Berlin, Juni 1963 Herbert Hörz

[5]

---

<sup>8</sup> C. F. v. Weizsäcker, Zum Weltbild der Physik, a. a. O., S. 202.

## Kapitel I Physikalische Grundlagen der Quantentheorie und ihre philosophischen Probleme

### *1. Über die Entwicklung der Quantentheorie*

Wir wählen zum Ausgangspunkt unserer philosophischen Betrachtungen eine relativ abgeschlossene Theorie. Die Quantenmechanik war der Mittelpunkt vieler philosophischer Diskussionen. Dabei wurden Fragen aufgeworfen, deren Beantwortung nicht nur Bedeutung für die Interpretation der Quantenmechanik besitzen. Im Verlauf unserer Betrachtungen werden wir uns auch mit der philosophischen Problematik weiterer Ergebnisse der modernen Physik befassen. Jedoch auch jede moderne physikalische Theorie über die Elementarobjekte stützt sich auf die gesicherten Ergebnisse der Quantenmechanik. Die Quantenmechanik gilt für Energien des Elektrons, die klein gegenüber  $m_0c^2$  sind ( $m_0$  = Ruhmasse;  $m_0 \cdot c^2 = 0,511$  MeV). Über diese Grenze hinaus ist die Berücksichtigung relativistischer Effekte erforderlich. Jedoch auch die relativistische Theorie ist für Mesonen und Nukleonen (Protonen und Neutronen) bis heute nicht einwandfrei durchführbar. Für rein elektromagnetische Phänomene tritt bei richtiger relativistischer Beschreibung eine einschränkende Bedingung für hohe Energien auf ( $E < 10^9$  eV). Bei diesen Energien werden Nukleonen erzeugt und vernichtet, deren Einfluß quantitativ nicht richtig gefaßt werden kann. Quantentheoretische Überlegungen werden auch problematisch, wenn sie in einer Größenordnung von  $10^{-14}$  cm angewandt werden. Dort macht sich bereits die nicht berücksichtigte Struktur der Elementarteilchen bemerkbar. Die Diskussion um diese Probleme verbindet sich mit dem experimentellen und theoretischen Fortschritt einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen. Mit der dabei auftretenden philosophischen Problematik wollen wir uns ebenfalls beschäftigen, weil es im Rahmen der Behandlung solcher philosophischen Probleme wie der Bewegung und des Determinismus unbedingt erforderlich ist, die den Kernpunkt dieser Arbeit bilden.

Die Quantenmechanik wurde ausgehend von der Matrizenmechanik Heisenbergs, die er 1925 aufstellte, und der Wellenmechanik Schrödingers (1926) [6] entwickelt. Beide Theorien sind mathematisch gleichwertig. Dabei gehen die Forschungen über die Struktur des Atoms immer weiter. Der wichtige Grundgedanke der Atomisten des Altertums von der Existenz unteilbarer kleinster Teilchen wurde durch die moderne Physik präzisiert und erweitert. Die Atome sind zwar mit chemischen Mitteln nicht teilbar, aber die Kernphysik wies die innere Struktur des Atoms nach. Das Atom wurde als aus Kern und Elektronen bestehend erkannt. Der Kern selbst besteht aus Protonen und Neutronen.

Nach der Entdeckung der natürlichen Radioaktivität der Elemente durch Becquerel und den Arbeiten des Ehepaares Curie verging eine lange Zeit, bis das experimentelle Material die Aufstellung einer Theorie des Atombaus gestattete. Die Überlegungen und Experimente von Rutherford (Alphastreue), Planck (Wirkungsquantelung) von Laue, Bragg, Moseley (Wellennatur der Röntgenstrahlung) und Balmer (Spektralserien) führten Bohr zu seinem Atommodell, dem die klassische und die Quantenmechanik zugrunde lagen.<sup>9</sup>

Begründet wurde die Quantentheorie im Jahre 1900 durch Max Planck. Er hatte die Hypothese von der Existenz eines Wirkungsquantums eingeführt ( $h = 6,62 \cdot 10^{-27}$  erg · s). Daraus ergab sich, daß die Energie eines harmonischen Oszillators nicht beliebig sein kann, sondern nur das ganzzahlige Vielfache von  $h \cdot \nu$ .

A. Einstein wies die Richtigkeit der Planckschen Hypothese am Beispiel des lichtelektrischen Effektes nach. Er nannte die kleinsten Energieeinheiten des Lichts Lichtquanten. Eine umfassende Theorie des Atombaus lieferte Niels Bohr. Durch die Einführung von Auswahlregeln

---

<sup>9</sup> M. I. Korsunski, Atomkern, Halle 1953.

erklärte er theoretisch die Stabilität der Atome. Nach E. Rutherford bestand das Atom aus dem Kern und den umlaufenden Elektronen. Jedoch mußten die Elektronen nach der klassischen Elektrodynamik beim Umlauf Energie abstrahlen. Das würde nach relativ kurzer Zeit ( $10^{-8}$  s) zur Abstrahlung der Hälfte der Energie des Elektrons führen.<sup>10</sup> Schließlich würde das Elektron dann in den Kern stürzen. Bohr postulierte die Existenz von Energieniveaus, in denen ein System existieren kann, ohne Energie abzugeben. Diese stationären Zustände sind wesentlich für die Erfassung der Bewegung in der Theorie. Sie werden von uns in dem Kapitel über das Bewegungsproblem philosophisch analysiert. Die Differenz der Energien des Systems vor und nach dem Sprung des Systems von einem Niveau in das andere ergibt die Frequenz. Man nannte [7] die Sprünge des Systems von einem stationären Zustand  $p$  den anderen auch Quantensprünge. Bohr nahm zu den beiden Postulaten von den stationären Zuständen und den Quantensprüngen noch ein weiteres Prinzip als Grundlage seiner Theorie das Korrespondenzprinzip. Es fordert, daß für den klassischen Grenzfall die Quantentheorie dieselben Aussagen liefern soll wie die klassische Theorie. Durch viele Versuche wurde die Bohrsche Theorie bestätigt, so z. B. durch die Franck-Hertzschen Stoßversuche (1914). Der Physiker A. Sokolow hebt die Bedeutung, aber auch die Schwächen der Bohrschen Theorie hervor. Er schreibt: „Die alte *Bohrsche* Quantentheorie war zwar ein großer Fortschritt; es gelang ihr, das ungeheuer umfangreiche Material der Atomspektroskopie auf ein theoretisches Fundament zu stellen. Jedoch hatte sie auch große Mängel. Diese Mängel traten schon in den Grundgedanken der Theorie in Erscheinung und machten sich während ihrer weiteren Entwicklung immer stärker bemerkbar. Die alte Quantentheorie erlaubte lediglich, die Frequenz der Spektrallinie zu berechnen, nicht dagegen ihre Intensität. Ferner vermochte die *Bohrsche* Theorie, die offensichtlich halbklassischen Charakter trägt, die mit dem Elektronenspin zusammenhängenden Erscheinungen nicht zu erklären. Daher ist es nicht verwunderlich, wenn diese Theorie nach der Entdeckung der Elektronenwellen durch eine exaktere Theorie, die Wellenmechanik, ersetzt wurde. Doch dank der Einfachheit, mit der sie eine ganze Reihe von Erscheinungen im Atom erklärt, kann die alte *Bohrsche* Quantentheorie auch heute noch als Ausgangspunkt für das Verständnis vieler Quantenprozesse im Atom dienen.“<sup>11</sup>

Die Bohrsche Theorie war bereits ein Bruch mit der klassischen Theorie. Ihre experimentelle Grundlage war der Wellen-Korpuskel-Dualismus der Elementarobjekte, der in seiner Allgemeingültigkeit jedoch erst in der Folgezeit erkannt wurde. Eben der experimentelle Nachweis der Wellen- und Korpuskeleigenschaften an einheitlichen Elementarobjekten führte zur Weiterentwicklung der Quantentheorie. Die Bohr-Sommerfeldsche Theorie konnte zwar das Wasserstoff-, aber nicht das Heliumspektrum erklären. Sie war auch nicht in der Lage, das  $H_2$ -Molekül theoretisch zu erfassen. Durch eine Verbindung von Quantenpostulaten und klassischer Mechanik gelang es Heisenberg, eine einheitliche Form der Quantenmechanik zu schaffen, mit der wir uns noch genauer beschäftigen werden.

Die Quantenmechanik hat zur Voraussetzung ihrer Anwendung, daß während eines Vorgangs Art und Zahl der Teilchen sich nicht verändern. Das mußte notwendig zu einer Erweiterung der Theorie führen. Schon im Jahre 1932 hatte Anderson eine wichtige Entdeckung gemacht. Er hatte in den [8] kosmischen Strahlen ein Teilchen gefunden, das die Masse des Elektrons, aber positive Ladung besitzt. Damit war man den Antiteilchen auf der Spur. Das entdeckte Positron hatte die Eigenschaft, daß beim Zusammenstoß von Positron und Elektron beide verschwinden und Gammastrahlung entsteht. Bis heute hat man eine große Zahl weiterer Teilchen und Antiteilchen entdeckt. Man fand die Mesonen, K-Mesonen, Hyperonen, das Neutrino und Antineutrino, die Antinukleonen usw.<sup>12</sup> Damit trat als Aufgabe der Theorie

<sup>10</sup> G. Heber/G. Weber, Grundlagen der modernen Quantenphysik, Leipzig 1956, Teil I, S. 3 ff.

<sup>11</sup> A. Sokolow, Quantenelektrodynamik, Berlin 1957, S. 288.

<sup>12</sup> M. A. Markow, Hyperonen und K-Mesonen, Berlin 1960; J. W. Nowoschilow, Elementarteilchen, Leipzig 1962.

immer mehr die Suche nach einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen in den Vordergrund. Sie muß den Platz der einzelnen Teilchenarten im System der Elementarobjekte bestimmen und ihre Verwandelbarkeit ineinander berücksichtigen. Ansätze für diese Theorie finden wir bei Heisenberg, Sakata, Iwanenko und vielen anderen Physikern.

Grundlage dieser Theorie ist das experimentelle Material nicht nur über die gefundenen Teilchen, sondern vor allem auch über die innere Struktur der Elementarobjekte. Die Experimente Hofstadters haben die innere Struktur der Elementarobjekte als vorhanden gezeigt. Die Untersuchungen in den Bereichen hoher Energien werden neues Material liefern.

Betrachtet man diese Entwicklung der Physik, so bemerkt man zwei Tendenzen. Einerseits weist diese Entwicklung die Behauptung von der Rückführbarkeit aller materiellen Erscheinungen auf qualitativ identische kleinste Teilchen zurück. Das spielte im Atomismus des Altertums eine große Rolle. Die Welt sollte aus Atomen bestehen, die qualitativ gleichartig waren und deren quantitative Beziehungen die Vielfalt der Erscheinungen ergeben sollten. Mehr oder weniger lag diese Auffassung auch der Behauptung von der Rückführbarkeit aller Erscheinungen auf mechanische Beziehungen zugrunde. Die Entwicklung der Physik zeigte die qualitative Vielfalt physikalischer Objekte.

Andererseits ergab sich jedoch die Vielfalt qualitativer Objekte nicht aus isolierten Erscheinungen. Die qualitativ verschiedenen Objekte sind ineinander umwandelbar. Die theoretische Erfassung eines Elementarteilchens erfordert die Berücksichtigung der Eigenschaften der dieses Teilchen umgebenden Teilchen und Felder. Darin kommt die Tendenz zu einer möglichen einheitlichen Theorie der Elementarobjekte zum Ausdruck. Würde die qualitative Vielfalt der bereits entdeckten Teilchen keine gemeinsamen Züge wie die der Umwandelbarkeit besitzen, so wäre eine einheitliche Theorie nicht möglich. Die Physik zeigt jedoch schon mit dem bisher vorhandenen experi-[9]mentellen Material, daß wir uns der Erkenntnis der Einheit der Welt auch im physikalischen Bereich immer mehr annähern.

Es ist eine Einheit von qualitativ verschiedenen Objekten, deren verschiedene Qualität in den unterschiedlichen Eigenschaften und der großen Zahl der entdeckten Objekte, deren Einheit jedoch in ihrer Verwandelbarkeit zum Ausdruck kommt. Deshalb bemerkt auch Heisenberg zur Entdeckung immer neuer Elementarteilchen: „Diese Ergebnisse scheinen im ersten Augenblick wieder von dem Gedanken an die Einheit der Materie wegzuführen, da die Zahl der fundamentalen Bausteine der Materie scheinbar wieder bis zu Werten zugenommen hat, die vergleichbar sind mit der Zahl der verschiedenen chemischen Elemente. Aber dies wäre keine angemessene Deutung des Sachverhalts. Die Versuche haben ja gleichzeitig gezeigt, daß die Teilchen aus anderen Teilchen entstehen und in andere Teilchen verwandelt werden können, daß sie einfach aus der kinetischen Energie solcher Teilchen gebildet werden und eben wieder dadurch verschwinden können, daß andere Teilchen aus ihnen entstehen. Also in anderen Worten: die Versuche haben die völlige Verwandelbarkeit der Materie gezeigt. Alle Elementarteilchen können in Stößen hinreichend hoher Energie in andere Teilchen umgewandelt oder einfach aus kinetischer Energie erzeugt werden, und sie können sich in Energie, z. B. in Strahlung, verwandeln. Daher haben wir hier tatsächlich den endgültigen Beweis für die Einheitlichkeit der Materie. Alle Elementarteilchen sind aus demselben Stoff gemacht, den wir nun Energie oder universelle Materie nennen können; sie sind nur verschiedene Formen, in denen Materie erscheinen kann.“<sup>13</sup> Dabei unternehmen verschiedene Physikergruppen heute Anstrengungen, diese Tendenz zur Erkenntnis der Einheit der Welt im physikalischen Bereich theoretisch zu nutzen. Es gibt Versuche, die bekannten Elementarteilchen auf elementare Formen zurückzuführen. Markow hält theoretische Ansätze, die ein Fermionenfeld zur Grundlage nehmen, für wichtig und die Durchführung eines solchen Programms für

---

<sup>13</sup> W. Heisenberg, Physik und Philosophie, West-Berlin 1959, S. 131.

möglich.<sup>14</sup> Auch Sakata, ein Schüler Yukawas, entwickelt ein Modell des Aufbaus der Elementarteilchen aus anderen.<sup>15</sup>

Über die Bedeutung dieser Versuche müssen der experimentelle und der theoretische Fortschritt der Physik entscheiden. Auch hier zeigt sich die Richtigkeit der philosophischen These, daß die Erkenntnis in keinem Bereich abgeschlossen ist. Die moderne Physik hat seit der Aufstellung des Quantenpostulats durch Planck eine gewaltige Entwicklung durchgemacht. Sie ging über die Bohrsche Theorie hinaus zur Aufstellung einer quantenmechanischen [10] Theorie, untersuchte in der Quantenelektrodynamik die elektromagnetischen Erscheinungen der Elementarobjekte und steht heute am Vorabend einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen. Dieses Stadium ist zu vergleichen mit der Chemie vor der Entdeckung des Periodensystems der Elemente.

Für die philosophische Analyse auch der modernsten Ergebnisse liefert die philosophische Deutung der Quantenmechanik wichtige Ansatzpunkte. Sie ging bereits über viele klassische Vorstellungen hinaus und erforderte dadurch ein Umdenken. Dieser Übergang vom mechanisch-materialistischen zum dialektisch-materialistischen Denken ist für den Physiker mit dem Übergang vom klassisch-physikalischen zum modernen physikalischen Denken verbunden. Das bedeutet nicht, daß die klassische Mechanik nicht dialektisch-materialistisch zu deuten wäre. Aber wie wir noch sehen werden, gab die klassische Physik durch die Verabsolutierung einiger ihrer philosophischen Voraussetzungen die wissenschaftliche Untermauerung für Thesen des mechanischen Materialismus über Bewegung, Determinismus, Materie usw. Für manche Physiker ist die Überwindung der klassischen Physik deshalb auch mit der Überwindung dieser Verabsolutierungen verbunden. Physiker haben selbst versucht, mit philosophischen Aussagen die theoretische Deutung neuer physikalischer Sachverhalte zu geben. Wawilow, Fock, Blochinzew, auch Bohr, Heisenberg, Born sowie de Broglie, Vigier, Bohm und viele andere Physiker haben mit ihren Beiträgen die philosophische Diskussion bereichert. Es liegt uns die abgeschlossene Theorie der Quantenmechanik vor. Die moderne Quantentheorie arbeitet mit den Begriffen der Wellenmechanik und der Matrizenmechanik. Diese sind gültig im Bereich der Erhaltung der Teilchenzahl und der Art der Teilchen. Die Erweiterung der Theorie für elektrodynamische und relativistische Effekte, für die Veränderung der Teilchenzahl und der Art der Teilchen ist notwendig, baut jedoch ebenfalls auf den Ergebnissen der Quantenmechanik auf. Dabei ist die Quantenelektrodynamik nach Meinung von Achieser-Berestezki keine logisch abgeschlossene Theorie, „d. h. sie kann nicht völlig konsequent durchgeführt werden, ohne daß man zusätzliche Ideen mit bisher halbempirischem Charakter hinzuzieht. Versuche zur Übertragung der quantenelektrodynamischen Methoden auf andere Gebiete brachten bisher keinen ernstlichen Fortschritt. Allein Anschein lassen sich die Schwierigkeiten der jetzigen Theorie nur durch eine neue, womöglich vollständige Umgestaltung der physikalischen Grundbegriffe beseitigen.“<sup>16</sup> Das unterstreicht, wie notwendig die philosophische Analyse der Umwälzung physikalischer Grundbegriffe in der Quan-[11]tentheorie durch die Quantenmechanik ist. Dabei lassen sich bestimmte Aspekte hervorheben, die Bedeutung für eine philosophische Deutung späterer Änderungen physikalischer Grundbegriffe haben.

Einen zentralen Platz nehmen in der Quantenmechanik die 1927 von Heisenberg gefundenen Unbestimmtheitsrelationen ein. Ihre Entdeckung gehört heute bereits zur Geschichte der Quantentheorie. Ihre Aufstellung war von vielen interessanten philosophischen Diskussionen begleitet, deren Verständnis Voraussetzung für die Ausarbeitung der philosophischen Probleme der modernen physikalischen Forschung ist. Die Unbestimmtheitsrelationen sind Be-

<sup>14</sup> Vgl. M. A. Markow, Hyperonen und K-Mesonen, a. a. O., S. 17.

<sup>15</sup> Vgl. Sakata, in: Вопросы философии 6/62, стр. 129 сл.

<sup>16</sup> Vgl. A. I. Achieser/W. B. Berestezki, Quantenelektrodynamik, Leipzig 1962, S. 692 f.

standteil des Physikstudiums an den Hochschulen. Zweifellos sind diese Relationen zwar ein sehr kleiner, aber wichtiger Teil der modernen Physik. Sie „vermitteln den tiefsten Einblick in das Wesen der neuen Theorie“<sup>17</sup>. Es entzündete sich an ihnen von neuem der seit den Planckschen und Einsteinschen Entdeckungen in der Physik vor sich gehende philosophische Meinungsstreit. Um die Grundlage für unsere Diskussion der philosophischen Probleme zu schaffen, beschäftigen wir uns im folgenden Abschnitt mit der Ableitung der Unbestimmtheitsrelationen, mit den experimentellen Grundlagen, mit ihrer statistischen Deutung und den sich ergebenden Philosophischen Fragen, die wir dann im weiteren Fortgang ausführlich behandeln.

## 2. Die Ableitung der Unbestimmtheitsrelationen

Man kann die Unbestimmtheitsrelationen auf mehreren Wegen ableiten. Erstens von der klassischen Wellentheorie und dem Postulat de Broglies über den Zusammenhang von Impuls und Frequenz ausgehend. Zweitens aus den Eigenschaften der Wellenfunktion. Man erhält sie auch aus Urteilen, die sich aus Gedankenexperimenten über die Wechselwirkung der Geräte und Teilchen im Experiment ergeben. Für die formale Ableitung ist jedoch die Beachtung der Wellenfunktion oder das Postulat de Broglies wesentlich.

Die zuletzt erwähnte Form ist die historisch erste. Sie wurde von Bohr und Heisenberg und der gesamten Kopenhagener Schule durchgeführt. Heisenberg stellt fest, daß die Begriffe Ort, Geschwindigkeit und Energie aus einfachen Experimenten der Erfahrung gewonnen sind, in denen das mechanische Verhalten makroskopischer Gebilde durch diese Worte beschrieben wird. Aus dem nur ähnlichen Verhalten der Elektronen schloß Heisenberg; „Da wir aber wissen, daß diese Ähnlichkeit nur in einem beschränkten Gebiet besteht, so muß der Anwendungsbereich der Begriffe des Partikelbilds in [12] entsprechender Weise eingeschränkt werden. Zu dieser Einschränkung gelangt man nach Bohr in der einfachsten Weise, indem man sich daran erinnert, daß alle anschaulichen (d. h. in Raum und Zeit beschreibbaren) Fakta der Atomphysik auch im Wellenbild beschreibbar sein müssen.“<sup>18</sup>

Im Anschluß daran gibt Heisenberg eine Ableitung der Unbestimmtheitsrelationen und erhält als Ergebnis:

$$\overline{\Delta p^2} \cdot \overline{\Delta q^2} \geq \left(\frac{h}{4\pi}\right)^2.$$

Heisenberg trifft anschließend folgende bereits philosophische Feststellung über die Bedeutung der Unbestimmtheitsrelationen: „Die Unbestimmtheitsrelationen beziehen sich auf den Genauigkeitsgrad unserer gegenwärtigen (gleichzeitigen) Kenntnis der verschiedenen quantentheoretischen Größen. Da diese Relationen nicht die Genauigkeit, z. B. einer Ortsmessung allein oder einer Geschwindigkeitsmessung allein beschränken, so äußert sich ihre Wirkung nur darin, daß jedes Experiment, das eine Messung etwa des Ortes ermöglicht, notwendig die Kenntnis der Geschwindigkeit in gewissem Grad stört.“<sup>19</sup>

Umgekehrt stört dann nach Heisenberg die Kenntnis der Geschwindigkeit die genaue Kenntnis des Ortes. Unsere Kenntnis der Bewegung der Elementarobjekte wird demnach durch die Unbestimmtheitsrelationen bestimmt. Heisenberg diskutiert nun an verschiedenen Gedankenexperimenten die Gültigkeit der von ihm aufgestellten Relationen. Greifen wir uns eines heraus, um zugleich den inhaltlichen Gedanken der Unbestimmtheitsrelationen zu verdeutlichen. Wir werden später noch oft auf dieses Experiment – die Ortsmessung mit Hilfe eines Mikroskops – zurückkommen. Das zu messende Elektron erhält einen Rückstoß durch das Licht-

<sup>17</sup> W. Macke, Quanten, Leipzig 1962, S. 50.

<sup>18</sup> W. Heisenberg, Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie, Leipzig 1941, S. 8.

<sup>19</sup> Ebenda, S. 15.

quant, das mit dem Elektron zusammenstößt. Dieses Lichtquant muß mit dem Elektron zusammenstoßen, damit es uns eine Nachricht über dessen Bewegung vermittelt. Ohne diesen Zusammenstoß könnten wir durch unser Mikroskop nichts sehen. Um sehen zu können, brauchen wir Licht. Der Rückstoß des  $\frac{h\nu}{c}$  Elektrons ist nicht genau bekannt, da die Richtung des Quants nicht bekannt ist. Wir können jedoch die Unsicherheit des Rückstoßes  $\Delta p_x$ , d. h. das Intervall, in dem sich der gesuchte Impuls  $p_x$  befindet, angeben  $\frac{h\nu}{c} \sin \varepsilon$ . Nach den Gesetzen der Optik ist die Genauigkeit der Ortsmessung, d. h. das Intervall, in dem [13] sich der gesuchte Ort befinden muß, ebenfalls bekannt  $\Delta x \sim \frac{\lambda}{\sin \varepsilon}$ . Die Kenntnis der Elektronenbewegung nach dem Experiment ergibt nun genau die Unbestimmtheitsrelationen.<sup>20</sup>

Wie wir sehen, spielt auch in diesem Gedankenexperiment die gleichzeitige Benutzung der Wellen- und Korpuskeleigenschaften der Elementarobjekte eine Rolle. Heisenberg spricht jedoch stets vom *Wellenbild* und *Korpuskelbild*, d. h. von der Widerspiegelung der objektiven Eigenschaften in der physikalischen Theorie. Er bleibt teilweise bei der Betrachtung seiner Gedankenexperimente stehen, ohne daraus Schlußfolgerungen auf die objektiv-reale Bewegung der Elementarobjekte zu ziehen. Seine Überlegungen zur Ableitung der Unbestimmtheitsrelationen erwiesen sich jedoch als einwandfrei. Sie führten zu einem experimentell, zumindest im Rahmen der Quantenmechanik, gesicherten Resultat.

Geht man nun von der klassischen Wellentheorie und dem Postulat de Broglies aus, so erhält man folgende Ableitung: Die Ungenauigkeit der Lage des Teilchens auf der x-Achse ist  $\Delta x$ . Das Teilchen befindet sich also zwischen  $x_0 + \Delta x$  und  $x_0$ . Beschreiben wir diese Tatsache mit Hilfe des Wellenbildes als der Abbildung der objektiven Welleneigenschaften, so wird die Ungenauigkeit der Lage dadurch beschrieben, daß die Amplitude der Wellenfunktion nur in einem Bereich von 0 verschieden ist, der annähernd gleich  $\Delta x$  ist. Diese Funktion erhalten wir durch Superposition harmonischer Wellen. Sie ist selbst keine harmonische Welle, sondern ein Wellenpaket. Für dessen Aufbau müssen Wellen mit sich stetig in den Grenzen des bestimmten Intervalls  $\Delta k$  änderndem Wellenfaktor  $k$  addiert werden. Die Beziehung zwischen der Ausdehnung  $\Delta x$  des Pakets und dem Intervall  $\Delta k$  ist durch die Bedingung  $\Delta x \cdot \Delta k \geq 1$  gegeben.

Multiplizieren wir beide Seiten der Ungleichung mit der Planckschen Konstanten  $h$  und wenden das de Brogliesche Postulat  $hk_x = p_x$  an, dann erhalten wir die Unbestimmtheitsrelationen.<sup>21</sup>

Die dritte mögliche Ableitung führt Blochinzew<sup>22</sup> durch. Die Unbestimmtheitsrelation wird von ihm aus den Eigenschaften der Wellenfunktion abgeleitet. Es ergibt sich die für beliebige Wellen gültige Beziehung  $\Delta x \cdot \Delta k = \pi$ . Wird die Wellengruppe nun als eine de Brogliesche Wellengruppe aufgefaßt und die Beziehung mit  $h$  multipliziert, so erhalten wir nach Beachtung der de Broglieschen Gleichung für Impuls und Wellenzahl die Unbestimmtheitsrelationen. Bei den Ableitungen von Schpolski und Blochin-[14]zew wird die objektiv-reale Existenz der Wellen- und Korpuskeleigenschaften vorausgesetzt. Deshalb beziehen sich die formulierten Unbestimmtheitsrelationen auch auf das objektive Geschehen. Heisenberg stellte diesen Schluß in Frage und wandte die Relationen nur auf das Experiment und die mit dem Experiment verbundene Beobachtung an. Aber dort beschreibt sie die Wechselwirkung zwischen zwei existierenden Elementarobjekten. Bezogen auf die Kenntnis der objektiven Bewegung der Elementarobjekte mit Hilfe der klassischen Begriffe von Ort, Impuls, Energie, Zeit usw., besagen die Unbestimmtheitsrelationen, daß das Produkt der mittleren Fehler, mit

<sup>20</sup> Ebenda, S. 15 f.

<sup>21</sup> Vgl. E. W. Schpolski, Atomphysik, Bd. I, Berlin 1960, S. 353 f.

<sup>22</sup> D. I. Blochinzew, Grundlagen der Quantenmechanik, Berlin 1957, S. 43 ff.

denen zwei kanonisch konjugierte mechanische Größen gleichzeitig gemessen werden können, nie kleiner als das Wirkungsquantum sein kann. Mathematisch exakt für den Ort  $q$  und den Impuls  $p$  formuliert, lautet die Relation:

$$\overline{(x - \bar{x})^2} \cdot \overline{(p - \bar{p})^2} \geq \frac{\hbar^2}{4}, \quad \hbar^2 = \left( \frac{h}{2\pi} \right)^2.$$

### 3. Die experimentellen Grundlagen der Relationen

Unsere Absicht kann nicht darin bestehen, die experimentellen Grundlagen für die genannten Relationen vollständig zusammenzustellen. Wir wollen nur auf einige wichtige Seiten verweisen, die für die philosophische Betrachtung wesentlich sind.

Wir hatten gesehen, daß für die Aufstellung der Relationen die Verwendung des Wellen- und Korpuskelbilds zur Beschreibung eines bestimmten Tatbestandes entscheidend war. Die Notwendigkeit der Anwendung beider Bilder führte uns auf die Unbestimmtheitsrelationen. Damit wurde neuen Experimenten Rechnung getragen. Max Planck hatte schon festgestellt, daß die geltenden Strahlungsformeln den experimentellen Tatbestand über die Hohlraumstrahlung unzureichend zum Ausdruck brachten. Seine Untersuchungen nötigten ihn zur Aufstellung einer neuen Strahlungsformel, die sich zur Deutung der Experimente bewährte, aber gleichzeitig eine Umwälzung im physikalischen Denken mit sich brachte. Bis zu Plancks Entdeckung nahm man stetige Energieänderungen an. Im Anschluß an Plancks Annahme von diskreten (unstetigen) Energieänderungen in der Strahlungstheorie, gab Albert Einstein eine Erklärung des lichtelektrischen Effekts. Danach hatte man das Licht als einen Strom von Lichtquanten (Photonen) aufzufassen, wobei das Licht beim Auftreffen auf Metall Elektronen in der Weise auslöst, daß jeweils ein Quant ein Elektron freisetzt. Die Realität der Lichtquanten und damit die Einseitigkeit der Wellentheorie des Lichts zeigten sich in vielen Experimenten. Im Jahre 1923 entdeckte Compton die nach ihm benannte Streuung der Röntgenstrahlen. Sie wies auf die Wechsel-[15]wirkung zwischen Lichtquant und Elektron hin, und ihre Behandlung mit Hilfe von Stoßgesetzen führte tatsächlich zum Erfolg. Während also einerseits die korpuskularen Eigenschaften des Lichts nachgewiesen wurden, wurden andererseits erfolgreich Experimente zur Beugung von Korpuskelstrahlen durchgeführt. Im Jahre 1927 führten Davisson und Germer Beugungsversuche mit Elektronenstrahlen an Kristallen durch und stellten Interferenzerscheinungen fest. In den darauffolgenden Jahren wurden weitere Versuche mit Helium- und Wasserstoffatomen erfolgreich durchgeführt.<sup>23</sup> Damit bestätigte sich de Broglies Theorie eines durchgängigen Dualismus von Wellen- und Korpuskeleigenschaften in der objektiven Realität.

Diese Experimente erschütterten die klassische Auffassung von den Arten der Materie. Man hatte angenommen, daß das Licht (Strahlung) Welleneigenschaften, die Körper und Teilchen hingegen Korpuskeleigenschaften besitzen. Für jedes Experiment mit einer dieser Materiearten, also Welle oder Korpuskel, Strahlung oder Stoff hatte man eine Theorie zur Deutung der Ergebnisse der Bewegung dieser physikalischen Objekte. Einerseits benutzte man die Wellentheorie für das Licht, die mit den Spiegelversuchen Fresnels und anderen Beugungsversuchen eine hervorragende experimentelle Bestätigung fand. Andererseits hatte man die Punktmechanik zur Beschreibung der Ortsveränderung von Körpern. Sie war ebenfalls experimentell, vor allem durch die großartigen Erfolge der Astronomie, aber auch aller anderen Ortsveränderungen von Körpern bestätigt.

Charakteristisch für eine Korpuskel war dabei ihre gradlinige Ausbreitung, ihre Wechselwirkung entsprechend der Stoßgesetze und ihre Lokalisierbarkeit. Mit Hilfe der Punktmechanik

<sup>23</sup> M. v. Laue, Geschichte der Physik, Bonn 1950, S. 144 ff.

konnte bei genauer Angabe von Ort und Impuls einer sich bewegenden Korpuskel der genaue Verlauf der Bewegung mittels Differentialgleichungen ermittelt werden.

Die Welle dagegen war nicht lokalisierbar. Sie breitete sich nach allen Richtungen gleichmäßig aus, beim Zusammentreffen zweier Wellenzüge addierten sie sich zu einer neuen Welle, bei der Beugung traten Interferenzen auf. Die Wellentheorie mit Brechungsgesetzen, Bestimmungen über die Interferenzen usw. gestattete die Bewegung der Wellen theoretisch zu erfassen.

Nach der klassischen Auffassung existierten sowohl objektiv-reale Wellen als auch objektiv-reale Korpuskeln. Dabei war ein materielles Ding oder eine materielle Erscheinung, also jedes physikalische Objekt entweder Welle oder Korpuskel. Die experimentellen Ergebnisse der modernen Physik erwiesen jedoch bei den Korpuskeln Beugungsphänomene und bei den Wellen Lokalisierbarkeit in bezug auf die Wirkung und damit die Anwendbarkeit [16] der Stoßgesetze. So wurde das Problem der Bewegung der Elementarobjekte (physikalische Objekte mit Wellen- und Korpuskeleigenschaften) auf neue Weise gestellt. Gerade die Unbestimmtheitsrelationen zeigten die Grenzen der Anwendbarkeit der klassischen Begriffe auf die neue experimentelle Situation. Damit war die objektiv-reale Existenz von Wellen- und Korpuskeleigenschaften an einheitlichen Objekten durch die Experimente erwiesen. Es ergab sich jedoch die Notwendigkeit einer neuen philosophischen Interpretation der physikalischen Ergebnisse, die von dem bisher unter den Physikern vorherrschenden mechanisch-materialistischen Denken abweichen mußte.

Gab es bisher objektiv-reale Objekte, die entweder Welle oder Korpuskel waren, so existierten jetzt Objekte, denen beide Attribute zukamen. Die Bestimmungen von Welle und Korpuskel widersprechen jedoch einander. Man mußte diesen Widerspruch theoretisch klären, wenn man eine philosophische Deutung der modernen Physik geben wollte. Es gab Versuche, diesen Widerspruch zu beseitigen, indem man die objektiv-reale Existenz der Wellen- und Korpuskeleigenschaften leugnete. Man mußte dazu diese Eigenschaften nur den Experimentiereinrichtungen zuschreiben, die vom Menschen so eingerichtet waren, daß sie stets eine Seite der objektiv-realen Eigenschaften der physikalischen Objekte hervorhoben. Nach dieser Auffassung schafft der Mensch durch seine Experimente erst eine physikalische Wirklichkeit, die in einem Experiment Welle (Beugung am Spalt oder an Kristallen), im anderen Korpuskel (Wirkung, Wilson-Kammer) ist. Damit blieb man beim klassischen Entweder-Oder. Das konnte jedoch keine Lösung der theoretischen Problematik, sondern nur eine Kapitulation vor ihr sein. Schlossen sich zu Beginn der Diskussion um den Wellen-Korpuskel-Dualismus viele Physiker dieser positivistischen Argumentation an, so mußte der Fortschritt der Physik selbst die Unhaltbarkeit dieses idealistischen Standpunkts zeigen und damit die Physiker erneut vor diese Problematik stellen. Das trat auch ein. Heute versuchen die ehemaligen Anhänger positivistischer Thesen in der Kopenhagener Schule ihre spontan antipositivistische Haltung theoretisch zu begründen. Sie benutzen dazu den Begriff des Faktischen. Über seine Bedeutung soll noch gesprochen werden. Hier kam es uns darauf an zu zeigen, daß die experimentellen Grundlagen der Unbestimmtheitsrelationen den Wellen-Korpuskel-Dualismus bestätigen, die objektiv-reale Existenz der Wellen- und Korpuskeleigenschaften nachweisen und damit den Physiker vor theoretisch-philosophische Probleme stellen.

Hinzu kam noch der Nachweis der Umwandelbarkeit von Stoff in Strahlung, d. h., aus der Wechselwirkung eines genügend energiereichen Quants mit einem Atomkern entstand ein Elektron-Positron-Paar. Damit wurde die [17] Relativität der Entgegensetzung von Stoff und Strahlung noch mehr betont. Für denjenigen nun, der Stoff mit Materie identifiziert hatte, ergab sich ein scheinbares Verschwinden der Materie. Der dialektisch-materialistische Materiebegriff spiegelt jedoch auch diese neue experimentelle Situation richtig wider, indem er den Materialisten nur an die Anerkennung einer außerhalb und unabhängig von unserem Be-

wußtsein existierenden Wirklichkeit bindet. Sowohl Strahlung als auch Stoff existieren außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein und fallen deshalb unter den Materiebegriff.

Neben dieser grundsätzlichen Problematik der objektiv-realen Existenz der Wellen- und Korpuskeleigenschaften und ihrer logisch widerspruchsfreien Deutung ergab sich eine davon abgeleitete Fragestellung. Wenn die Teilchenstrahlung zu Interferenzen bei der Beugung am Spalt führt, so mußte hinter dem Spalt auf einem Lichtschirm eine bestimmte Intensitätsverteilung entstehen.

Bei einem solchen Experiment zeigen alle Strahlen von Elementarobjekten ihre objektiven Wellen- und Korpuskeleigenschaften. Bringen wir hinter dem Spalt Zählrohre an, so schlägt immer ein bestimmtes Zählrohr an. Es kommt also immer eine Korpuskel an. Die Verteilung der Korpuskeln entspricht jedoch der Intensitätsverteilung nach der Wellentheorie. Klassische Theorien existierten nur entweder für die Intensitätsverteilung (Wellentheorie) oder den genauen Ort des Eintreffens einer Korpuskel (Punktmechanik). Diesen genauen Ort konnte die theoretische Physik nicht bestimmen. Sie machte nur Aussagen über die Verteilung der Teilchen nach dem Durchgang durch den Spalt. Das Problem wurde noch durch die Beugung eines Strahls am Doppelspalt kompliziert. Hat man zwei Spalten A und B und läßt einen Strahl durch diese Spalten gehen, wobei man einmal A öffnet und B schließt und dann B öffnet und A schließt, so erhält man zwei bestimmte Beugungsbilder. Sie stimmen jedoch nicht mit dem Ergebnis überein, das man erhält, wenn man A und B gleichzeitig öffnet. Das ermöglichte folgende Interpretation:

Die Ursache für dieses Verhalten kann im Zusammenhang zwischen den verschiedenen Teilchen des Strahls untereinander oder der Teilchen mit ihrer Umgebung bestehen, der die Beugungsbilder beim Durchgang durch den Spalt und den Doppelspalt erklärt. Es war aber auch möglich, neben den Gesetzen der Verteilung eine innere Strukturiertheit der Einzelobjekte anzunehmen, deren Untersuchung die Begründung für das Verhalten der Elementarobjekte liefern mochte. Das Experiment mit dem Doppelspalt führt zu einer solchen Verteilung, die nicht mit der Korpuskelvorstellung der Teilchen übereinstimmt, die sich entlang zwar unbekannter, aber vorhandener Flugbahnen bewegen würden, um dann auf einem bestimmten Ort aufzu-[18]treffen. Das Verteilungsbild am Doppelspalt wird durch beide Spalten bestimmt.<sup>24</sup>

Während wir bisher von einem Beugungsbild sprachen, das entstand, wenn ein Strahl durch den Spalt ging, also gleichzeitig viele Teilchen sich hindurchbewegten, zeigt ein Experiment von Bibermann, Suschkin und Fabrikant, daß ein Beugungsbild auch entsteht, wenn Elektronen einzeln hindurchgehen. Man braucht nur eine genügend lange Dauer des Experiments.<sup>25</sup>

Damit ergab sich die Eigenart der physikalischen Objekte in den verschiedenen Experimenten. Die Elementarobjekte waren keine Wellen im klassischen Sinn, aber auch keine klassischen Korpuskeln. Diese klassischen Vorstellungen reichten für eine bestimmte experimentelle Situation zur theoretischen Deutung aus. Sie versagten jedoch in der modernen Physik. Die quantenmechanischen Objekte waren keine Summe klassischer Teilchen, sondern Träger objektiver Wellen- und Korpuskeleigenschaften. Obwohl einzelne Objekte, bewegten sie sich nicht auf einer klassischen Flugbahn. Die Aufgabe der Wissenschaft bestand in der Aufstellung der Gesetze für das Verhalten dieser Objekte, was sie in der Quantenmechanik tat. Aber nicht nur die Bewegungsgesetze sondern die innere Struktur der Objekte erweckten das wissenschaftliche Interesse. Erst die Aufdeckung der Struktur und des Zusammenhangs der Objekte miteinander, die in der Umwandelbarkeit ineinander zum Ausdruck kommt, ermöglicht eine umfassende und einheitliche Theorie der Elementarobjekte. Allerdings erklärt die Quan-

<sup>24</sup> E. W. Schpol斯基, Atomphysik, a. a. O., S. 36.

<sup>25</sup> Ebenda, S. 356.

tenmechanik theoretisch die Bewegung der Elementarobjekte bei Energieverhältnissen, die gegenüber  $mc^2$  klein sind. Die Untersuchungen bei hohen Energien erforderten jedoch die Erweiterung der Theorie. Hinzu kommt, daß die Experimente über Mesonen und Nukleonen (Vernichtung und Erzeugung) damit über Teilchen und Antiteilchen ständig neue Ergebnisse liefern. Die Existenz schwererer Teilchen als der bisher bekannten Hyperonen ist möglich. Überhaupt wird uns das Eindringen in das Wesen der Elementarobjekte durch hochenergetische Umwandlungen neue Überraschungen bringen, die es theoretisch zu deuten und philosophisch zu verallgemeinern gilt.<sup>26</sup> Selbst das vorliegende Material ist noch nicht völlig in seiner philosophischen Tragweite erfaßt.

#### 4. Die statistische Deutung der Quantenmechanik

Bereits im Jahr 1924 hatten Bohr, Kramers und Slater den Versuch unternommen, den Widerspruch zwischen Wellen und Korpuskeln durch die Ein-[19]führung von Wahrscheinlichkeitswellen zu beseitigen. Die elektromagnetischen Lichtwellen sollten durch ihre Intensität an jedem Punkt die Wahrscheinlichkeit für die Emission oder die Absorption eines Lichtquants von einem Atom an dieser Stelle zeigen. Damit wäre jedoch die objektive Realität der Welleneigenschaften theoretisch negiert worden. Diese Auffassung erwies sich als unrichtig, offenbarte jedoch einen richtigen Kern, den Born aufgriff. Borns Wahrscheinlichkeitswelle war jedoch keine dreidimensionale, objektive Welle, sondern eine Welle im  $n$ -dimensionalen Konfigurationsraum. Er definierte die Größe der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Teilchen an einem bestimmten Ort eintrifft. Der quantenmechanische Zustand  $\psi$  selbst ist nicht meßbar. Für ihn existiert jedoch mit der Schrödingergleichung:

$$-\frac{\hbar}{i} \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + V(\mathbf{r})\psi = H\psi$$

eine Bewegungsgleichung, die exakt die gesetzmäßige Veränderung des quantenmechanischen Zustands ergibt.

Der quantenmechanische Zustand tritt an die Stelle der klassischen Bestimmungen, deren Anwendbarkeit durch die Unbestimmtheitsrelationen eingeschränkt ist.

Im Schrödingerbild (theoretische Erfassung der Bewegung der Elementarobjekte mit Hilfe der Schrödingergleichung) werden die auf  $\psi$  wirkenden Operatoren als zeitunabhängig betrachtet, während der Zustand  $\psi$  zeitabhängig ist. Dadurch unterliegt der sich selbst überlassene Zustand  $\psi$  einer zeitlichen Änderung entsprechend der Schrödingergleichung. Das führt zu einem Zerlaufen des durch die Schrödingergleichung dargestellten Wellenpakets.

Im Heisenbergbild, das dem Schrödingerbild äquivalent ist, sind die Operatoren zeitabhängig, und der Zustand ist konstant. Solange also keine Einwirkung auf den Zustand stattfindet – ausgedrückt durch die Anwendung von Operatoren –, ändert er sich nicht. Bei Anwendung der Operatoren erhalten wir eine sprunghafte Änderung des Zustands.

Niels Bohr formulierte eines der Grundpostulate der Theorie des Atombaus: „Ein Atomsystem besitzt eine gewisse Mannigfaltigkeit von Zuständen, die ‚stationären Zustände‘, welchen im allgemeinen eine diskrete Reihe von Energiewerten entspricht, und welche eine eigentümliche Stabilität besitzen, die darin zum Ausdruck kommt, daß jede Änderung der Energie des Atoms in einer Überführung des Atoms von einem stationären Zustand in einen anderen bestehen muß.“<sup>27</sup>

[20] Aus der Schrödingergleichung ergeben sich bei Zeitunabhängigkeit genaue Energiewerte für bestimmte, eben die stationären Zustände. Die allgemeine Lösung der Schrödingerglei-

<sup>26</sup> Vgl. M. A. Markow, Hyperonen und K-Mesonen, Berlin 1960.

<sup>27</sup> N. Bohr, Atomtheorie und Naturbeschreibung, Berlin 1931, S. 20.

chung  $\psi(x, t)$  kann dann als Überlagerung der stationären Zustände mit willkürlichen oder konstanten Amplituden dargestellt werden:

$$\psi(x, t) = \sum_n c_n \psi_n(x) e^{-\frac{iE_n t}{\hbar}}$$

Der Zustand im Heisenbergbild bleibt nun stationär, bis eine Einwirkung eintritt, durch die er sprunghaft geändert wird. Damit wird eine der Grundforderungen der klassischen Theorie durchbrochen. Der Zustand ändert sich nicht stetig, sondern bleibt bis zur äußeren Einwirkung konstant. Der Übergang von einem stationären Zustand zu einem anderen erfolgt in der Theorie Heisenbergs als momentaner Übergang, ohne daß der raum-zeitliche Verlauf dieses Übergangs charakterisiert wird. Entscheidend ist nicht der Übergang selbst, sondern sein Resultat.

Wir hatten bereits gesehen, daß die zeitliche Änderung des Quantenzustandes nach der Schrödingergleichung zum Zerfließen des Wellenpakets führt. Damit wird der relativen Konstanz dieses Zustandes keine Rechnung getragen.

Das führte zu einer Umdeutung des Quantenzustandes durch Max Born. Die  $\psi$ -Funktion sollte keine wirkliche Verteilung im Raum darstellen, sondern die Wahrscheinlichkeit angeben, mit der sich ein Elektron auf diese oder auf andere Weise verhalten kann.  $\psi\psi^* dr^3$  ist dann die Wahrscheinlichkeit dafür, das Teilchen in dem Volumenelement  $dr^3$  vorzufinden. Wenn wir eine Anzahl Messungen am Zustand  $\psi$  durchführen, dann erhalten wir für den Mittelwert der Meßergebnisse  $a_1, a_2 \dots a_n$ :

Die  $\psi$ -Funktion gibt uns ein repräsentatives Ensemble, zu dem das Elementarobjekt gehört. Damit wird die Schrödingergleichung oder die Heisenbergsche Bewegungsgleichung nicht mehr zur Darstellung einzelner Elementarteilchen, sondern zur Beschreibung der Bewegung von Gesamtheiten benutzt.

Die erwähnten Experimente von Bibermann Suschkin und Fabrikant zeigen jedoch, daß die Welleneigenschaften nicht an das Vorhandensein einer Gesamtheit von Elementarteilchen gebunden sind. Damit gilt die Wellenmechanik auch für den Bewegungsablauf einzelner Teilchen. Das wesentliche Ergebnis der Bornschen statistischen Deutung bleibt jedoch bestehen. Die Bahn des Einzelteilchens kann nicht mit klassischer Genauigkeit vorausgesagt [21] werden. Es ergibt sich eine Wahrscheinlichkeit für das Auftreffen bestimmter Teilchen an einem bestimmten Ort.

Die Frage nach dem *Warum* dieser statistischen Deutung läßt sich nach Sokolow im Rahmen der Quantenmechanik kaum beantworten. Wir werden später sehen, daß diese Deutung philosophisch ihre volle Berechtigung besitzt. Sokolow verweist von der Sicht der Weiterentwicklung der Quantentheorie her auf einen physikalisch wichtigen Tatbestand: „Die Entwicklung der Quantenfeldtheorie hat aber eines jedenfalls klar gemacht: Das Problem der Bewegung eines einzelnen Teilchens kann überhaupt nur als Näherungsproblem gestellt werden. So ist nach der Quantenelektrodynamik jedes Elektron von einer Wolke von Photonen in sogenannten ‚virtuellen‘ Zuständen umgeben; unter besonderen Umständen können sich diese Photonen auch von den Elektronen lösen. Ferner werden in der modernen Quantentheorie alle Wellenfelder gequantelt, also auch die Wellenfunktion des Elektrons. Die gequantelte Wellenfunktion des Elektrons verschwindet aber selbst dann nicht, wenn gar keine Elektronen vorhanden sind. Vielmehr ist das Feld in diesem Fall Träger von Teilchen in ‚virtuellen‘ Zuständen, die in ihrer Gesamtheit das ‚Elektron-Positron-Vacuum‘ bilden.“<sup>28</sup> Damit werden wir auch von der modernen Quantentheorie her auf eine Problematik verwiesen, die bereits bei der philosophischen Deutung der Unbestimmtheitsrelationen in der Quantenmechanik eine Rolle spielt. Die klassische Physik hatte es nicht nur mit objektiv-realen Wellen und Korpus-

<sup>28</sup> A. Sokolow, Quantenelektrodynamik, a. a. O., S. 118.

keln zu tun – sie konnte theoretisch die Wellen- und Korpuskeleigenschaften der physikalischen Objekte auf bestimmte Objekte beschränken –, sondern auch mit theoretisch voneinander isoliert existierenden Körpern. Die moderne Physik zeigt die beschränkte Gültigkeit dieser theoretischen Abstraktion. Die Theorie der Elementarobjekte muß die Wechselwirkung als wesentlich in ihre Betrachtung einbeziehen.

Dabei handelt es sich nicht einfach um die Wechselwirkung klassischer Objekte oder isolierter Quantenobjekte. Die Wechselwirkung muß in viel tieferem Sinne verstanden werden. Die Struktur der Elementarobjekte ist so kompliziert, daß sie eigentlich eine Überlagerung vieler Elementarobjekte darstellt.

Das Elektronen-Neutrino-Feld bestimmt die physikalischen Eigenschaften von Neutron und Proton mit. Auch Protonen und Neutronen tragen zu den Eigenschaften des Elektrons bei. Die komplizierte Struktur der Elementarobjekte, die gegenseitige Durchdringung der verschiedenen Felder weist die Frage nach dem „Baustoff“ dieser komplizierten Struktur auf. Eine mög-[22]liche „Urmaterie“ oder mehrere Arten derselben würden uns den Aufbau einer einheitlichen Theorie der Elementarobjekte erleichtern. Aber soviel ist bereits jetzt klar: Die isolierte Betrachtung klassischer Objekte versagt bei den Wechselwirkungen der Elementarobjekte.

Markow bemerkt: „Die gegenseitige Umwandelbarkeit der Elementarteilchen, die Möglichkeit ihrer Erzeugung und Vernichtung ist im Gegensatz zu dem älteren (z. B. Newtonschen) Atomismus eine völlig neue Seite des modernen Atomismus. Das führt zu einer eigenartigen gegenseitigen Abhängigkeit der Eigenschaften der Elementarteilchen, die in den letzten Jahren immer stärker in Erscheinung tritt.“<sup>29</sup>

Markow macht auf die notwendige Untersuchung der verschiedenen Formen der Wechselwirkung aufmerksam, die uns die Einheit der Welt in der Materialität tiefer begreifen läßt. Diese Einheit ist in der Physik eine Einheit qualitativ verschiedener Objekte, die sich jedoch ineinander umwandeln und sich gegenseitig in ihren Eigenschaften bestimmen.

So wird man zwar die statistische Deutung nicht aufheben können, aber doch mit dem Fortschritt der Physik den inneren Mechanismus des Verhaltens der Elementarobjekte erkennen.

##### *5. Die Diskussion um die statistische Deutung der Quantenmechanik*

Mit der statistischen Deutung der Quantenmechanik wurde die Problematik einer prinzipiellen Beantwortung folgenden Frage aufgeworfen. Kann man die Bewegung der Einzelobjekte gesetzmäßig erfassen? In der Sowjetunion führte die Diskussion um diesen Komplex im wesentlichen zu drei Standpunkten:

1. Nach Fock existiert für das Atomobjekt eine potentielle Möglichkeit, sich je nach den äußeren Umständen als Welle, als Korpuskel oder als Zwischenform zu zeigen. Deshalb darf man die atomaren Objekte bei ihrer Beschreibung nicht von ihrer Wechselwirkung mit den Beobachtungsmitteln trennen. Das Resultat dieser Wechselwirkung ist nicht eindeutig bestimmt. Auf Grund vorhergehender Beobachtungen läßt es sich nicht genau vorhersagen. „Das denkbar genaueste Ergebnis einer Folge von Messungen“ ist nach Fock „nicht der exakte Wert der gemessenen Größe, sondern eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für diese Größe.“<sup>30</sup> Fock betrachtet den Wahrscheinlichkeitsbegriff als die Grundlage für den Begriff des Zustandes eines Atom-[23]objekts. Er sagt zur Beschreibung des quantenmechanischen Zustands: „Der durch die Wellenfunktion beschriebene quantenmechanische Zustand des Objekts ist vollständig objektiv, in dem Sinne, daß er ein vom Beobachter unabhängiges Cha-

<sup>29</sup> M. A. Markow, Hyperonen und K-Mesonen a. a. O., S. 16.

<sup>30</sup> V. Fock, Über die Deutung der Quantenmechanik Max-Planck-Festschrift Berlin 1958, S. 186.

rakteristikum der potentiellen Möglichkeiten verschiedener Resultate der Wechselwirkung des Atomobjekts mit dem Meßinstrument darstellt. (Man beachte, daß der auf diese Weise definierte Begriff ‚Zustand‘ sich auf ein einzelnes Objekt bezieht.) Aber dieser objektive Zustand ist noch nicht reell in dem Sinne, daß für ein Objekt im betreffenden Zustand die genannten potentiellen Möglichkeiten sich noch nicht realisiert haben.“<sup>31</sup>

Damit gehört der Begriff der Wellenfunktion zum potentiell Möglichen. Eben dieses Mögliche wird für das Einzelobjekt exakt beschrieben.

2. Terlezki, der sich im wesentlichen mit den Auffassungen de Broglies, Bohms und Vigiers identifiziert, obwohl er in der konkreten physikalischen Ausarbeitung Unterschiede angibt, kritisiert die Haltung Focks, die er als wesentlich identisch mit der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie betrachtet. Terlezki schreibt zu seiner Auffassung: „Die Quantentheorie kann die Bewegung des einzelnen Mikroobjekts nicht vollständig widerspiegeln, sondern widerspiegelt nur das Verhalten einer Gesamtheit wesensgleicher Mikroobjekte ... Die Kenntnis der Wahrscheinlichkeit des gegebenen Zustands des Mikroobjekts gibt noch keine vollständige Mitteilung über seinen wahren Zustand, und folglich widerspiegelt die quantenmechanische Beschreibung mit Hilfe der Wellenfunktion den Zustand des Objekts nicht vollständig. Der Übergang von der Wahrscheinlichkeitsbeschreibung zur vollständigen Widerspiegelung der Zustände des Mikroobjekts ist bei der existierenden Auslegung des quantenmechanischen Apparats wegen einiger Besonderheiten dieses Apparats, die durch die Unbestimmtheitsrelationen ausgedrückt werden, nicht möglich.“<sup>32</sup>

Terlezki vertritt also im Gegensatz zu Fock die Meinung, daß die Quantenmechanik die Bewegung der Einzelobjekte nicht vollständig beschreibt. Er stellt sich die Aufgabe, durch Verallgemeinerung der existierenden Theorie zu einer vollständigen Beschreibung des objektiven Zustands zu kommen.

3. Blochinzew vertritt die These von der Quantenmechanik als einer Theorie der statistischen Ensembles.<sup>33</sup> Diese Theorie wurde sowohl von Fock als auch von Terlezki auf der Konferenz zu philosophischen Fragen der Naturwissenschaft im Jahre 1959 in Moskau angegriffen. In seinem Schlußwort [24] bemerkte Fock, daß man Blochinzews Frage, ob man im atomaren Bereich die individuelle Erscheinung voraussagen könne oder nicht, eindeutig zu beantworten vermöge. Wenn man die Gültigkeit der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen annimmt, so meint Fock, könne man die individuellen Erscheinungen nicht voraussagen. Er sieht in der Auffassung Blochinzews keinen spezifischen Standpunkt. Wenn sie die Möglichkeit der Voraussagbarkeit der individuellen Erscheinungen im atomaren Bereich annimmt, fällt sie nach Fock mit der Auffassung Terlezkis zusammen.<sup>34</sup>

Blochinzew will mit Hilfe der Ensembles auch eine Beschreibung des Einzelobjekts erreichen. Das wiederum ruft folgende Kritik Terlezkis hervor: „Leider waren die letzten Darstellungen (Blochinzews – H. H.) nicht in allen Punkten konsequent, was den Anhängern der Kopenhagener Interpretation, die gegen die Quantentheorie der Ensembles auftraten, unnötige Argumente gab. D. I. Blochinzew konnte sich bis zum Schluß nicht von der Auffassung trennen, daß die Wellenfunktion vollständig den Zustand des Quantensystems gibt, von dieser Vorstellung, die in der konsequenten statistischen Theorie unannehmbar und in der Kopenhagener Interpretation grundlegend ist. Das gibt Fock und Heisenberg den Anlaß, die ganze Konzeption der Quantenensembles als widerlegt zu betrachten.“<sup>35</sup>

<sup>31</sup> Ebenda, S. 188.

<sup>32</sup> P. Terlezki, Probleme der Entwicklung der Quantentheorie, in: Вопросы философии 5/51, стр. 54 сл.

<sup>33</sup> D. I. Blochinzew, Grundlagen der Quantenmechanik, a. a. O., S. 48 ff.

<sup>34</sup> Philosophische Probleme der modernen Naturwissenschaft, Berlin 1962, S. 503.

<sup>35</sup> Вопросы философии 4/59, стр. 60.

Fock fordert damit von der Ensembletheorie Blochinzevs den Verzicht auf die Forderung nach Beschreibung des individuellen Geschehens in der Quantentheorie. Terlezki will von ihm die Absage an die Auffassung, daß die Wellenfunktion vollständig den Zustand des Quantensystems kennzeichnet. Darin kommt tatsächlich eine gewisse Zwischenstellung Blochinzevs zwischen den extremen Auffassungen Focks (die Wellenfunktion charakterisiert vollständig den Zustand des Quantensystems und das individuelle Geschehen ist nicht vorhersagbar) und Terlezkis (die Wellenfunktion charakterisiert den Quantenzustand nicht vollständig und das individuelle Geschehen ist vorhersagbar) zum Ausdruck. Blochinzew schreibt selbst zu seiner Auffassung:

„Die Teilchen lassen sich nur entweder nach ihren Impulsen oder nach ihren Koordinaten ordnen. Dabei muß beachtet werden, daß die Unbestimmtheitsrelation wie allein schon aus ihrer Ableitung hervorgeht sich auf eine Teilchengesamtheit, nicht aber auf ein einzelnes Teilchen bezieht. In bezug auf das Einzelteilchen können aus dieser Beziehung nur indirekte Schlüsse gezogen werden. Man kann sagen, daß jede Lokalisierung eines Teilchens zu einer Änderung seines Impulses führt. Diese Änderung wird von der Quantenmechanik in statistischer Form vorausgesagt Die Impulsstörung [25] durch die Lokalisierung schließt den Begriff der Bahn für Mikroteilchen aus. Daher läßt sich nicht sagen, daß die Quantenmechanik nur einen gewissen Mittelwert aus solchen Bahnen untersucht.“<sup>36</sup>

Blochinzew bezieht also die Unbestimmtheitsrelationen auf eine Teilchengesamtheit und nicht auf ein einzelnes Teilchen. Die Experimente von Bibermann, Suschkin und Fabrikant weisen jedoch auf die mögliche Anwendung der Unbestimmtheitsrelationen auch auf einzelne Objekte hin.

Alle von den sowjetischen Physikern vertretenen Auffassungen stehen im Einklang mit der dialektisch-materialistischen These von der objektiv-realen Existenz der Elementarobjekte und ihrer Wellen- und Korpuskeleigenschaften. Dabei hält Fock die physikalische Begründung der Quantenmechanik für ausreichend. Blochinzew versucht innerhalb der Grenzen der Quantenmechanik zu einer genaueren Beschreibung der individuellen Erscheinungen zu kommen. Terlezki will mit einer neuen, nichtlinearen Theorie die Ergebnisse der Quantenmechanik erhalten und dabei eine Beschreibung der individuellen Objekte gewinnen. Über die physikalische Fruchtbarkeit dieser Ansätze muß die Physik selbst entscheiden. Zweifellos wird es eine notwendige Weiterentwicklung jeder physikalischen Theorie geben. Die Diskussionen um die Quantenelektrodynamik und eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen werden weitergeführt. Es werden ständig neue Vorschläge zur Ausarbeitung der Theorie der Elementarteilchen gemacht. Daran beteiligen sich Iwanenko, Heisenberg, Sakata und viele andere. Deshalb kann und darf der Philosoph nicht von vornherein berechnete Versuche zur Weiterentwicklung der Theorie abtun. Er muß sich vielmehr die Aufgabe stellen, die vorhandene Theorie philosophisch zu verallgemeinern. Dabei wird es sich erweisen, daß es nicht philosophische Unzulänglichkeiten sind, die eine Weiterentwicklung der Theorie fordern, wenn man von der prinzipiellen erkenntnistheoretischen Feststellung absieht, daß jede Theorie nur eine relative Wahrheit ist und nur bestimmte Seiten der objektiven Realität widerspiegelt. Die physikalische Forschung selbst stellt weitere Fragen, die gelöst werden müssen. Dabei werden Kategorien und Gesetze des dialektischen Materialismus durch die Entdeckungen der modernen Physik präzisiert.

Weiterhin hat der Philosoph die Aufgabe, sich an der Diskussion um die Weiterentwicklung der Physik zu beteiligen. Wenn er dabei die philosophische Verallgemeinerung der bestehenden Theorie richtig löst, kann er auch noch offene Probleme zeigen, die aus philosophischer Sicht Hinweise für die Forschungsrichtung vermitteln.

---

<sup>36</sup> D. I. Blochinzew, Grundlagen der Quantenmechanik, a. a. O., S. 48.

[26] Die Weiterentwicklung der Wissenschaft kann nur erfolgen, wenn ein reger Meinungsaustausch über verschiedene Auffassungen zur gesetzmäßigen Erfassung der physikalischen Wirklichkeit stattfindet. In diesem Sinne kann die philosophische Diskussion naturwissenschaftlicher Theorien keine Einschränkung der Bedeutung dieser Theorien sowie der Leistungen ihrer Schöpfer bedeuten, sie stellt im Gegenteil einen Beitrag zum wissenschaftlichen Meinungsstreit über wichtige Probleme dar.

#### 6. Die philosophische Problematik der physikalischen Grundlagen

Wir möchten hier auf die wesentlichen Fragen verweisen, die sich aus der Betrachtung der physikalischen Grundlagen ergeben. Die moderne Physik zeigt die Problematik der Grundbegriffe der klassischen Physik. Die klassische Punktmechanik hatte das Teilchen als Korpuskel exakt erfaßt. In der Optik, Akustik, Elektrodynamik wurden die Wellen wiedergespiegelt. Die Experimente erwiesen den Dualismus von Welle und Korpuskel an einheitlichen mikrophysikalischen Objekten. Auf dieser Grundlage arbeitete die Physik eine Theorie der Bewegung der Elementarobjekte aus, die philosophische Konsequenzen hat. Wie wir gesehen haben, gibt die moderne Physik vor allem auf Grund der Unbestimmtheitsrelationen neue Antworten auf die Frage nach der Bewegung der Elementarobjekte. Der klassische Zustand war bestimmt durch die Angabe von Ort und Impuls und ermöglichte eine exakte Beschreibung der Bewegung eines einzelnen Körpers. Durch die Unbestimmtheitsrelationen erweist sich die relative Richtigkeit der Erfassung des physikalischen Zustands eines sich bewegenden Objekts mit Hilfe der klassischen Mechanik. Für die Elementarobjekte ist diese Bestimmung unzureichend. Damit wird das Problem einer wissenschaftlichen Bewegungskonzeption überhaupt aufgeworfen. Die mit der klassischen Physik verbundene Bewegungsauffassung erweist sich zur Deutung der Ergebnisse der modernen Physik als unzureichend. Die dialektisch-materialistische Bewegungsauffassung muß der objektiv-realen Existenz des Wellen-Korpuskel-Dualismus Rechnung tragen.

Mit der klassischen Bewegungskonzeption verbindet sich der klassische Determinismus. Wegen der Unhaltbarkeit dieser Bewegungskonzeption in der modernen Physik ergab sich auch für den Physiker der Zusammenbruch seiner Determinismuskonzeption. Es gilt deshalb die Brauchbarkeit der dialektisch-materialistischen Determinismusauffassung zur Deutung der Ergebnisse der modernen Physik nachzuweisen.

Auch der bekannte Physiker Wilhelm Macke bestätigt unseren Gedanken, daß gerade die Unbestimmtheitsrelationen einer der Hauptpunkte in der Entwicklung der Physik sind, die zum Umdenken zwingen. Er stellt fest: [27] „Die Gültigkeit der Unbestimmtheitsrelationen hat für die Beschreibung des Naturgeschehens die verschiedenartigsten Konsequenzen.“<sup>37</sup>

Dabei hebt er besonders die Problematik der Determiniertheit des quantenphysikalischen Geschehens hervor: „Weiter haben die Unbestimmtheitsrelationen zur Folge, daß die Anfangsbedingungen eines physikalischen Problems, die in der Angabe der Orte und Impulse zu einer gegebenen Zeit bestehen, nicht mehr voll determinierbar sind. Damit ist auch die Zukunft eines quantenmechanischen Systems nicht mehr in allen Aussagen voll determiniert. Diese Aussagen über zukünftige Ereignisse können nur in der Angabe von Wahrscheinlichkeiten bestehen. Bemerkenswert ist ferner, daß die Begriffe Teilchen und Welle in der Quantentheorie durchaus sinnvoll bleiben, wenn jeder von ihnen nur in der durch die Unbestimmtheitsrelationen eingeschränkten Form benutzt wird. Das ist für die Verwendung anschaulicher Vorstellungen auf quantenmechanische Begriffe von besonderer Bedeutung.“<sup>38</sup>

<sup>37</sup> W. Macke, Quanten, a. a. O., S. XI.

<sup>38</sup> Ebenda, S. X.

Damit gilt es sowohl die Voraussetzungen für das Auftreten der Wahrscheinlichkeiten philosophisch zu klären, als auch das Verhältnis von dynamischen und statistischen Gesetzen zu untersuchen.

Die Kernprobleme, die hier bereits deutlich werden, sind die philosophische Bewegungs- und Determinismusauffassung. Sie verändern sich mit der Weiterentwicklung der Physik. Deshalb ist es berechtigt, ohne in physikalische Aufgaben eingreifen zu müssen, etwas über die Weiterentwicklung der philosophischen Bewegungs- und Determinismusauffassung in Verbindung mit den Ansätzen zur Weiterentwicklung der physikalischen Theorie auszusagen.

Bei der Behandlung der Bewegungs- und Determinismuskonzeption geht es um die Tragfähigkeit der dialektisch-materialistischen Bewegungs- und Determinismusauffassung für die Ergebnisse der modernen Physik. Es liegen philosophische Probleme vor, die von den Physikern selbst zur Diskussion gestellt wurden. Wichtig ist dabei für uns, welche Präzisierungen und Weiterentwicklungen der philosophischen Thesen die Ergebnisse der Physik verlangen. Es handelt sich also sowohl um die Anwendung der dialektisch-materialistischen Bewegungs- und Determinismuskonzeption auf die moderne Physik, um die Überprüfung der Richtigkeit philosophischer Thesen, als auch um die Präzisierung beider Konzeptionen. Der dabei von uns dargelegte und begründete Standpunkt beruht auf den Grundprinzipien des dialektischen Materialismus, muß jedoch in seiner Anwendung auf das physikalische Material zur Diskussion gestellt werden.

[28] Neben der Deutung der Ergebnisse der modernen Physik, die wir als unsere erste Aufgabe betrachten, ist noch eine weitere Aufgabe zu lösen. Die Physiker selbst beschäftigen sich mit der philosophischen Interpretation physikalischer Experimente und Theorien. Dabei gibt es für den Philosophen viele interessante Gesichtspunkte. Es werden aber Auffassungen vertreten, die der philosophischen Kritik bedürfen. Hier zeigt sich der notwendige Übergang der Physiker und Philosophen vom metaphysischen, mechanisch-materialistischen zum dialektisch-materialistischen Denken. Die Analyse dieses Übergangs ist ein philosophisches Anliegen. Sie soll dem Naturwissenschaftler helfen, sich der philosophisch-methodologischen Hilfsmittel zu bedienen, die bereits ausgearbeitet vorliegen oder noch ausgearbeitet werden müssen. Dabei geht es um eine Reihe allgemeiner philosophischer Probleme, die in der Diskussion der Physiker aufgeworfen wurden. Dazu gehört die Frage nach der objektiven Realität der Elementarobjekte, offensichtlich eine eminent wichtige philosophische Frage, zu der es viele Äußerungen bekannter Physiker, wie Blochinzew, Fock, Born, Bohr, Heisenberg u. a. gibt. Neben der dialektisch-materialistischen Antwort spielten auch die Begriffe des Faktischen bei Heisenberg, der Invarianzen bei Born und der Komplementarität bei Bohr eine Rolle. Mit der Realitätsauffassung dieser Physiker werden wir uns ebenfalls beschäftigen.

Um eine Grundlage für die Klärung dieser Problematik zu bekommen, wollen wir jedoch das eigentliche Anliegen aller Physiker, eine wissenschaftliche philosophische Deutung der neuen Sachverhalte zu geben, in den Vordergrund stellen.

Zur Untersuchung der Stellung zur objektiven Realität in der modernen Physik ist die Klärung des Verhältnisses von Theorie und Methode erforderlich. Es zeigt sich, daß die dialektisch-materialistische Methode bisher viel zu wenig bewußt ausgenutzt wurde. Das ist auch ein Mangel der Philosophen, die den Naturwissenschaftlern nicht genügend methodologische Hilfsmittel gegeben hatten.

Neben dem Problem der objektiven Realität der Elementarobjekte wirft die moderne Physik auch die Frage nach der Rolle und Entwicklung der Begriffe auf. Durch die Unbestimmtheitsrelationen wurde die begrenzte Anwendbarkeit der Begriffe Ort, Impuls, Energie, Zeit gezeigt. Ebenso tauchten Fragen nach dem Widerspiegelungscharakter der Mathematik und

der Rolle allgemeiner Theorien auf. Bei der Diskussion dieser Probleme handelt es sich nicht um die dialektisch-materialistische Deutung einer physikalischen Theorie, sondern es geht dabei bereits um die Auffassungen der Physiker zu diesen Problemen. Objektive Realität der Elementarobjekte oder Widerspiegelungscharakter der Mathematik sind wichtige Probleme, zu denen [29] man verschiedene Auffassungen haben kann. Jeder Physiker anerkennt in seiner Arbeit die objektive Realität der Elementarobjekte. Das ist die Grundlage für unsere Diskussion des Bewegungs- und Determinismusproblems. Dieser spontane Materialismus gibt die Grundlage für neue Entdeckungen. Die Äußerungen der Physiker zur objektiven Realität haben als Hintergrund wirkliche Probleme bei der wissenschaftlichen Durchdringung der objektiv-real existierenden Objekte. Wir werden sehen, daß dabei auch Aussagen gemacht werden; die in ihrer theoretischen Konsequenz dem Materialismus widersprechen.

Wir haben dann einen Widerspruch zwischen der spontan-materialistischen Haltung des Physikers sowie der auf der Grundlage dieser Haltung ausgearbeiteten einzelwissenschaftlichen Theorie und den philosophischen Äußerungen desselben Physikers – beispielsweise zur objektiven Realität der Elementarobjekte oder der Rolle der Mathematik. Die Lösung dieses Widerspruchs erfolgt in der philosophischen Diskussion um die erwähnten Probleme. Diese Diskussion bringt den Übergang vom mechanisch-materialistischen zum dialektisch-materialistischen *Denken* zum Ausdruck. Wir finden ständig Elemente spontanen dialektisch-materialistischen Denkens auch bei solchen Physikern wie Born, Bohr und Heisenberg. Dabei handelt es sich aber nicht um bewußten dialektischen Materialismus, sondern um den erwähnten Übergang, der durch die Entwicklung der Physik erzwungen wird.

Wir erhalten damit aus den physikalischen Grundlagen zwei philosophische Problemgruppen. Erstens ist die philosophische Interpretation der physikalischen Experimente und Theorien notwendig. Dabei werden wir uns mit dem Problem Bewegung und Determinismus befassen. Zweitens gibt es Probleme des philosophischen Denkens der Physiker, die mit der ersten Gruppe verquickt auftreten. Es sind Fragen nach der objektiven Realität, dem Widerspiegelungscharakter der Mathematik und der Rolle der Begriffe und allgemeiner Theorien. Zu diesen Problemen hat die Philosophie im Laufe ihrer Entwicklung Material zusammengetragen, das beim Übergang zum dialektisch-materialistischen Denken ausgenutzt werden sollte.

Die moderne Physik gibt dem Philosophen viel Stoff zum Nachdenken. Sie verlangt von ihm eine kritische Überprüfung der vorliegenden philosophischen Konzeptionen, die Beachtung neuer Problemstellungen und die Präzisierung philosophischer Thesen und Begriffe. Nicht die Tatsachen können philosophischen Prinzipien angepaßt werden, sondern philosophische Aussagen, die den Tatsachen nicht entsprechen, müssen korrigiert werden. In diesem Sinne geht es uns vor allem um einen Meinungsstreit über die hier vorgetragenen Gedanken, deren Ergebnis zu einer Weiterentwicklung der marxistischen Philosophie führen muß. [30]

## Kapitel II

### Das Bewegungsproblem und die Quantentheorie

Die theoretische Erfassung der objektiv-realen Bewegung ist ein altes philosophisches und einzelwissenschaftliches Problem. Seine Erklärung führt von den Versuchen der antiken Philosophen bis zu den modernen physikalischen Theorien und ihrer philosophischen Deutung durch den dialektischen Materialismus.

Zweifellos hat das Bewegungsproblem mehr Aspekte, als die moderne Physik einzelwissenschaftlich untersucht. Wir befinden uns ja bei der Betrachtung der physikalischen Aussagen über die Bewegung nur innerhalb einer grundlegenden Bewegungsform. Deshalb gehört der Aspekt des Zusammenhangs der grundlegenden Bewegungsformen zueinander nicht mehr zu unseren Untersuchungen. Ebenso behandeln wir keine Entwicklungsprozesse, deren dialektisch-materialistische Deutung in der marxistischen Entwicklungstheorie durch die Beantwortung der Fragen nach der Quelle, der Form und der Richtung der Entwicklung gegeben ist. Uns interessieren, entsprechend der Aufgabenstellung der Quantentheorie, die philosophischen Probleme bei der theoretischen Erfassung der Bewegung der Elementarobjekte. Es handelt sich dabei um den Fortschritt der Quantentheorie gegenüber der klassischen Mechanik in der Beschreibung der Bewegung. Dabei sind in erster Linie die Fortschritte der Quantenmechanik gegenüber der klassischen Physik in der theoretischen Erfassung der Bewegung zu untersuchen. Der Fortschritt der Quantentheorie stellt jedoch bereits neue Probleme, deren Lösung zu einer weiteren Vertiefung der Bewegungsauffassung führt. Während die Quantenmechanik eine durch die Praxis bestätigte abgeschlossene Theorie ist, wirft die Entwicklung der Quantenfeldtheorie, der Theorie der Elementarteilchen usw. mit der Untersuchung der Umwandlung der Elementarobjekte ineinander neue Probleme der Bewegungsauffassung auf.

#### *1. Die Bewegungskonzeption der klassischen Physik*

Das Bewegungsproblem ist sehr kompliziert und blieb durch Tausende von Jahren verschleiert. Die Entwicklung der physikalischen Bewegungstheorien vollzog sich als ein Übergang von einfachen zu komplizierteren Fällen. [31] Aristoteles hatte eine direkte Verbindung zwischen der Krafteinwirkung und der Geschwindigkeit eines Körpers gesehen. Wenn die Kraft aufhört zu wirken, hört demnach die Bewegung des Körpers auf.<sup>39</sup> Wir wissen, daß diese Beschreibung der Bewegung unrichtig ist. Sie entspricht wohl den alltäglichen Erfahrungen, die uns für einen rollenden Handwagen lehren, daß wir ständig schieben müssen. Wenn wir mit dem Schieben aufhören, rollt der Handwagen noch kurze Zeit und bleibt dann stehen. Es wirkt hier jedoch die Reibung als ein hemmender Faktor für die ungehinderte Krafteinwirkung.

Einstein und Infeld sehen die Bedeutung von Galileis Arbeit in dem Nachweis, daß man sich auf Schlüsse, die auf unmittelbarer Erfahrung beruhen, nicht immer verlassen kann. Sie schreiben: „Das Mittel der wissenschaftlichen Beweisführung wurde von Galilei erfunden und zum erstenmal gebraucht. Es ist eine der bedeutendsten Errungenschaften; die unsere Geistesgeschichte aufzuweisen hat, und bezeichnet recht eigentlich die Geburtsstunde der Physik.“<sup>40</sup>

Galilei hatte entdeckt, daß bei ideal glatter Oberfläche ein rollender Wagen ständig weiterrollen muß, wenn er einmal angestoßen wurde. Er fand dadurch eine direkte Beziehung zwischen einer einwirkenden Kraft und der Bewegungsänderung eines Körpers (Kraft = Masse mal Beschleunigung). Diese Beziehung führte zur Formulierung des Galileischen Trägheits-

---

<sup>39</sup> Zur Bewegungsauffassung des Aristoteles vgl. B. G. Kusnezow, Die Lehre des Aristoteles von der relativen und der absoluten Bewegung im Lichte der modernen Physik, in: Sowjetische Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaft, Berlin 1960, S. 27 ff.

<sup>40</sup> A. Einstein/L. Infeld, Die Evolution der Physik, Hamburg 1956, S. 12.

gesetzes: Jeder Körper verharrt in seinem Ruhestand oder im Zustand der gleichförmig-geradlinigen Bewegung so lange, bis er durch Kräfte, die dem entgegenwirken, veranlaßt wird, diesen Zustand zu ändern.

Das Wesen dieser wissenschaftlichen Beweisführung sehen Einstein und Infeld in der Benutzung idealisierter Experimente, die uns ermöglichen, „in das Wesen tatsächlich möglicher Experimente tiefer einzudringen“<sup>41</sup>. Galilei untersuchte die gleichförmige Bewegung, indem er von den äußeren einwirkenden Kräften abstrahierte. Er mußte sich dazu solche Idealbedingungen denken, die in Wirklichkeit nicht vorhanden sind. Er entfernte sich also von der Wirklichkeit. Andererseits erfaßte er aber eine Seite der Bewegung genauer. Die Erfolge der durch Galilei begründeten Physik bei der Berechnung der Bewegung der Himmelskörper, der Bewegung in einfachen mechanischen Maschinen usw. boten dafür die Bestätigung. Als wichtige methodische [32] Schlußfolgerung ergibt sich aber hieraus bereits: Man muß in der wissenschaftlichen Arbeit von bestimmten Bedingungen abstrahieren, um den zu untersuchenden Gegenstand nur unter den ausgewählten Zusammenhängen und Beziehungen betrachten zu können. Damit wird der Gegenstand aus seiner wirklichen Umwelt isoliert. Deshalb muß man sich stets bewußt sein, daß die erkannten Gesetze nur unter den untersuchten Bedingungen gelten. Beim Übergang zu neuen Bedingungen muß man die neuen gesetzmäßigen Beziehungen herausarbeiten.

Diese in der wissenschaftlichen Arbeit notwendige Abstraktion von bestimmten Bedingungen liefert uns erst solche Resultate, die wir in der Praxis des Experiments und der Industrie verwenden können. Betrachten wir jedoch, wie das in der Philosophie der Fall ist, den allseitigen Zusammenhang, in dem ein zu untersuchendes Objekt steht, so müssen auch die vernachlässigten Bedingungen in die Untersuchung einbezogen werden. Die philosophische Kritik der klassischen Bewegungsauffassung machte deshalb, wie wir sehen werden, frühzeitig auf die Mängel dieser Bewegungskonzeption aufmerksam. Damit war nichts gegen die volle Berechtigung der klassischen Auffassung und ihre Erfolge unter den betrachteten Bedingungen gesagt. Es wurde dabei lediglich gegen eine Überschätzung der klassischen Bewegungsauffassung als allgemeingültiger philosophischer Theorie Stellung genommen. Wie wir noch darlegen werden, zeigt die moderne Physik die Berechtigung dieser Kritik durch die Klassiker des Marxismus-Leninismus.

Die Aufgabe der klassischen Mechanik bestand im wesentlichen in der theoretischen Erfassung des Bewegungsablaufes relativ isolierter physikalischer Objekte. Die Bewegung wurde mit Hilfe der gleichzeitigen Bestimmung von Ort und Impuls eines Körpers oder Teilchens erfaßt. Unter Impuls verstehen wir dabei die Zeitdauer einer Krafteinwirkung, d. h. das Zeitintegral der Kraft:

$$\int_{t_0}^t \mathfrak{K} dt = \int_{t_0}^t m \frac{d^2 r}{dt^2} dt = m \left( \frac{dr}{dt} \right)_t - m \left( \frac{dr}{dt} \right)_{t_0} = u - u_0.$$

Wegen der in dieser Beziehung ausgedrückten Gleichheit zwischen dem Zeitintegral der Kraft und der gesamten Änderung der Bewegungsgröße, bezeichnet man auch oft das Produkt  $m \frac{dr}{dt}$  statt als Bewegungsgröße als Impuls.

Die Bewegung eines relativ isolierten Körpers konnte in ihrem Verlauf durch die Angabe des Impulses, genauer der Bewegungsgröße und damit wesentlich der Geschwindigkeit, und des Ortes beschrieben werden. Die Angabe des Ortes war für die klassische Mechanik keine wesentliche Schwierig-[33]keit. Sie wurde durch die Angabe der Lage des Schwerpunkts relativ zu einem als ruhend angenommenen Bezugssystem (Koordinatensystem) charakterisiert.

---

<sup>41</sup> Ebenda.

Die Bewegungsgleichungen der klassischen Mechanik, beispielsweise die Hamiltonschen Gleichungen, gaben nun die Möglichkeit, die ‚zeitliche Änderung der Impulse  $p$  und der Koordinaten  $q$  zu bestimmen:

$$\dot{q} = \frac{\partial H}{\partial p}, \quad \dot{p} = -\frac{\partial H}{\partial q}.$$

$H$  war dabei der Hamiltonoperator, der im wesentlichen durch die Angabe von potentieller und kinetischer Energie in dem zu betrachtenden Fall bestimmt war.

Dadurch war nach der einmaligen genauen Angabe von Ort und Impuls (Geschwindigkeit) eines Teilchens die weitere Bewegung des Teilchens genau bestimmt, und ihr weiterer Verlauf konnte außerdem genau vorhergesagt werden.

Untersuchen wir diese Darstellung der Bewegung etwas genauer, so finden wir, daß das Teilchen sich stets an einem bestimmten Ort befinden muß, wenn die Voraussagen der klassischen Mechanik Gültigkeit haben sollen. Die Geschwindigkeit wird ebenfalls durch Messungen des Ortes ermittelt, indem man die Zeit an einem bestimmten Ort feststellt. Für zwei solche Orts- und die entsprechenden Zeitangaben gilt dann die Geschwindigkeit des Teilchens  $\frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$ . Nun bedarf es aber zur Anwendung der Bewegungsgleichungen der Geschwindigkeit an einem bestimmten Ort. Ort und Impuls des Teilchens sollen ja gleichzeitig bestimmt werden. Der Impuls ergibt sich aber aus der Geschwindigkeit multipliziert mit der Masse. Die Bestimmung der Geschwindigkeit an einem Ort erfolgt durch den Grenzübergang von  $t_2$  gegen  $t_1$ . In der klassischen Mechanik führten wir damit automatisch  $x_2$  in  $x_1$  über. Die Geschwindigkeit an einem bestimmten Ort ergibt sich dann als Differentialquotient des Weges nach der Zeit  $v = \frac{ds}{dt}$ . Sollte mit dem Grenzübergang von  $t_2$  nach  $t_1$  nicht automatisch der Übergang von  $x_2$  nach  $x_1$  erfolgen, so wäre die Bewegung mit der Bestimmung von Ort und Impuls eines Teilchens nicht genau bestimmt, denn es ergäbe sich für  $v$  das paradoxe Ergebnis, daß die Geschwindigkeit an einem bestimmten Ort unendlich wäre. Gehen wir nämlich vom Differenzenquotienten  $\frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$  über zum Grenzwert  $t_2$  gegen  $t_1$  und  $x_2$  geht nicht über in  $x_1$ , dann erhalten wir:

$$\lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = (x_2 - x_1) \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{1}{t_2 - t_1} = \infty.$$

[34] Das widerspricht der wirklichen Geschwindigkeit, die endlich ist. Dies& Voraussetzung, daß mit dem Übergang von  $t_2$  zu  $t_1$  auch  $x_2$  zu  $x_1$  übergehe, ist jedoch nur unter bestimmten Bedingungen berechtigt und führt zu einer Vereinfachung der Bewegungskonzeption.

Es handelt sich um folgende Bedingungen:

1. Zu jedem bestimmten Zeitpunkt muß der Körper einen genau definierten Ort besitzen. Wäre das nicht der Fall, d. h. hätte der Körper zu einem bestimmten Zeitpunkt keine bestimmte Lage, so würden wir beim Grenzübergang von  $t_2$  nach  $t_1$  eine unendlich große Geschwindigkeit erhalten:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \infty.$$

2. Der Übergang von  $x_1$  zu  $x_2$  muß stetig (kontinuierlich) sein, da sonst die Grenzwertbildung des Differentialquotienten aus dem Differenzenquotienten nicht erfolgen könnte. Das Ergebnis wäre bei einem genau bestimmten Ort, aber bei unstetigen (diskontinuierlichen) Übergängen eine unbestimmte Geschwindigkeit:

$$\lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{0}{0}.$$

Diese beiden Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn wir dem klassischen Ideal genügen wollen, daß jeder sich bewegende Körper an einem bestimmten Ort eine bestimmte Geschwindigkeit besitzt, die als Differentialquotient des Weges nach der Zeit gegeben ist.

Aber mit dieser Bewegungsauffassung der Mechanik haben wir die Bewegung einseitig erfaßt. Wenn wir nach der ersten Bedingung die Bewegung als das Befinden des Körpers im gegebenen Zeitpunkt an einem bestimmten Ort und in einem anderen Zeitpunkt an einem anderen Ort zu sein, erfassen, so haben wir damit das Ergebnis der Bewegung erfaßt, nicht aber die Bewegung selbst. Wir haben damit auch nicht erfaßt, warum der Körper, der zur Zeit  $t_1$  am Ort  $x_1$  war, zur Zeit  $t_2$  am Ort  $x_2$  ist. Die Bewegung wird damit als Summe von Ruhezuständen dargestellt.

Man könnte nun meinen, daß diese Einseitigkeit durch die zweite Bedingung aufgehoben würde. Betrachten wir dementsprechend die erste Bedingung in Beziehung zur zweiten. Die Kontinuität bringt zwar ein Moment der Bewegung zum Ausdruck, aber um die Bewegung mit den vorhandenen Begriffen erfassen zu können, muß man diese Stetigkeit ja gerade durchbrechen und die Grenzwertbildung durchführen. Ohne die Stetigkeit bei der Erfassung der Bewegung zu durchbrechen, würde man als Ergebnis erhalten, daß sich der Körper zur selben Zeit an einem Ort und nicht an einem Ort [35] befindet. Die beiden Bedingungen wären damit zwei zusammengehörende Seiten der Bewegung. Daraus ergeben sich jedoch bestimmte Konsequenzen für die klassische Bewegungskonzeption. Hängen nämlich beide Bedingungen so eng wie erwähnt zusammen, so schränkt jede Bedingung die andere ein. Heben wir also die Beziehungslosigkeit beider Bedingungen, wie sie in der klassischen Bewegungsauffassung vorhanden ist, auf, so erhalten wir Ergebnisse, die über diese Auffassung der Bewegung hinausgehen.

Nehmen wir z. B. mit der klassischen Physik an, daß ein bewegter Körper zu jedem Zeitpunkt sich an einem bestimmten Ort befindet, so haben wir es eigentlich nicht mit einem bewegten, sondern mit einem in diesem Zeitpunkt (relativ) ruhenden Körper zu tun. Damit wäre die Bewegung des Körpers nur als diskontinuierliches Fortschreiten erfaßt. Die Kontinuität der Bewegung verlangt ja, daß der Körper sich eben nicht nur an einem bestimmten Ort befindet, sondern diesen Ort passiert. Tragen wir jedoch der Stetigkeit Rechnung, indem wir vom Körper annehmen, daß er sich bei seiner Bewegung im selben Zeitpunkt an einem Ort und nicht an einem Ort befindet, so erhalten wir nach der klassischen Mechanik eine unendliche Geschwindigkeit. Bekanntlich liegt ja der klassischen Mechanik die Auffassung zugrunde, daß sich der Körper im Gegensatz zu unserer Annahme stets an einem genau bestimmten Ort befindet. Das Ergebnis besteht also darin, daß in der klassischen Bewegungsauffassung zwar die Kontinuität und die Diskontinuität der Bewegung als Bedingung existieren, aber beide Bedingungen beziehungslos auseinanderfallen. Damit kommen wir zu einer einseitigen Erfassung der Bewegung als Summe von Ruhezuständen, wobei nur das Ergebnis der Bewegung, nicht aber sie selbst erfaßt wird. Versucht man die Beziehung zwischen der Kontinuität und der Diskontinuität dadurch herzustellen; daß man die Bewegung als Einheit beider faßt, so erhalten wir über die klassische Mechanik hinausgehende Ergebnisse, über die noch genauer zu sprechen sein wird.

Die klassische Bewegungsauffassung, die auf der gleichzeitigen Bestimmung von Ort und Impuls (oder Geschwindigkeit) beruht, ist eine beschränkte, einseitige Auffassung der Bewegung. Hebt man die Beziehungslosigkeit der Bedingungen der klassischen Bewegungsauffassung auf, so gerät man in Widersprüche. Engels sagte bereits:

„Solange wir die Dinge als ruhende und leblose, jedes für sich, neben- und nacheinander, betrachten, stoßen wir allerdings auf keine Widersprüche an ihnen. Wir finden da gewisse Eigenschaften, die teils gemeinsam, teils verschieden, ja einander widersprechend, aber in diesem Fall auf verschiedene Dinge verteilt sind und also keinen Widerspruch in sich enthal-

ten. Soweit dies Gebiet der Betrachtung ausreicht, soweit kommen wir auch mit [36] der gewöhnlichen, metaphysischen Denkweise aus. Aber ganz anders, sobald wir die Dinge in ihrer Bewegung, ihrer Veränderung, ihrem Leben, in ihrer wechselseitigen Einwirkung aufeinander betrachten. Da geraten wir sofort in Widersprüche. Die Bewegung selbst ist ein Widerspruch; sogar schon die einfache mechanische Ortsbewegung kann sich nur dadurch vollziehen, daß ein Körper in einem und demselben Zeitmoment an einem Ort und zugleich an einem andern Ort, an einem und demselben Ort und nicht an ihm ist. Und die fortwährende Setzung und gleichzeitige Lösung dieses Widerspruchs ist eben die Bewegung.<sup>42</sup>

Die von Engels erwähnte Betrachtung der Dinge als ruhend war gerade für die klassische Mechanik charakteristisch. Hier wurde eben die Bewegung in Ruhezustände aufgelöst, wodurch die Bewegung durch die gleichzeitige Bestimmung von Ort und Impuls eines Teilchens erfaßt werden konnte. Die beiden einander widersprechenden Seiten der Bewegung, die Kontinuität und die Diskontinuität, wurden auf verschiedene Dinge angewandt. Die Kontinuität ermöglichte die Grenzwertbildung und die Diskontinuität die gleichzeitige Bestimmung von Ort und Geschwindigkeit. Erst wenn man die Beziehungslosigkeit beider Seiten aufhebt, sie miteinander in Beziehung setzt und damit das Wesen der Bewegung betrachtet, gelangt man zu Widersprüchen. Da ist erstens der Widerspruch zwischen Kontinuität und Diskontinuität, der das Wesen der Ortsveränderung ausmacht. Von ihm abgeleitet erhalten wir den Widerspruch, daß eine genaue Ortsangabe eine unbestimmte Geschwindigkeit nach sich zieht und umgekehrt eine genaue Geschwindigkeitsbestimmung eine ungenaue Ortsangabe ergibt. So sind für die dialektische Auffassung der Bewegung als eines Widerspruches Ort und Geschwindigkeit eines sich bewegenden Körpers miteinander verbunden und können deshalb auch nicht unabhängig voneinander bestimmt werden, wie es die klassische Physik verlangte. Dabei existiert dieser Widerspruch zwischen Kontinuität und Diskontinuität außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein. Er ergibt sich aus der Bewegung der objektiv-realen Körper. Wir können ihn nicht eliminieren, ohne die Bewegung einseitig darzustellen.

Woher kommen aber die Erfolge der klassischen Physik bei der Beschreibung der Bewegung der Körper? Bei der von der klassischen Physik betrachteten Ortsveränderung handelt es sich im Gegensatz zu den Geschwindigkeiten der Elementarteilchen um kleine Geschwindigkeiten. Bei Verkleinerung der Zeitabstände zu einem Zeitpunkt verkleinerten sich die Wegstrecken immer mehr und wurden zum bestimmten Zeitpunkt praktisch Null, d. h., dem Zeitpunkt entsprach ein Wegpunkt oder ein bestimmter Ort. Die aus [37] dieser Bewegungsauffassung gezogenen Schlußfolgerungen mußten praktisch verwertbar und überprüfbar sein und waren es auch, wie uns die Erfolge der klassischen Mechanik zeigen. Aber zugleich wurden Zusammenhänge außer acht gelassen, die zwar praktisch ohne Einfluß waren, aber theoretisch die Bewegung genauer erfassen ließen. Solch ein Zusammenhang war z. B. die Beziehung zwischen Kontinuität und Diskontinuität, die als unwesentlich beiseite gelassen wurde. Diese Beziehung mußte jedoch wesentlich werden, sobald es die Physik mit höheren Geschwindigkeiten zu tun bekam. Hier zeigt sich eine Problematik, die ihren Ausdruck auch in Differenzen zwischen Physikern und Mathematikern findet. Georg Joos schreibt dazu: „Ja, die strengen Forderungen der reinen Mathematik stehen oft im Widerspruch mit den physikalischen Gegebenheiten. Wenn man z. B. die Dichte definiert als den Grenzwert, dem sich das Verhältnis Masse durch Volumen bei immer kleinerem Volumen nähert, so kommt man wegen der Tatsache der atomistischen Struktur bei zu kleinen Voluminis zu unsinnigen Dichteschwankungen, je nachdem ein Volumenelement einen Atomkern faßt oder nicht. Die in der strengen Mathematik verpönten ‚kleinen Größen‘ sind in der Physik unentbehrlich. Die physikalischen Differentiale haben, obwohl man mit ihnen wie mit ‚unendlich kleinen Größen‘ rechnet, einen nicht zu kleinen Wert. Aus diesen Gründen ist für den theoretischen Physiker

---

<sup>42</sup> F. Engels, Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft, a. a. O., S. 112.

die handwerksmäßige Beherrschung der Differential- und Integralrechnung viel wichtiger als die Kenntnis der strengen Begriffe, wie z. B. des oben erwähnten Grenzwertes.<sup>43</sup>

Hier liegt ein Streit auf der Grundlage des bereits erwähnten methodischen Vorgehens in der wissenschaftlichen Arbeit vor. Der Physiker muß beispielsweise, um die Bewegung richtig erfassen zu können, das Raumintervall, in dem sich der bewegte Körper tatsächlich befindet, zu einem abstrakten Ortspunkt, charakterisiert durch eine bestimmte Koordinate im Koordinatensystem, verallgemeinern. Erst dann kann er streng die Differentialrechnung anwenden. Denn sie fordert für den Grenzübergang, daß das zu betrachtende Intervall kleiner als eine Größe  $\varepsilon$  ist. Für den Grenzübergang rechnen wir mit einem unendlich kleinen Wert für das Intervall. Aber der sich bewegende Körper befindet sich in einem Intervall mit einer endlichen Größe. Der Physiker rechnet deshalb einerseits mit den von den Mathematikern einwandfrei begründeten mathematischen Hilfsmitteln, ohne sich immer begriffliche Klarheit über ihre Voraussetzungen zu schaffen. Für den theoretischen Fortschritt ist das jedoch ebenso wichtig, wie die von Joos hervorgehobene Rechnung mit kleinen Größen. Andererseits ist sich der Physiker über die endliche [38] Größe des Raumintervalls klar, in dem sich der bewegte Körper befindet. Wenn er sich nun keine begriffliche Klarheit über die Notwendigkeit einer Anwendung der strengen Grundbegriffe der Mathematik als Abstraktionen auf die wirklichen Verhältnisse verschafft, kommt er zu einer Ablehnung dieser Grundbegriffe als in Widerspruch zu den physikalischen Gegebenheiten stehend. Die mathematischen Gegebenheiten stehen jedoch keinesfalls in Widerspruch zu den physikalischen Gegebenheiten, wenn man ihre Bedeutung als für den wissenschaftlichen Fortschritt notwendige Idealisierungen betrachtet. Zweifellos entspricht der mathematische Punkt nicht dem physikalischen Ort. Die Gleichsetzung ist jedoch unter den Bedingungen der klassischen Mechanik berechtigt. Man muß sich aber zugleich darüber klar sein, daß diese Gleichsetzung unter anderen Bedingungen aufgehoben werden muß. Wenn das der Fall ist, gelten unter den neuen Bedingungen auch nicht mehr die mathematisch formulierten gesetzmäßigen Beziehungen zur klassischen Beschreibung der Bewegung.

Unter den Bedingungen der klassischen Physik war die Charakterisierung des Ortes eines sich bewegenden Teilchens durch einen mathematischen Punkt eine vollkommen berechtigte Abstraktion. Unter den Bedingungen der Quantenmechanik erweist sie sich jedoch als unzulänglich. Die Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen beschränken die Anwendung dieser klassischen Begriffsbildung. Daher kann man Georg Joos nicht zustimmen. Die Mathematik mit ihren begründeten Begriffen hilft uns bei der Gewinnung theoretischer Klarheit über unsere spezifischen Voraussetzungen, die wir in einer Theorie machen. So sind auch die obigen Analysen des Bewegungsablaufs in der klassischen Mechanik zu verstehen. Unter diesen Voraussetzungen gilt streng die klassische Mechanik. Die exakte Formulierung der mathematischen Grundbegriffe zeigt uns jedoch auch die durch die Abstraktion oder Idealisierung der wirklichen Verhältnisse hervorgerufene Einschränkung der wirklichen Beziehungen und fordert von uns deshalb die ständige Erweiterung unserer theoretischen Forschung unter Einbeziehung neuer Merkmale.

Mit einem solchen theoretischen Fortschritt ist jedoch notwendig eine neue mathematische Formulierung des physikalischen Sachverhalts verbunden. Zur klassischen Beschreibung der mechanischen Ortsveränderung reichte im wesentlichen die Vektorrechnung. In der modernen Physik benötigen wir Tensoren und Spinoren. In der klassischen Theorie waren Geschwindigkeits-(Impuls-) und Ortsmessungen miteinander vereinbar, d. h., die entsprechenden Operatoren waren kommutativ. Die moderne Physik muß die Nichtvertauschbarkeit von Orts- und Impulsoperatoren entsprechend der Gültigkeit der Unbestimmtheitsrelationen be-

---

<sup>43</sup> G. Joos, Lehrbuch der theoretischen Physik, Leipzig 1956, S. 2 f.

rücksichtigen. Darin zeigt sich, daß die objektiv-[39]reale Bewegung noch komplizierter ist, als es durch die klassische Mechanik ausgedrückt und erkannt wurde.

Die klassische Bewegungsauffassung kann mit voller Berechtigung auf relativ isolierte Körper, die sich mit relativ kleiner Geschwindigkeit bewegen und deren Wechselwirkung sich als äußerer Einfluß dieser Körper aufeinander (Druck, Stoß usw.) vollzieht, angewendet werden. Sie besteht im wesentlichen aus der diskontinuierlichen Beschreibung des Bewegungsablaufs in lauter Ortspunkten, die der sich bewegende Körper erreicht. Bewegungsgröße und Richtung der Bewegung werden durch den Geschwindigkeitsvektor, Impulse als Ausdruck der Wechselwirkung durch die Zeitdauer der Krafteinwirkung bestimmt. Die Mathematik bringt diese Beschreibung der Bewegung durch den Übergang zum Grenzwert der Differenzenquotienten zum Ausdruck. Sie braucht dabei die Stetigkeit als Voraussetzung der Differenzierbarkeit. Kontinuität und Diskontinuität stehen jedoch in der Punktmechanik wesentlich beziehungslos nebeneinander. Diese Tatsache weist darauf hin, daß die klassische Bewegungskonzeption bereits innerhalb der klassischen Mechanik bei theoretischer Analyse Mängel offenbart. Verabsolutiert formuliert kann man demnach sagen: Der sich bewegende Körper befindet sich zu jedem Zeitpunkt an einem genau definierten Raumpunkt (mathematischer Punkt).

## 2. Die philosophische Kritik der klassischen Bewegungsauffassung

Die verabsolutiert formulierte klassische Bewegungsauffassung, die die Stetigkeit (Kontinuität) der objektiven Bewegung nicht berücksichtigt, wurde schon vor ihrer physikalischen Formulierung einer Kritik unterzogen. In den bekannten Zenonschen Aporien wurde der Bewegungsbegriff bereits im Altertum analysiert. Das theoretische Ergebnis war die Unmöglichkeit der Erfassung der Bewegung mit Hilfe diskontinuierlicher Raumpunkte. Zenon stellte die Behauptung auf, daß der fliegende Pfeilruhe und Achilles die Schildkröte nicht einholen könne, wenn man nur vom diskontinuierlichen teilbaren Raum und diskontinuierlichen Zeitpunkten ausgeht.<sup>44</sup>

Zenon löste das Bewegungsproblem nicht, zeigte jedoch die damit verbundene theoretische Schwierigkeit. Die klassische Bewegungsauffassung kam trotz dieser Schwierigkeiten zu großen Erfolgen bei der Beschreibung der objektiv-realen Bewegung von Körpern, weil sie als wesentliches Resultat das Ergebnis einer Bewegung untersuchte und nicht die Bewegung selbst erfaßte. Sie mußte jedoch in irgendeiner Weise auch die Kontinuität der wirk-[40]lichen Bewegung berücksichtigen. Wie wir sahen, tat sie es mit Hilfe der Mathematik. Indem sie die von der Mathematik begründeten Grenzübergänge vom Differenzen- zum Differentialquotienten übernahm, hatte sie in ihrer Theorie bereits implizit ein Element der Beziehung zwischen Kontinuität und Diskontinuität eingebaut. Theoretische Klarheit darüber gab es nicht. Während Zenon die wirkliche Bewegung nicht leugnete, aber ihre theoretische Erfassung für unmöglich erklärte, benutzten die Vertreter der klassischen Physik zur theoretischen Erfassung der Bewegung bereits die Stetigkeit als notwendige Voraussetzung für die Differenzierbarkeit, betrachteten sie jedoch nicht als Widerspiegelung einer Eigenschaft der objektiv-realen Bewegung. Diese wurde im wesentlichen verabsolutiert als die Bewegung eines Körpers von einem Ort zum anderen betrachtet, wobei der Körper zu jedem Zeitpunkt einen genau bestimmten Ort einnimmt. Bereits Hegel hatte bei der Behandlung Zenons die Dialektik der Bewegung richtig erfaßt: „Wenn wir von der Bewegung überhaupt sprechen, so sagen wir: Der Körper ist an einem Orte, und dann geht er an einen anderen Ort. Indem er sich bewegt, ist er nicht mehr am ersten, aber auch noch nicht am zweiten; ist er an einem von beiden, so ruht er. Sagt man, er sei zwischen beiden, so ist dies nichts gesagt; denn zwischen beiden ist er auch an einem Orte, es ist also dieselbe Schwierigkeit hier vorhanden.

<sup>44</sup> Geschichte der Philosophie, Bd. 1, Berlin 1959, S. 78 ff.

Bewegen heißt aber: an diesem Orte sein und zugleich nicht; dies ist die Kontinuität des Raums und der Zeit, – und diese ist es, welche die Bewegung erst möglich macht.“ Lenin faßt diese Stelle bei Hegel in der angegebenen Weise zusammen und bemerkt zum letzten Satz: „richtig!“<sup>45</sup>

Diese Kontinuität der Bewegung, welche die Bewegung erst ermöglicht, war in der verabsolutierten klassischen Auffassung nicht enthalten. Dort war der Körper stets an einem bestimmten Ort. Lenin weist darauf hin, daß es nicht darauf ankommt, über das Vorhandensein der Bewegung zu streiten, sondern daß die Aufgabe darin besteht, die Bewegung in der Logik der Begriffe zum Ausdruck zu bringen.

Die Schwierigkeit bei der Erfassung der Bewegung in der Logik der Begriffe besteht darin, daß das Denken die in der Wirklichkeit verknüpften Momente eines Gegenstands in ihrer Unterscheidung auseinanderhält.<sup>46</sup> Dieser Hinweis Hegels wird durch die klassische Physik bestätigt. Die in Wirklichkeit verknüpften Seiten der Bewegung, wie Kontinuität und Diskontinuität, Ort und Geschwindigkeit wurden in ihrer Unterscheidung auseinandergelassen. Die Beschränktheit der klassischen Mechanik besteht aber [41] keinesfalls hierin. Sie ist vielmehr darin zu sehen, daß die Unterscheidung verabsolutiert wurde und die in der Wirklichkeit miteinander verknüpften Seiten nun im Denken beziehungslos nebeneinander existierten. Diese Verabsolutierung der Unterscheidung, das Auseinanderreißen von Zusammengehörigem ist für die metaphysische Methode kennzeichnend. Im Gegensatz dazu nimmt die dialektische Methode die durch das Denken in ihrer Unterscheidung auseinandergelassenen Momente auch als Einheit. Darin besteht das Wesen der Dialektik. Sie spiegelt damit im Zusammenhang der Begriffe den wirklichen Zusammenhang wider. Auch hier unterscheidet sich die materialistische Dialektik deutlich von der Hegelschen, die nur die Begriffsdialektik betrachtet, sie aber nicht als Widerspiegelung der objektiven Dialektik faßt.

Auch bei der Bewegung müssen wir die zusammengehörenden Momente zum Zwecke ihrer Unterscheidung trennen. „Wir können uns die Bewegung nicht vorstellen, wir können sie nicht ausdrücken, ausmessen, abbilden, ohne das Kontinuierliche zu unterbrechen, ohne zu versimpeln, zu vergrößern, zu zerstückeln, ohne das Lebendige zu töten. Die Abbildung der Bewegung durch das Denken ist immer eine Vergrößerung, eine Ertötung, und zwar nicht nur durch das Denken, sondern auch durch die Empfindung ...“<sup>47</sup>

Diese Worte Lenins sind gerade für die klassische Physik zutreffend. Gleichzeitig wird hier nochmal die Notwendigkeit der Kritik des Positivismus unterstrichen. Die Vergrößerung und Versimpelung auch durch die Empfindung macht es nicht möglich, vom positivistischen Ausgangspunkt das Wesen der Bewegung zu erfassen.

Aber auch das Denken versimpelt, vereinfacht. Lenin weist darauf hin, daß das in Wirklichkeit Zusammengehörige auch im dialektischen Denken im Zusammenhang der Begriffe zum Ausdruck kommt: „Und darin liegt das *Wesen* der Dialektik. *Gerade dieses Wesen* wird auch durch die Formel ausgedrückt: Einheit, Identität der Gegensätze.“<sup>48</sup> Zeigt das Denken in den verschiedenen Begriffen die Unterschiede der in Wirklichkeit verbundenen Momente, so muß man die Einheit dieser Gegensätze betrachten, um die Wirklichkeit richtig widerzuspiegeln.

Bisher haben wir nur die Bewegung eines relativ isolierten einzelnen Körpers untersucht und dabei festgestellt, daß der sich bewegende Körper keinen genau bestimmten Ort besitzt. Da die exakte Geschwindigkeitsbestimmung durch die klassische Mechanik aber diesen bestimmten Ort erfordert, wird auch die klassische Geschwindigkeitsbestimmung ungenau.

<sup>45</sup> W. I. Lenin, Aus dem philosophischen Nachlaß, Berlin 1954, S. 194.

<sup>46</sup> Ebenda, S. 195.

<sup>47</sup> Ebenda.

<sup>48</sup> Ebenda.

Genauer [42] gesagt gibt es keine genaue Geschwindigkeitsbestimmung des Körpers an einem genau bestimmten Ort. Geschwindigkeit besitzen heißt, daß der Körper sich bewegt. Er hat also keinen genau bestimmten Ort. Einen genau bestimmten Ort besitzen heißt, daß der Körper (relativ) ruht. Er hat also keine Geschwindigkeit. Wir können das auch in folgender Weise ausdrücken: Haben wir einen genauen Ort des Körpers, dann ist es unmöglich eine Geschwindigkeit festzustellen. Haben wir eine genaue Geschwindigkeit des Körpers, dann ist es unmöglich, einen genauen Ort zu bestimmen. Haben wir aber eine ungefähre Ortsbestimmung, dann haben wir auch eine Geschwindigkeitsbestimmung des Körpers. Orts- und Geschwindigkeitsbestimmung der Bewegung eines Körpers beschränken sich also gegenseitig. Bezeichnen wir jetzt mit  $\Delta x$  die Ungenauigkeit der Ortsbestimmung in der  $x$ -Richtung und mit  $\Delta v_x$  die Ungenauigkeit der Geschwindigkeitsbestimmung in der  $x$ -Richtung, so können wir für die quantitative Messung wenigstens sagen, daß das Produkt von  $\Delta x$  und  $\Delta v_x$  stets größer als Null sein muß:

$$\Delta x \cdot \Delta v_x > 0.$$

Wir haben also durch die Kritik der klassischen Bewegungsauffassung für die Bewegung eines Teilchens oder Körpers eine ähnliche Einschränkung der klassischen Begriffe erhalten, wie sie in den Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen zum Ausdruck kommt. In der klassischen Physik bestand jedoch trotz dieser Beziehung zwischen Ort und Geschwindigkeit die Notwendigkeit, mit der Relation  $\Delta x \cdot \Delta v_x \rightarrow 0$  zu rechnen.

Das war möglich, weil sich dieses Fehlerprodukt tatsächlich an Null annäherte. Die Unbestimmtheitsrelationen geben jedoch mit  $\frac{h}{2\pi}$  einen Betrag an, der nicht an Null angenähert werden kann. Entsprechend der klassischen Physik wurde die Ortsveränderung der Objekte ohne Wechselwirkung mit anderen Objekten betrachtet. In Wirklichkeit befindet sich jedoch das betrachtete Objekt bei seiner Bewegung ständig in Wechselwirkung. Die klassische Physik betrachtete nur die Wechselwirkung zwischen Körpern, die zu einer wesentlichen Änderung des Bewegungszustandes der Körper führte. Sie ließ aber, wegen der Kleinheit der Wirkung der Beobachtungsmittel auf die Körper, diese Einwirkung außer acht.

Im Bereich der Elementarteilchen kann jedoch die Bewegung dieser Elementobjekte nur als ihre Wechselwirkung miteinander erfaßt werden. Ging es also in der klassischen Physik noch an, von einer gleichzeitigen genauen Orts- und Geschwindigkeitsbestimmung zu sprechen, da die Unterscheidung zwischen Ort und Geschwindigkeit verabsolutiert wurde, so war das in der Physik der Elementarteilchen aus zwei Gründen nicht mehr möglich. [43]

1. Die in der klassischen Physik betrachteten relativ kleinen Geschwindigkeiten wurden durch große Geschwindigkeiten abgelöst. Die Bewegung der Elementarteilchen konnte nicht mehr als bloße Summe von Ruhezuständen dargestellt werden. Die Kontinuität, die die Bewegung erst ermöglicht, mußte beachtet werden, es mußte beachtet werden, daß sich das Teilchen zugleich an einem Ort und nicht an diesem Ort befand.

2. Die in der klassischen Physik außer acht gelassenen Wechselwirkungen der Teilchen untereinander konnten nicht mehr als unwesentlich beiseite gelassen werden. Wie die Messung der Elementarteilchen zeigte, war ein bestimmter Typ der Wechselwirkung bestimmend für den Bewegungsverlauf. Dabei geht es nicht einfach um äußere Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Elementarobjekten, sondern um den inneren notwendigen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Objekten, den die moderne Physik nachgewiesen hat.

Hier zeigt sich auch ein Fortschritt gegenüber der Quantenmechanik. Sie untersuchte die Wechselwirkung der Elementarobjekte miteinander, mußte aber dabei schon die durch die Unbestimmtheitsrelationen gemachten Einschränkungen für die Anwendung der Begriffe Ort und Impuls berücksichtigen. Die modernen Ergebnisse bestätigen die Richtigkeit der Auf-

fassung, daß der Grund für diese Einschränkung in der inneren Bewegung der Elementarobjekte, in ihrer inneren Strukturiertheit zu suchen ist. Die Eigenschaften eines Objekts sind nicht nur entscheidend für ein anderes, sondern die verschiedenen Objekte verwandeln sich ineinander. Gerade das ist Ausdruck der Wechselwirkung der Objekte miteinander.

Damit kommen wir zu einer weiteren Berücksichtigung des von uns über Kontinuität und Diskontinuität Gesagten. Der Begriff der Koordinate bedarf von diesem philosophischen Gesichtspunkt aus einer weiteren Einschränkung. Im wesentlichen gilt er in der Quantenmechanik noch im klassischen Sinne. Die wirkliche Berücksichtigung der Wechselwirkung verlangt jedoch die noch stärkere Hervorhebung der Kontinuität des Bewegungsablaufs materieller Objekte in der Theorie. Das bedeutet vor allem auch die wirkliche Aufgabe der Punktmechanik und die Beachtung der materiellen Ausgedehtheit der physikalischen Objekte. Markow hebt deshalb hervor: „Der Begriff der Koordinate gehört zu jenen gewohnheitsmäßig, aber nicht klar definierten fundamentalen Begriffen, die bei der weiteren Entwicklung der Physik überprüft werden, was im allgemeinen zur Entdeckung neuer fundamentaler Erscheinungen und zum Aufbau einer neuen Theorie führt. Eine der noch nicht erschöpften Möglichkeiten besteht darin, einen solchen mathematischen Apparat zu suchen, der die Möglichkeit ausschließt, beliebig kleine Wellen-[44]pakete aufzubauen. Das kann man nur durch eine wesentliche Änderung der Eigenschaften des Operators erreichen, der die Koordinaten darstellt. Dazu sind zusätzliche Bedingungen nötig (z. B. in Form neuer Vertauschungsregeln), welche die Möglichkeiten der heutigen Quantentheorie für die Lagemessungen der Teilchen einschränken. Eine Einschränkung der Meßbarkeit der Teilchenkoordinaten gibt im Prinzip die Möglichkeit, eine Elementarlänge einzuführen. Ein Widerspruch zur Relativitätstheorie könnte experimentell nicht festgestellt werden, da in einer solchen Theorie Synchronisation und Lokalisierung der Ereignisse Ungenauigkeiten von der Größenordnung der Elementarlänge aufweisen. Eine solche Theorie existiert jedoch noch nicht.“<sup>49</sup> Damit wird auch die Gültigkeit der Unbestimmtheitsrelationen eingeschränkt. Die Unbestimmtheitsrelationen erlauben, daß  $\Delta x$  gegen 0 geht. Das ist gleichzusetzen mit einer exakten Ortsbestimmung, verlangt jedoch auch die Lokalisierbarkeit des sich bewegenden Objekts an einem Punkt. Das Ergebnis der Unbestimmtheitsrelation bleibt dabei erhalten. Der Begriff des Ortes in der klassischen Physik gilt eingeschränkt. Während jedoch die Quantenmechanik noch mit der Vorstellung „klassischer Korpuskeln“ und „klassischer Wellen“ arbeitete, weist die innere Wechselwirkung der Elementarobjekte, ihre Umwandelbarkeit auf die notwendige Überprüfung des Begriffs der Koordinate hin. Die Einführung einer Elementarlänge würde neue theoretische Ergebnisse ermöglichen. Philosophisch ist für die Bewegungsauffassung folgendes interessant: Relativ hohe Geschwindigkeiten „klassischer Korpuskeln“, die sich nicht ineinander umwandeln, führen zur Problematik der ungenauen Lokalisierbarkeit. Das wird bereits in den Unbestimmtheitsrelationen erfaßt. Betrachtet man punktförmige Teilchen, was in der Quantenmechanik möglich ist, so treten Divergenzen in der Feldtheorie auf.<sup>50</sup> Die Einführung ausgedehnter Teilchen in die Theorie, d. h. die Einführung einer Elementarlänge, würde die Divergenzen beseitigen, bringt jedoch neue Schwierigkeiten mit sich.

Es geht offensichtlich um die Berücksichtigung der objektiv-realen Ausdehnung materieller Objekte. Deshalb wäre eine in die Theorie eingeführte Elementarlänge Widerspiegelung der objektiv-realen Ausdehnung. Aber diese Elementarlänge selbst ist eine Abstraktion, die nur beschränkte Gültigkeit besitzt. Einerseits stellt sie keine absolute Grenze für das Eindringen in kleinere Bereiche dar. Andererseits verweist sie darauf, daß das Eindringen in neue Bereiche zur Veränderung unserer Vorstellungen über die Struktur [45] der Materie, über ihre Be-

<sup>49</sup> M. A. Markow, Hyperonen und K-Mesonen, a. a. O., S. 19.

<sup>50</sup> Ebenda, S. 18.

wegung und Raum-Zeit führen muß. Ware das nicht der Fall, so brauchte man keine neue Konstante einzuführen.

Markow erwähnt den Gedanken der Abhängigkeit des Koordinatenoperators vom Feld. Das wäre auch ein Hinweis auf die Abhängigkeit der Elementarlänge von bestimmten materiellen Feldern. Damit wäre die Abhängigkeit der Koordinate von den materiellen Prozessen, denen sie zugeordnet ist und deren Ausgedehtheit sie erfaßt, angenommen. Zugleich wäre das ein Ausdruck der Relativität der Elementarlängen. Markow schreibt: „Es gibt in der gegenwärtigen Zeit gewisse Gründe, gerade den Begriff der Koordinate eines Teilchens wesentlich zu ändern. Die Begriffe Impuls, Ladung und andere Charakteristika der Elementarteilchen sind verständlich und klar definiert. Das kann man jedoch vom Begriff der Koordinate nicht sagen.<sup>51</sup> Es ist unklar, ob es einen für alle Teilchen einheitlichen Koordinatenoperator gibt oder ob dieser wesentlich von der Gleichung abhängt, denen das gegebene Feld genügt. Diese Situation entstand nicht zufällig. Praktisch erfolgt die Beschreibung der verschiedenen Effekte in der Theorie der Elementarteilchen vom energetischen Standpunkt. Deshalb ist bei den Experimenten mit Elementarteilchen ihre Lage nur mit makroskopischer Genauigkeit gegeben. Im Grunde genommen gibt die heutige Experimentalphysik nur die Möglichkeit, die Anwendbarkeit des Koordinatenbegriffs auf Elementarteilchen mit einer solchen Genauigkeit zu prüfen, die gegenwärtig bei einer Reihe von Überlegungen schon nicht mehr hinreichend ist.“<sup>52</sup> Mit dem Problem der Wechselwirkung werden wir uns noch weiter befassen müssen. Wir sehen aber bereits, daß nicht nur die relativ hohen Geschwindigkeiten der Elementarobjekte, sondern vor allem die Wechselwirkung der Objekte entscheidend für die neue Bewegungsauffassung sind. Dabei kann man das Problem zuerst vom Standpunkt der Quantenmechanik aus diskutieren, in der die Umwandelbarkeit der Elementarobjekte ineinander als Ausdruck der Wechselwirkung noch keine Rolle spielt. Aber sie wirft bereits das Problem der Wechselwirkung beispielsweise von Quanten und Elementarobjekten bei der Beobachtung auf.

Aus der relativ hohen Geschwindigkeit ergibt sich, daß die neue Physik die Unhaltbarkeit der einseitigen klassischen Bewegungsauffassung einzelwissenschaftlich nachweisen mußte. Dies geschah in der Atomphysik mit der Aufstellung der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen, die auf ein Einzelteilchen angewandt besagen, daß Ort und Impuls eines Teilchens nicht gleichzeitig genau bestimmt werden können. Wie wir gesehen haben, ergibt [46] sich das aus den objektiven Wellen- und Korpuskeleigenschaften der Elementarobjekte. Die Bewegung mußte als Widerspruch zwischen Kontinuität und Diskontinuität erfaßt werden, der sich als Widerspruch zwischen den Wellen- und Korpuskeleigenschaften zeigte. Bei Anerkennung der Unbestimmtheitsrelationen in ihrer Anwendung auf die Bewegung des Einzelteilchens mußte der Versuch der Bestimmung dieser Bewegung mittels Orts- und Geschwindigkeitsmessung zu einer Ungenauigkeit der Orts- und Geschwindigkeitsbestimmung führen, die es unmöglich machte, die Bewegung des Teilchens in klassischer Weise zu beschreiben. Außerdem zeigte die Quantenmechanik, daß für die Beschreibung der Bewegung der Elementarteilchen nicht die ohne Wechselwirkung gedachte Bewegung des Einzelteilchens entscheidend ist. Die Bewegung der Elementarteilchen stellt eine qualitativ andere Bewegungsform dar als die bisher von uns betrachtete einfache Ortsveränderung von Körpern. Zweifellos war das Ergebnis der Bewegung der Elementarteilchen ebenfalls eine Ortsveränderung, aber das gibt nicht die Möglichkeit, die Bewegung von Elementarteilchen auf Ortsveränderung zu reduzieren. Da das Ergebnis der Bewegung eine Ortsveränderung ist, sind wir zu der Auffassung berechtigt, daß sich in der Bewegung der Elementarteilchen auch der Widerspruch zwischen Kontinuität und Diskontinuität wieder zeigen muß. Da es sich aber nicht um

<sup>51</sup> Vgl. Newton, T. D., Wegner, E. P., Rev. mod. Phys. 21, 400, 1949.

<sup>52</sup> M. A. Markow, Hyperonen und K-Mesonen, a. a. O., S. 18 f.

*Ortsveränderung allein* handelt, muß dieser Widerspruch abgewandelt auftreten. Die Wechselwirkung der Elementarobjekte wird durch ihre objektive Struktur, ihre objektiven Eigenschaften bedingt. Dabei ist die Physik gerade erst dabei, die innere Strukturiertheit der Objekte zu erkennen. Die Quantenmechanik mit ihren gegenüber der klassischen Physik neuen Bewegungsgesetzen findet ihre Erklärung wiederum in neuen Eigenschaften der Elementarobjekte. Dabei ist die Aufdeckung und Untersuchung der Bewegung der Elementarobjekte in der statistischen Deutung der Quantenmechanik ein hervorragendes wissenschaftliches Ergebnis. Der Fortschritt der Physik liefert jedoch wiederum neue Einsichten in das Bewegungsproblem. Das erfordert die philosophische Analyse der neuen Probleme, die die Quantenmechanik für die Bewegungsauffassung aufwirft, wie auch die Berücksichtigung der noch zu lösenden Probleme, die mit der inneren Struktur der Elementarobjekte verbunden sind. Diese Struktur fand ihren Ausdruck, wie wir gesehen haben, in den Wellen- und Korpuskeleigenschaften, die damit bestimmend für die Wechselwirkung sind. Würden wir die Bewegung der Elementarteilchen nun auf Ortsveränderung reduzieren, so würden wir von der inneren Struktur absehen und nur den Widerspruch zwischen Kontinuität und Diskontinuität betrachten, wie er allen sich bewegenden Dingen und Erscheinungen der objektiven Realität eigen ist, wobei hier Bewegung im Sinne von Verände-[47]rung allgemein gefaßt wird. Jede Bewegung ist mit Ortsveränderung verbunden und enthält demzufolge diesen allgemeinen Widerspruch zur Charakterisierung des Bewegungsablaufes. Die neue Qualität der Bewegung der Elementarobjekte zeigt sich in der Quantenmechanik vor allem in dem Widerspruch zwischen Wellen- und Korpuskeleigenschaften. In der modernen Elementarteilchenphysik wird dagegen das Problem weiter kompliziert. Bewegung ist nicht nur Ortsveränderung und äußere Wechselwirkung zwischen verschiedenen Objekten, sondern vor allem auch innerer Wechselwirkung und Umwandelbarkeit der Objekte ineinander. Jedoch auch für die philosophische Analyse gilt das Prinzip der notwendigen Abstraktion zur richtigen Erkenntnis. Zur Überwindung der klassischen Bewegungsauffassung ist die Analyse des Wellen-Korpuskel-Dualismus und des statistischen Verhaltens der Elementarobjekte erforderlich. Zur Erklärung dieser Eigenschaften bedarf es der Analyse, der Weiterentwicklung der physikalischen Theorie und der Experimente, die die Umwandelbarkeit der Objekte und ihre gegenseitige Abhängigkeit zeigen.

Bewegung zeigt sich damit im Bereich der Physik, entgegen der verabsolutierten klassischen Auffassung, nicht nur als Ortsveränderung relativ isolierter Objekte. Bewegung ist auch die mit ständiger Wechselwirkung verbundene Ortsveränderung der Elementarobjekte sowie die Umwandlung der Objekte ineinander. Das zeigt die Bedeutung der philosophischen Bestimmung des Bewegungsbegriffs als Veränderung überhaupt, der diese von der Physik erkannten qualitativen und quantitativen Veränderungen in den Bewegungsbegriff einschließt. Damit erweist sich auch die Einheit von quantitativen und qualitativen Veränderungen in dem von der Physik untersuchten objektiven Bereich. Es ist notwendig, in eine philosophische Bewegungstheorie die Ergebnisse der Elementarteilchenphysik über die Umwandlung qualitativ verschiedener Objekte ineinander aufzunehmen.

In der klassischen Physik war die Wechselwirkung der Körper kein für die Bewegung unbedingt notwendiges Charakteristikum. Der relativ isolierte Körper bewegte sich unabhängig von seiner Umgebung. Das Maß seiner Bewegung ergab sich aus der Bestimmung der Bewegung an einem relativ ruhenden Koordinatensystem. Die bisherigen Ergebnisse der Quantentheorie weisen jedoch darauf hin, daß die Wechselwirkung als wesentliches Moment in die Beschreibung der Bewegung der Elementarobjekte eingehen muß. Schon Engels zeigte, daß die Bewegung nur als Wechselwirkung zu erfassen ist. Die philosophische Kritik der klassischen Bewegungsauffassung durch den dialektischen Materialismus vollzieht sich in zwei Schritten, wobei er sich stets auf die durch die vormarxistische Philosophie bereits ausgearbeiteten richtigen Argumente stützt. Erstens muß die Verabsolutierung der klassischen [48]

Bewegungsauffassung innerhalb der klassischen Mechanik einer Kritik unterzogen werden. Wir wiesen bereits darauf hin, daß die klassische Mechanik selbst den Widerspruch zwischen Kontinuität und Diskontinuität in der objektiven Bewegung berücksichtigen muß. In der philosophischen Verallgemeinerung wird jedoch dieser Widerspruch nicht bewußt erfaßt. Beide Eigenschaften existieren beziehungslos nebeneinander. Zweitens muß die in der modernen Physik ausgearbeitete neue Bewegungsauffassung philosophisch verallgemeinert und in ihrer Beziehung zu einer allgemeinen philosophischen Bewegungstheorie untersucht werden. Diese allgemeine philosophische Bewegungstheorie ist das Ergebnis der Geschichte des philosophischen Denkens und der Verallgemeinerung bisher vorliegender einzelwissenschaftlicher Ergebnisse. Ihre allgemeinsten Merkmale sind die Anerkennung der Einheit von Materie und Bewegung und die Betrachtung der gedanklichen Bewegung als Widerspiegelung der objektiv-realen Bewegung der Dinge und Erscheinungen.

Die Bewegungsdiagnostik wurde in der vormarxistischen Philosophie auch auf idealistischer Grundlage erkannt, soweit es sich um Untersuchungen über die Entwicklung des Bewegungsbegriffs und seines Zusammenhangs mit anderen Begriffen handelt. So arbeitete Hegel den dialektischen Widerspruch zur Erklärung der Begriffsdiagnostik von idealistischer Seite aus. Die Lehre vom dialektischen Widerspruch ist für die Deutung der Ergebnisse der modernen Physik notwendig. Selbst die einfache Ortsveränderung innerhalb der klassischen Physik erwies sich bereits als ein objektiv existierender dialektischer Widerspruch zwischen Kontinuität und Diskontinuität. Das Gesetz vom dialektischen Widerspruch bildet den Kern der materialistischen Dialektik. Hegels Fragestellungen wurden von Marx, Engels und Lenin aufgegriffen, die Dialektik von ihrer idealistischen Hülle befreit und die Begriffe als Widerspiegelungen der objektiven Realität gefaßt. Uns interessiert hier die Hegelsche Auffassung vom dialektischen Widerspruch als mögliche philosophische Deutung auch der Ergebnisse der Quantentheorie unter Beachtung der Kritik der Klassiker der marxistischen Philosophie an Hegel.

Hegel untersucht den Unterschied, der seine beiden Seiten als Moment enthält und schreibt dann: „Im Gegensatz als solchem sind sie Seiten des Unterschiedes, eines nur durchs andere bestimmt, somit nur Momente; aber sie sind ebensosehr bestimmt an ihnen selbst, gleichgültig gegeneinander und sich gegenseitig ausschließend: die *selbständigen Reflexionsbestimmungen*.“

Den Widerspruch erläutert Hegel weiter mit folgenden Worten: „Indem die selbständige Reflexionsbestimmung in derselben Rücksicht, als sie die andere enthält und dadurch selbständig ist, die andere ausschließt, so schließt sie in ihrer Selbständigkeit ihre eigene Selbständigkeit aus sich aus; denn [49] diese besteht darin, die ihr andere Bestimmung in sich zu enthalten und dadurch allein nicht Beziehung auf ein Äußerliches zu sein, – aber ebensosehr unmittelbar darin, sie selbst zu sein und die ihr negative Bestimmung von sich auszuschließen. Sie ist so der *Widerspruch*.“<sup>53</sup>

Diese Bemerkungen Hegels richtig verstanden, unter Beachtung der Kritik der Klassiker des Marxismus-Leninismus, weisen einen Weg zur philosophischen Interpretation der objektiven Bewegung der Elementarobjekte.

Der Marxismus ist keineswegs der Meinung, daß jede andere Philosophie in der Weise zu negieren ist, daß man sie einfach für falsch erklärt. Eine Philosophie muß kritisch überwunden werden, wenn man mit ihr fertig werden will. Man muß ihren neuen Inhalt, soweit er vorhanden ist, bewahren.<sup>54</sup>

<sup>53</sup> G. W. F. Hegel, Wissenschaft der Logik, zweiter Teil, Leipzig 1951, S. 48 f.

<sup>54</sup> F. Engels, Ludwig Feuerbach und der Ausgang der klassischen deutschen Philosophie, in: K. Marx/F. Engels, Werke, Band 21, Berlin 1962.

Zweifellos sind die Kritiker im Recht, wenn sie die Absolutheit seines Systems verwerfen. Aber die Ablehnung der Hegelschen Philosophie überhaupt macht es unmöglich, die Dialektik ihres absoluten und zugleich reaktionären Systems zu entkleiden und ihren kritischen und revolutionären Charakter aufzudecken. Es kommt darauf an, so wie Marx, Engels und Lenin es taten, die Hegelsche Dialektik kritisch zu sichten und ihren rationellen Kern aufzudecken. Erst dadurch wird sie zu einer wissenschaftlichen Methode zur Aufdeckung der Gesetze der objektiven Realität und zu einer wissenschaftlichen Erkenntnistheorie, die die Physiker nach ihren eigenen Aussagen nötig brauchen. Dabei ist es vor allem wichtig, die Dialektik in den physikalischen Prozessen selbst zu zeigen, weil uns das Verständnis der objektiven dialektischen Bewegung erst die Schwierigkeiten erklärt, die wir bei der Begriffsbildung in einer Theorie haben, die undialektisch, metaphysisch ist. Wir haben das bereits bei der Erläuterung der einfachen Ortsveränderung gesehen.

Wir wollen jetzt versuchen, die Hegelschen Gedanken über den dialektischen Widerspruch mit den Ergebnissen der modernen Physik über den Dualismus von Welle und Partikel zu verbinden. Wir tun das in der Meinung, daß die Bewegung nur als dialektischer Widerspruch philosophisch erfaßt werden kann. Auch für Lenin ist der dialektische Widerspruch die Quelle der Bewegung. Er unterscheidet zwei Auffassungen der Bewegung. Die eine erfaßt die Bewegung als einfache Wiederholung, wobei die Selbstbewegung, die Quelle der Bewegung im dunkeln bleibt, während die andere (dialektische) Auffassung der Bewegung ihre Aufmerksamkeit auf die Quelle der Bewegung richtet, sie als Einheit der Gegensätze, als dialektischen Widerspruch erfaßt.<sup>55</sup> Uns geht es hier nicht um die Quelle der Bewegung der Elementarobjekte. Dazu werden wir später noch kommen. Jedoch hat die Lehre vom dialektischen Widerspruch nicht nur Bedeutung für die Aufdeckung der inneren Ursache der Bewegung, sondern auch für die theoretische Deutung der dialektischen Widersprüche, die den Bewegungsablauf charakterisieren. Für die Charakterisierung dieses Ablaufs ist die Analyse der Widersprüchlichkeit der Bewegung wesentlich. Dabei sehen wir wiederum deutlich die philosophische Bedeutung der Entwicklung der Quantentheorie. Die Theorie vom dialektischen Widerspruch hilft uns bei der philosophischen Analyse des Ablaufs der Bewegung. Sie zeigt uns außerdem ihre Quelle. Dabei lassen wir die Rolle des dialektischen Widerspruchs in der Entwicklungstheorie außer acht. In der Physik haben wir es mit objektiv-realen Veränderungen; nicht aber mit Entwicklung vom Niederen zum Höheren zu tun.

Die physikalische Theorie selbst dringt immer tiefer in das Wesen der physikalischen Bewegung ein. Von der Ortsveränderung über die Erfassung der Wechselwirkung bis zur Umwandelbarkeit der Elementarobjekte analysiert sie die Bewegung. Das hat offensichtlich Bedeutung für die philosophische Theorie. Die Charakteristik des Bewegungsverlaufs, ohne Berücksichtigung der Quelle der Bewegung, erfolgt einzelwissenschaftlich in der Quantenmechanik. Die dabei auftretenden Charakteristika der Bewegung können ihre Begründung in der Struktur der Elementarobjekte besitzen. Zur Untersuchung der Struktur gelangen wir über die Experimente bei hohen Energien. Diese sind jedoch mit der Umwandelbarkeit der Elementarteilchen verbunden. Das hatten wir als Hinweis auf die innere Wechselwirkung der Elementarobjekte betrachtet. Durch diese Wechselwirkung erhalten wir Hinweise für das Verhalten der Objekte, damit auch für den Bewegungsablauf. Die Aufdeckung der Struktureigenschaften der Elementarobjekte wird das Verständnis des Bewegungsverlaufs erleichtern. Die Ergebnisse der Strukturuntersuchungen kann man deshalb als Ergebnisse über die Untersuchung der Quelle der Bewegung betrachten.

Uns interessiert ausgehend von der Quantenmechanik in erster Linie der Bewegungsablauf.

---

<sup>55</sup> W. I. Lenin, Zur Frage der Dialektik, in: W. I. Lenin, Werke, Band 36, Berlin 1962, S. 346.

In der klassischen Physik wurde die Strahlung als Wellenausbreitung mit ihren charakteristischen Eigenschaften dargestellt. Die Teilchen bewegten sich entsprechend den korpuskularen Eigenschaften, die man bei den uns umgebenden Körpern festgestellt hatte und die wir mit der klassischen Bewegungsauffassung charakterisiert hatten. Ihnen kam also gleichzeitig ein [51] genau definierter Ort (die Koordinaten des Schwerpunkts) und eine bestimmte Geschwindigkeit zu. Unter Berücksichtigung der Masse waren Ort und Impuls eines Teilchens gleichzeitig genau bestimmt. Diese Beziehungslosigkeit von Wellen- und Korpuskeleigenschaften, widergespiegelt in zwei voneinander unabhängigen Theorien, wurde durch die moderne Physik aufgehoben. Wir hatten schon gezeigt, daß gerade das Vorhandensein der objektiven Wellen- und Korpuskeleigenschaften und ihrer Beziehung zueinander die Ableitung der Unbestimmtheitsrelationen ermöglicht.

Die Probleme mancher Physiker bei der Interpretation des Dualismus bringt der bekannte Physiker W. Westphal mit folgenden Worten zum Ausdruck: „Es bedeutet einen außerordentlich erkenntnistheoretischen Fortschritt, daß man schließlich die völlige Unbedenklichkeit dieses Dualismus von Wellen und Korpuskeln einsah. Er ist deshalb völlig unbedenklich, weil ja die Modellvorstellungen nichts ‚erklären‘, weil das Licht weder eine Welle noch ein Teilchen ‚ist‘, sondern etwas, das einer anschaulichen Beschreibung unzugänglich ist.“<sup>56</sup>

Wir können die Modellvorstellungen „Welle“ und „Korpuskel“ unbedenklich benutzen, wenn wir die durch die Unbestimmtheitsrelationen gegebenen gegenseitigen Beziehungen beachten. Unser Wellen- und Korpuskelbild erfaßt jedes für sich genommen die Bewegung einseitig. Das gilt auch für die von Westphal erwähnten Modellvorstellungen. Jede Modellvorstellung erfaßt das Objekt nicht vollständig. Aber die Modellvorstellungen müssen bestimmte Seiten des Objekts richtig zum Ausdruck bringen. Damit entfällt durch die moderne Physik die Möglichkeit, Objekte durch die Modellvorstellung „Welle“ oder „Korpuskel“ zu erfassen. Aber beide Vorstellungen fassen immer noch *eine* Seite, einen Aspekt der Elementarobjekte. Die Theorie muß die Einseitigkeit jeder Modellvorstellung aufheben. Sie zeigt, daß diese Modellvorstellungen nicht das Objekt, sondern eine Seite des Objekts, die mit anderen in engem Zusammenhang stehen, erfassen. Damit erweist sich jede Gleichsetzung der Modellvorstellung mit dem Objekt als falsch. In diesem Sinne sieht es Westphal als unbedenklich an, den Dualismus anzuerkennen. Andererseits gilt es aber bessere Modellvorstellungen zu benutzen, wie beispielsweise das Tröpfchenmodell für den Kern u. a., die die Eigenschaften des Objekts besser zum Ausdruck bringen. Auch für jede neue Modellvorstellung gilt, daß sie das Objekt nicht vollständig erfaßt.

Unsere Modellvorstellungen dienen uns zu verschiedenen Zwecken. Neben der Veranschaulichung bestimmter Eigenschaften der Objekte, z. B. beim Bohrschen Atommodell, helfen sie uns auch bei der Anwendung bekannter [52] Theorien auf unbekannte Objekte und Eigenschaften. Wir können das Wellen- und Korpuskelbild zur Beschreibung der Elementarobjekte in der Quantenmechanik nur benutzen, wenn wir die objektive Beziehung zwischen den Wellen- und Korpuskeleigenschaften beachten, die sich eben auch bei der Einwirkung der Elementarobjekte auf die Meßapparate zeigt. Gehen wir über die Quantenmechanik hinaus, dann wird die Benutzung des Korpuskelbilds selbst bei Beachtung der Abhängigkeit vom Wellenbild problematisch. Wir hatten schon auf die mögliche Berücksichtigung der wirklichen Ausdehnung der Elementarobjekte in der Theorie durch die Elementarlänge verwiesen. Viele Schwierigkeiten der Theorie ergeben sich aus der Modellvorstellung der punktförmigen Korpuskel. Hier gewinnt die theoretische Behandlung der Elementarobjekte als strukturierter Teilchen Bedeutung. Die Modellvorstellung eines strukturierten Objekts gibt nach Markow heuristische Hinweise für neue Experimente. Markow schreibt: „Früher wurde auf der Grundlage einer gut durch das Experiment bestätigten Theorie ein Effekt berechnet (wobei

<sup>56</sup> W. Westphal, Physik, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1956, S. 618.

man nicht die Mühe langer, ermüdender Rechnungen scheute – war doch die Theorie auf jeden Fall richtig) und in aller Ruhe seine experimentelle Prüfung abgewartet. Heute wird aus verschiedenen, meist einfachen heuristischen Überlegungen ein Experiment vorgeschlagen, um für den Aufbau einer zukünftigen Theorie die notwendigen Grundlagen zu erhalten. Wie man aus dem Weiteren sehen wird, erhält von diesem Standpunkt aus die Erörterung der verschiedenen Versuche, eine strukturelle Vorstellung in die Theorie der Fundamentarteilchen einzuführen, einen bedeutenden heuristischen Wert. Bei einer Erörterung solcher Versuche entstehen Vorschläge für eine ganze Reihe möglicher Experimente, die oft ganz unabhängig von ihrer Entstehungsgeschichte Interesse beanspruchen.<sup>57</sup>

Die Richtigkeit dieser Bemerkungen bestätigten die Forschungen Hofstadters. In seinem Nobelvortrag verweist er darauf, „daß selbst die ‚Elementarteilchen‘ eine Struktur aufweisen“<sup>58</sup>. Wir sehen, wie wichtig die Beachtung der Relativität unserer Modellvorstellungen ist.

Die theoretische Erfassung der Bewegung erweist sich in Physik und Philosophie als ein schwieriges Problem. Ohne schon die innere Strukturiertheit der Elementarobjekte in der Bewegungsauffassung zu berücksichtigen, müssen auch die Ergebnisse der Quantenmechanik philosophisch analysiert werden.

Die Untersuchung des Bewegungsablaufs unter Berücksichtigung des Wellen-Korpuskel-Dualismus vernachlässigt noch viele neue Probleme, hilft uns jedoch, Schritt für Schritt zu diesen Problemen vorzudringen. Beachten wir [53] den Zusammenhang zwischen Wellen- und Korpuskeleigenschaften der Elementarobjekte, dann muß das auch seinen Ausdruck in der Bewegungsauffassung finden. Uns geht es um die Aufhebung der Einseitigkeit. Folgen wir deshalb Schritt für Schritt der Hegelschen Auffassung über den Widerspruch unter der Voraussetzung, daß wir, was Hegel auf den Begriff anwandte, auf das physikalische Tatsachenmaterial anwenden, indem wir unsere Begriffe als Abbilder objektiver Eigenschaften der physikalischen Systeme betrachten.

Die klassische Physik betrachtet die Wellen- und Korpuskeleigenschaften als beziehungslos zueinander und beschränkte sie auf ganz bestimmte Objekte. Die Wellentheorie vernachlässigte die korpuskularen Eigenschaften und die Korpuskulartheorie die Welleneigenschaften. Vor allem die Untersuchung des Lichts, das seit den Interferenzversuchen als Welle erfaßt wurde, zeigte die Unhaltbarkeit dieser Beziehungslosigkeit. Bekannt waren die Erscheinungen der Polarisation und der Interferenz, die eindeutig auf die Wellennatur des Lichts hinwiesen. Aber damit konnte der photoelektrische Effekt nicht erklärt werden. Seine Deutung verlangte, wie Einstein zeigte, die Auffassung des Lichts als Photonenstrom. Im Jahre 1924 stellte dann de Broglie die Hypothese auf, daß die beim Licht vorhandene Einheit von Wellen- und Korpuskeleigenschaften keine Besonderheit der Optik sei, sondern allgemeinen Charakter besitze. Er anerkannte nicht nur, daß die Lichtwellen auch korpuskulare Eigenschaften haben, sondern ließ neben den korpuskularen Eigenschaften der Elementarteilchen (Elektronen usw.) auch Welleneigenschaften zu. Diese geniale Hypothese wurde in der Folgezeit durch eine Vielzahl von Forschern bestätigt. Die Beziehungslosigkeit der Wellen- und Korpuskeltheorie war aufgehoben, mehr noch, die Wellen- und Korpuskeleigenschaften der materiellen Prozesse wurden zu zwei Momenten einer Erscheinung. Damit wurde die Einheit von Welle und Korpuskel hervorgehoben. Diese Einheit war vorerst rein äußerlich und ließ noch keine Betrachtung über das Wesen der physikalischen Prozesse zu. Aber diese Einheit erwies sich zugleich als eine Einheit von Gegensätzen. Welleneigenschaften der physikalischen Prozesse sind die bei der Beugung am Spalt stattfindenden Interferenzen. Sowohl Elektronen als auch Lichtstrahlen besaßen diese Eigenschaften. Nun werden aber die Wellenei-

<sup>57</sup> M. A. Markow, Hyperonen und K-Mesonen, a. a. O., S. 159.

<sup>58</sup> R. Hofstadter, Die Elektronenstreuung und ihre Anwendung auf die Struktur von Kernen und Elektronen, in: Physikalische Blätter, 1962, Heft 5, S. 195.

genschaften durch die Angabe der Wellenlänge und der Frequenz charakterisiert. Die Wellen sind unbegrenzt und nicht lokalisierbar. Es wäre unsinnig, von der Frequenz und der Wellenlänge an einem genau bestimmten Ort zu sprechen. Wir haben es bei den Welleneigenschaften mit der Kontinuität der Ausbreitung zu tun. Dagegen sind die Korpuskeleigenschaften durch Lokalisierbarkeit, also die Angabe des Ortes, der Lage sowie durch die Angabe des Impulses und der diskreten Energie charakterisiert. Sie zeigen sich z. B. beim Photoeffekt und in der Wilsonkommer [54] und sind also Ausdruck der Diskontinuität. Wellen- und Korpuskeleigenschaften erweisen sich somit als durch sich selbst bestimmt und schließen sich gegenseitig aus. Dabei ist diese Ausschließung nicht vollständig. Wohl kann man keiner Welle einen bestimmten Ort zuweisen, aber sie besitzt eine bestimmte Energie und eine bestimmte Geschwindigkeit (Phasengeschwindigkeit). Man kann auch, wie uns die Betrachtung der Bewegung eines diskreten Teilchens lehrte, nicht von einem genau bestimmten Ort des Teilchens sprechen, ohne die Bewegung aufzuheben oder die Geschwindigkeit zu verändern. Das Teilchen besitzt also, wenn es sich bewegt, ebenfalls nicht die Eigenschaft der eindeutigen Lokalisierbarkeit, sondern befindet sich zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem bestimmten Intervall, gleich der Welle. Sind also Wellen- und Korpuskeleigenschaften zwar durch sich selbst bestimmt und gleichgültig gegeneinander, so zeigt ihre Untersuchung, daß sie sich in Wirklichkeit nicht vollständig ausschließen. Das konkrete, sich bewegende Teilchen wird einseitig erfaßt, wenn wir es nur als Korpuskel betrachten. Das hatten wir schon bei der Ortsveränderung gesehen, wo wir die Kontinuität der Bewegung mitbeachten mußten. Das gleiche gilt hier für die Welleneigenschaften.

Lenin bemerkt: „Jedes konkrete Ding, jedes konkrete Etwas steht in verschiedenartigen und oft widerspruchsvollen Beziehungen zu allem Übrigen, ergo ist es es selbst und ein anderes.“<sup>59</sup> Hier liegt ein entsprechender Fall vor. Das konkrete sich bewegende Teilchen verhält sich in einer Beziehung zu seiner Umwelt als Korpuskel und in einer anderen als Welle. Die widerspruchsvollen Eigenschaften des Teilchens bringen also einen objektiven Widerspruch zum Ausdruck. Wir können einerseits das Teilchen als Welle betrachten und andererseits als Korpuskel. Aber zugleich schließen sich ja beide Bestimmungen nicht völlig aus. Sie sind - beide einseitig und erfassen nicht das bewegte Teilchen. So schränkt auch in der Theorie die Anwendbarkeit beider Bilder die Anwendung eines Bildes ein. Die Wellen- und Korpuskeleigenschaften sind nicht nur durch sich selbst bestimmt und gleichgültig gegeneinander, sondern auch durch die anderen bestimmt und abhängig voneinander. Es ist das Verdienst Heisenbergs, in den Unbestimmtheitsrelationen diese wechselseitige Beeinflussung mathematisch faßbar gemacht zu haben. Die Welleneigenschaften bestimmen die Korpuskeleigenschaften in der Weise, daß entsprechend der Unbestimmtheitsrelation die genaue Bestimmung der Zeit und des Ortes eine ungenaue Bestimmung von Energie und Impuls mit sich bringt. Andererseits beschränken die Korpuskeleigenschaften auch die Welleneigenschaften, indem sie die mögliche Geschwindigkeit der Wellen beschränken. Die über die Lichtgeschwindigkeit hinausgehende Phasengeschwindigkeit darf im Wellenpaket nicht auftreten, weshalb nicht irgendeine Phasengeschwindigkeit mit der Geschwindigkeit des Teilchens identifiziert werden kann, sondern nur die Gruppengeschwindigkeit. Damit diese unter der Lichtgeschwindigkeit liegt, muß das Wellenpaket aus Wellen mit verschiedener Phasengeschwindigkeit aufgebaut sein. Die Vielzahl der Möglichkeiten der Welleneigenschaften wird also durch die sich wirklich bewegenden Teilchen beschränkt. Das bewegende Elementarobjekt – die Überlegungen sind ja nicht auf Teilchen beschränkt, sondern treffen auch für das Licht zu – ist also eine Einheit von entgegengesetzten Bestimmungen, eine Einheit von Korpuskel- und Welleneigenschaften und damit eine Einheit von Gegensätzen.

---

<sup>59</sup> W. I. Lenin, Aus dem philosophischen Nachlaß, a. a. O., S. 53.

Die Korpuskeleigenschaften des sich bewegenden Teilchens in ihrer Selbständigkeit müssen also die Welleneigenschaften mit enthalten. Das Elementarobjekt befindet sich nicht am Punkt  $x$ , sondern im Intervall  $x + \Delta x$ . Die Korpuskeleigenschaften schließen aber die Welleneigenschaften auch aus sich aus, da beide einander entgegengesetzt sind. Dasselbe gilt andererseits für die Welleneigenschaften. Sie enthalten einerseits die Korpuskeleigenschaften. (Die Phasengeschwindigkeit der Wellen ist beschränkt, das Wellenpaket ist nicht unendlich ausgebreitet.) Andererseits müssen sie aber – infolge der Entgegensetzung – die Korpuskeleigenschaften von sich ausschließen. Das ist aber, wie Hegel sagt, der (dialektische) objektiven Charakter besitzende Widerspruch. Die objektive Bewegung der Elementarobjekte unter Berücksichtigung ihrer Wechselwirkung muß also als dialektischer Widerspruch zwischen Wellen- und Korpuskeleigenschaften charakterisiert werden. Die Unbestimmtheitsrelationen zeigen die zwischen beiden bestehende Beziehung. Diese Relationen sind m. E. keine Gleichung, sondern eine Ungleichung, weil sie eine Einheit von Gegensätzen zum Ausdruck bringen. Versuchen wir eine Seite dieser Einheit, eine Seite des dialektischen Widerspruchs zu erfassen, so müssen wir stets die andere Seite berücksichtigen. Versuchen wir die eine Seite immer genauer zu erfassen, müssen wir die Bedingungen für die Existenz des Widerspruchs ändern und bei der genauen Bestimmung den Widerspruch lösen. Der dialektische Widerspruch der konkreten Bewegung ist zweifellos gelöst, wenn die Bewegung (relativ) aufhört, wenn das betrachtete Objekt ruht. Das ist aber der Fall, wenn wir ein Elementarobjekt auf ein Gerät einwirken lassen, das die Bewegung unterbricht. Wir entdecken bei dieser Einwirkung, daß das Objekt lokalisiert ist. Aber es ist jetzt unmöglich, die für seine Bewegung charakteristischen Größen zu bestimmen. Das ist z. B. der Fall, wenn ein einzelnes Teilchen auf eine Photoplatte trifft. Die Interferenz bei der Beugung am Spalt zeigt uns dagegen die Welleneigen-[56]schaften, weil bei der Beugung die Bewegung nicht unterbrochen wird. Hier muß sich also zugleich der Widerspruch zwischen Korpuskel- und Welleneigenschaften zeigen. Das ist auch der Fall. Wir können die Interferenz erst feststellen, nachdem die Einwirkung auf eine Photoplatte stattgefunden hat. Erwarteten wir von den Korpuskeln Geradlinigkeit der Ausbreitung, so zeigt uns die Einwirkung der Elementarobjekte auf die Platte ein anderes Bild. Die sich bewegenden Objekte, schlußfolgern wir, werden bei dem Durchgang durch den Spalt gestreut. Wir können aber nicht schlußfolgern, daß sie bei der Streuung oder Beugung nur Welleneigenschaften besaßen, da sie ja bei der Einwirkung die vorhandenen objektiven Korpuskeleigenschaften aufweisen. Jedoch sehen wir bei der Betrachtung der Interferenz von diesen Korpuskeleigenschaften ab, da die Interferenz ja gerade die korpuskulare Geradlinigkeit ausschließt.

Die den Welleneigenschaften eigene Ausbreitung nach allen Richtungen wird durch die Korpuskeleigenschaften ebenfalls beschränkt, ohne daß es deshalb zur geradlinigen Ausbreitung käme. Diese Seite des Widerspruchs der Bewegung weist uns darauf hin, daß die Bewegung der Elementarobjekte nicht einfach eine Bewegung isolierter Objekte und Eigenschaften ist, sondern daß sie eben nur als Wechselwirkung der Objekte und Eigenschaften erfaßt werden kann. War doch bei der Betrachtung der Bewegung der isolierten Korpuskel die Geradlinigkeit der Bewegung stillschweigende Voraussetzung; so zeigen uns die Welleneigenschaften nicht nur die Kontinuität der Ausbreitung, sondern auch eine neue Qualität der Elementarobjekte. Ihre Bewegung ist Wechselwirkung der Objekte und Eigenschaften miteinander. Da es sich bei der Bewegung der Elementarobjekte aber ebenfalls um Ortsveränderung handelt, müssen wir, wenn wir von der Struktur der Objekte und ihrer Wechselwirkung absehen, zum Widerspruch zwischen Kontinuität und Diskontinuität kommen. Das ist auch tatsächlich der Fall. Wir können bei den Welleneigenschaften davon absehen, was wir über die Ausbreitungsrichtung sagten und nur noch beachten, daß die Wellen die Kontinuität zum Ausdruck bringen. Bei den Korpuskeleigenschaften beachten wir nur noch die ihnen eigene Diskontinuität. Dann erhalten wir den für jede Ortsveränderung charakteristischen dialektischen Widerspruch zwischen Kontinuität und Diskontinuität.

Jetzt wird klar, weshalb wir bei Betrachtung der Ortsveränderung eine der Unbestimmtheitsrelation ähnliche Relation fanden. Mathematisch gesehen war es ebenfalls eine Ungleichung. Aber die für die Bewegung der Elementarobjekte charakteristische Konstante  $\hbar$  war in ihr nicht enthalten. Wir hatten ja auch von jeder Aussage über Wechselwirkung und Struktur abgesehen und die Ortsveränderung ganz allgemein betrachtet.

[57] Die Unbestimmtheitsrelationen dagegen sind Ausdruck des objektiven Widerspruchs im Bewegungsablauf der Elementarobjekte. Sie werden abgeleitet aus den für die Elementarobjekte charakteristischen objektiven Wellen- und Korpuskeleigenschaften. Weil sie die Bewegung oder Wechselwirkung der Elementarobjekte zum Ausdruck bringen, müssen sie auch für die Wechselwirkung von Meßinstrument und Meßobjekt gelten. Die Wechselwirkung zwischen Meßinstrument und Meßobjekt ermöglicht uns Aussagen über die objektive Wechselwirkung und damit über die objektive Bewegung der Elementarobjekte. Damit stellen die Unbestimmtheitsrelationen keine Begrenzung unseres Wissens dar. Sie verdeutlichen uns vielmehr die in der klassischen Physik unwesentlichen Zusammenhänge, und unsere Erkenntnis der physikalischen Prozesse wird vertieft.

Die philosophische Kritik der verabsolutierten klassischen Bewegungsauffassung ergab, daß die moderne Physik mit ihrer Bewegungskonzeption die Bewegung überhaupt tiefer erfaßt. Sie dringt mehr in das Wesen der physikalischen Bewegung ein, berücksichtigt gegenüber der klassischen Physik neue Faktoren.

Konnte in der klassischen Physik der dialektische Widerspruch zwischen Kontinuität und Diskontinuität noch vernachlässigt werden, indem beide Bestimmungen als beziehungslos betrachtet wurden, so ist das für die moderne Physik nach der Aufdeckung der Unbestimmtheitsrelationen unmöglich. Sie muß die Beziehung zwischen beiden Bestimmungen der Bewegung berücksichtigen, weil sie sich bei der Bewegung der Elementarobjekte ausdrücken in dem Zusammenhang zwischen Wellen- und Korpuskeleigenschaften, der zu einem nicht vernachlässigbaren Fehler bei der gleichzeitigen Orts- und Impulsbestimmung eines Objekts führt.

Die Lehre vom dialektischen Widerspruch gibt also die philosophische Deutung und damit eine Vertiefung der physikalischen Ergebnisse der Quantenmechanik über den Bewegungsablauf. Dabei ergibt sich bereits aus der Kritik der verabsolutierten klassischen Bewegungsauffassung die Konzeption des dialektischen Widerspruchs über das Verhältnis von Kontinuität und Diskontinuität als Grundlage der mechanischen Ortsveränderung. Insofern widerspricht die klassische Physik nicht dem dialektischen Materialismus. Jedoch sind physikalische und philosophische Theorie nicht gleichzusetzen. Die physikalische Bewegungstheorie der Quantenmechanik vertieft die philosophische Aussage über die Widersprüchlichkeit der Bewegung und präzisiert sie für den Bereich der Elementarobjekte. So sind klassische Physik und Quantenmechanik mit der dialektisch-materialistischen Theorie vereinbar und immanent verbunden. Zugleich verweist die philosophische Analyse [58] auf den Fortschritt in der Bewegungsauffassung der Quantenmechanik gegenüber der klassischen Theorie. Der Widerspruch zwischen Kontinuität und Diskontinuität dient auch zur Erklärung der Ortsveränderung der Elementarobjekte. Da es aber hier nicht mehr um die Ortsveränderung relativ isolierter Objekte geht, sondern die Wechselwirkung des Objekts mit seiner Umgebung direkter Bestandteil der Theorie ist, muß auch die Bewegungskonzeption weiter konkretisiert werden. Bei den Elementarobjekten kann nicht mehr von der inneren Struktur und der Wechselwirkung mit der Umgebung abstrahiert werden. Der dialektische Widerspruch zwischen Wellen- und Korpuskeleigenschaften erweist sich einerseits lediglich als Ausdruck des Widerspruchs zwischen Kontinuität und Diskontinuität, soweit es um die Ortsveränderung geht. Andererseits bringt er neue Elemente der Bewegungsauffassung zum Ausdruck, eben die Berücksichtigung von Struktur und Umgebung. Damit charakterisiert dieser Widerspruch nicht nur den

Verlauf der Ortsveränderung, sondern verweist auch auf deren Ursache. Die philosophische Kritik der verabsolutierten klassischen Bewegungsauffassung begann bereits im Altertum. Sie ging über Hegel bis zum dialektischen Materialismus. Einzelwissenschaftlich gesehen erwies sich die Quantenmechanik als ein Fortschritt beim Eindringen in das Wesen der Bewegung der Elementarobjekte.

Die fortschreitende Entwicklung der physikalischen Theorie wird zur weiteren Präzisierung der Bewegungsauffassung beitragen. Dabei zeigen sich bereits interessante Probleme, die einer philosophischen Analyse bedürfen. So muß die philosophische Auffassung der Einheit von Materie, Bewegung und Raum im Hinblick auf die mögliche Abhängigkeit des Koordinatenoperators vom Feld präzisiert werden. Die Bewegung als Wechselwirkung der inneren Strukturelemente weist im Zusammenhang mit der Umwandelbarkeit der Elementarobjekte ebenfalls interessante philosophische Probleme auf. Ebenso muß der Zusammenhang zwischen Bewegung, Struktur und Symmetrie untersucht werden, weil sich hier die Möglichkeit einer Klassifizierung der Gesetze in Struktur- und Bewegungsgesetze anbietet. Problematisch wird der Zusammenhang zwischen Symmetrie und Nicht-Symmetrie beispielsweise bei schwachen Wechselwirkungen mit der Durchbrechung der Paritätserhaltung. Das zeigt, daß die philosophische Analyse der Quantenmechanik nur der Ausgangspunkt für die Behandlung weiterer philosophischer Probleme sein kann. Auf einige werden wir später noch eingehen. Dabei handelt es sich um Fragen, die philosophisch und physikalisch noch keine befriedigende Antwort gefunden haben. [59]

### *3. Das Wesen der Bewegung und die Deutung einer Quantenmechanik durch die Kopenhagener Schule*

Bevor wir uns mit der experimentellen Situation und ihrer philosophischen Deutung auf der Grundlage der bisher erarbeiteten allgemeinen Aussagen beschäftigen, wollen wir uns mit dem Versuch der Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik beschäftigen. Die Vertreter der Kopenhagener Deutung nehmen ebenfalls den Widerspruch zwischen Wellen- und Korpuskeleigenschaften der Elementarobjekte zum Forschungsgegenstand.

Wir versuchten die Vertreter der Kopenhagener Deutung diesen Widerspruch zu lösen? Welche Auffassung haben sie von der Bewegung der Elementarteilchen?

Weizsäcker schreibt dazu: „Das Atom selbst aber nehmen wir nicht unmittelbar wahr; es ist uns nicht als Objekt in Raum und Zeit gegeben, sondern als Ziel eines Rückschlusses aus einem Meßresultat. Man kann es auch nicht durch ein Modell nach dem Muster eines raumzeitlichen Objekts beschreiben ... Könnte man den Ausfall jedes an einem Atom möglichen Experiments (z. B. über seine Lage, seine Geschwindigkeit, seine innere Struktur) mit Gewißheit voraussagen, so könnte man die betreffenden Werte der zu messenden raumzeitlich definierten Größen dem Atom einfach als Eigenschaften zuschreiben und hätte das gesuchte raumzeitliche Modell des Atoms. Darin, daß in den meisten Fällen nur Wahrscheinlichkeitsvoraussagen möglich sind, drückt sich also gerade aus, daß man die gemessenen Größen dem Atom nicht naiv als Eigenschaften zuschreiben darf. Dasselbe zeigt sich darin, daß die gemessenen Größen, als Eigenschaften eines und desselben Objekts gedacht, zum Teil sogar logisch unvereinbar sind. Zum Beispiel benimmt sich dasselbe Atom bei manchen Experimenten wie ein räumlich konzentriertes Teilchen, bei anderen wie eine den ganzen Raum erfüllende Welle. Nun ist es klar, daß das Atom nicht zugleich Teilchen und Welle sein kann. Die logische Paradoxie wird dadurch vermieden, daß man niemals gleichzeitig Experimente machen kann, in denen das Atom in den beiden verschiedenen Weisen reagiert ... Also darf ich nicht sagen: ‚das Atom ist ein Teilchen‘, oder ‚es ist eine Welle‘, sondern ‚es ist entweder

Teilchen oder Welle, und ich entscheide durch meine experimentelle Anordnung, als was es sich manifestiert“.<sup>60</sup>

Hier zeigt sich die charakterisierte Schwierigkeit der Erfassung der Bewegung in der Logik unserer Begriffe neben den weltanschaulichen Problemen. Für Weizsäcker würde es sich bei Lage, Geschwindigkeit und innerer [60] Struktur sowie bei Wellen- und Korpuskeleigenschaften nur um objektive Eigenschaften handeln, wenn man den Ausfall des Experiments mit Gewißheit vorhersagen kann. Dahinter verbirgt sich die Auffassung der klassischen Physik, wonach die objektiven Eigenschaften, wie Ort und Geschwindigkeit der Teilchen, Kontinuität und Diskontinuität der Bewegung, unabhängig voneinander existieren müssen. Wir haben aber schon bei der Betrachtung der Bewegung eines Körpers gesehen, daß Lage und Geschwindigkeit des Körpers einander gegenseitig bedingen und wir deshalb eine gewisse Unbestimmtheit des Ortes in Kauf nehmen müssen, wenn wir die Bewegung des Körpers betrachten. Diese Bedingtheit wird nun auch durch die moderne Physik nachgewiesen. Weizsäcker folgert daraus, daß es sich dann nicht mehr um objektive Eigenschaften handeln könne. Für die Bewegung der Atome und der Elementarteilchen ist er der Meinung, daß das Atom entweder Teilchen *oder* Welle ist, worüber der Mensch durch das Experiment entscheidet. Auch für die Wellen- und Korpuskeleigenschaften kommt er zur Leugnung ihrer Objektivität. Weizsäcker erfaßt also den Widerspruch zwischen Wellen- und Korpuskeleigenschaften gar nicht, sondern versucht seine Objektivität zu leugnen, indem er ihn als logischen Widerspruch deutet.

Weizsäcker bringt diesen Gedanken auch an anderer Stelle zum Ausdruck: „Es ist eine der wichtigsten Erfahrungen der Atomphysik, daß alle physikalischen Gebilde, die oben als ‚Teilchen‘ bezeichnet wurden, unter gewissen experimentellen Bedingungen auch als Wellen in Erscheinung treten können. Zwischen der Behauptung: ‚das Elektron ist ein Teilchen‘ und ‚das Elektron ist eine Welle‘ besteht nun ein kontradiktorischer Gegensatz. Denn ein Teilchen ist seiner Definition nach dann, wenn es an einem bestimmten Ort ist, nicht gleichzeitig an einem anderen Ort, ein Wellenvorgang hingegen findet, ebenfalls seiner Definition nach, gleichzeitig in einem ausgedehnten Raumgebiet statt. Dieser Gegensatz wird aufgelöst durch die Behauptung: Ein ‚atomares Teilchen‘ ist eine physische Realität, die jenseits der Grenzen der unmittelbaren Wahrnehmung liegt, und die wir in unseren räumlichen und zeitlichen Begriffen überhaupt nicht mehr anschaulich beschreiben können. Es ist daher strenggenommen weder ein Teilchen noch eine Welle ... Die Begriffe ‚Teilchen‘ und ‚Welle‘ oder genauer ‚räumlich diskontinuierlicher‘ und ‚räumlich kontinuierlicher Vorgang‘ treten also nur auf als durch unsere Anschauungsformen geforderte Deutungen eines nicht mehr unmittelbar anschaulichen Geschehens. Man kann in der Form der sogenannten Unbestimmtheitsrelationen die Grenzen angeben, bis zu denen jedes der beiden Bilder physikalisch sinnvoll bleibt.“<sup>61</sup>

[61] Wieder wird die Erfassung der Teilchen als Welle und Korpuskel als logischer Widerspruch dargestellt. Dabei entsteht dieser Widerspruch auf Grund der klassischen Auffassung. Dort befindet sich auch ein bewegtes Teilchen nur an einem bestimmten Ort. Die Erfassung der Bewegung in unseren Begriffen erfordert aber, daß wir das sich bewegende Teilchen so betrachten, daß es sich zum selben Zeitpunkt an einem Ort und nicht an ihm befindet. Die Auffassung der Bewegung als Widerspruch führt also bereits zu einer Einschränkung der klassischen Auffassung des Ortes. Die Unbestimmtheitsrelationen geben zwar die Anwendbarkeitsgrenzen der klassischen Begriffe an, aber in der Weise, daß sie die Beziehungslosigkeit zwischen ihnen aufheben. In der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie wurde nun besonderer Wert auf die Ausarbeitung der These von der Komplementarität der Eigenschaften der Elementarobjekte gelegt. Diese These wurde von Niels Bohr aufgestellt und von Hei-

<sup>60</sup> C. F. v. Weizsäcker, Zum Weltbild der Physik, Stuttgart 1958, S. 29 f.

<sup>61</sup> Ebenda, S. 40.

senberg, Weizsäcker u. a. prominenten Physikern vertreten. Heisenberg schreibt dazu: „Eine andere Formulierung (der Unbestimmtheitsrelationen – H. H.) ist von Nils Bohr geprägt worden, der den Begriff der Komplementarität eingeführt hat. Er meint damit, daß verschiedene anschauliche Bilder, mit denen wir atomare Systeme beschreiben, zwar für bestimmte Experimente durchaus angemessen sind, aber sich doch gegenseitig ausschließen. So kann man z. B. das Bohrsche Atom als ein Planetensystem im kleinen beschreiben: in der Mitte ein Atomkern und außen Elektronen, die diesen Kern umkreisen. Für andere Experimente aber mag es zweckmäßig sein, sich vorzustellen, daß der Atomkern von einem System stehender Wellen umgeben ist, wobei die Frequenz der Wellen maßgebend ist für die von dem Atom ausgesandte Strahlung ... Diese verschiedenen Bilder sind also richtig, wenn man sie an der richtigen Stelle verwendet, aber sie widersprechen einander, und man bezeichnet sie daher als komplementär zueinander. Die Unbestimmtheit, mit der jedes einzelne dieser Bilder behaftet ist und die durch die Unbestimmtheitsrelationen ausgedrückt wird, genügt eben, um logische Widersprüche zwischen den verschiedenen Bildern zu vermeiden.“<sup>62</sup> Mit dieser Komplementaritätsdeutung wird versucht, die sonst auftretenden logischen Widersprüche zwischen den verschiedenen Bildern zu beseitigen. Hier wird ausgeführt, was wir hinsichtlich der Rolle von Modellvorstellungen bemerkten. Sie haben eine relative Gültigkeit. Im Falle der Erfassung zweier entgegengesetzter Seiten eines Objekts in verschiedenen Modellvorstellungen, wie das beim Korpuskelbild und beim Wellenbild in der Quantenmechanik der Fall ist, muß der Zusammenhang beider Bilder beachtet werden. Es ist ein Vorzug in der Kopenhagener Deutung der Quan-[62]tentheorie, daß die philosophische Deutung der Unbestimmtheitsrelationen in der These von der Komplementarität versucht wird. Heben wir deshalb zuerst den rationalen Gehalt dieser These hervor. Bohr schreibt über die Komplementarität: „In der Quantenphysik stehen dagegen die mit Hilfe verschiedener Versuchsanordnungen gewonnenen Erfahrungen in einer neuartigen komplementären Beziehung zueinander. Es muß ja erkannt werden, daß solche Erfahrungen, die als einander widersprechend erscheinen, wenn man versucht, sie in einem einzigen Bilde zusammenzufassen, alle über das Objekt erfaßbare Erkenntnis erschöpfen. Weit davon entfernt, unseren Bemühungen, der Natur in Form von Experimenten Fragen zu stellen, eine Grenze zu setzen, charakterisiert der Begriff Komplementarität einfach die Antworten, die wir auf eine solche Fragestellung in jenen Fällen erhalten können, wo die Wechselwirkung zwischen den Meßgeräten und den Objekten einen integrierenden Teil des Phänomens bildet.“<sup>63</sup>

Bohr faßt also die Komplementarität als ein einheitliches Bild zur Beschreibung widersprechender Eigenschaften der Elementarobjekte, die wir in den Experimenten feststellen. Damit bildet sie tatsächlich die Zusammenfassung unserer Kenntnisse über die objektiv-real existierenden Elementarobjekte. Das weitere Problem wäre nun die Untersuchung des Zusammenhangs der sich widersprechenden Eigenschaften. Physikalisch wurde dieser Zusammenhang in den Unbestimmtheitsrelationen entdeckt. Philosophisch fanden wir ihn im dialektischen Widerspruch. Wenn nun die Unbestimmtheitsrelationen den physikalischen Zusammenhang zwischen sich widersprechenden Eigenschaften ausdrücken, so versucht die These von der Komplementarität das Vorhandensein dieser Eigenschaften zu begründen. Sie anerkennt einerseits den physikalischen Sachverhalt und den Zusammenhang sich widersprechender Eigenschaften. Andererseits geht sie damit über die Physik hinaus und verweist auf eine allgemeine Form des Zusammenhangs objektiver Eigenschaften. Eben darin liegt ihre über die Unbestimmtheitsrelationen hinausgehende Bedeutung. Aber die Komplementarität ist nur ein Hinweis auf die allgemeinsten Beziehungen der objektiven Realität. Er ergibt sich aus konkreten physikalischen Untersuchungen, muß jedoch seine Begründung und Ausarbeitung in der Philosophie finden.

<sup>62</sup> W. Heisenberg, Das Naturbild der heutigen Physik, Hamburg 1955, S. 29.

<sup>63</sup> N. Bohr, Über Erkenntnisfragen der Quantenphysik, in: Max-Planck-Festschrift, Berlin 1958, S. 172 f.

Bohr ist sich über den allgemeinen Aspekt seiner Komplementaritätsthese durchaus klar. Er betrachtet die Entwicklung der physikalischen Terminologie als ein Beispiel dafür, „daß wir es ... mit klaren Beispielen logischer Beziehungen, welchen wir in verschiedenen Zusammenhängen in weiteren [63] Forschungsgebieten begegnen“, zu tun haben.<sup>64</sup> Gerade diese klaren logischen Zusammenhänge, von denen Bohr spricht, sind nun in der marxistischen Philosophie Grundlage der wissenschaftlichen Forschung. Die marxistische Dialektik untersucht die allgemeinsten Beziehungen und Gesetze der objektiven Realität. Während also der hervorragende Physiker Niels Bohr, ausgehend von der konkreten physikalischen Situation, zur Formulierung bestimmter allgemeingültiger Prinzipien kam, hat die marxistische Philosophie das System dieser Prinzipien formuliert, ihren Zusammenhang aufgedeckt und benutzt es nun zur Deutung der einzelwissenschaftlichen Ergebnisse. Offensichtlich begegnen sich marxistische Philosophen und materialistische Physiker bei der Anerkennung der von positivistischen Thesen befreiten Komplementaritätsthese Bohrs. Nur kennen die marxistischen Philosophen bereits die allgemeine Begründung dieser These vom Zusammenhang sich widersprechender Eigenschaften aus der marxistischen Philosophie. Ohne diese Kenntnis kommt man bei der Deutung der physikalischen Ergebnisse leicht zu Fehleinschätzungen. Bohr anerkennt die objektive Kausalität, meint jedoch den Determinismus durch die Komplementarität als widerlegt betrachten zu müssen.<sup>65</sup> Hier zeigt sich die Notwendigkeit einer bewußten Anwendung des Materialismus auf die Ergebnisse der Naturwissenschaft. Ohne die philosophische Begründung der Einheit widersprechender Eigenschaften, wie sie in der marxistischen Philosophie gegeben wird, und die konkrete Ausarbeitung solcher zusammenhängender Eigenschaften kommt man zu einer unberechtigten Entgegenstellung von Kausalität und Determinismus. Zwar lehnt Bohr den mechanischen Determinismus ab, kommt jedoch nicht zur Begründung einer neuen, den Ergebnissen der Physik entsprechenden Determinismusauffassung. Er betont, „daß der Komplementaritätsbegriff – weit davon entfernt, einen willkürlichen Verzicht auf das Kausalitätsideal zu enthalten – der unmittelbare Ausdruck ist für unsere Lage hinsichtlich der Beschreibung von Grundeigenschaften der Materie, die in der klassischen Darstellungsweise vorausgesetzt werden, aber außerhalb ihres Bereiches liegen“<sup>66</sup>. Hier kommt wieder der richtige Gedanke Bohrs zum Ausdruck, daß es nicht um die Leugnung der Kausalität geht. Ausdruck der Lage der Physiker ist der Komplementaritätsbegriff insofern, als die Physiker den Zusammenhang zwischen Lage und Bewegung der Objekte erkannten, die sich widersprechenden Eigenschaften der Mikroobjekte aufdeckten und nun den Versuch einer Deutung unternahmen. Fock hebt mit Recht hervor, daß sich die Bohrschen Ideen, [64] wenn sie vom Positivismus befreit sind, in den materialistischen Ideenkreis einfügen.<sup>67</sup> Niels Bohr halte die Komplementarität für unvereinbar mit dem Laplaceschen Determinismus. In diesem Sinne lehnte er den Determinismus ab.<sup>68</sup> Bohr bemüht sich um die Beseitigung positivistischer Tendenzen der Komplementaritätsthese. Sie ist jedoch keine ausgearbeitete Theorie des Verhältnisses von Notwendigkeit und Zufall, Möglichkeit und Wirklichkeit, sowie keine Theorie des dialektischen Widerspruchs. Bohrs Gedanken geben wichtige Hinweise für die philosophische Deutung der physikalischen Ergebnisse. Sie sind ein Beitrag zur philosophischen Diskussion auf materialistischer Grundlage, aber keine vollständige philosophische Theorie. Über die Bedeutung der Komplementarität gab es unter marxistischen Philosophen viele Diskussionen. Omeljanowski kritisierte früher den idealistischen Charakter des Komplementaritätsprinzips<sup>69</sup>, hebt in der letzten Zeit jedoch immer mehr

---

<sup>64</sup> Ebenda, S. 175.

<sup>65</sup> Ebenda, S. 173.

<sup>66</sup> Ebenda, S. 174.

<sup>67</sup> V. Fock, Über die Deutung der Quantenmechanik, a. a. O., S. 178.

<sup>68</sup> Ebenda, S. 181.

<sup>69</sup> M. E. Omeljanowski, Philosophische Probleme der Quantenmechanik, Berlin 1962, S. 41.

hervor, daß es sich dabei um einen „Schritt zur Dialektik“ handelt.<sup>70</sup> Dabei kritisiert er zu Recht die bloße Gegenüberstellung der entgegengesetzten Seiten im Sinne von Antinomien.<sup>71</sup> Die Aufgabe besteht in der Herausarbeitung des wirklichen Zusammenhangs der entgegengesetzten Seiten.

Dabei hat die Bewegungsauffassung direkten Einfluß auf die Determinismusauffassung. Wir wollen auf diesen Zusammenhang in der Kopenhagener Deutung schon hier aufmerksam machen.

Aus der Schrödingergleichung ergeben sich bei Zeitunabhängigkeit genaue Energiewerte. Der Zustand mit einem bestimmten Energiewert heißt stationär. Die allgemeine Lösung der Schrödingergleichung  $\psi(x, t)$  kann dann als Überlagerung der stationären Zustände mit willkürlichen oder konstanten Amplituden dargestellt werden,  $\psi$  bezeichnet den Zustand des physikalischen Systems und tritt an die Stelle der klassischen Bestimmungen. Im Heisenbergbild wird nun dieser Zustand als zeitlich konstant betrachtet. Um nun eine eindeutige Zuordnung von  $\psi(0)$ , also zum Zustand im Zeitpunkt 0 und  $\psi(t)$ , dem Zustand im Zeitpunkt  $t$  zu erhalten, wird ein zeitlich veränderlicher Operator eingeführt, der diese Zuordnung herstellt. Wir haben es also im Heisenbergbild mit dem zeitlich konstanten Zustand  $\psi_0$  und zeitabhängigen Operatoren zu tun.

[65] Demgegenüber wird im Schrödingerbild die Zeitabhängigkeit des Zustandes  $\psi$  angegeben, und die Operatoren werden als zeitunabhängig betrachtet. Dadurch unterliegt der sich selbst überlassene Zustand eines physikalischen Systems einer zeitlichen Änderung entsprechend der Schrödingergleichung.

Haben wir es nun im Heisenbergbild mit einem stationären Zustand, also einem Zustand mit genau bestimmter Energie zu tun, so bleibt dieser Zustand konstant, bis eine Einwirkung eintritt, durch die  $\psi$  sprunghaft geändert wird und ein neuer Zustand mit genau bestimmter Energie eingetreten ist. An dieser Stelle beginnt dann die Kausalitätsdiskussion. Bohr sagt dazu: „Streng genommen fordert der Begriff eines stationären Zustands die Ausschaltung jeder äußeren Wechselwirkung mit nicht zu dem System gehörigen Individuen. Daß einem solchen abgeschlossenen System ein bestimmter Energiewert zugeschrieben wird, kann als unmittelbarer Ausdruck für die in dem Satz der Erhaltung der Energie niedergelegte Kausalitätsforderung angesehen werden.“<sup>72</sup>

Die Einwirkung, von der wir sprachen, ist für die Vertreter der Kopenhagener Deutung eben die Beobachtung des physikalischen Systems. So stellt sich ihr Gedankengang folgendermaßen dar: Der Zustand eines physikalischen Systems ist genau bestimmt. Der Kausalitätsforderung ist insofern Genüge getan, als dem System ein genau bestimmter Energiewert zukommt. Finden nun eine Beobachtung statt, so ergibt sich ein Sprung des Systems von einem Zustand in den anderen.  $\psi$  ändert sich sprunghaft bei der Beobachtung. Der neue Zustand des Systems bleibt nun bis zur nächsten Beobachtung wieder unverändert. Er hat einen genau bestimmten Energiewert, womit der Kausalitätsforderung wiederum genügt wird. Aber an der Stelle des Sprungs, wird behauptet, sei die Kausalität durchbrochen. Das Ergebnis ist nach Bohr die Notwendigkeit der komplementären Betrachtungsweise von raum-zeitlicher Beschreibung und Kausalität. Auf der einen Seite können wir das physikalische System als objektiven Vorgang in Raum und Zeit beschreiben. Diese Beschreibung erfolgt durch die stationären Zustände. Die Beschreibung kann aber, nach Bohr, die Bewegung des Systems nur erfassen, wenn das System nicht mehr der Kausalitätsforderung unterliegt. Die Bewegung ist dann ein

<sup>70</sup> Ebenda, S. 241. Vgl. auch: M. E. Omeljanowski, Das Realitätsproblem in der Quantenphysik, in: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, 3/60, S. 285.

<sup>71</sup> Проблема Причинности в современной физике, Москва 1960, стр. 374.

<sup>72</sup> N. Bohr, Atomtheorie und Naturbeschreibung, a. a. O., S. 52.

Sprung von einem System ins andere. Da nun auch hier die Unbestimmtheitsrelationen als Begrenzung der Anwendung der raum-zeitlichen Beschreibung durch die Kausalitätsforderung und umgekehrt auftreten, erhalten wir als Ergebnis, daß in der Theorie der stationären Zustände der Übergang von einem Zustand in den anderen nicht beschrieben wird.

Aus den Unbestimmtheitsrelationen ( $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$ ) ergibt sich nämlich, [66] wenn  $\Delta E$  Null ist, daß  $\Delta t$  gegen unendlich geht und umgekehrt. Bei genauer Bestimmung der Energie, wie sie im stationären Zustand vorliegt, ist die Bestimmung der Zeit unmöglich. Bei genauer Bestimmung der Zeit, also zu einem Zeitpunkt, ist die Bestimmung der Energie unmöglich. Das ist aber der Zeitpunkt des Sprungs. Es ergibt sich also der Sprung als ein Vorgang, der gewissermaßen zeitlos stattfindet. Bei den stationären Zuständen haben wir es, wie bei der klassischen Auffassung der Bewegung, mit dem Bewegungsergebnis zu tun. Die Beschreibung der Bewegung durch die Sprünge von einem stationären Zustand in den anderen geschieht ebenfalls wie in der klassischen Auffassung durch eine Summe von Ruhezuständen, wobei diese Ruhezustände nicht mit den klassischen gleichzusetzen sind. Bei der klassischen Auffassung handelt es sich um die Ruhe eines Körpers an einem bestimmten Ort, zum bestimmten Zeitpunkt. Bei der quantenmechanischen Bewegungsauffassung ist die Einheit von Kontinuität und Diskontinuität als Einheit von Bewegung der Elektronen und Sprung berücksichtigt. Jedoch in bezug auf die Erfassung des Übergangs, als des Sprungs, ist der eine Zustand als Ausgangszustand durch die Energie bestimmt. Ebenso ist auch das Resultat bestimmt. Der Zusammenhang zwischen beiden Zuständen wird durch die Angabe der Übergangswahrscheinlichkeit hergestellt. So wird gegenüber der klassischen Auffassung die Bewegung physikalischer Objekte in ihrer Kompliziertheit genauer erfaßt. Die weitere Aufgabe ist jedoch die Untersuchung des inneren Mechanismus des Sprungs. Das kann nur durch die weitere physikalische Erforschung der inneren Struktur der Elementarobjekte geschehen. Dabei werden wir neue Aufschlüsse über das Verhalten bei einem Sprung von einem stationären Zustand in den anderen erhalten. Die Theorie der stationären Zustände und der Quantensprünge besitzt jedoch philosophisch großen Einfluß auf die genauere Bestimmung des Bewegungsbegriffs. Die Beachtung der Einheit von Kontinuität und Diskontinuität erfordert in diesem Falle die Untersuchung des diskontinuierlichen Sprungs von einem Energieniveau zum anderen, um den inneren Zusammenhang zwischen dem einen und dem anderen Niveau durch die materiellen Vorgänge, die sich beim Übergang abspielen, zu erfassen. Das ergäbe zugleich eine physikalische Begründung für die Übergangswahrscheinlichkeit durch die Aufdeckung eben der komplizierten Übergangsprozesse.

So zeigt sich das Verhältnis von Diskontinuität und Kontinuität stets auf neue Weise. Die klassische Beziehung besteht zwischen dem Befinden des Körpers im Resultat der Bewegung am bestimmten Ort (Diskontinuität) und der Stetigkeit der Bahn (Kontinuität). Die Einheit in der Quantenmechanik erhalten wir durch die in den Unbestimmtheitsrelationen erfaßte Berücksichtigung der Kontinuität und Diskontinuität der Bewegung von Elementar-[67]objekten. Dabei steht wiederum vor der Physik das eine Lösung verlangende Problem der Erklärung des Sprungs durch die materiellen Vorgänge beim Übergang von einem Zustand zum anderen. Wir haben die Einheit von Kontinuität und Diskontinuität stets nur in einem bestimmten Bereich, also relativ und nicht absolut erfaßt. Deshalb wird die philosophische Forschung nach der Erfassung der wirklichen Einheit stets heuristischer Hinweis für die Weiterentwicklung der physikalischen Theorie sein.

Niels Bohr schreibt: „Überhaupt ermöglicht die erwähnte Auffassung (von den stationären Zuständen – H. H.) eine widerspruchsfreie Deutung des Erfahrungsmaterials, aber die Widerspruchsfreiheit ist nur durch einen Verzicht auf die nähere Beschreibung der einzelnen Übergangsprozesse erreicht worden. Wir sind hier so weit von einer Kausalbeschreibung entfernt, daß einem Atom in einem stationären Zustand im allgemeinen eine freie Wahl zwischen ver-

schiedenen Übergangsmöglichkeiten zu anderen stationären Zuständen zugestanden werden muß.<sup>73</sup>

Diese kausale Beschreibung wäre in zwei Richtungen denkbar. Entweder die Bewegung der Elementarobjekte kann beim Sprung von einem stationären Zustand in den anderen so beschrieben werden, daß sich das Objekt exakte Aussagen über das Verhalten des Einzelobjekts ergeben, die völlig mit Gewißheit erfüllt. Das wäre die Rückkehr zur klassischen Auffassung. Dem widersprechen die bisherigen Ergebnisse der Physik. Bisher hebt kein Ergebnis den statistischen Charakter der Aussagen der Quantenmechanik auf. Zweitens könnte man aber auch von einer kausalen Erklärung sprechen, wenn man über die Kausalauflösung des mechanischen Determinismus hinausgeht und den statistischen Charakter der Gesetze direkt in die Kausalauflösung einbezieht.<sup>74</sup> Dann ist die Aussage Bohrs nicht als eine Ablehnung der Kausalität zu werten, sondern als eine Forderung nach genauer Untersuchung des Übergangs von einem stationären Zustand in den anderen. Aufschluß kann uns hier aber nur die moderne Physik selbst geben, die die Eigenschaften der Elementarobjekte untersucht.

Diskutiert man deshalb die Frage nach dem Fortschritt der physikalischen Theorie, so muß man einerseits festhalten, daß im Bereich der Energien, die klein gegen  $mc^2$  sind, die Quantenmechanik eine vollständige Beschreibung der Bewegung der Elementarobjekte und des Resultats eines Sprungs von einem stationären Zustand in den anderen gibt. Andererseits ist die Aufdeckung des inneren Mechanismus des Sprungs Angelegenheit der modernen [68] Physik, die ständig neues Material über die Eigenschaften der Elementarobjekte unter den Bedingungen ihrer Umwandelbarkeit liefert.

Bohr verquickt jedoch diese Fragen immer wieder mit den Problemen der Kausalität: „Ebenso wie die klassische Mechanik beansprucht die Quantenmechanik eine erschöpfende Beschreibung aller Erscheinungen zu geben, welche innerhalb ihres Anwendungsgebietes liegen. In der Tat folgt die Notwendigkeit einer prinzipiell statistischen Beschreibungsweise für die Atomerscheinungen aus einer näheren Untersuchung der Auskunft, welche wir uns durch direkte Messungen von diesen Erscheinungen verschaffen können, und des Sinnes, den wir in diesem Zusammenhang den physikalischen Grundbegriffen zuschreiben können. Einerseits müssen wir bedenken, daß die Bedeutung dieser Begriffe ganz und gar mit den gewöhnlichen physikalischen Vorstellungen verknüpft ist! So hat zum Beispiel jeder Hinweis auf Raum-Zeit-Verhältnisse die Beständigkeit der Elementarteilchen als Voraussetzung, ebenso wie die Erhaltungssätze von Energie und Impuls die Grundlage jeder Anwendung des Energie- und Impulsbegriffes bilden. Andererseits bedeutet das Postulat von der Unteilbarkeit des Wirkungsquantums ein für die klassischen Vorstellungen völlig fremdes Element, das bei Messungen nicht nur eine endliche Wechselwirkung zwischen Gegenstand und Meßmittel, sondern sogar einen gewissen Spielraum in unserer Rechenschaft mit dieser Wechselwirkung verlangt. Auf Grund dieser Sachlage fordert jede Messung, die eine Einordnung der Elementarteilchen in Raum und Zeit bezweckt, einen Verzicht hinsichtlich unserer Kenntnis von Energie- und Impulsaustausch zwischen den Teilchen und den als Bezugssystem benutzten Maßstäben und Uhren. Gleichfalls fordert jede Energie- und Impulsbestimmung der Teilchen, daß man auf ihre genaue Verfolgung in Raum und Zeit verzichtet. In beiden Fällen ist also die durch das Wesen der Messung geforderte Benutzung klassischer Begriffe von vornherein gleichbedeutend mit einem Verzicht auf eine streng kausale Beschreibung. Solche Betrachtungen führen unmittelbar auf die von Heisenberg aufgestellten Unbestimmtheitsrelationen, die er einer eingehenden Untersuchung der Widerspruchsfreiheit der Quantenmechanik zugrunde gelegt hat.“<sup>75</sup>

<sup>73</sup> Ebenda, S. 71.

<sup>74</sup> Vgl. H. Hörz, Über das Verhältnis von Kausalität und Determinismus, in: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, 2/63.

<sup>75</sup> N. Bohr, Atomtheorie und Naturbeschreibung, a. a. O., S. 74.

Niels Bohr stellt hier die notwendige Benutzung der klassischen Begriffe Ort und Zeit, Energie und Impuls der Einführung des Wirkungsquantums entgegen. Der vorhandene objektive Widerspruch zwischen genau bestimmtem Ort und Impuls, zwischen genau bestimmter Zeit und Energie, der aus dem Widerspruch zwischen Welle und Korpuskel entspringt, wird aber von ihm nicht beachtet. Diese Überbetonung der Rolle der Statistik durch Bohr, [69] die ihren Ausdruck in dem von ihm geforderten Spielraum in der Rechenschaft über die Wechselwirkung findet, führte in einer anderen Frage zu einer interessanten Polemik mit Pauli. Anfang des 20. Jahrhunderts war der Zerfall eines Atoms durch Ausstrahlung eines Elektrons, der Betazerfall, entdeckt worden.<sup>76</sup> Die mögliche Deutung dieses Zerfalls bestand in dem Zerfall eines Neutrons in ein Proton und ein Elektron. Das Elektron wurde ausgestrahlt, während sich der Kern in einen anderen Kern mit einer um eine Einheit größeren Ladung verwandelt. Dabei erschien es aber, als ob der Energieerhaltungssatz verletzt würde. Pauli stellte 1934 die Hypothese von der Existenz eines neuen Teilchens auf, das mit dem Elektron abgestrahlt wird. Die verschwundene Energie wurde dem Neutrino zugeschrieben und damit der Energieerhaltungssatz in seiner Gültigkeit bestätigt. Das Neutrino wurde erst vor wenigen Jahren entdeckt, jedoch war der größte Teil der Physiker schon vorher von seiner Existenz überzeugt.

Die philosophische Grundlage für die Voraussage Paulis war die Annahme von der strengen Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes auch in jedem Einzelprozeß. Bohr dagegen nahm an, daß der Energieerhaltungssatz keine Aussage über den einzelnen Prozeß mache, sondern nur statistische Gültigkeit habe. Das Festhalten des Bohrschen Gedankens hätte die Notwendigkeit der Suche nach dem Neutrino unnötig gemacht. Bohr gab selbst diesen Gedanken später wieder auf und nahm ebenfalls die Existenz des Neutrinis an.<sup>77</sup> Pauli mußte sich jedoch bei der Aufstellung seiner Hypothese mit der statistischen Deutung des Energieerhaltungssatzes auseinandersetzen. Hier zeigt sich bereits die für die Physik notwendige Grundhaltung von der Existenz materieller Prozesse zur Erklärung aller auftretenden Erscheinungen. Die statistische Deutung eines Sachverhalts erlaubt in vielen Fragen eine Voraussage über den untersuchten Prozeß. Das gilt auch für die Quantenmechanik. Zugleich ist jedoch die Aufgabe der Erforschung der Einzelprozesse des statistisch gedeuteten Sachverhalts, d. h. beim statistischen Verhalten eines Einzelobjekts die Erforschung der Wechselwirkungen in der Struktur und sein Verhalten mit der materiellen Umgebung zu lösen. Die Mißachtung allgemeiner, durch die Wissenschaft bestätigter Prinzipien kann, wie der Streit zwischen Bohr und Pauli zeigt, die Aufstellung wissenschaftlicher Hypothesen und ihre Bestätigung hemmen. Die Aufgabe besteht deshalb stets darin, zur Interpretation eines Sachverhalts nicht die einfache Beseitigung allgemein bestätigter Gesetze, wie des Energieerhaltungsgesetzes heranzuziehen, sondern aus diesen Gesetzen heuristische Hinweise für die weitere Forschung zu erhalten.

Ziel aller Wissenschaftler ist es, der Wissenschaft weiterzuhelfen, in der Erforschung der objektiven Realität weiterzuschreiten. Deshalb wird auch eine vorhandene einzelwissenschaftliche Bewegungsauffassung stets durch neue Aspekte ergänzt und bereichert werden. Die philosophische Bewegungsauffassung muß diese Aspekte verarbeiten, damit aus ihr neue heuristische Hinweise für den Fortschritt der wissenschaftlichen Bewegungsauffassung erhalten werden können. Es geht deshalb auch nicht einfach um eine Leugnung der Statistik zur Erfassung eines Sachverhalts, sondern um die Untersuchung der materiellen Prozesse, die Grundlage des statistisch erfaßten Sachverhalts sind.

Es zeigte sich die Notwendigkeit der Beschreibung des Sprungs von einem Niveau zum anderen durch Übergangswahrscheinlichkeiten und die Aufgabe der Erforschung der materiel-

<sup>76</sup> W. Nowoschilow, Elementarteilchen, a. a. O., S. 67 ff.

<sup>77</sup> W. Pauli, Zur älteren und neueren Geschichte des Neutrinis, in: Aufsätze und Vorträge über Physik und Erkenntnistheorie, Braunschweig 1961, S. 156 ff.

len Prozesse, die beim Sprung vor sich sehen. Gerade bei der Diskussion zwischen Pauli und Bohr ging es um den materiellen Prozeß beim Betazerfall. Die Überschätzung der statistischen Deutung des Energieerhaltungssatzes durch Bohr erwies sich dabei als einseitig. Auch hier hatte Bohr vermutet, daß man die klassische Idee der Kausalität fallen lassen müsse.<sup>78</sup> Sein berechtigter Einwand gegen die mechanistische Kausalitätsauffassung, über den wir noch sprechen werden, führte jedoch in der Verabsolutierung zur Nichtbeachtung einer wichtigen Forschungsaufgabe. Pauli dagegen „sah keinen theoretischen Grund, den Erhaltungssatz der Energie als weniger sicher zu betrachten, als z. B. den Erhaltungssatz der elektrischen Ladung“<sup>79</sup>. Er kam damit zu der richtigen wissenschaftlichen Voraussage von der Existenz des Neutrinos, die im Experiment bestätigt wurde. Wichtig ist hier nicht die Hypothese im einzelnen, sondern die grundsätzliche philosophische Haltung zur objektiven Bewegung. Beide Physiker anerkennen das Experiment als das Kriterium für die Richtigkeit einer Hypothese. Allgemeine Überlegungen hatten jedoch Pauli zur Aufstellung der Hypothese geführt.

Bohrs Gedanken sind aus einer mehr einseitigen Deutung der Quantenmechanik zu erklären. Auch dort anerkennt er die Übergangswahrscheinlichkeiten, schließt jedoch die Untersuchung des wirklichen Übergangsprozesses teilweise aus der Betrachtung aus.

Das führt zu einem physikalischen Bild vom Prozeß des Übergangs von einem stationären Zustand in einen anderen als eines momentanen Über-[71]gangs, ohne Zwischenstadien, die gesetzmäßig die notwendige Reihenfolge der Phasen dieser Veränderung zeigen.

Wie sehr das, Heisenbergbild an die klassische Physik angenähert ist, zeigen auch seine Bewegungsgleichungen:

$$\frac{dP_x(t)}{dt} = - \frac{\partial H(t)}{\partial X(t)}, \quad \frac{dX(t)}{dt} = \frac{\partial H(t)}{\partial P_x(t)}.$$

$P_x(t)$ ,  $X(t)$ ,  $H(t)$  sind zeitabhängige Operatoren, wobei sich der Hamiltonoperator  $H$  aus der Schrödingergleichung ergibt.

Wir können also festhalten, daß mit den stationären Zuständen die Aufgabe der weiteren Erforschung der Bewegung gestellt wird. Auch das Schrödingerbild, das ja von der Veränderlichkeit des Zustandes während der Zeit ausgeht, in der er nicht beobachtet wird, kann die Bewegung der Elementarobjekte nicht vollständig erfassen. Im Schrödingerbild sind die Operatoren zeitunabhängig und die Zustände  $\psi$  zeitabhängig. Das durch  $\psi$  repräsentierte Wellenpaket ändert sich entsprechend der Schrödingergleichung. Das führt nach einiger Zeit zum Zerfließen des Wellenpakets, wodurch es als Repräsentation für die Elementarobjekte untauglich wird. So wird hier zwar die Kontinuität der Bewegung erfaßt, aber die für die Elementarobjekte ebenfalls charakteristische Diskontinuität, die sich in den objektiven Korpuskeleigenschaften zeigt, erfährt keine Beachtung. Hinzu kommt, daß die Eigenwerte im Heisenberg- und Schrödingerbild gleich sind, da Eigenwerte nur aus algebraischen Beziehungen hervorgehen. Sowohl der zeitunabhängige als auch der zeitabhängige Operator ergeben angewandt auf eine Funktion denselben Eigenwert. Der Sprung von einem Zustand in den anderen ist auch im Schrödingerbild eine plötzliche Änderung von  $\psi$ , die sich nicht aus der vorherigen zeitlichen Änderung ergibt.

Wir haben also auf der einen Seite das Heisenbergbild, in dem nur die beobachtete Wechselwirkung zwischen physikalischem System und Meßapparat betrachtet wird. Dort ist der Operator zeitabhängig, der Zustand des Systems ohne Beobachtung jedoch zeitunabhängig. Die Ursachen des Sprungs, die im objektiven Widerspruch zwischen Wellen- und Korpuskeleigenschaften liegen, werden in der weiteren Forschung untersucht.

<sup>78</sup> Ebenda, S. 161.

<sup>79</sup> Ebenda.

Im Schrödingerbild wird zwar die Änderung des Zustands erfaßt, aber nur in ihrer Kontinuität. Der Sprung von einem Zustand in den anderen ist genauso ursachelos wie im Heisenbergbild. Die Änderung wird zwar erfaßt, aber nicht als Widerspruch.

Im Wechselwirkungsbild wird nun versucht, die Bewegung durch zeitabhängige Operatoren und zeitabhängige Zustände zu erfassen, was aber für die Operatoren der Wechselwirkung zu sehr komplizierten Ausdrücken führt. Sie [72] bilden eine Reihenentwicklung, die meist nach wenigen Gliedern abgebrochen werden muß. So zeigen uns unsere bisherigen Betrachtungen schon, daß die Erfassung der Wirklichkeit in der Logik unserer Begriffe tatsächlich nicht unerhebliche Schwierigkeiten bereitet. Aber der Erfolg der Quantenmechanik zeigt zugleich, daß wir auch schon mit den bisherigen Ergebnissen dem Wesen der objektiven Prozesse immer näher kommen. Man muß nur die Unvollständigkeit unserer bisherigen Erkenntnisse sehen, um nicht den Weg für die weitere Forschung zu versperren. Aus der Analyse der Bewegungsauffassung der Quantenmechanik ergeben sich Hinweise für die weitere Forschungsrichtung in der Physik, die zu erfolgreichen Resultaten über die Elementarteilchen, ihre Struktur und Umwandelbarkeit führen.

Die Kopenhagener Deutung der Quantentheorie ist dabei der Versuch einer philosophischen Deutung des vorliegenden Sachverhalts, wobei viele interessante Gedanken entwickelt wurden. Zugleich liegt jedoch in der Verallgemeinerung eine einseitige Bewegungsauffassung vor, die bei ihrer Verabsolutierung zum Hemmnis für die weitere Entwicklung werden kann.

Dabei wird der Physiker durch seine experimentellen und theoretischen Forschungen gezwungen, Verabsolutierungen zu revidieren. Das zeigt die Haltung Bohrs zum Neutrinostreit. Er zog seine Überschätzung der statistischen Deutung bald zurück. Dem liegt zugrunde, daß jede physikalische Theorie über die Bewegung immer einen Beitrag zur Philosophie leistet. Verabsolutiert man jedoch relativ richtige, d. h. im bestimmten Bereich gültige einzelwissenschaftliche Auffassungen zur allgemeinen philosophischen Bewegungstheorie, so berücksichtigt man nicht die Bedingungen für die Gültigkeit der Theorie. Das führt notwendig zu einer späteren Revision der Verabsolutierung. Zugleich ist hier der Platz für die philosophische Kritik, die solche Verabsolutierungen mit sachlichen Argumenten widerlegen kann.

In dieser Weise kritisierte Lenin die metaphysische Auffassung der Bewegung. Aus dieser Kritik erhalten wir Hinweise, die der Bewegungsauffassung der Quantenmechanik als allgemeiner philosophischer Theorie entgegenstehen. Damit ist nichts über die einzelwissenschaftliche Bedeutung dieser Theorie zur Erfassung der Bewegung gesagt. Lenin schreibt:

„Bewegung ist das Befinden des Körpers im gegebenen Moment an einem bestimmten Orte und in einem anderen, darauffolgenden Momente, an einem anderen Orte – das ist der Einwand, den Tschernow *allen* ‚metaphysischen‘ Gegnern Hegels *nachspricht* ...

Dieser Einwand ist unrichtig: 1. er beschreibt das Resultat der Bewegung und nicht die Bewegung *selbst*; 2. er zeigt nicht, er enthält nicht in sich die *Möglichkeit* der Bewegung; 3. er stellt die Bewegung als eine Summe, als eine Verbindung von *Ruhezuständen* dar, d. h. der (dialektische) Wider-[73]spruch wird durch ihn nicht beseitigt, sondern nur verhüllt, aufgeschoben, verdeckt, verhängt.“<sup>80</sup>

Wie wir schon bei Weizsäcker sahen, war es auch gerade dieser Einwand, den er zur Grundlage der Deutung der Experimente über die Korpuskel- und Welleneigenschaften der Elementarobjekte machte. Der Körper kann sich nach Weizsäcker nur entweder an einem Ort befinden oder nicht. Versucht man dies als Ausgangspunkt bei der Erfassung der Bewegung zu nehmen, so trifft Lenins Kritik zu.

Ihr Wesen besteht in folgendem:

<sup>80</sup> W. I. Lenin, Aus dem philosophischen Nachlaß, a. a. O., S. 194 f.

1. Es wird nur das Resultat der Bewegung beschrieben. Das zeigte sich in der Beschreibung der stationären Zustände. Der Prozeß der Umwandlung von einem stationären Zustand in einen anderen war gewissermaßen zeitlos.

2. Die Möglichkeit der Bewegung ist in dieser Auffassung ungenügend enthalten. Sie ergäbe sich aus der Betrachtung des objektiven Widerspruchs zwischen Welle und Korpuskel. Die Möglichkeit der Bewegung enthält die Kontinuität, aber sie wird gar nicht erfaßt, wie im Heisenbergbild, oder sie führt zu Widersprüchen, wie im Schrödingerbild. Dort zerfließt das Wellenpaket im Verlaufe der Zeit; weil die Kontinuität nicht im Widerspruch mit der Diskontinuität erfaßt wird. Physikalisch gesprochen kann man die Elementarobjekte mit ihren korpuskularen Eigenschaften nicht nur als Wellenpaket auffassen.

Die Möglichkeit der Bewegung, die Kontinuität nicht im Widerspruch mit der Diskontinuität zu erfassen, führt zu weiteren Widersprüchen in der Theorie. Stellen wir z. B. eine Korpuskel durch ein Wellenpaket dar, so haben die zum Aufbau des Pakets nötigen Wellen auch eine mögliche Phasengeschwindigkeit, die über der Lichtgeschwindigkeit  $c$  liegt. Dieser Widerspruch mit der Relativitätstheorie wird dadurch beseitigt, daß die Gruppen mit der Korpuskelgeschwindigkeit gleichgesetzt werden und der Phasengeschwindigkeit keine Bedeutung beigemessen wird. Die Welleneigenschaften der Elementarobjekte werden jedoch damit in der Theorie einseitig erfaßt. Die Kopenhagener Deutung der Quantentheorie geht sogar soweit, den Wellen jede Realität abzusprechen. Zweifellos sind unsere Begriffe nicht objektiv real existierende Dinge, sondern Widerspiegelungen. Aber wenn in unseren Widerspiegelungen eine solche mit anderen Theorien und der Erfahrung in Widerspruch stehende Angelegenheit auftaucht, wie die mögliche Überlichtgeschwindigkeit, so muß man sie erklären. Diese Erklärung liegt eben darin, daß wir mit dem Wellencharakter der Elementarobjekte nur die Möglich-[74]keit der Bewegung erfassen, nicht aber die wirkliche Bewegung. Die Bewegung ist der Widerspruch zwischen Kontinuität und Diskontinuität, und hier wird dann wirklich der logische Widerspruch beseitigt, da sich der dialektische Widerspruch der Bewegung eben in dem Verhältnis von Phasen- und Gruppengeschwindigkeit ausdrückt und die letztere keine Überlichtgeschwindigkeit annimmt.

Die Möglichkeit der Bewegung wird also einmal deshalb nicht erfaßt, weil im Heisenbergbild die Kontinuität im Sprung nicht beachtet wird. Zum anderen aus dem Grunde, weil das Schrödingerbild nicht als Widerspiegelung realer Eigenschaften genommen wird. Wird es aber als solches betrachtet, so führt schließlich die einseitige Erfassung der Kontinuität zu Widersprüchen mit der wirklichen Bewegung.

3. Die Bewegung wird als Einheit von Bewegung im stationären Zustand und im ursachelosen Sprung genommen. Die Bewegung im stationären Zustand, erfaßt in der Wellen- und Matrizenmechanik, wird bereits im Dualismus von Welle und Korpuskel als Einheit von Kontinuität und Diskontinuität erkannt. Jedoch die Einheit von stationärem Zustand und Sprung als Einheit von Kontinuität und Diskontinuität führt zum Problem des Übergangs. Die Kontinuität des Übergangs, die durch die physikalische Erforschung der wirklichen Prozesse, die sich beim Übergang abspielen, nachgewiesen werden muß, findet in der Quantenmechanik noch keine Beachtung. Insofern kann man bei einer sinngemäßen Anwendung der Kritik Lenins sagen, daß die Bewegung, speziell der Übergang von einem Zustand in den anderen, in der Quantenmechanik nur vom Resultat her erfaßt wird. Das Resultat, die von Lenin erwähnten Ruhezustände, wären hier die stationären Zustände. Obwohl sie sich von den klassischen Ruhezuständen der Bewegung unterscheiden, kann man sagen, daß in der Quantenmechanik, der Übergang überhaupt, also eine Seite der Bewegung nur als eine Summe von Ruhezuständen gefaßt wird. Diese philosophische Kritik verweist auf die notwendige Einheit von stationärem Zustand und materiellen Prozessen in der Zeit beim Übergang. Das ist jedoch eine über die Quantenmechanik hinausgehende Fragestellung.

Das bestätigt die Richtigkeit unserer Feststellung, wonach die in einem bestimmten Bereich gültige Quantenmechanik durch ihre philosophische Deutung nicht zu einer philosophischen Theorie der Bewegung wird. Das Verhältnis von Kontinuität und Diskontinuität wird für einen speziellen Bereich konkretisiert. Die philosophische Theorie ist jedoch allgemein und verweist auf zu beachtende philosophische Aspekte in neuen Theorien bei der Erfassung der Bewegung in anderen Bereichen. Dabei wird der Begriff der Be-[75]wegung im physikalischen Bereich präzisiert. Er umfaßt nicht nur die einfache Ortsveränderung, sondern auch den Übergang von einem stationären Zustand zum anderen und die Umwandelbarkeit der Elementarteilchen ineinander. Bei jedem zu untersuchenden Aspekt stehen wir von neuem vor den philosophischen Problemen der Bewegungstheorie, wie beispielsweise der Einheit von Kontinuität und Diskontinuität. Die wirkliche Einheit untersucht die Physik im komplizierten Erkenntnisprozeß.

Die Kopenhagener Deutung der Quantentheorie ist dort richtig, wo neue Ergebnisse der Physik gedeutet werden, die Hinweise für die Präzisierung der Philosophie geben. Das trifft zu auf die Hinweise über die Einheit von Kontinuität und Diskontinuität, über den Zusammenhang von Wellen- und Korpuskelbild und über die Problematik der raum-zeitlichen Erfassung der Bewegung durch die wirklichen Prozesse beim Übergang von einem stationären Zustand zum anderen. Die These vom stationären Zustand war eine wesentliche Hilfe für die physikalische Theorie. Sie ermöglichte die theoretische Erfassung der wirklichen Bewegung, indem sie die Durchbrechung der Kontinuität hervorhob und damit das Resultat des Übergangs in den Mittelpunkt stellte.

Die Kopenhagener Deutung unterliegt jedoch der philosophischen Kritik, wenn sie die richtigen Aspekte bei der Deutung der Quantenmechanik zur philosophischen Bewegungstheorie überhaupt erhebt. Die Mißachtung des objektiven dialektischen Widerspruchs der Bewegung führt bei Weizsäcker zu theoretischen Schwierigkeiten. Die Überschätzung der statistischen Deutung; bestimmter Sachverhalte muß mit dem Fortschritt der Physik selbst korrigiert werden.

In diesem Zusammenhang erscheinen uns einige Argumente problematisch, die Omeljanowski zur Unterscheidung von Unbestimmtheitsrelationen und Heisenbergscher Relation benutzt.<sup>81</sup> Er unterscheidet die aus dem mathematischen Apparat abgeleitete Unbestimmtheitsrelation und das aus Gedankenexperimenten abgeleitete Unbestimmtheitsprinzip und stellt fest: „Die Unbestimmtheitsrelation, die mit Hilfe der Wellenfunktion abgeleitet wurde, beschreibt die Eigenschaften der Mikroobjekte im Unterschied zu den Eigenschaften der Makroobjekte und bezieht sich auf das Quantenensemble. Die Relation, die von Bohr und Heisenberg durch die Analyse einiger Gedankenexperimente begründet wurde – wir nennen sie die Relation Heisenbergs –, hat keinen physikalischen Sinn und ist ein ‚Prinzip‘, das den Inhalt der Quantenmechanik im Geiste der subjektivistischen Komplementaritätskon-[76]zeption verfälscht.“<sup>82</sup> Omeljanowski kritisiert Blochinzew und andere Physiker ob der Nichtunterscheidung beider Prinzipien. Die vom ihm kritisierte Heisenbergsche Relation sieht er in folgendem: „Die Heisenbergsche Relation  $\Delta x \cdot \Delta p_x \sim \hbar$  (wobei  $\Delta x$  die Unbestimmtheit der Koordinatenmessung des Mikroobjektes zu irgendeiner Zeit ist,  $\Delta p_x$  die Unbestimmtheit der Messung der entsprechenden Impulskomponente des Mikroobjektes zur gleichen Zeit,  $\hbar$  die Plancksche Konstante geteilt durch  $2\pi$ ) stellt das Unbestimmtheitsprinzip dar, auf dem die Kopenhagener Interpretation der Quantenmechanik beruht.“<sup>83</sup>

Die berechtigte Trennung zwischen philosophischer Deutung einer physikalischen Relation und der physikalischen Relation selbst führt Omeljanowski am Beispiel der Heisenbergschen

<sup>81</sup> M. E. Omeljanowski, Philosophische Probleme der Quantenmechanik, a. a. O., S. 67 ff.

<sup>82</sup> Ebenda, S. 68.

<sup>83</sup> Ebenda, S. 69.

Relation. und den Unbestimmtheitsrelationen durch. Dabei kommt er jedoch zu einer un gerechtfertigten Trennung zwischen physikalischem Inhalt des mathematischen Apparats und Gedankenexperimenten Er schreibt: „Ausgangspunkt zur Lösung der Frage nach dem physikalischen Inhalt der mathematischen Relationen der Quantenmechanik dürfen nicht die Gedankenexperimente der Kopenhagener Schule, die Versuche der Deutung dieser Relationen durch korpuskulare Begriffe usw. sein, sondern die Anerkennung der Tatsache, daß die mathematischen Relationen der Quantenmechanik die sich bewegende Materie, die Bewegung der Elektronen und anderer Mikroobjekte abbilden, die an die Bewegung von Korpuskeln und die Ausbreitung von Wellen erinnert, aber gleichzeitig von ihr grundverschieden ist.“<sup>84</sup>

Die Trennung verwirrt die wirkliche Problematik. Omeljanowski geht von der Widerspiegelung der objektiven Realität in den mathematischen Relationen aus, um die Frage nach dem physikalischen Inhalt der Relationen zu beantworten. Das kann auch mit Hilfe von Gedankenexperimenten geschehen. Das Gedankenexperiment Heisenbergs für die Bestimmung von Orts- oder Impulsungenauigkeiten unter dem Mikroskop macht einen sehr wichtigen Sachverhalt der Quantenmechanik deutlich. Die objektive Wechselwirkung zwischen Quant und Elektron muß in der Theorie berücksichtigt werden. Die bei den Gedankenexperimenten gefundene Relation findet zweifellos ihre Begründung in dem mathematischen Formalismus der Quantenmechanik. Sie aus Gedankenexperimenten abzuleiten bedeutet gedankliche Erfassung der objektiven Realität und die gedankliche Hervorhebung bestimmter objektiver Zusammenhänge. Problematisch ist dabei erst die [77] Kopenhagener Deutung, wenn sie die objektive Realität der Elementarobjekte leugnet. Das setzt deshalb die philosophische Kritik dieser Interpretation voraus, die jedoch nicht zur Leugnung der Bedeutung der Gedankenexperimente führen darf. Die Feststellung Omeljanowskis, daß die Relation Heisenbergs kein Naturgesetz sei und „nicht mit dem wirklichen Inhalt der Quantenmechanik zu tun“ hat, wird von ihm ungenügend und zum Teil mit falschen Voraussetzungen begründet.<sup>85</sup> Offensichtlich hängt die genannte Relation sehr eng mit dem wirklichen Inhalt der Quantenmechanik zusammen. Wie wir im ersten Kapitel zu zeigen suchten, ist sie eine einfachere Formulierung der exakten Schreibweise der Unbestimmtheitsrelationen. Aus der Formulierung selbst ergibt sich kein Unterschied. Hinzu kommt, daß wir uns bei der Interpretation des Bewegungsproblems in der Quantenmechanik auf die Gedankenexperimente Heisenbergs stützen können und von diesen Experimenten ausgehend philosophisch falsche Schlußfolgerungen, wie die Leugnung der objektiven Realität oder die Nichtanerkennung des objektiven dialektischen Widerspruchs, nachweisen können. Auch für eine dialektisch-materialistische Bewegungsauffassung können die Heisenbergschen Gedankenexperimente als Ausgangspunkt genommen werden.

Um die Argumente Omeljanowskis zu überprüfen, betrachten wir seinen Vergleich zwischen dem Inhalt der Unbestimmtheitsrelation und der Relation Heisenbergs: „Die Unbestimmtheitsrelation widerspiegelt die Gesetzmäßigkeiten von Massenerscheinungen und bezieht sich auf ein Quantenensemble, wobei sie dessen Spezifik charakterisiert, die das Quantenensemble vom klassischen Ensemble unterscheidet. Die Relation Heisenbergs bildet nicht die objektive Realität ab und bezieht sich auf ein Mikroobjekt, welches sich in unkontrollierbarer Wechselwirkung mit dem Gerät befindet, das heißt, sie drückt das subjektivistische Komplementaritätsprinzip aus“<sup>86</sup> Omeljanowski benutzt die Gültigkeit der Ensembletheorie als Argument. Die Hinweise, die wir durch die Weiterentwicklung der Physik erhalten, zeigen jedoch m. E. die Gültigkeit der Unbestimmtheitsrelationen auch für Einzelobjekte. Die Kritik wendet sich gegen die „unkontrollierbare Wechselwirkung“, d. h. gegen eine *Deutung* der Relation Heisenbergs und des Gedankenexperiments.

---

<sup>84</sup> Ebenda, S. 76.

<sup>85</sup> Ebenda, S. 71.

<sup>86</sup> Ebenda, S. 82.

Die Argumentation Omeljanowskis ist an die Gültigkeit der Ensembletheorie gebunden. Diese Theorie setzt jedoch die Erklärung des Verhaltens der Mikroobjekte aus der Wechselwirkung der Mikroobjekte miteinander voraus. Die Untersuchung der Wechselwirkung ist jedoch, wie wir im nächsten Abschnitt zu zeigen suchen, ein sehr kompliziertes Problem der moder-[78]nen Elementarteilchenphysik. Entscheidende Bedeutung hat dabei vor allem die Wechselwirkung zwischen Teilchen und Feld und die Struktur der Teilchen, weniger die Wechselwirkung zwischen den Teilchen. Das Experiment von Suschkin, Bibermann und Fabrikant zeigt die mögliche Isolierung des Einzelobjekts aus dem Ensemble. Das macht die Argumentation Omeljanowskis zumindest fragwürdig.

Omeljanowski hebt weiter hervor: „Die Unbestimmtheitsrelation ergibt sich unmittelbar aus dem mathematischen Apparat der Quantenmechanik. Ihr physikalischer Inhalt wird durch die physikalische Deutung der Wellenfunktion und der Operatoren definiert, die statistisch die Korpuskel-Wellen-Eigenschaften der Mikroobjekte widerspiegeln. Die Relation Heisenbergs dient zur ‚Begründung‘ der Quantenmechanik vom Standpunkt des Komplementaritätsprinzips und hat keine Beziehung zum Inhalt der Quantenmechanik und zu ihren Grundgesetzen.“<sup>87</sup>

Hier kommt wieder die bereits erwähnte problematische Haltung gegenüber den Gedankenexperimenten zum Ausdruck. Gedankenexperimente sind Hilfsmittel der Forschung. Sie helfen uns bei der Erkenntnis objektiver Beziehungen. Das trifft auch auf die Heisenbergschen Gedankenexperimente zu, die uns wirkliche Zusammenhänge bei der Beobachtung erkennen lassen. Die Argumentation Omeljanowskis würde auch gegen die Aufstellung des Wirkungsquantums durch Planck und das Postulat Bohrs von den „stationären Zuständen“ sprechen. Sie ergaben sich ebenfalls nicht aus dem mathematischen Formalismus, der bis dahin benutzt wurde. Deshalb kann ihnen aber die Beziehung zum physikalischen Inhalt nicht abgesprochen werden. Die Kritik Omeljanowskis ist also sehr weitgehend. Man kann zwar die Kopenhagener Deutung der Gedankenexperimente kritisieren. Man sollte aber nicht hinsichtlich der Gedankenexperimente genauso verfahren. Experimente sind immer an die Beobachtung und die Geräte gebunden. Auch im Gedankenexperiment muß man diese Beziehung berücksichtigen. Die Deutung des Experiments muß zum Schluß von der Beobachtung auf das objektive Geschehen führen. Hierbei hatten einige Quantentheoretiker erkenntnistheoretische Schwierigkeiten, über die wir später sprechen werden.

Omeljanowski vernachlässigt m. E. den Zusammenhang zwischen Gerät und Objekt im Experiment. Dieser Zusammenhang ist kein Argument gegen das objektive Geschehen, wie wir noch sehen werden. Aber wenn er als Argument zur Leugnung des objektiven Geschehens benutzt wird, wie das in der Kopenhagener Deutung teilweise der Fall war, so muß man gegen die Deutung, nicht aber gegen das Experiment Stellung nehmen, da letzteres auch anders gedeutet werden kann.

[79] Omeljanowski hebt in diesem Zusammenhang hervor: „Die statistische Verteilung einer physikalischen Größe hängt von der Wellenfunktion, die das Quantenensemble beschreibt, auf das sich die Unbestimmtheitsrelation bezieht, und vom Operator der verteilten Größe ab; andere Umstände haben auf die Verteilung der Größe keinen Einfluß. Die Verteilung der ‚Ungenauigkeiten‘ einer individuellen ‚Quantenmessung‘ eines Objektes, auf das sich die Relation Heisenbergs bezieht, wird nur durch ein ‚klassisches Gerät‘ bestimmt, das die für die ‚Messung‘ notwendige Wechselwirkung mit dem Objekt realisiert; die Relation Heisenbergs ist eine ‚Geräte-kategorie‘. Sie betrifft nicht die physikalischen Quantengrößen und ihre statistische Verteilung, die unabhängig von den Meßgeräten existieren.“<sup>88</sup>

---

<sup>87</sup> Ebenda.

<sup>88</sup> Ebenda.

Die Existenz bestimmter Gesetze, unabhängig von den Meßgeräten kann nicht bedeuten, daß man sie im Experiment nicht bemerken kann. Jedes objektive Gesetz wird von uns mit Hilfe von Experimenten – auch von Gedankenexperimenten – erkannt. Schlußfolgerungen aus ihm werden wieder im Experiment überprüft. Das Experiment ist eine bestimmte Anordnung für den Ablauf eines objektiven Geschehens. Die Theorie muß die Ergebnisse des Experiments so verallgemeinern, daß eine Widerspiegelung des objektiven Geschehens herauskommt. Das ist in der Quantenmechanik für die Bewegung der physikalischen Objekte der Fall. Dabei zeigen sich auch im Gedankenexperiment die objektiven Beziehungen der Unbestimmtheitsrelationen. Eben deshalb kann man den physikalischen Inhalt der Unbestimmtheitsrelationen auch in den Gedankenexperimenten kennenlernen und deutlich machen.

Omeljanowski bemerkt sehr zutreffend: „So ist das Gerät ein physikalischer Körper (oder ein Körpersystem), der den erkennenden Menschen mit den zu untersuchenden physikalischen Erscheinungen verknüpft.“<sup>89</sup>

Die Konsequenzen aus dieser Haltung zum Gerät zeigen die Bedeutung der experimentellen Unterscheidung des Verhältnisses von Gerät und Objekt oder der Wechselwirkung zwischen verschiedenen Objekten, wie Quant und Elektron, im Experiment. Damit wird aber die Polemik gegen die Gerätekategorie, die Gedankenexperimente und die Heisenbergsche Relation problematisch. Bestimmte Größen können sogar direkt den Zusammenhang zwischen Objekt und Gerät ausdrücken, was von Omeljanowski m. E. vernachlässigt wird.<sup>90</sup> So bringt ein lokalisiertes Teilchen auf der Photoplatte [80] mit der Ortsbestimmung eine Beziehung zwischen Gerät und Objekt zum Ausdruck. Die Theorie muß jedoch aus der Beziehung Objekt-Gerät, Objekt-Objekt im Experiment Schlußfolgerungen auf das objektive Geschehen ziehen.

Wir möchten deshalb folgendes festhalten: Der Unterschied zwischen Unbestimmtheitsrelationen und der Relation Heisenbergs ist nicht exakt. Genauer ist der Unterschied zwischen physikalischem Gehalt einer Theorie und der philosophischen Deutung dieses Gehalts. Diese Unterscheidung ist im konkreten Fall schwierig zu treffen, da auch in die physikalische Theorie bereits philosophische und physikalische Deutungen eingehen, die mit der weiteren Forschung oft revidiert werden müssen. Dazu gehört beispielsweise die Ensembletheorie einiger Physiker, die heute wenigstens präzisiert werden muß.

Die Argumente Omeljanowskis gegen die Heisenbergsche Relation sind m. E. nicht völlig stichhaltig, da sie das Problem der Deutung des physikalischen Sachverhalts nicht berücksichtigen. Der Versuch der Quantentheoretiker um Bohr und Heisenberg, zu einer philosophischen Deutung des Sachverhalts zu gelangen, ist anzuerkennen. Dabei gibt es, wie auch Omeljanowski hervorhebt, in dieser Deutung viele interessante Gedanken. So nähert sich die Komplementaritätstheorie an die Erkenntnis der objektiven allgemeinen Beziehungen an, wie sie die marxistische Philosophie in der Theorie des dialektischen Widerspruchs herausarbeitet. Es wird die Bedeutung des Gedankenexperiments als Hilfsmittel für den Fortschritt der Wissenschaft betont. Omeljanowski wendet sich m. E. zu Unrecht gegen die letzte These. Seine Argumentation wäre richtig, wenn die Komplementarität ein subjektivistisches Prinzip ist, die Gedankenexperimente unberechtigt sind und wenn die Ensembletheorie gilt. Alle diese Voraussetzungen treffen jedoch nicht eindeutig zu. Daraus ergibt sich aber eindeutig die Problematik seiner Argumentation und ihre notwendige Überprüfung.

#### 4. Philosophische und physikalische Bewegungsauffassung

Die Untersuchung des Zusammenhangs der philosophischen und physikalischen Bewegungsauffassung zeigt uns die mögliche gegenseitige Befruchtung. Die philosophische Theorie

<sup>89</sup> Ebenda, S. 145.

<sup>90</sup> Ebenda, S. 89 f., S. 97.

muß die Fortschritte der Physik berücksichtigen, ihre Thesen präzisieren und kann so zu heuristischen Aussagen für die Weiterentwicklung der Physik kommen. Die physikalische Theorie findet ihre philosophische Deutung und Begründung in der dialektisch-materialistischen Bewegungsauffassung. Sie kann aus den heuristischen Aussagen der Philosophie neue Aufgabenstellungen entnehmen. Dabei präzisiert sie die philoso-[81]phische Theorie und verlangt die ständige Überprüfung der philosophischen Thesen.

Von den bisherigen Betrachtungen ausgehend, wollen wir einige der wesentlichen Züge des Zusammenhangs zwischen philosophischer und physikalischer Bewegungsauffassung in ihrer Entwicklung noch einmal hervorheben.

Die dialektisch-materialistische Bewegungstheorie hebt die Einheit von Materie und Bewegung, die Bewegung als Daseinsweise der Materie hervor. Bewegung ist dabei Veränderung im allgemeinsten Sinne. Sie ist nicht nur mit der Ortsveränderung zu identifizieren, sondern umfaßt vor allem die Bewegung als Wechselwirkung. Dabei tritt uns die objektive Widersprüchlichkeit der Bewegung entgegen, die in der Bewegung der Gedanken ihre Widerspiegelung findet. Zu dieser Problematik werden wir später noch Stellung nehmen. Bisher haben wir noch nicht die verschiedenen Formen der Wechselwirkung berücksichtigt.

Schon jetzt kann man aus philosophischer Sicht verschiedene Etappen der physikalischen Bewegungsauffassung hervorheben, die mit dem Fortschritt der Physik verbunden sind. Diese Entwicklung bereichert die allgemeinen philosophischen Thesen und präzisiert sie. Wir kennen die Bewegung klassischer Körper mit relativ großer Masse und relativ kleiner Geschwindigkeit. Die Wechselwirkung ist als Wechselwirkung zwischen diesen Körpern (Druck, Stoß) erforscht. Auf dieser Entwicklungsstufe der Physik ist die Bewegung charakterisiert als einfache Ortsveränderung und äußere Wechselwirkung. Dabei treten in diesem Bereich keine Ortsungenauigkeiten bei der Bestimmung der Bewegung auch unter Berücksichtigung der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen auf. Nowoschilow macht das an einem einfachen Beispiel deutlich, das wir hier erwähnen wollen.<sup>91</sup> Wenn wir vom Impuls in der klassischen Mechanik zur Geschwindigkeit übergehen, benutzen wir die für kleine Geschwindigkeiten gültige Relation  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ . Dann ergibt die Unbestimmtheitsrelation:

$$\Delta x \cdot \Delta v \geq \frac{h}{m}.$$

Nehmen wir nun einen Körper mit der Masse 0,1 g, dessen Geschwindigkeit wir bis auf den millionstel Teil eines Zentimeters je Sekunde kennen ( $\Delta v = 10^{-6}$  cm/s). Aus der Unbestimmtheitsrelation folgt dann für die Ungenauigkeit der Koordinate, d. h. für das Intervall, in dem sich der Körper befindet,  $\Delta x \approx 10^{-20}$  cm. Die Koordinate des Körpers kann damit praktisch exakt bestimmt werden.

[82] Das gilt für ein Elektron mit der Masse von ungefähr  $10^{-27}$  g nicht mehr.

Bei kleiner Masse und großer Geschwindigkeit führen die Unbestimmtheitsrelationen zu einer Korrektur der klassischen Bewegungsauffassung, die von uns ausführlich betrachtet worden ist. Diese Korrektur bestätigt die von den Klassikern des Marxismus-Leninismus geübte philosophische Kritik an der klassischen Bewegungsauffassung. Die Begründung dieser Korrektur liegt in der objektiven Widersprüchlichkeit der einfachen Ortsveränderung. Auch bei der Anwendung der Unbestimmtheitsrelationen ging man noch von der Erhaltung von Zahl und Art der Elementarteilchen in jedem Prozeß aus. Man betrachtete damit die quantitativen Beziehungen zwischen qualitativ verschiedenen Elementarteilchen. Diese quantitativen Beziehungen wurden gegenüber der klassischen Auffassung einer Korrektur unterworfen. Dabei ergab sich aber auch eine neue Bewegungsauffassung.

<sup>91</sup> Ju. W. Nowoschilow, Elementarteilchen, a. a. O., S. 50 f.

Der klassische Zustand war durch Ort und Impuls des sich bewegenden Körpers bestimmt. Durch die Unbestimmtheitsrelationen erhielt man die Abhängigkeit beider Bestimmungen voneinander. Damit hätte zur Charakteristik die Angabe des Impulses für den Zustand ausgereicht. Die Untersuchung der Elementarteilchen hatte jedoch auch neue Eigenschaften gezeigt. So konnte man Elektron und Proton nicht nur durch Masse und Ladung, sondern auch durch ihre Eigenschaft der Rotation, die sie einem Kreisel ähnlich machen, unterscheiden. Diese Eigenschaft des Spins mußte auch für die Bewegungsauffassung berücksichtigt werden. Es existieren zwei Gruppen von Teilchen mit verschiedenem Spin, die sich verschiedenen Statistiken unterordnen. Die Gruppe der Teilchen mit dem Spin  $\frac{1}{2} \hbar$  gehören zur Fermi-Dirac-Statistik (Elektron, Proton, Neutron). Für die Fermionen eines Systems (Atom, Molekül, Einkristall) ist charakteristisch, daß sich in ein und demselben Zustand nicht mehr als ein Teilchen befinden darf. Deshalb stimmen die Geschwindigkeiten in einem Elektronenstrom nie vollständig überein. Sie sind in einem mittleren Wert der Größe und Richtung verteilt.<sup>92</sup> Die Gruppe der Teilchen mit dem Spin 1 gehört zur Bose-Einstein-Statistik. Bosonen können beliebig viel in einem Zustand sein.

Damit ergaben sich für den Bewegungszustand der Elementarteilchen neue wesentliche Größen, wie der Spin, die zur Charakteristik berücksichtigt werden mußten.

Der Übergang von der klassischen zur quantenmechanischen Bewegungsauffassung war philosophisch nicht nur mit der Aufdeckung der Widersprüchlichkeit der einfachen Ortsveränderung, sondern zugleich mit der Entdeckung der Kompliziertheit des Quantenzustands verbunden. Einerseits ergab sich die Abhängigkeit vorher getrennter Parameter wie Ort und Impuls, Energie und Zeit voneinander. Andererseits mußten neue Parameter berücksichtigt werden. Im wesentlichen blieb jedoch, wie wir schon bemerkten, das Merkmal der Unveränderlichkeit der Elementarteilchen erhalten. Die neue Bewegungsauffassung hatte jedoch zur statistischen Deutung der Bewegung der Elementarobjekte geführt. Damit war ein Hinweis auf die Struktur der Elementarteilchen gegeben. Schon der Spin ist schwer mit einem punktförmigen Teilchen zu erklären. Ebenso forderte das statistische Verhalten eine physikalische Begründung.

Der weitere Fortschritt der Physik brachte ein wichtiges Ergebnis mit der Entdeckung des Positrons. 1932 hatte Anderson ein Teilchen beobachtet, das dem Elektron gleicht, aber positive Ladung besitzt. Joliot-Curie u. a. zeigten die Erzeugung eines Leptonenpaares durch ein Photon in Wechselwirkung mit einem Kern.

Damit war die Umwandlung von Stoff in Strahlung und umgekehrt entdeckt. Das Positron unterschied sich vom Elektron nur durch die Ladung. Es ist das Antiteilchen des Elektrons. In der weiteren Forschungsarbeit wurden immer mehr Antiteilchen entdeckt. Es existiert die Hypothese von der Existenz von Antiteilchen für jedes Teilchen.

Philosophisch war besonders interessant, daß der Begriff der Bewegung im Hinblick auf die Möglichkeiten von Veränderungen weiter präzisiert wurde. War vorher im physikalischen Bereich das Merkmal der Erhaltung von Art und Zahl der Teilchen charakteristisch, so mußte nun die gegenseitige Umwandelbarkeit des einen in andere Teilchen berücksichtigt werden. Das war eine neue Etappe in der Bewegungsauffassung. Vorher wurde die Untersuchung der qualitativen Veränderung vor allem als Problem des Übergangs von einer Bewegungsform in die andere, z. B. bei der Entstehung des Lebens angesehen. Die philosophische Kritik Engels' bezog sich jedoch auch schon auf die klassische Form des Atomismus.<sup>93</sup> Engels hatte die Auffassung von der möglichen Rückführbarkeit der qualitativen auf bloß quantitative Unterschiede identischer kleinster Teilchen zurückgewiesen. Die moderne Physik bestätigte die

<sup>92</sup> Vgl. ebenda, S. 57.

<sup>93</sup> F. Engels, Dialektik der Natur, a. a. O., S. 519.

Richtigkeit dieser Kritik in einer Art, die Engels nicht voraussehen konnte. Engels wandte sich vor allem gegen die Auffassung der Materie als letzter Baustein, den die Atome darstellen sollten. Nun hat die Verwendung des Begriffs Urmaterie doppelte Bedeutung. Sie kann im philosophischen Sinne als absolute Substanz der objektiv-realen Welt, als absolut letzter Baustein angesehen werden. In diesem Sinne muß man der Kritik von Engels [84] zustimmen. Sie kann jedoch auch relativ als einheitliches Ausgangsmaterial für den Aufbau komplizierter materieller Prozesse verstanden werden. In diesem Sinne gilt der Gedanke der Urmaterie in der modernen Elementarteilchentheorie als heuristisches Prinzip.<sup>94</sup> Er verlangt die Untersuchung der Grundbausteine der bereits entdeckten Elementarobjekte und damit den möglichen Aufbau komplizierterer Elementarteilchen aus einfacheren. Versuche des Aufbaus der Bosonen aus Fermionen sind uns bekannt.

Hier zeigt sich, daß Engels mit der Kritik des klassischen Atomismus recht behielt. Die moderne Physik hält nicht an der Vorstellung qualitativ verschiedener Teilchen, die nicht ineinander umwandelbar sind, fest. Sie weist deren qualitative Verschiedenheit aus und untersucht die Umwandelbarkeit qualitativ verschiedener Teilchen ineinander. Das ist keine Rückführung auf qualitativ identische kleinste Teilchen. Der moderne Atomismus muß sowohl die Relativität seiner Grundbausteine der Welt berücksichtigen, ihre Umwandelbarkeit ineinander als auch ihre quantitative Verschiedenheit. Damit ergibt sich eine Vertiefung der These von der Einheit der Welt in der Materialität als einer Einheit qualitativ verschiedener Erscheinungen, Prozesse, Teilchen usw. auch in der Physik. Die Einheit zeigt sich in der Umwandelbarkeit, die Materialität in den materiellen Prozessen, die sich bei der Umwandlung abspielen und die qualitative Verschiedenheit in den komplizierten Unterscheidungsmerkmalen der Elementarteilchen. Die Suche nach der Urmaterie ist die berechtigte Aufgabenstellung der modernen Physik nach einem tieferen Verständnis der Einheit der Welt.

Zugleich sehen wir die Einheit von Materie und Bewegung. Die Auffassung der Einheit der Welt in der Materialität könnte ohne die Umwandlungsprozesse (Bewegung) nicht verstanden werden. Dabei vertiefte sich unser Verständnis der Bewegung von der Widersprüchlichkeit der Ortsveränderung bis zur Wechselwirkung der Elementarobjekte und ihrer Umwandelbarkeit ineinander. Der objektive Zusammenhang der Elementarobjekte zeigt sich nicht nur als äußerer Zusammenhang, sondern in der Bewegung auch als innerer Zusammenhang, der sich in der Umwandelbarkeit ausdrückt.

Für das weitere Verständnis der Bewegungsauffassung ist es unbedingt erforderlich, die Einheit von Bewegung und Zusammenhang, die in der Wechselwirkung zum Ausdruck kommt, genauer zu untersuchen. Offensichtlich kann die Physik nur zum Verständnis der neuen Seiten der Bewegung der Elementarobjekte kommen, wenn sie die Wechselwirkung der Elementarteilchen miteinander genauer untersucht.

[85] Das wird auch unser Verständnis der Bewegung erweitern. Bisher haben wir Bewegung als Veränderung gefaßt und dabei vor allem die Ortsveränderung untersucht. Die Wechselwirkung ergab sich wesentlich als Wechselwirkung von Objekten, die beim Wechselwirkungsprozeß in Art und Zahl erhalten bleiben. Die Bewegungsauffassung wird vertieft durch die Untersuchung der Wechselwirkung bei der Bewegung als Umwandlung, als Übergang von einem Teilchen in ein anderes. [86]

---

<sup>94</sup> M. A. Markow, Hyperonen und K-Mesonen, a. a. O., S. 17 f. Vgl. ders., Über die zeitgenössische Form des Atomismus, in: Вопросы философии, 3/60, стр. 47 сл.

### Kapitel III

## Der philosophische Begriff der Wechselwirkung und die moderne Physik

### *1. Die Formen der Wechselwirkung*

Bewegung hatten wir philosophisch als Veränderung überhaupt gefaßt. Damit gehören zu den wichtigsten Seiten der Bewegung die Ortsveränderung, die Wechselwirkung, die Umwandlung und die Entwicklung. Die Entwicklung hatten wir von vornherein aus der Betrachtung ausgeschlossen. Bei der Ortsveränderung klassischer Objekte ergab sich die äußere Wechselwirkung, hervorgerufen durch Druck und Stoß, als weiteres Moment der Bewegung. Die moderne Physik verlangt jedoch eine Präzisierung des Begriffs der Wechselwirkung. Für sie ist die Wechselwirkung nicht ein äußerer Zusammenhang, sondern innere Bedingung der Bewegung.

Man unterscheidet starke, elektromagnetische und schwache Wechselwirkungen zwischen den Elementarobjekten. Hierzu kommen die Gravitationswechselwirkungen, die im Bereich der Kernphysik vernachlässigt werden können. Diese verschiedenen von der Physik untersuchten Formen der Wechselwirkung zwingen auch zu einer Präzisierung des philosophischen Begriffs. Wechselwirkung ist das Einwirken verschiedener Objekte oder Teile eines Ganzen aufeinander, wobei die Veränderungen des einen Objekts oder Teils durch die Gesamtheit der Einwirkungen der anderen Objekte oder Teile hervorgerufen wird. Das Objekt selbst nimmt teil an der Gesamtheit der Einwirkungen. Dabei muß es sich nicht immer um gleichartige Objekte handeln, die miteinander wechselwirken. Die Physik hat mit dem Feldbegriff die Möglichkeit geschaffen, etwas über die Wechselwirkung eines Objekts mit seiner Umgebung auszusagen.

Im philosophischen Begriff der Wechselwirkung heben wir verschiedene Seiten hervor. Wir kennen einmal die äußere Wechselwirkung zwischen bestimmten Objekten. Dazu gehört sowohl der Stoß zweier Billardkugeln als auch das Zusammentreffen von Lichtquant und Elektron im Heisenbergschen Gedankenexperiment. Bei den Billardkugeln berücksichtigt die klassische Physik in der Massenpunktmechanik nicht die innere Struktur der Kugel. Von [87] ihr wird abstrahiert. Wir haben es mit dem Stoß von Idealkugeln zu tun. Dagegen macht die statistische Deutung der Wechselwirkung von Elektron und Quant schon einen Hinweis auf die innere Struktur. Klassisch gesehen war die Bewegung einer Kugel von der Wechselwirkung unabhängig. Die Wechselwirkung war eine äußere zufällige Störung der klassischen Bewegungsbahn. Diese äußere zufällige Wechselwirkung konnte ebenfalls in Gesetzen erfaßt werden. Es gab dadurch zwei Gruppen von Gesetzen. Die eine beschrieb das Verhalten bei der äußeren zufälligen Wechselwirkung. Die andere erfaßte den ungestörten Bewegungsablauf. Hier brachte schon die Quantenmechanik neue Ergebnisse. Sie zeigte den Zusammenhang von Wechselwirkung und Bewegung. Die Unbestimmtheitsrelationen verweisen darauf. Der Versuch, die für die Bewegung bestimmende Wechselwirkung auf die Experimente zu reduzieren, mußte scheitern. Bewegung und Wechselwirkung zeigten sich als Einheit. Es handelte sich nicht mehr um eine äußere zufällige Wechselwirkung. Die statistische Deutung der Quantenmechanik verwies auf einen komplizierten Mechanismus von materiellen Prozessen, der die Bewegung der Elementarobjekte bestimmt.

In der Deutung dieses Sachverhalts wurde der Versuch unternommen, die Wechselwirkung in die Bewegung als äußere zufällige Wechselwirkung einzubeziehen. Das war möglich in der von Nikolski entwickelten und von Blochinzew vertretenen Ensembletheorie. Wenn die Quantenmechanik eine Theorie von Gesamtheiten der Elementarteilchen ist, dann ergibt sich die Unbestimmtheitsrelation aus der Wechselwirkung der Elementarobjekte untereinander. In diesem Sinne schrieb Omeljanowski: „Die Quantenmechanik bildet die Korpuskel-Welleneigenschaften der Mikroobjekte statistisch ab. Das bedeutet, daß die Gesetzmäßigkeiten der

Quantenmechanik Gesetzmäßigkeiten von Massenerscheinungen sind, da die Quantenmechanik nicht deshalb statistisch ist, weil das Mikroobjekt mit dem klassischen Objekt koordiniert ist, sondern deshalb, weil solche Massenerscheinungen wie die Beugung von Elektronen, die Spektren, die Wärmestrahlung usw. existieren, deren Gesetzmäßigkeiten von ihr abgebildet werden. In der Quantenmechanik als statistischer Theorie wird der Begriff ‚statistische Gesamtheit‘ angewandt. Die statistische Gesamtheit in der Quantenmechanik oder – was dasselbe ist – das Quantenensemble ist kein ‚Kollektiv von Meßresultaten‘ und kein ‚Kollektiv von Experimenten‘, wie einige Wissenschaftler behaupten. Das Quantenensemble existiert objektiv, unabhängig von diesen oder jenen Messungen und Versuchen. Zum Beispiel bildet eine Anzahl von Elektronen, die von einer Elektronenquelle emittiert werden (sie realisiert auch bestimmte Bedingungen, die für die Existenz eines Ensembles notwendig sind), ein Quantenensemble, das durch eine Wellenfunktion von der Form einer [88] de-Broglie-Welle beschrieben wird. Die experimentelle Tatsache, wonach Mikroobjekte unteilbare Korpuskel-Wellen-Eigenschaften besitzen, wird in der Quantenmechanik dadurch ausgedrückt, daß ihre Wahrscheinlichkeiten und statistischen Mittel im Unterschied zu den statistischen Begriffen der klassischen Physik durch Wellenfunktionen und Operatoren beschrieben werden. In dieser Besonderheit der Quantenmechanik widerspiegelt sich die Spezifik des Quantenensembles, die es vom klassischen Ensemble unterscheidet und die in der Existenz der Unbestimmtheitsrelation besteht.<sup>95</sup>

Omeljanowski wendet sich berechtigterweise gegen den positivistischen Versuch, die Quantenmechanik allein aus der Wechselwirkung von Objekt und Gerät zu erklären. Dabei bleibt er jedoch in seiner Argumentation bei der äußeren Wechselwirkung stehen. Er versucht, die objektive Wechselwirkung hervorzuheben, berücksichtigt aber nicht genügend die verschiedenen Seiten der objektiven Wechselwirkung. Seine Behauptungen erwecken den Eindruck einer einseitigen Auslegung der dialektisch-materialistischen These vom universellen Zusammenhang. Diese These ist eng mit den Formen der Wechselwirkung verbunden. Der objektive Zusammenhang kann offensichtlich durch die *äußere* Wechselwirkung der Objekte miteinander hergestellt werden, muß es jedoch nicht. Omeljanowski bemerkt: „Wenn man sich mit der Ansicht Alexandrows und Focks einverstanden erklären soll, wonach man in der klassischen Physik vom Zusammenhang des Objekts mit den konkreten Bedingungen abstrahieren kann, dann müßte die klassische Physik aus dem Anwendungsbereich der These der marxistischen Dialektik vom wechselseitigen Zusammenhang der Erscheinungen untereinander und folglich mit den sie umgebenden Bedingungen herausgenommen werden.“<sup>96</sup> Hier wendet sich Omeljanowski gegen die Behauptung Focks, wonach man in der klassischen Physik von der Beziehung zwischen Gerät und Objekt abstrahieren kann. Solche Abstraktionen sind zweifellos möglich und werden von der Wissenschaft gefordert. Wir hatten schon darauf hingewiesen, daß die klassische Physik die Wechselwirkung der Objekte nicht als notwendige Eigenschaft der Bewegung behandelt. Auch das ist eine Abstraktion. In der Quantenmechanik wird die Wechselwirkung berücksichtigt, aber von einigen ihrer Vertreter nur als Wechselwirkung zwischen Objekt und Gerät. Es ist jedoch möglich, von der Wechselwirkung zwischen Objekt und Gerät, die im Experiment wirklich stattfindet, auf die objektive Wirkung der Objekte aufeinander während der Bewegung zu schließen. Gerade dadurch vermittelt [89] uns die Quantenmechanik einen tieferen Einblick in die Bewegung der Objekte. Aber diese Wirkung der Objekte muß nicht im Sinne der Ensembletheorie geschehen, auf die sich Omeljanowski stützt. Das bringt ihn zu folgender Kritik an Fock: „Tatsächlich lassen Fock und Alexandrow, obwohl sie die Quantenmechanik richtig als ‚Theorie objektiver Prozesse‘ betrachten, eine solche Deutung des Zustands in der Quantenmechanik zu (die Wellenfunktion bezieht sich auf ein einzelnes Mikroobjekt), die mit der Vorstellung von der Quantenmechanik als Theorie

<sup>95</sup> M. E. Omeljanowski, Philosophische Probleme der Quantenmechanik, a. a. O., S. 76 f.

<sup>96</sup> Ebenda, S. 88.

objektiver Prozesse nicht vereinbar ist. Das ergibt sich tatsächlich aus den oben angeführten Äußerungen Focks, wonach es die Quantenmechanik z. B. nicht mit einem Elektron schlechthin zu tun hat, sondern mit einem Elektron, das mit einem Gerät eines bestimmten Typs in Wechselwirkung steht.<sup>97</sup> Hier wird von Omeljanowski vernachlässigt, daß bestimmte Größen tatsächlich die Beziehung zwischen Objekt und Gerät ausdrücken können. Wenn  $\Delta x = 0$  ist, dann kann das der Ausdruck für die genaue Ortsmessung eines Elementarobjekts bei seinem Auftreffen auf einem Schirm sein. Hier drückt diese Beziehung ein Verhältnis zwischen Objekt und Gerät aus. Überhaupt gehen wir bei unseren Untersuchungen, wenn wir vom Experiment ausgehen, damit von dem Verhältnis Objekt und Gerät aus.

Man muß jedoch die Kritik Omeljanowskis insofern beachten, als die Theorie den Zusammenhang verschiedener Experimente berücksichtigen muß. Indem sie aus den Beziehungen zwischen Objekt und Gerät Gesetze hervorhebt, macht sie Aussagen über objektive Zusammenhänge. Dabei kann man die objektiven Zusammenhänge nicht auf äußere Wechselwirkung von Objekten einschränken. Darauf verweist vor allem die entdeckte Umwandlung der Elementarobjekte ineinander.

Fock kann auch die Wellenfunktion auf einzelne Mikroobjekte beziehen, wie das Experiment von Bibermann, Suschkin, Fabrikant beweist. Omeljanowski kann dies nur kritisieren, weil er auf dem Standpunkt der Ensembletheorie steht. Das ist sein Recht. Es ist aber falsch, diese Theorie als einzige zu bezeichnen, die mit dem dialektischen Materialismus vereinbar ist. So schreibt er: „Diese Auffassung Focks und Alexandrows von der Wellenfunktion, die Fock den ‚Standpunkt der Realität der Quantenzustände‘ nannte, ist im Gegensatz zu ihren Behauptungen schwerlich mit der These des dialektischen Materialismus über den Zusammenhang und die wechselseitige Bedingtheit der Erscheinungen in der Natur in Einklang zu bringen. Der Standpunkt der Quantenzustände wird in der Quantenmechanik in Wirklichkeit auf der Grundlage der Idee des Quantenensembles realisiert. Das [90] wurde in den Arbeiten Blochinzews und anderer Wissenschaftler bewiesen; die diese Auffassung teilen. Die Behauptung, daß die Wellenfunktion den Zustand eines einzelnen Elektrons beschreibt, führt dazu, das Elektron als reines Symbol der Beziehung von Mikro- und Makrowelt zu betrachten; das stützt in Wirklichkeit den Mythos über die angebliche ‚besondere‘ Interpretation der Erscheinungen in dem Gebiet, das die Quantenmechanik untersucht. Die Idee des Quantenensembles ermöglicht, die Frage nach der Bestimmung des Quantenzustandes vor seiner Veränderung im Meßgerät zu lösen; das entspricht dem objektiven Charakter der Gesetze der Quantenmechanik. Eine richtige Lösung wird nur dadurch möglich, daß sich die Idee des Quantenensembles auf die These des dialektischen Materialismus vom allgemeinen Zusammenhang der Erscheinungen stützt.“<sup>98</sup>

An anderer Stelle hebt Omeljanowski nochmal hervor: „Das Quantenensemble existiert objektiv und wird durch die Wellenfunktion beschrieben.“<sup>99</sup>

Diese Haltung Omeljanowskis zur These vom universellen Zusammenhang läßt ihre notwendige Konkretisierung unbeachtet. *Nicht alles* hängt mit *allem* zusammen! Die durch die Relativitätstheorie entdeckten raum-zeitlichen Einschränkungen für den universellen Zusammenhang sind mit dem Prinzip der materiellen Einheit der Welt durchaus vereinbar. Wenn der Zusammenhang durch Wechselwirkung hergestellt wird, bedarf es bestimmter materieller Wirkungen für einen bestimmten Zusammenhang. Jede materielle Wirkung hat eine begrenzte Ausbreitungsgeschwindigkeit. Damit ergibt sich ein Widerspruch zwischen der These: Alles hängt mit allem zusammen und der begrenzten Ausbreitungsgeschwindigkeit materieller Wirkungen. Nur unendliche Geschwindigkeiten, d. h. die Fernwirkung würde alles mit

<sup>97</sup> Ebenda, S. 89.

<sup>98</sup> Ebenda, S. 89 f.

<sup>99</sup> Ebenda, S. 93.

allem verbinden. Hält man an der Materialität der Welt fest und berücksichtigt damit das Nahwirkungsprinzip, d. h., jeder Zusammenhang wird durch materielle Prozesse hergestellt, die sich mit endlicher Geschwindigkeit vollziehen, dann muß man die These vom universellen Zusammenhang genauer ausdrücken. Sie bedeutet dann: Der universelle Zusammenhang wird durch materielle Prozesse hergestellt, die sich mit endlicher Geschwindigkeit vollziehen. Universeller Zusammenhang heißt, daß es keinen Bereich gibt, der nicht durch materielle Prozesse mit einem anderen Bereich verbunden ist.

Hinzu kommt noch die Hierarchie des universellen Zusammenhangs, die von Omeljanowski ebenfalls vernachlässigt wird. Nehmen wir nur eine Seite des universellen Zusammenhangs oder der universellen Wechselwirkung, so gibt es neben dem Kausalzusammenhang notwendige und zufällige Zusammen-[91]hänge. Wir werden darüber noch im vierten Kapitel ausführlicher sprechen. Hier sei aber schon gesagt, daß bei der theoretischen Erfassung der Wechselwirkung die Berücksichtigung von notwendigen und objektiv zufälligen Zusammenhängen wichtig ist. Das erst gibt uns die Möglichkeit, aus dem universellen Zusammenhang bestimmte Seiten hervorzuheben. Dabei ist die theoretische Erkenntnis ein historischer Prozeß, bei dem der Zufall sich einerseits als objektiver Zufall und andererseits als noch nicht bekannter Zusammenhang zeigt. Die Hierarchie des universellen Zusammenhangs, die sich auch im Verhältnis von Gesetz und Einzelercheinung, Möglichkeit und Wirklichkeit usw. zeigt, gestattet auch die für die wissenschaftliche Erkenntnis notwendige Abstraktion von unwesentlichen Beziehungen. Für die Bewegung eines klassischen Körpers mit großer Masse ist die ständige Wechselwirkung mit der Umgebung (z. B. Lichtquanten) unwesentlich. Die Wechselwirkung ist objektiv zufällig bei Druck und Stoß klassischer Körper. Für die Bewegung der Elementarobjekte ist die Wechselwirkung wesentlich, wie die Unbestimmtheitsrelationen zeigen. Hier kommen wir zu einer weiteren Seite der Wechselwirkung. Bisher hatten wir nur die Wirkung von Objekten aufeinander betrachtet. In diesem Sinne wurde auch die Ensembletheorie begründet. Die moderne Physik zeigt jedoch die Wechselwirkung zwischen zwei Objekten als die Folge zweier Wirkungen. Zuerst wirkt das Objekt auf das Feld und dann das Feld auf das Objekt. Das Feld tritt als Mittler zwischen die Objekte und vermittelt damit als materieller Prozeß den Zusammenhang zwischen den Objekten. Hier lieferte die moderne Physik durch die Theorie virtueller Prozesse neue Einsichten, auf die wir noch eingehen werden. Die Wechselwirkung von Objekt und Feld ist eine notwendige Wechselwirkung, die nicht mit dem zufälligen Zusammentreffen verschiedener Objekte, das auch gesetzmäßig erfaßt werden kann, gleichgesetzt werden kann. Objekt und Feld können nicht voneinander getrennt werden. Das wird schon in der klassischen Feldphysik hervorgehoben. Durch die Aufdeckung der Beziehung von Objekt und Feld wird die Bewegung durch Wechselwirkung genauer erfaßt. Berücksichtigen wir diese Seite in der Auseinandersetzung zwischen Omeljanowski und Fock, dann kann das statistische Verhalten der Elementarobjekte auch von der Wechselwirkung her erfaßt werden. Aber es muß nicht die Wirkung von Objekten aufeinander sein, sondern es kann sich auch um die Wechselwirkung des Objekts mit seiner Umgebung – ausgedrückt in der Beziehung Objekt-Feld – handeln. Diese Tatsache wird von Omeljanowski vernachlässigt. Auch diese Wechselwirkung ist mit der These vom universellen Zusammenhang vereinbar und ermöglicht die Anwendung der Wellenfunktion auf ein Teilchen. Omeljanowski weist die Reduzierung des in der Quantenmechanik ausgedrückten objektiven Sachverhalts auf die Be-[92]ziehung von Objekt und Gerät zurück. Zugleich wendet er sich aber unberechtigterweise gegen die Anwendung der Wellenfunktion auf das Einzelobjekt. Die Wellengleichung beschreibt entweder das Verhalten des Einzelobjekts mit Wahrscheinlichkeit oder die Wahrscheinlichkeit des Auftreffens auf einem bestimmten Ort für ein Ensemble von Teilchen. Das Verhalten einer Gesamtheit von Objekten wird mit Notwendigkeit vorausgesagt. Wir erhalten also aus der Schrödingergleichung Aussagen über das objektive Verhalten von Einzelobjekten bei der Messung. Jedoch ist die Wirklichkeit komplizierter, als es die Beziehungen ausdrücken, die wir erfaßt haben. Einerseits

haben wir eine vollständige Beschreibung des Verhaltens auch eines Einzelobjekts unter den Bedingungen der Erhaltung von Art und Zahl der Teilchen. Andererseits weist die statistische Beschreibung auf eine komplizierte Gesamtheit von Beziehungen hin, die dem Verhalten des Einzelobjekts zugrunde liegen. Omeljanowski schränkt diese Beziehungen auf die Wechselwirkung von Objekten im Ensemble ein. Es wäre jedoch auch eine komplizierte Beziehung zwischen Objekt und Umgebung denkbar. Dabei haben wir noch gar nicht die mögliche innere Wechselwirkung des Elementarobjekts berücksichtigt. Man kann das statistische Verhalten der Elementarobjekte also auf die Wechselwirkung zurückführen, muß jedoch dabei folgende Seiten unterscheiden:

1. Die äußere zufällige Wechselwirkung wird in der Ensembletheorie berücksichtigt. Sie ist nicht der Grund für das statistische Verhalten, da von ihr abstrahiert werden kann. Das zeigt das Experiment von Bibermann, Suschkin und Fabrikant.
2. Die Berücksichtigung der notwendigen Wechselwirkung mit der Umgebung zeigt die Kompliziertheit des Elementarobjekts im Vergleich mit dem klassischen Objekt. Dabei wirkt auch ein Objekt mit seiner Umgebung (Feld), ohne daß ein zweites Objekt existiert.
3. Jedes Objekt hat innere Strukturelemente, die ebenfalls wechselseitig aufeinander einwirken. Wir können hier von innerer Wechselwirkung sprechen. Auf diese innere Wechselwirkung verweisen die Strukturuntersuchungen der modernen Physik. Dabei ist die innere Wechselwirkung ebenfalls notwendig *und* zufällig.

Die marxistische Philosophie hebt stets die Bedeutung der inneren Wechselwirkung für die Bestimmung des Verhaltens eines Objekts hervor. Auch das zeigt die Einseitigkeit des Standpunkts von Omeljanowski, der nur die Ensembletheorie anerkennt. Zwischen den verschiedenen Aspekten der Wechselwirkung läßt sich auch ein historischer Zusammenhang erkennen. Die klassische Physik betrachtete die Wechselwirkung unabhängig von der Bewegung des Einzelobjekts. Die Quantenmechanik verwies auf die Wechselwirkung durch die statistische Deutung als für die Bewegung notwendig. Sie deckte die Gesetze für das Verhalten der Elementarobjekte bei Erhaltung der Zahl und Art der Teilchen auf. Damit mußte sie die Wechselwirkung ebenfalls als äußere Einwirkung betrachten. Die moderne Physik untersucht nun sowohl die innere Strukturiertheit als auch die Wechselwirkung von Objekt und Feld und wird sich damit dem wirklichen Grund für das statistische Verhalten annähern.

Bei der Betrachtung der inneren und äußeren Wechselwirkung ist die Berücksichtigung des entsprechenden objektiven Systems entscheidend. Für das Atom ist die Bewegung der Elektronen eine innere Wechselwirkung, für den Atomkern eine äußere, wenn wir vom Prozeß des K-Einfangs einmal absehen. Die moderne Physik versucht mit ihrer Einteilung der verschiedenen Wechselwirkungen den Gesetzen der materiellen Prozesse in den verschiedenen Bereichen auf die Spur zu kommen. Die unterschiedliche Bedeutung der Wechselwirkung in bestimmten Systemen führt zur Überlagerung von Wechselwirkungen oder dazu, daß bestimmte Wirkungen nicht berücksichtigt zu werden brauchen. Das schränkt die Gültigkeit des Superpositionsprinzips ein. A. Pereturin hebt folgende Grenzen hervor: Erstens kann das Superpositionsprinzip nicht angewandt werden, wenn Umwandlungen der Teilchen ineinander eine Rolle spielen. Zweitens gilt es nicht, wenn das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile, und drittens, wenn die Wirkung auf die Ursache zurückwirkt.<sup>100</sup> Auch das Superpositionsprinzip gilt bei bestimmten Abstraktionen von unwesentlichen Zusammenhängen. Würde man stets alle Seiten der Wechselwirkung beachten wollen, so könnte man dieses Prinzip nie anwenden. Deshalb müssen wir die verschiedenen Seiten der Wechselwirkung, ihre Relativität in bestimmten Systemen und die Hierarchie der Zusammenhänge berücksichtigen.

---

<sup>100</sup> A. F. Pereturin, Die Kategorie der Wechselwirkung und das Superpositionsprinzip, in: Вопросы философии, 2/63, стр. 117 сл

## *2. Wechselwirkung und moderne Physik*

Die Präzisierung des Begriffs Wechselwirkung in der modernen Physik hilft uns auch bei der Betrachtung der experimentellen Situation in der Quantentheorie und ihrer philosophischen Deutung. Nehmen wir das oft diskutierte Experiment der Beugung am einfachen und am Doppelspalt. Bei einem Experiment mit Elementarobjekten am einfachen Spalt erhalten wir auf einer dahinter angebrachten Photoplatte eine Kurve für die Intensitäts-[94]verteilung mit verschiedenen Maxima. Diese Kurve bereitet in ihrer Deutung für die Wellentheorie keine Schwierigkeiten, sondern ist Ausdruck der Interferenzen bei der Beugung am Spalt. Ersetzen wir jedoch die Photoplatte durch Zählrohre, so stellen wir fest, daß stets nur ein Zählrohr anspricht, also stets nur ein Teilchen auf einem bestimmten Punkt auftritt. Beim Auftreffen vieler Teilchen ergibt sich als Häufigkeit des Auftreffens die entsprechende Intensitätskurve. Sie zeigt also die Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Elementarteilchen. Für die klassische Korpuskeltheorie bringt das erhebliche Schwierigkeiten mit sich, weil dort die Bewegung einer Gesamtheit relativ isolierter Objekte als Summe der Einzelbewegungen gefaßt wird. Die Bewegung der isolierten Objekte erfolgt geradlinig. Von der Wechselwirkung innerhalb einer Gesamtheit von Elementarteilchen wird abstrahiert. Ebenso wird bzw. kann von der Wechselwirkung mit der Umgebung, von der Vergangenheit des Teilchens und von der Bedeutung der inneren Strukturiertheit für den Ablauf der Bewegung abstrahiert werden. Es dürfte nach dieser Auffassung beim Durchgang von Teilchen durch den Spalt überhaupt kein Maximum geben. In der Breite des Spaltes müßte eine gleiche Intensitätsverteilung vorhanden sein. Die Korpuskelauffassung erklärt den Sachverhalt nicht. Dagegen wird in der Bewegungsauffassung der Wellentheorie sehr gut die Ausbreitung erfaßt, da wir mit den Wellen die Kontinuität und offensichtlich die sich aus der Wechselwirkung ergebenden Möglichkeiten für das Einzelobjekt sehr gut zum Ausdruck bringen. Aber diese Theorie muß versagen, wenn es um die diskontinuierliche Seite der Bewegung geht. Sie kann die diskontinuierliche Wirkung nicht erklären. Demgegenüber ist dazu eine Theorie fähig, die von der Existenz von diskontinuierlichen Korpuskeln ausgeht und die Bewegung als Summe von Ruhezuständen faßt. Aber diese Theorie muß wiederum Schwierigkeiten bei der Deutung der Ausbreitung haben, da die Kontinuität und die Wechselwirkung vernachlässigt werden. Die Deutung der Beugung am Spalt bestätigt also unsere Bewegungsauffassung. Sie zeigt die Einheit von Kontinuität und Diskontinuität in der Ortsveränderung, die Einheit von Wellen- und Korpuskeleigenschaften in der Intensitätsverteilung der Elementarobjekte. Dabei ist die Beugung Ausdruck der Wechselwirkung und Struktur der Elementarobjekte, die nicht nur am Spalt vorhanden ist. Dort kann sie jedoch festgestellt werden, da wir ja mit dem Spalt einen Rahmen für die mögliche Wechselwirkung setzen. Teilchen, die auf Grund ihrer Wechselwirkung und Struktur eine solche Ausbreitungsrichtung bekommen, die nicht durch den Spalt geht, werden bekanntlich ausgeschaltet.

Die Beugung am Doppelspalt zeigt, daß es sich bei der Bewegung der Elementarobjekte um eine objektive Wechselwirkung handelt, die zu einer [95] immer vorhandenen Verschiedenheit der Richtung führt und nicht um ein durch das Vorhandensein des Spalts erzwungenes besonderes Verhalten. Öffnet man den Spalt *A* und schließt Spalt *B*, so erhält man ein Beugungsbild, das der Beugung am einfachen Spalt entspricht, ebenso wenn man *A* schließt und *B* öffnet. Öffnet man jedoch *A* und *B*, so erhält man nicht die Summe beider Verteilungen, sondern eine neue Verteilung, die einem Bild entspricht, das entstände, wenn zwischen Spalt *A* und *B* ein Spalt wäre. Erneut findet die Auffassung der Bewegung als dialektischer Widerspruch Bestätigung. Wäre die Bewegung nicht objektiv als Wechselwirkung zu fassen, so müßten sich die Beugungsbilder von Spalt *A* und *B* bei gleichzeitiger Öffnung einfach addieren. Das ist aber nicht der Fall. Es liegt also Wechselwirkung vor. Würde es sich nur um Wellen handeln, dann dürften die angebrachten Zählrohre nicht ansprechen. Da sie es aber tun, besitzen die Elementarobjekte Korpuskel- und Welleneigenschaften. Da sich stets die-

selbe Verteilung bei denselben Bedingungen ergibt, sind wir auch in der Lage, die Bewegung der Elementarobjekte gesetzmäßig zu erfassen. Als neues Merkmal des Verhaltens der Elementarobjekte ergibt sich die notwendige Einbeziehung der Wechselwirkung in die theoretische Deutung ihrer Bewegung. Dabei ist hervorzuheben, daß Wechselwirkung hier im allgemeinen philosophischen Sinne als die Gesamtheit der äußeren und inneren Beziehungen des Elementarobjekts gedacht ist. Zunächst haben wir dabei die Beziehungen innerhalb eines Elektronenstrahls zu beachten, wenn wir uns beispielsweise die Beugung von Elektronen als Ziel setzen. Wie aber das Experiment von Suschkin, Biberrmann und Fabrikant zeigt, können wir die Elementarobjekte relativ aus dem Strahl isolieren. Dabei ergibt sich bei, genügend langer Zeitdauer, des Experiments die gleiche Verteilung wie bei einem Strahl. Wir werden also darauf hingewiesen, daß die Wechselwirkung mit gleichartigen Teilchen (Elektronen) hier im Sinne der Vergangenheit des einzelnen Objekts in das Experiment eingeht. Findet die Wechselwirkung nicht direkt im Experiment statt, da wir die Objekte vom Strahl isolieren, so können wir sie jedoch nichtabsolut von ihrer Umgebung isolieren und damit genau angebbare Bedingungen für jedes einzelne Teilchen schaffen, sondern müssen die vorher stattgefundene Wechselwirkung mit der Umgebung berücksichtigen, die nach der relative Isolierung in der Verschiedenheit der Bewegungsrichtung zum Ausdruck kommt, was man eben als Vergangenheit bezeichnen könnte. Insofern gibt das Experiment der genannten drei Wissenschaftler keine Widerlegung der Bedeutung der Wechselwirkung zur Deutung der Bewegung der Elementarobjekte. Zweifellos wird aber die zukünftige physikalische Forschung in der Lage sein, diese Rolle der Wechselwirkung in Form der äußeren Beziehungen zwischen verschiedenen Objekten weit-[96]gehend zu reduzieren und Bedingungen für die Untersuchung relativ voneinander isolierter Elementarobjekte schaffen. Damit würden wir zur Aufdeckung neuer Bewegungsgesetze für relativ voneinander isolierter Elementarobjekte gelangen.

Weiter muß man jedoch, wenn man die Wechselwirkung berücksichtigt, nicht nur Beziehungen zwischen den verschiedenen Elementarteilchen beachten, sondern auch die Beziehungen eines relativ isolierten Teilchens mit seiner Umgebung. Sokolow verweist darauf, daß das Experiment von Suschkin, Bibermann und Fabrikant die Welleneigenschaften der Elektronen nicht an das gleichzeitige Vorhandensein vieler Elektronen bindet. Er muß jedoch den Wahrscheinlichkeitscharakter der Aussagen der Wellenmechanik für das Einzelteilchen betonen. Insofern liefert seine Deutung dieses Experiments nichts, was über das von uns eben Gesagte hinausginge. Er beantwortet jedoch die Frage nach den Ursachen des statistischen Charakters der Aussagen über Einzelteilchen mit dem interessanten Hinweis, daß „das Problem der Bewegung eines einzelnen Teilchens überhaupt nur als Näherungsproblem gestellt werden kann.“<sup>101</sup>

Unabhängig davon, wie die physikalische Forschung hier im einzelnen weiterschreitet, ergibt sich bereits die Wechselwirkung des Elektrons mit seiner engeren Umgebung als wesentliches Forschungsgebiet, das unsere Kenntnisse über die Bedingungen für die Bewegung des Einzelobjekts erweitert. Hier kann eben Wechselwirkung nicht einfach im Sinne der direkten, äußeren Einwirkung zwischen relativ isolierten Objekten verstanden werden. Es geht hier um die ständig vorhandene Beziehung des Teilchens zu seiner Umgebung, die eigentlich erst seine Bewegung ermöglicht. Diese ständige Beziehung wird durch die bereits erwähnte Bestimmung der Elementarobjekte mit Hilfe der Wechselwirkung der Felder bestätigt. Auch Achieser und Berestezki verweisen darauf, daß „die Eigenschaften der Teilchen namentlich bei ihren Wechselwirkungen mit anderen Teilchen in Erscheinung treten“<sup>102</sup>. Dabei soll dieser Zusammenhang nicht als eine Bedingung verstanden werden, die von außen hinzutreten bzw. nicht hinzutreten kann. Diese Wechselwirkung des Objekts mit seiner Umgebung ist ständig

<sup>101</sup> A. Sokolow, Quantenelektrodynamik, a. a. O., S. 118.

<sup>102</sup> A. I. Achieser/W. B. Berestezki, Quantenelektrodynamik, a. a. O., S. 2.

vorhanden, da das Objekt sich immer bewegt. Daraus ergibt sich jedoch auch eine Schlußfolgerung für die mathematische Behandlung. In der Quantenmechanik behandeln wir den Zustand eines Systems als unveränderlich bis zur äußeren Einwirkung. Das System  $S$  ist also sich selbst überlassen, bis eine Einwirkung von außen stattfindet, die wir durch störungstheoretische Behandlung bestimmen. Damit wird die [97] Wechselwirkung aber im wesentlichen auf eine äußere Störung der sich vollziehenden Bewegung oder des ruhenden Systems reduziert. Das entspricht vor allem der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie, bei der diese Störung von außen durch die Einwirkung der Geräte hinzukommt. Wenn jedoch die Wechselwirkung objektiv existiert und nicht nur in der ersten Art vorhanden ist, dann muß sie in den mathematischen Zustand einbezogen werden und zur Grundlage der Bewegungsauffassung gemacht werden. Die Wechselwirkung des Teilchens mit seiner Umgebung ergibt erst seinen wirklichen Bewegungszustand. Natürlich muß man für die Erkenntnis die Bewegung in verschiedene Komponenten zerlegen. In der philosophischen Deutung gilt es jedoch dann zu beachten, daß die einzelnen Komponenten verschiedene Seiten der einheitlichen Bewegung sind und keine äußeren Störungsfaktoren darstellen. Wir haben eben, wie die Quantenelektrodynamik schon zeigt, neben diesen äußeren Wechselwirkungsfaktoren auch die immer vorhandene Wechselwirkung zwischen Teilchen und Umgebung zu beachten. Dabei weist gerade die Quantenelektrodynamik auf Schwierigkeiten in der Störungsrechnung hin. Diese Schwierigkeiten sind mit den verschiedenen Arten der Wechselwirkung verbunden. In der Quantenelektrodynamik selbst ist die Lösung dieses Problems noch nicht so dringend, meinen Achieser und Berestezki: „Deshalb treten in der Elektrodynamik praktisch keine Probleme auf, welche die Anwendung anderer Methoden als die der Störungsrechnung erfordern. Physikalisch weit größere Bedeutung als die Ungenauigkeit der Störungsrechnung können Wechselwirkungsprozesse von Elektronen und Photonen mit elektrisch geladenen Feldern haben, z. B. mit Mesonenfeldern, die außerdem starke nichtelektromagnetische Wechselwirkungen besitzen. Vom prinzipiellen Standpunkt aus ist jedoch die Frage nach der Existenz strenger Lösungen des Gleichungssystems der Quantenelektrodynamik von großem Interesse.“<sup>103</sup>

Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Quantenelektrodynamik keine abgeschlossene Theorie ist. Eben die verschiedenen Arten der Wechselwirkung bringen der theoretischen Erfassung in der Quantenelektrodynamik Schwierigkeiten entgegen, die ihren Ausdruck in verschiedenen Divergenzen finden. Deshalb wird ein Kriterium für die Anwendbarkeit der Störungsrechnung angegeben, das zugleich auf die Grenzen der Anwendbarkeit verweist. Für die Quantenelektrodynamik wird als Hilfsparameter ein Grenzpuls  $L$  eingeführt, der mit der Ladung  $e$  des Elektrons verbunden ist. Im Grenzfall, wenn  $L$  gegen unendlich geht, geht  $e$  gegen Null. Deshalb läßt sich der Übergang zu einer strengen Theorie nicht verwirklichen, da sie mit der [98] Forderung  $L \rightarrow \infty$  zu einem physikalisch unrichtigen Resultat führt; zum Verschwinden der Ladung des Elektrons.

Achieser und Berestezki schreiben dazu: „Wir kommen jetzt zu der Folgerung, daß die Quantenelektrodynamik keine abgeschlossene Theorie ist. Sie kann die Wechselwirkungen im Gebiet von Abständen kleiner als  $\frac{1}{L}$  nicht berücksichtigen, wobei  $L$  jedenfalls größer als die durch die Formel bestimmte Größe ist. Deshalb ist zu erwarten, daß die Größe des Grenzpulses einen tiefen physikalischen Inhalt haben muß, der eine wesentliche Änderung der Raum-Zeit-Eigenschaften oder der Wechselwirkungseigenschaften bei kleinen Abständen ausdrückt. Wie wir schon früher erwähnten, hat diese Frage für die Elektrodynamik keine ernstliche Bedeutung, da diese Abstände sehr klein sind; denn bei Prozessen, bei denen sogar bedeutend größere Abstände eine Rolle spielen, müssen nämlich Erscheinungen berücksichtigt werden, die formal nicht in das Schema der Quantenelektrodynamik hineinpassen (z. B. Mesonenprozesse). Größere Bedeutung hat die Unabgeschlossenheit des formalen Schemas der Quantenelektrodyna-

---

<sup>103</sup> Ebenda, S. 544.

mik für Theorien, die nach dem Muster der Quantenelektrodynamik zur Betrachtung starker Wechselwirkungen entwickelt wurden (Meson-Nukleon-Wechselwirkung).<sup>104</sup>

Interessant ist der Hinweis auf den Zusammenhang von neuen Wechselwirkungseigenschaften und neuen Raum-Zeit-Beziehungen in dem Gebiet, wo die Quantenelektrodynamik nicht exakt gilt. Das verweist wieder auf den notwendigen Fortschritt der physikalischen Forschung. Die Berücksichtigung der verschiedenen Formen der Wechselwirkung erfolgt einerseits in verschiedenen physikalischen Theorien. Andererseits dringt die physikalische Theorie immer tiefer in das Verständnis der Wechselwirkung ein. Dabei gilt auch für das Problem der Wechselwirkung, was wir allgemein über das Verhältnis von physikalischer und philosophischer Bewegungsauffassung sagten. Der philosophische Begriff der Wechselwirkung erfährt durch die Physik eine tiefe Präzisierung und Erweiterung. Dabei kann der Physiker auch aus dem Begriff der Wechselwirkung heuristische Hinweise für die Arbeit entnehmen. Vergleicht man die Entwicklung der Physik mit der philosophischen Begriffsbildung, so ergeben sich verschiedene Etappen. Es gab Versuche, das Verhalten der Elementarobjekte aus ihrer äußeren Wechselwirkung zu erklären.

Das ist mit der Ensembletheorie verbunden. In der weiteren Entwicklung wurde die Umwandlung der Elementarobjekte, Paarerzeugung und Paarvernichtung usw. in die Betrachtung einbezogen. Darin bestand der Fortschritt von der Quantenmechanik zur Quantenelektrodynamik. Damit wurde [99] nicht nur die äußere zufällige Wechselwirkung zwischen Elementarobjekten, sondern die Wechselwirkung des Objekts mit seiner Umgebung berücksichtigt: Die Eigenschaften der Teilchen wurden aus der Wechselwirkung erklärt. Mit den Versuchen Hofstadters erfolgte nun der Übergang zur Erforschung der Struktur der Elementarobjekte, d. h. zur inneren Wechselwirkung. So vollzog sich die Erforschung der Wechselwirkung neben der Differenzierung in verschiedene Arten von der äußeren – über die notwendige Wechselwirkung mit der Umgebung – bis zur inneren Struktur. Alle diese Momente werden in der philosophischen Theorie in ihrem Zusammenhang untersucht. Dabei wirken die äußeren Wechselwirkungen über die innere Struktur auf die Objekte ein. Bestimmend für das Verhalten eines Objekts ist die innere Struktur. Für alle Seiten der Wechselwirkung gilt es die entsprechenden Gesetze zu entdecken. Das geschieht in der Physik in der Quantenmechanik (statistisches Verhalten), Quantenelektrodynamik (Umwandlung der Elementarobjekte) und einer einheitlichen Theorie der Elementarobjekte, die alle Formen umfassen müßte.

In der philosophischen Auffassung der Wechselwirkung wird damit nicht nur auf den Zusammenhang der verschiedenen Seiten verwiesen, sondern vor allem auf einige für die Interpretation der modernen Physik wichtige Seiten aufmerksam gemacht. Wenn für das Verhalten des Objekts die innere Struktur entscheidend ist, so liefert ihre Untersuchung Mittel zum Verständnis der Bewegung des Einzelobjekts. Da jedoch die äußeren Wechselwirkungen über die inneren auf das Verhalten des Objekts einwirken, kann die Untersuchung der Struktur nicht die bisherigen Ergebnisse über das Verhalten der Elementarobjekte aufheben, sondern nur ergänzen und begründen. Wir erhalten damit zwar ein tieferes Verständnis der bisherigen Ergebnisse, heben sie aber nicht auf. Die bisherige Untersuchung des Elementarobjekts in Quantenmechanik und -elektrodynamik zeigte uns die Bedeutung der Wechselwirkung auch für die Bestimmung der Eigenschaften des Individuums. Das bedeutet die Aufhebung der absoluten Individualität eines Objekts und einen Hinweis auf den engen Zusammenhang mit anderen Objekten zur Bestimmung des Individuums.

Nicht in der Loslösung des sich bewegenden Teilchens von seiner direkten Umgebung kann man die Individualität des Teilchens suchen, weil man damit seine Bedingungen für die Bewegung zerstören würde. Die Individualität der Teilchen ist vielmehr in einer Form der

---

<sup>104</sup> Ebenda, S. 551 f.

Wechselwirkung, die für die Bewegung des Teilchens bestimmend ist, zu suchen. Die bisherigen Untersuchungen geben dazu bereits einige Anhaltspunkte. Es geht um die innere Strukturiertheit der Elementarobjekte, die man unbedingt in die Betrachtung der Bewegung einbeziehen muß. Diese Form der Wechselwirkung, die von [100] der physikalischen Forschung in der Zukunft konkretisiert werden wird, umfaßt gerade die inneren Beziehungen der Elementarobjekte, von denen man bei der Betrachtung abstrahiert. Bisher haben wir im wesentlichen Gesetze des Verhaltens von Elementarobjekten untersucht, wobei die innere Strukturiertheit vernachlässigt wurde.

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen weisen jedoch auf individuelles Verhalten der Elementarobjekte hin, das die Grundlage für das statistische Verhalten bildet. Ohne individuelle Unterschiede müßte man die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten mit Hilfe eines Gleichverteilungssatzes auf die einzelnen Objekte verteilen können, und das Verhalten der Gesamtheit wäre dann nur eine Summe des Einzelverhaltens.

Wenn wir also von der Bedeutung der Wechselwirkung für die Erklärung der experimentellen Situation der modernen Quantentheorie sprechen, so meinen wir diese verschiedenen Formen der Wechselwirkung, die bisher mehr oder weniger genau in der physikalischen Forschung untersucht wurden. Die Zukunft wird uns dabei genaueres Material zur Präzisierung unserer Auffassungen liefern. Vom philosophischen Standpunkt aus ergibt sich daraus die Berechtigung einzelwissenschaftlicher Untersuchungen zur relativen Isolierung der Einzelobjekte (de Broglie, Bohm, Vigier, Terlezki), zur weiteren statistischen Erfassung der Einzelobjekte (Blochinzew) und zur Untersuchung der inneren und äußeren Struktur der Teilchen, die von verschiedenen Physikerschulen unternommen wird. Den größten Erfolg verspricht jedoch der Versuch, eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen zu finden. Hier verbindet sich die theoretische Entwicklung nicht nur mit einer Uminterpretation der statistischen Deutung der Quantentheorie, die unter bestimmten Bedingungen volle Berechtigung hat, sondern auch mit der Einbeziehung neuer experimenteller Ergebnisse und der Untersuchung der spezifischen Form der Wechselwirkung in allen genannten Formen. Aus dieser Entwicklung der physikalischen Theorie werden neue philosophische Impulse zur Konkretisierung einer allgemeinphilosophischen Theorie der Bewegung erwachsen. Damit wird die These von der Bewegung als Wechselwirkung weiter präzisiert.

### *3. Wechselwirkung und virtuelle Prozesse*

Die Untersuchung des Atomkerns und die Entdeckung des Neutrons führten notwendig zur Erforschung der zwischen Neutron und Proton im Kern wirkenden Kräfte. Diese Kräfte bewirkten die Stabilität des Kerns und waren Ausdruck der Wechselwirkung zwischen den Kernbestandteilen. (Nukleonen).

[101] Zur Zeit der Entdeckung des Neutrons kannte man nur zwei Arten von Wechselwirkungen: die Gravitations- und die elektromagnetische Wechselwirkung. Bei der kleinen Masse der Elementarobjekte sind die Gravitationskräfte gering. Die elektromagnetischen Kräfte wirken nur zwischen Objekten mit elektrischer Ladung oder solchen Objekten, in denen Strom fließt. Die elektromagnetischen Kräfte wirken zwischen Kern und Elektronen. Sie erklären nicht den Zusammenhalt des Kerns. Sie können nur für den Zerfall des Kerns, aber nicht für seine Stabilität herangezogen werden, da sie zwischen gleichartig geladenen Teilchen, den Protonen, wirken. Die damit erkannten Kernkräfte unterscheiden sich von den Gravitations- und elektromagnetischen Kräften. Jene sind im Vergleich mit diesen sehr groß. Diese innere Energie kennen wir als Bindungsenergie. Hinzu kommt, daß die Kernkräfte sehr stark in kleinen Reichweiten sind. Der Wirkungsradius beträgt ungefähr  $1,5 \cdot 10^{-13}$  cm.<sup>105</sup>

<sup>105</sup> W. Nowoschilow, Elementarteilchen, a. a. O., S. 78.

Die Beziehung zwischen Teilchen und Feld, die schon bei der elektromagnetischen Wechselwirkung eine Rolle spielt, wurde zur Grundlage der Erklärung der Kernwechselwirkungen genommen.<sup>106</sup> Die Feldquanten eines elektromagnetischen Feldes sind die Photonen. Die Erzeugung eines Feldes ist damit mit der Aussendung von Photonen gleichzusetzen. Diese Photonen sind jedoch nur unter bestimmten Bedingungen reale Photonen. Beim Stoß zweier Elektronen kann ein reales Photon entstehen, dessen Energie sich aus der zusätzlichen Energie des Elektrons ergibt, die es beim Stoß erhält.

Die Vorstellung der nicht-realen oder „virtuellen“ Photonen dient zur Beschreibung von wirklichen Vorgängen. So erhält man aus ihr Gleichungen für die Streuung eines Photons am Elektron, für die Stöße zweier Elektronen oder die Elektron-Positron-Paarumwandlung in zwei Photonen.

Die Vorstellung von der Existenz virtueller Photonen dient zur Erfassung der Wechselwirkung zwischen Teilchen und Feld. Das Elektron ist von einer Wolke virtueller Photonen umgeben. Die Erzeugung der virtuellen Photonen durch das Elektron kann jedoch in Wirklichkeit nicht stattfinden, da sie dem Energieerhaltungssatz widersprechen würde. In den Experimenten selbst haben wir es auch nicht mit den virtuellen, sondern mit den wirklichen Photonen zu tun. In diesen Prozessen wird der Energieerhaltungssatz nicht verletzt. Für die Theorie ist jedoch die Annahme der gedachten virtuellen Prozesse äußerst vorteilhaft.<sup>107</sup> Man könnte sie als in der Theorie zum Ausdruck gebrachte Möglichkeiten des wirklichen Verhaltens interpretieren. Ver-[102]wirklicht sich diese Möglichkeit, wird ein Photon absorbiert oder ausgesandt, so gilt der Energieerhaltungssatz. Er gilt also für die wirklichen Prozesse, aber nicht für alle in der Theorie erfaßten Möglichkeiten. Dabei ist klar, daß eine nicht verwirklichte Möglichkeit auch keine wirkliche Energieübertragung verlangt. Die Wolke virtueller Photonen um das Elektron ist Ausdruck möglicher Streuprozesse oder möglichen Einwirkens auf andere Teilchen. Solange kein Elektron mit dem anderen zusammenstößt, findet keine wirkliche Aussendung eines Photons statt. Die Theorie untersucht jedoch den Zusammenhang zwischen Elektron und virtuellem Photon. Damit schafft sie die Voraussetzung für die Erklärung des wirklichen Auftretens eines Photons beim Stoß. Sie muß dazu die Umwandlung eines virtuellen Photons in ein reales und die Bedingungen für diese Umwandlung berücksichtigen, was sie auch tut.

Die Heranziehung der Vorstellung von virtuellen Teilchen für die Erklärung der Wechselwirkung zwischen Protonen und Neutronen half den Theoretikern bei der Erklärung der Kernkräfte. Yukawa übernahm 1935 Tamms Idee von der Vermittlung der Kernwechselwirkung durch virtuelle Teilchen. Bis dahin war die Erklärung daran gescheitert, daß die Teilchen, die man kannte, zur Wechselwirkung nicht geeignet sind. Yukawa schlug vor, neue Teilchen zu suchen. Es begann die Suche nach den Kernmesonen, Teilchen, die mit ihrer Masse zwischen den leichten Elektronen und den schweren Protonen stehen sollten. Nach der Entdeckung der Mesonen traten jedoch Widersprüche zwischen Theorie und Experiment auf, die erst später gelöst wurden.

Occhialini und Powell entdeckten 1947 die Pi-Mesonen, die sich als die eigentlichen Kernmesonen erwiesen. Die My-Mesonen, die man bis dahin kannte, wechselwirkten mit den Kernen nur wenig. Die Pi-Mesonen dagegen wechselwirken stark mit den Kernen und entstehen beim Stoß von Protonen mit Kernen. Es ergibt sich nun ein Bild der Kernkräfte, das wesentlich auf der Wechselwirkung des Nukleons mit dem Mesonenfeld beruht. Proton und Neutron hängen auf folgende Weise zusammen:<sup>108</sup> Das Proton zerfällt virtuell in ein Neutron und ein positives Pi-Meson ( $p \rightleftharpoons n + \pi^+$ ). Das Neutron verwandelt sich in ein Proton und ein

<sup>106</sup> Ebenda, S. 78 ff.

<sup>107</sup> A. I. Achieser/W. B. Berestezki, Quantenelektrodynamik a. a. O., S. 258, 265.

<sup>108</sup> J. W. Nowoshilow, Elementarteilchen, a. a. O., S. 95.

negatives Pi-Meson ( $n \rightleftharpoons p + \pi^-$ ) Proton und Neutron senden neutrale Pi-Mesonen aus ( $p \rightleftharpoons p + \pi^0$ ;  $n \rightleftharpoons n + \pi^0$ ). Mit Hilfe dieser virtuellen Prozesse kann man die Wechselwirkung zwischen Proton und Neutron darstellen. Man kann auch noch die Umwandlung von neutralen Pi-Mesonen in Proton und Antiproton in die Betrachtung einbeziehen.

[103] Besondere Bedeutung haben dabei die Erhaltungssätze. Für die Endprodukte virtueller Prozesse gelten die Erhaltungssätze, jedoch nicht für virtuelle Prozesse selbst. Die Gültigkeit der Erhaltungssätze ist jedoch auch von der Form der Wechselwirkung abhängig. Bei schwachen Wechselwirkungen wird die Paritätserhaltung verletzt. So werden bestimmte Wechselwirkungen durch bestimmte Erhaltungssätze charakterisiert. Auch das ist noch ein weites Feld philosophischer und physikalischer Überlegungen.

Betrachtet man die theoretischen Überlegungen der modernen Physiker über die virtuellen Teilchen, so ist für den Philosophen die Wirksamkeit dieser Vorstellung von Interesse. Sie hilft bei der Erklärung der wirklichen Wechselwirkung. Nowoschilow schreibt zum Prozeß der Umwandlung eines Elektrons in ein Elektron und Photon: „Dieser grundlegende Prozeß kann in der Natur nicht stattfinden. Solche gedachten Prozesse nennt man virtuelle Prozesse, zum Unterschied von den wirklichen, die man experimentell beobachten kann und die nicht im Widerspruch zu den Erhaltungsgesetzen stehen. Virtuelle Prozesse, bei denen das Energieerhaltungsgesetz scheinbar verletzt wird, gibt es nur in der Quantentheorie. Praktisch jedoch liegt hier keine Verletzung des Energieerhaltungsgesetzes vor; denn virtuelle Prozesse beobachtet man ja experimentell nicht. Virtuelle Prozesse oder virtuelle Übergänge sind eine einfache und bequeme Beschreibungsmethode von Erscheinungen, die den Quantengesetzen nicht widerspricht und die einen wichtigen Platz in der anschaulichen Interpretation der Erscheinungen der Mikrowelt einnimmt. Virtuelle Photonen nennt man die Photonen, die in virtuellen Prozessen ausgestrahlt oder absorbiert werden. Es versteht sich, daß hinter der Vorstellung der virtuellen Photonen ein bestimmter mathematischer Formalismus steckt.“<sup>109</sup>

Diese virtuellen Prozesse spielen bei den Kernkräften, wie wir sahen, ebenfalls eine Rolle. Für die philosophische Deutung ist folgendes wichtig:

Erstens widerspiegelt die Theorie der virtuellen Prozesse objektiv-reale Vorgänge richtig. Das beweisen die durch die Praxis überprüften Schlußfolgerungen dieser Theorie. Die Widerspiegelung, besonders in ihrer mathematischen Form, muß keine mechanische Zuordnung einer Größe zu einem Objekt oder einer Beziehung sein. Der komplizierte Quantenzustand  $\psi$  ergibt erst durch Umrechnung Aussagen über die Wirklichkeit. Trotzdem ist er eine richtige Widerspiegelung. Ob eine Theorie die Wirklichkeit richtig erfaßt, kann durch die experimentelle Überprüfung ihrer Folgerungen nachgewiesen werden. Soweit diese Überprüfung reicht, muß man die Zulässigkeit der Theorie anerkennen. Das gilt auch für die Theorie der virtuellen Prozesse. [104]

Zweitens könnte man, wie wir schon andeuteten, das quantisierte Feld als Ausdruck möglicher Wechselwirkungen mit anderen Objekten betrachten. Da die Theorie nicht nur die wirklichen Vorgänge erfaßt, sondern aus den wirklichen Vorgängen mögliche Beziehungen hervorhebt, kann man auch die Theorie der virtuellen Prozesse als Hervorhebung aller Möglichkeiten des wirklichen Verhaltens der Elementarobjekte betrachten. Dabei ist das keine subjektive Bestimmung. Nicht erst im Moment der Wechselwirkung erhält das Elementarobjekt die Fähigkeit, Wirkungen auszuüben. Die objektive Möglichkeit dazu hat es immer. Aber erst unter bestimmten Bedingungen wird diese Möglichkeit verwirklicht. So ist ein Elektron von virtuellen Photonen umgeben. Durch die Gesamtheit der Bedingungen bestimmt, wird ein virtuelles zu einem realen Photon, wenn das Elektron durch Stoß genügend Energie erhält. Eine der Möglichkeiten hat sich verwirklicht. Hätte das Elektron nur ein virtuelles Photon,

<sup>109</sup> Ebenda, S. 82 f.

dann hieße das, durch die Abgabe eines Photons sind alle Möglichkeiten erschöpft. Das ist aber nicht der Fall. Deshalb ist die Annahme einer Photonenwolke plausibel.

Ebenso kann man die Kernteilchen als mit Mesonenwolken umgeben betrachten. Die Umwandlung des virtuellen in ein reales Photon oder Meson ist die Verwirklichung einer Möglichkeit. Der wirkliche Prozeß unterliegt dem Energieerhaltungssatz, der im realen Prozeß auch erfüllt ist.

Drittens verweist die Theorie der virtuellen Prozesse jedoch auf einen noch nicht entdeckten komplizierten inneren Mechanismus der Teilchenumwandlung. Nowosilow widerlegt den Gedanken der möglichen experimentellen Beobachtung virtueller Prozesse mit dem Hinweis auf die Unbestimmtheitsrelation.<sup>110</sup> Aber darum geht es gar nicht. Wir haben im ersten Punkt bereits betont, daß keine einfache Zuordnung zwischen objektiver und gedanklicher Beziehung besteht. Diese Zuordnung kann selbst viele Zwischenstufen besitzen, die einen komplizierten mathematischen Formalismus verlangen.

Wir meinen, daß die virtuellen Prozesse deshalb auf komplizierte materielle Prozesse verweisen, weil sie Anfangs- und Endprodukte einer Wechselwirkung verbinden, wobei beide real existieren, die Wechselwirkung jedoch virtuell ist. Nehmen wir die Kernwechselwirkung zwischen Proton und Neutron. Nowosilow schreibt dazu: „Wir sahen, daß zwischen den Kernteilchen drei Krafttypen wirken können:

die Kräfte zwischen Neutron und Proton,  
die Kräfte zwischen zwei Protonen und  
die Kräfte zwischen zwei Neutronen.

[105] Es ist experimentell bewiesen, daß alle drei Krafttypen genau gleich sind. (Es versteht sich, daß man die Kräfte für gleiche Bewegungszustände der Teilchen vergleichen muß.) Mit anderen Worten: Die Kernkräfte hängen nicht von der Ladung des Teilchens ab. Diese Eigenschaft der Kernkräfte nennt man Ladungsunabhängigkeit. Deshalb erweisen sich Neutron und Proton in bezug auf die Kernkräfte als gleichwertig (wenn man ihren Massenunterschied nicht beachtet); ladungsbedingte Unterschiede entstehen zwischen ihnen nur durch die elektromagnetische Wechselwirkung. Deshalb kann man Proton und Neutron als verschiedene Zustände ein und desselben Teilchens, des Nukleons, ansehen („Nukleon“ bedeutet Kernteilchen). Wenn sich das Nukleon im Zustand mit der Ladung + 1 befindet, so ist es ein Proton. Wenn die Nukleonladung gleich Null ist, dann haben wir ein Neutron. Das Nukleon wird gewöhnlich durch das Symbol  $N$  bezeichnet. Es versteht sich, daß der Übergang zu einer neuen Bezeichnung desselben Teilchens nichts Neues geben kann: Zu neuen Ergebnissen führt erst die dahinter versteckte Idee der Ladungsunabhängigkeit. Die erste wichtige Schlußfolgerung aus der Ladungsunabhängigkeit erhält man für die  $\pi$ -Mesonen. Da die Kernkräfte durch den virtuellen  $\pi$ -Mesonenaustausch zwischen den Nukleonen erzeugt werden, ist es klar, daß die Forderung der Ladungsunabhängigkeit dem Charakter der Wechselwirkung der  $\pi$ -Mesonen mit den Nukleonen Begrenzungen auferlegt.“<sup>111</sup>

Uns geht es hier vor allem um den engen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Zuständen des Nukleons. Heute betrachten wir die Umwandlung eines Protons in ein Neutron und umgekehrt mittels virtueller Mesonen. Die Zukunft wird uns die materiellen Prozesse und Zustände des Nukleons und seiner Veränderung zeigen. Auf diese materiellen Prozesse verweist die Theorie der virtuellen Mesonen als Ausdruck der Kernwechselwirkung. Man könnte andere Prozesse, wie den Zerfall des Sigma-Hyperons betrachten, bei dem ebenfalls virtuelle Teilchen zur Erklärung herangezogen werden. Auch hier wird unsere Erkenntnis bis zur Aufdeckung der wirklichen Prozesse weiterschreiten. Damit kommen wir zu einer tiefen

<sup>110</sup> Ebenda, S. 84.

<sup>111</sup> Ebenda, S. 113 f.

heuristischen Bedeutung der Lehre von der materiellen Einheit der Welt. Der Zusammenhang der Teilchen, die Wechselwirkung wird durch materielle Prozesse vermittelt. Das gilt auch für Elementarteilchen.

Viertens darf man deshalb nicht nur den komplizierten Mechanismus hervorheben, der durch die Theorie der virtuellen Teilchen verdeckt wird. Bereits heute erhalten wir durch die Umwandlung virtueller in reale Teilchen einen Hinweis auf die Struktur der Elementarteilchen. Die Theorie der virtuellen Teilchen gibt uns einen Hinweis auf die komplizierte Struktur der objektiv-realen Teilchen. Nowoschilow schreibt: „Ausgehend von der  $\pi$ -Mesonenwechselwirkung gelangten wir zur Vorstellung der virtuellen Mesonenwolke. Dank dieser Wechselwirkung werden virtuelle Mesonen ausgestrahlt und absorbiert, die letzten Endes eine Wolke um das Nukleon bilden. Solange also das Nukleon zur Wechselwirkung mit den  $\pi$ -Mesonen fähig ist, wird die Mesonenwolke existieren. Die Fähigkeit der Nukleons zur  $\pi$ -Mesonenwechselwirkung kann man genauso wenig vernichten wie beim Elektron die Fähigkeit zur elektromagnetischen Wechselwirkung. Die Fähigkeit zur elektromagnetischen Wechselwirkung ist immer mit der elektrischen Ladung verbunden; die Ladung des Elektrons kann man nicht vernichten. Analog kann man die Fähigkeit des Nukleons zur  $\pi$ -Mesonenwechselwirkung durch die Mesonenladung charakterisieren; das Nukleon kann sich auch nicht von der Mesonenladung befreien. Deshalb muß die Mesonenwolke das Nukleon immer begleiten. Wenn aber die Mesonenwolke vom Nukleon nicht abteilbar ist, hat es dann einen Sinn, unter einem Nukleon das zu verstehen, was von der Wolke umgeben ist? Im Experiment beobachten wir immer alles zusammen – sowohl die  $\pi$ -Mesonenwolke als auch das, was sich im Innern der Wolke befindet und früher als Nukleon bezeichnet wurde. Wir kommen zu dem Schluß, daß das, was wir anfangs Nukleon nannten, eine idealisierte Form des Nukleons ist (man nennt sie manchmal ‚nacktes Nukleon‘). Das physikalische Nukleon (das experimentell beobachtbare) besteht offensichtlich aus dem ‚nackten‘ Nukleon und der Mesonenwolke. Beim Übergang vom ‚nackten‘ Nukleon zum physikalischen zeigt sich auch die eigenartige Struktur des Nukleons. Mit den Eigenschaften der Mesonenwolke kann man die Struktureigenschaften des Nukleons verbinden. Deshalb sind die Physiker an der Struktur der Mesonenwolke so außerordentlich interessiert. Jedoch stoßen die theoretischen Untersuchungen auf diesem Gebiet auf ernste Schwierigkeiten, und sie ergaben einstweilen noch keinerlei Resultate.“<sup>112</sup>

Wir werden zwar den im vorhergehenden Punkt erwähnten inneren Mechanismus noch entdecken, aber bereits heute ergeben sich Aussagen über die Struktur der Elementarteilchen. Die virtuellen Teilchen, die das „nackte Teilchen“ umgehen, sind Ausdruck der inneren komplizierten Wechselwirkung sowie der notwendigen Wechselwirkung mit der Umgebung. Wenn wir sagten, daß die äußere Wechselwirkung über die innere wirkt, so finden wir das hier bestätigt. Die Theorie der virtuellen Teilchen zeigt die innere Struktur und zugleich die Wechselwirkung mit der Umgebung, die durch die Umwandlung eines virtuellen Teilchens in ein reales stattfindet. Deshalb bemerkt [107] Nowoschilow: „Durch die Wechselwirkung des Nukleons mit den anderen Teilchen (und nur durch diese Wechselwirkung!) besitzt somit das Nukleon eine Art Struktur, die durch die Eigenschaften der anderen Teilchen bestimmt wird. Wir können uns anschaulich vorstellen, daß im Nukleon ständig virtuelle Prozesse vonstatten gehen: Das Nukleon erscheint einmal als Nukleon mit  $\pi$ -Mesonen, ein anderes Mal als Hyperon und  $K$ -Meson und dann wieder als Nukleon mit einem Nukleon-Antinukleon-Paar. Dabei verläuft der Wechsel der einzelnen ‚Gestalten‘ des Nukleons so schnell, daß es unmöglich ist, sie zu beobachten. Die experimentell beobachtete Struktur ist eine Überlagerung der virtuellen Wolken, die mit verschiedenen Prozessen verbunden sind und sich durch den Radius unterscheiden.“<sup>113</sup>

<sup>112</sup> Ebenda, S. 161 f.

<sup>113</sup> Ebenda, S. 163 f.

Die Theorie der virtuellen Prozesse vermittelt damit eine tiefe Einsicht in die Kompliziertheit der Wechselwirkungen in der modernen Physik. Sie vertieft und präzisiert den philosophischen Begriff der Wechselwirkung. Zugleich helfen jedoch die philosophischen Thesen in ihrer präzisierten Form als heuristische Aussagen für die Weiterentwicklung der Theorie.

#### *4. Bemerkungen zum Verhältnis von materieller Bewegung, Raum und Zeit*

Wir hatten mehrmals schon auf den Zusammenhang der Bewegung und Wechselwirkung mit der Raum-Zeit hingewiesen. Raum und Zeit als Existenzformen der Materie wurden durch die moderne Physik in ihrem Zusammenhang mit der Bewegung der Objekte tiefer erkannt.

Wenn die Raum-Zeit Existenzform der Materie ist, dann bedeutet das, daß qualitativ verschiedene Materieformen auch qualitativ verschiedene räumliche und zeitliche Beziehungen besitzen. Das erfordert also mit der Entdeckung neuer Materieformen (Elementarteilchen) auch die weitere Untersuchung der Raum-Zeit.

Wir haben bereits bei der Kritik der klassischen Bewegungsauffassung auf eine notwendige Erweiterung unseres klassischen Ortsbegriffs hingewiesen. Mit Hilfe der klassischen Reduktion des Raumintervalls, in dem sich der bewegende Körper befindet, auf den mathematischen Punkt hatten wir uns ein Schema geschaffen, mit dessen Hilfe wir die Bewegung eines Körpers in ihrem Resultat erfassen konnten. Das gilt nun auch für die Erfassung des Bewegungsergebnisses in der modernen Physik. Man muß sich jedoch der Grenzen unseres Begriffs bewußt sein. Solche Grenzen zeigten einerseits die Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen, während andererseits in der Relativitätstheorie allgemeine Beziehungen für die Abhängigkeit der räumlichen [108] und zeitlichen Struktur der Materie von der Wechselwirkung der Materie, d. h. der materiellen Bewegung entwickelt wurden.

Der weitere Fortschritt der physikalischen Forschung wird deshalb auch die Auswirkungen der Wechselwirkung der Materie auf die Struktur der Raum-Zeit berücksichtigen müssen. Raum und Zeit haben als Existenzformen der Materie keinen ändernden Einfluß auf die materielle Bewegung. Sie sind die Form, in der sich die Bewegung und damit die Wechselwirkung vollziehen. In der Theorie nehmen sie jedoch bedeutenden Einfluß auf die Beschreibung der Bewegung. Die richtige Erforschung der räumlichen und zeitlichen Strukturen sowie ihrer Veränderung ist wesentlich für eine richtige theoretische Darstellung der Bewegung. Mit dem Raum fassen wir die äußeren Formen der sich vollziehenden materiellen Bewegung, während wir mit der Zeit die reine Dauer der materiellen Prozesse fassen. Dabei ist der Begriff Raum als Existenzform eine Verallgemeinerung verschiedener Seiten dieser Form. Dazu gehören der Bereich, in dem sich eine Bewegung vollzieht, die Lagebeziehung zwischen sich bewegenden Objekten und die Form der Bewegung eines Objekts selbst, ausgedrückt in der Bahnkurve. Die moderne Physik zeigte eindeutig den engen Zusammenhang dieser äußeren Formen der Materie. Die Raum-Zeit erfaßt damit die Bewegung nach der äußeren Form, ohne die Verursachung der Bewegung oder die Ursache der Änderung der Raum-Zeit zu sein. Die Ursachen der Bewegung und die Ursachen für die Änderung der Raum-Zeit sind die konkreten materiellen Prozesse selbst. Eben weil die Raum-Zeit die Form der materiellen Bewegung ist, ist sie ohne Materie eine leere Vorstellung.<sup>114</sup> Das käme einer Trennung des Inhalts von der Form gleich. Um den Zusammenhang zwischen Inhalt und Form gehen viele Diskussionen. Dabei erweist sich immer wieder die Abhängigkeit der Raum-Zeit von der materiellen, Bewegung. Sie kommt in den relativistischen Effekten bei hohen Energien zum Ausdruck und dient als heuristisches Prinzip für die Aufstellung von Hypothesen, die eine Änderung der raumzeitlichen Struktur in bisher unerforschten Bereichen annehmen. Das gilt für das tiefere Eindringen in die innere Struktur der Elementarobjekte wie für die Erweiterung der Quantenelektrodynamik. Um diesen engen Zusammen-

<sup>114</sup> Vgl. F. Engels, *Dialektik der Natur*, a. a. O., S. 503.

hang zwischen der Raum-Zeit und der materiellen Bewegung zum Ausdruck zu bringen, werden auch manchmal der Raum-Zeit selbst Wirkungen zugesprochen. In der Physik ist jedoch die Frage, ob die Struktur des Raumes im bestimmten Bereich gewissermaßen eingepägt oder das Ergebnis wirkender Kräfte ist, schwierig zu beantworten. Geht man jedoch von der Abhängigkeit der Raum-Zeit von der materiellen Bewegung in bestimmten [109] Bereichen aus, dann bestätigt das sowohl die Einheit von Materie und Raum-Zeit als auch die Auffassung der Raum-Zeit als Form.

Die philosophische Raum-Zeit-Theorie hebt die Objektivität der Raum-Zeit hervor, definiert sie als Existenzformen der Materie, zeigt die Relativität der menschlichen Vorstellungen über die Raum-Zeit und untersucht die Entwicklungstendenz dieser Vorstellungen.

Zweifellos wird man, wie wir es bei der Kritik der klassischen Bewegungsauffassung taten, eine verabsolutierte Raumauffassung, die nur Kontinuität oder Diskontinuität berücksichtigt, zurückweisen. Entsprechend der Einheit von Kontinuität und Diskontinuität in der materiellen Bewegung hat auch die Raum-Zeit als Form dieser Bewegung diese Merkmale. Die wirkliche Erfassung der Bewegung kann nur durch die moderne Physik als Konkretisierung der Formen der Wechselwirkung erfolgen. Dabei kann und muß sie die Änderungen der Raum-Zeit berücksichtigen. Zweifellos existiert auch eine objektive Beziehung zwischen der Form der materiellen Bewegung (Raum-Zeit) und der Bewegung selbst. So bestimmt eine Verteilung der materiellen Prozesse ihre Raum-Zeit, entsprechend der sich dann die Bewegung vollzieht. Die ständige Änderung der Verteilung führt zu einer ebensolchen Änderung der Raum-Zeit.

Die zu untersuchenden Prozesse, Wechselwirkungen usw. sind jedoch immer bewegte Materie und niemals irgendwelche „Raumatome“, die eine Wirkung auf die sich bewegenden Körper ausüben, wie das etwa Ulrich Kundt und Bodo Wenzlaff annehmen.<sup>115</sup> Zweifellos kann man über eine solche Annahme diskutieren. Sie erweist sich jedoch für die Erklärung der objektiven Wechselwirkung als unnötig. Kundt und Wenzlaff lösen das reale Kontinuum von der materiellen Bewegung, wenn sie schreiben:

„Faßt man demgegenüber das objektiv-reale Kontinuum als untrennbar mit den materiellen Bewegungen in ihm auf, so kommt man nicht umhin, es selbst als in ständiger Bewegung und Veränderung begriffen anzusehen, deren Besonderheiten in der Teilchenbewegung mit zum Ausdruck kommen müssen. Dann aber ergibt sich die Notwendigkeit, die jeweils begriffenen und damit zwangsläufig einseitig bezogenen Momente der totalen Mikrobewegung als bloß relative Teilaspekte bei der geistigen Reproduktion dieser dialektischen Bewegungseinheit zu betrachten.“<sup>116</sup>

Hier wird die objektiv-reale Bewegung vom objektiv-realen Kontinuum getrennt, wie wir noch genauer sehen werden. Nach der Auffassung von Kundt und Wenzlaff vollzieht sich die objektiv-reale Bewegung im objek-[110]tiven Kontinuum. Damit wird der Widerspruch zwischen Kontinuum und Diskontinuum auf den objektiven Raum und die objektive Bewegung angewandt. Wir hatten uns dagegen zu zeigen bemüht, daß die objektiv-reale Bewegung im Raum und in der Zeit selbst die ständige Setzung und Lösung des Widerspruchs zwischen Kontinuität und Diskontinuität darstellt. Die theoretische Erfassung der Bewegung erfordert die Berücksichtigung der Raum-Zeit als der objektiven Form der Bewegung, die selbst diesen Widerspruch in sich tragen muß. Eine Konzeption, die objektiv Kontinuum und Diskontinuum auseinanderreißt, verselbständigt die Form der Bewegung gegenüber der Bewegung selbst. Kundt und Wenzlaff unterscheiden das reale Kontinuum als Wirkungsfeld von den Individuen.<sup>117</sup> Damit wird die von uns für die Bewegung als wesentlich erachtete Wechsel-

<sup>115</sup> U. Kundt/B. Wenzlaff, *Bewegung und Widerspruch*, Berlin 1962, S. 44.

<sup>116</sup> Ebenda, S. 68.

<sup>117</sup> Ebenda, S. 73 f.

wirkung zwischen Individuum und Umgebung auseinandergerissen und als Problematik Individuum-Raum theoretisch dargestellt. Die genannten Wissenschaftler suchen den realen Widerspruch, der die Bewegung als Daseinsweise nachweist, in „der Wechselbeziehung von Individuum und realem Kontinuum“. Die Kritik des klassischen Ortsbegriffs wird dann mit der Feststellung verbunden: „Die Vorrangstellung von Ortsbestimmungen ist ein Vorurteil, das der klassischen Denkweise angehört.“<sup>118</sup>

Wir glauben nicht, daß man dieser entschiedenen Formulierung zustimmen kann. Die Ortsbestimmungen sind wesentliches Merkmal zur Charakterisierung des Bewegungsergebnisses. Wo sie sich als notwendig erweisen, werden sie durchgeführt. Dabei gilt es, die durch die moderne Physik gemachten Einschränkungen der Ortsbestimmungen zu berücksichtigen. Wo jedoch nur das Bewegungsergebnis eine Rolle spielt, kann man die Bewegung unterbrechen und tut es auch, indem man das Teilchen wirken oder auf einen Schirm fallen läßt. Bei Unterbrechungen der Bewegung sind sehr genaue Ortsbestimmungen möglich. Erst ihre Betrachtung liefert uns die statistische Verteilung der auftreffenden Elementarteilchen.

Findet man den Widerspruch der Bewegung tatsächlich in der Wechselbeziehung zwischen Individuum und Kontinuum? In Wirklichkeit geht es bei dem Widerspruch, der der Ortsveränderung zugrunde liegt, um die Berücksichtigung verschiedener Seiten der objektiv realen Bewegung im Denken. Einerseits haben wir es mit der Kontinuität der Bewegung zu tun, die uns die wirkliche Bewegung, d. h. den Übergang von einem Ort zum anderen erfassen läßt. Dabei haben wir mit der Ortsbestimmung den Raum nur nach seiner diskontinuierlichen Seite genommen. Als Form der kontinuierlichen [111] Bewegung hat er selbst einen kontinuierlichen Aspekt. Eben diese Tatsache galt es bereits in der klassischen Mechanik zu berücksichtigen, wenn die Stetigkeit als Voraussetzung für die Differenzierbarkeit betrachtet wird. Die Stetigkeit widerspiegelt die Kontinuität des Raumes. Das Ergebnis ist jedoch eine diskontinuierliche Ortsbestimmung, die uns das Bewegungsergebnis erfassen läßt. Hier geht es wiederum um die Diskontinuität der Bewegung, da jede Bewegung ein Resultat besitzt. Dieses Resultat ist relativ, weil an relativ ruhenden Objekten gemessen. Wir messen eben nicht an einem objektiv-real existierenden Kontinuum oder Diskontinuum, sondern an sich ebenfalls bewegenden Objekten, die für unsere Messung als relativ ruhend genommen werden. Auch unsere kontinuierliche Bewegung erfassen wir im Vergleich zu relativ ruhenden Objekten. Diese Bewegung stellt den Übergang von einem zum anderen Ort dar. Da uns aber für die Darstellung der Bewegung nicht das Objekt selbst interessiert, mit dessen Hilfe wir messen, abstrahieren wir vom Inhalt des Objekts und betrachten nur seine Lage (räumliche Struktur). Sie dient uns als Maß der Bewegung eines anderen Körpers. In der Verallgemeinerung dieses Vorgehens erhalten wir erst die Absolutheit der Bewegung oder, anders ausgedrückt, die Bewegung als Daseinsweise der Materie. Bei der Betrachtung konkreter Bewegungen und ihrer Messung interessiert uns vor allem die relativ ruhende Lage bestimmter Objekte, die wir als Maßstab benutzen. Damit gewinnen wir natürlich einen relativen Maßstab, der jedoch ausreicht, um unsere praktischen Bedürfnisse bei Bestimmungen der Bewegung zu befriedigen.

Das Anliegen von Kundt und Wenzlaff ist zweifellos berechtigt. Sie wollen die klassische Bewegungsauffassung überwinden. In der klassischen Auffassung hatte der Raum eine selbständige Existenz gegenüber den materiellen Objekten. Die Bewegung der Objekte wurde einseitig als das Befinden zu einem Zeitpunkt an einem bestimmten Ort gefaßt. Die Kritik dieser Bewegungsauffassung zeigte nun, daß der Körper zu einem Zeitpunkt im Resultat seiner Bewegung an diesem Ort ist, aber die Bewegung nur erfaßt werden kann, wenn man berücksichtigt, daß er als sich bewegendes Körper nicht an einem genau bestimmten Ort ist. Eine entsprechende Kritik nahmen die Klassiker der marxistischen Philosophie in Übereinstimmung mit Hegel und anderen dialektischen Denkern der Vergangenheit vor. Dabei ergab

---

<sup>118</sup> Ebenda, S. 75.

sich, daß man auch die Verabsolutierung des Raumes aufheben muß. Der Ort, den wir als Maß benutzen, ist kein absoluter Maßstab, sondern gilt nur relativ. Eben durch die Absolutheit der Bewegung kann ein Körper und seine Lage nur als relativer Maßstab benutzt werden, weil er nur relativ ruht.

Man kann aber nun demjenigen, der die relativ ruhende Lage eines Körpers zum Maßstab für die Messung der Bewegung nimmt, nicht vorwerfen, [112] er würde eine verabsolutierte Ruhelage, einen absolut ruhenden Maßstab annehmen. Man kann Ortsbestimmungen durchführen, muß sich jedoch der Relativität der Ergebnisse bewußt sein.

Kundt und Wenzlaff wollen nicht nur das bloße Bewegtsein, sondern die Verursachung der Bewegung aufdecken.<sup>119</sup> Die Verursachung der Bewegung können sie jedoch m. E. nicht in wirkenden Raumatomen als Ursachen der Bewegung finden. Eine Annahme solcher wirkenden Raumatome ist Spekulation. Die Ursachen der Bewegung kann man nur finden, wenn man konkret die Wechselwirkung der Elementarobjekte in ihren verschiedenen Formen untersucht. Dabei erweist sich als die Ursache einer bestimmten materiellen Bewegung die materielle Bewegung selbst. Die inneren Beziehungen (Struktur) der Elementarobjekte und ihre direkte Wechselwirkung mit der Umgebung lassen uns die Widersprüche finden, die die Quelle der Bewegung sind. Dabei erhalten wir zur Beschreibung des Bewegungsablaufes den allgemeinen Widerspruch zwischen Kontinuum und Diskontinuum als Widerspruch der Bewegung selbst. Dieser Widerspruch beschreibt uns in seiner Konkretisierung, die nur durch die physikalische Forschung geliefert werden kann, den Ablauf in einem relativ geschlossenen System. So konkretisierte die moderne Physik diesen Widerspruch als Widerspruch zwischen Wellen- und Korpuskeleigenschaften. In dieser Konkretisierung erhielten wir Hinweise für die Untersuchung der Struktur und der Wechselwirkung mit der Umgebung. Die konkrete Erforschung dieser Seiten wird uns den inneren Widerspruch als Quelle (Ursache) der Veränderung zeigen.

Daneben erforschen wir die Ursachen für die Veränderung einer Bewegung, die außerhalb eines relativ geschlossenen Systems liegen. Das ist die von uns untersuchte Form der äußeren, nicht ständigen Wechselwirkungen, die zu einer Änderung des Systems führen und damit die nur durch die inneren Widersprüche hervorgerufene Bewegung verändern.

Ob wir also die Frage nach dem Ablauf oder den Ursachen der Bewegung stellen, stets müssen wir den Widerspruch in der Bewegung selbst suchen. Die Bewegung ist selbst widersprüchlich. Das wirkt sich dann auf die Existenzformen der materiellen Bewegung, auf die Raum-Zeit aus.

Man muß also einerseits die Widersprüchlichkeit der Bewegung und andererseits die Beziehung zwischen Bewegung und Raum-Zeit berücksichtigen. Das Vorhaben, die objektiv-reale Bewegung nur als Widerspruch zwischen Bewegung und Raum erfassen zu wollen, führt bei Kundt und Wenzlaff zur Annahme wirkender Raumatome und eines von der Bewegung getrennten [113] realen Kontinuums. Dort, wo man meinen könnte, der Raum wirke, wirken materielle Prozesse, bewegen sich materielle Objekte. Ihre räumlichen Eigenschaften sind Abstraktionen ihrer Lage nicht im Vergleich zu einem absoluten Raum, sondern zu anderen materiellen Objekten. Der Begriff des Raumes widerspiegelt nicht ein isoliertes objektivreales Kontinuum, sondern ist die Abstraktion der Lagebeziehungen materieller Objekte, die ständigen Veränderungen durch die Bewegung der materiellen Objekte unterliegen. Eben deshalb bezeichnen wir die Raum-Zeit als Existenzform der sich bewegenden Materie. [114]

---

<sup>119</sup> Ebenda, S. 61.

## **Kapitel IV**

### **Kausalität und Determinismus in der Physik**

Die Diskussion um die philosophische Deutung der Unbestimmtheitsrelationen wurde besonders heftig um die Möglichkeit einer deterministischen Erklärung der Quantenmechanik geführt. Das ergibt sich aus dem direkten Zusammenhang zwischen der philosophischen These von der Einheit der Materie und Bewegung und dem Determinismus.<sup>120</sup> Die im Determinismus zum Ausdruck gebrachte allseitige Bedingtheit und Bestimmtheit der Dinge und Erscheinungen im Gesamtzusammenhang ergibt sich direkt aus der Einheit von Materie und Bewegung und umgekehrt. Damit sich die Dinge und Erscheinungen wechselseitig bedingen können, muß ihr Zusammenhang zum Aufeinanderwirken, zur gegenseitigen Veränderung führen. Veränderung im allgemeinsten Sinne umfassen wir aber gerade mit dem philosophischen Begriff der Bewegung. Andererseits führt die Bewegung der Dinge und Erscheinungen zur Veränderung der mit ihnen zusammenhängenden, in ihrer Umgebung befindlichen Dinge.

Die grundlegende Veränderung in der physikalischen Bewegungstheorie, wie sie in der modernen Physik vollzogen wurde, mußte deshalb notwendig auch zu einer Veränderung der in der Physik vertretenen Determinismusauffassung führen. Ebenso, wie sich der Übergang von der mechanisch-materialistischen Bewegungsauffassung zur dialektisch-materialistischen Bewegungskonzeption vollzog, mußte auch ein Übergang vom mechanischen zum dialektischen Determinismus vor sich gehen.

#### *1. Mechanischer Determinismus und klassische Physik*

Die für die Physiker des vergangenen Jahrhunderts entscheidenden Merkmale des mechanischen Determinismus wurden am treffendsten zusammenfassend von dem französischen Gelehrten Laplace zum Ausdruck gebracht. Er schrieb „Wir müssen also den gegenwärtigen Zustand des Weltalls als die Wirkung seines früheren und als die Ursache des folgenden Zustands [115] betrachten. Eine Intelligenz, welche für einen gegebenen Augenblick alle in der Natur wirkenden Kräften sowie die gegenseitige Lage der sie zusammensetzenden Elemente kannte und überdies umfassend genug wäre, um diese gegebenen Größen der Analysis zu unterwerfen, würde in derselben Formel die Bewegungen der größten Weltkörper wie des leichtesten Atoms umschließen; nichts würde ihr ungewiß sein, und Zukunft und Vergangenheit würden ihr offen vor Augen liegen.“<sup>121</sup>

Laplace bringt hiermit zum Ausdruck, daß jeder Zustand der Welt durch einen anderen bedingt und bestimmt ist. Damit vertritt er den richtigen Inhalt des Determinismusprinzips. Determinismus ist die Anerkennung der Bedingtheit und Bestimmtheit der Dinge und Erscheinungen. Ihre Beziehungen sind objektiv-real. Der Mensch muß sie erkennen, um die Natur zu seinen Zwecken ausnutzen zu können. Laplace konkretisiert jedoch die Bedingtheit und Bestimmtheit der Dinge und Erscheinungen nicht hinsichtlich ihres ursächlichen Zusammenhangs, sondern er erfaßte ihren Bewegungsablauf. Die kausale Bestimmtheit der Dinge und Erscheinungen wird nicht direkt untersucht, sondern dient als Grundlage für seine weiteren Aussagen. Direkt wird die funktionale Beziehung für die Bewegung der Körper hervorgehoben.

Damit wird uns bereits ein wichtiger Zug des mechanischen Determinismus verdeutlicht, denn er ist im wesentlichen der formulierte Ausdruck der klassischen Bewegungsauffassung. Die Untersuchung der Formen des Zusammenhangs, der die Körper in ihrem Bewegungsablauf bedingt, wird noch nicht als Aufgabe der philosophischen Analyse erkannt. Diese Analy-

---

<sup>120</sup> Vgl. Ch. M. Fatalijew, Das Problem der Kausalität und die moderne Physik, in: Naturwissenschaft und Philosophie, Berlin 1960, S. 50.

<sup>121</sup> P. Laplace, Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit, Leipzig 1932, S. 1 f.

se wurde durch Marx und Engels durchgeführt, die bereits im vergangenen Jahrhundert das vorliegende einzelwissenschaftliche, darunter auch das physikalische Material verallgemeinerten und die dialektisch-materialistische Determinismuskonzeption in Auseinandersetzung mit den Mängeln des mechanischen Determinismus ausarbeiteten.

Der klassische Determinismus entstand auf der Grundlage der klassischen Bewegungsauffassung, die das Resultat sich relativ isoliert bewegender Körper untersuchte. Die Wechselwirkung ergab sich als äußere Einwirkung der Körper aufeinander, die mit Hilfe von Druck- und Stoßgesetzen beschrieben werden konnte. Bereits die Weiterentwicklung der Physik beispielsweise in der Elektrodynamik zeigte mit den Maxwellschen Gleichungen einen neuen Typus von Gesetzen (Feldgleichungen). In diesen Gesetzen wird vor allem der mögliche Übergang von einem Ort zum anderen, die Stetigkeit der Bewegung betont. Die damit notwendige Analyse der klassischen Bewegungs-[116] und Determinismusauffassung wurde jedoch erst vom dialektischen Materialismus durchgeführt. Der klassische Determinismus ist eine historisch notwendige und berechtigte Erkenntnisstufe. Von ihm aus mußte die Entwicklung der Erkenntnis tiefer in das Wesen des objektiven Zusammenhangs eindringen, von der Erfassung des Ablaufs der Bewegung und der wesentlichen Identität von Bewegungs- und Determinismusauffassung zur Untersuchung der allgemeinsten Formen des objektiven Zusammenhangs. Damit wurde die wirkliche Bedingtheit und Bestimmtheit der Dinge und Erscheinungen analysiert, und die im klassischen Determinismus vorhandene Anerkennung der kausalen Bedingtheit erhielt erst ihre wirkliche wissenschaftliche Begründung. Die kausale Bedingtheit ist die fundamentale Form des Zusammenhangs. Sie ist ein Teil der universellen Wechselwirkung, die konkrete Vermittlung des Zusammenhangs. Der dialektische Determinismus mußte die anderen Formen des Zusammenhangs ausarbeiten und damit das Determinismusprinzip allseitig begründen. Dieser Übergang vom klassischen zum dialektischen Determinismus enthält jedoch keine Möglichkeit zur begründeten Leugnung des Determinismus.

Besonders einige Vertreter der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie versuchten die erkenntnistheoretischen Schwierigkeiten durch den Übergang zum Idealismus zu umgehen. Wir hatten bereits darauf hingewiesen, daß das kein Ausweg ist. Viele Physiker kommen nach und nach, oft erst nach heftigen Diskussionen und philosophischen Rückschlägen zum Materialismus und zur Anerkennung des Determinismus. Das Dilemma einiger Physiker bestand in folgendem: Die moderne Physik erweist mit den Unbestimmtheitsrelationen die Unhaltbarkeit der Aussagen Laplaces zur Präzisierung der Determinismusauffassung. Soll der Physiker nun die klassische Determinismusauffassung beibehalten, dann zeigt die moderne Physik die Unhaltbarkeit des Determinismus. Soll die klassische Auffassung entsprechend dem Fortschritt der Wissenschaft erweitert werden, dann muß man zur dialektischen Determinismuskonzeption übergehen. Soziale Ursachen waren für die Annahme der ersten Möglichkeit durch reaktionäre Philosophen in den imperialistischen Ländern entscheidend. Sie bot die Möglichkeit zur Ausnutzung falsch interpretierter physikalischer Ergebnisse zum Angriff gegen den dialektischen Materialismus. Deshalb wurde die Aufmerksamkeit der marxistischen Philosophen vor allem durch den Kampf gegen diese Verfälschungen der Ergebnisse der modernen Physik in Anspruch genommen.

Wenn wir uns auch heute noch mit solchen falschen Auffassungen bei einer großen Anzahl von bürgerlichen Physikern auseinandersetzen müssen, so ist das vor allem auf die unwissenschaftliche Einstellung der reaktionären Philosophie zu den Ergebnissen der modernen Physik zurückzuführen. Manche [117] Physiker sahen nicht, daß sie ihre Kritik nicht gegen die Determinismusauffassung überhaupt, sondern an die Adresse der mechanischen Beschränktheit des klassischen Determinismus zu richten hatten. Die Rückführbarkeit aller Beziehungen auf mechanische Beziehungen, die Einschränkung der Zustandsbestimmung auf mechanische Parameter, zeigten diese Beschränktheit. Mit dem mechanischen Determinismus wurde die Gesamtheit der universellen Zusammenhänge auf die Gesamtheit der bekannten mechani-

schen Zusammenhänge eingeschränkt. Während der Bewegung des Körpers durften keine wesentlichen Einwirkungen erfolgen, außer den bekannten und in Gesetzen formulierten. Damit trat aber die Beschreibung des Bewegungsablaufes gerade in den Vordergrund. Das eigentlich wesentliche Element des Determinismus, die Verursachung bestimmter Wirkungen, die Bedingtheit und Bestimmtheit von Veränderungen im Zustand der physikalischen Körper trat in den Hintergrund. Man muß Fatalijew zustimmen, der gerade in den Erhaltungssätzen dieses deterministische Element hervorhebt.<sup>122</sup> Er meint, „daß in der klassischen Physik die Kausalitätsverbindung der Naturerscheinungen vor allem (nicht ausschließlich) in den Gesetzen der Erhaltung, insbesondere in den Gesetzen der Erhaltung der Masse und Energie aufgedeckt und begründet wird.“<sup>123</sup>

Der klassische Determinismus betont den Bewegungsablauf, weil die klassische Physik in der Lage war, die diesem Ablauf zugrunde liegenden Gesetze konkret zu fassen. Wie wir jedoch schon bei Laplace sahen, ist die Bedingtheit und Bestimmtheit der Dinge und Erscheinungen durch andere materielle Prozesse notwendige Voraussetzung seiner Auffassung. Wir können Fatalijew zustimmen, wenn er für die Begründung dieser Auffassung die Bedeutung der Erhaltungssätze betont. Um jedoch die wesentlichen Momente einer weitergehenden wissenschaftlichen Determinismusauffassung hervorzuheben, bedurfte es weiterer einzelwissenschaftlicher Forschungen über die konkrete Form der Wechselwirkung, die zur ständigen Bewegungsänderung führt. Die Bedeutung der Wechselwirkung für die theoretische Erfassung der Bewegung mußte philosophisch herausgearbeitet werden. Die philosophischen Grundlagen entstanden mit dem dialektischen Determinismus, die physikalischen mit der Entwicklung der Physik über die einfache Punktmechanik hinaus. Bleiben wir im wesentlichen innerhalb der klassischen Physik, so wird bei der Begründung der Erhaltungssätze die quantitative Seite der Erhaltung in den Vordergrund gestellt. Engels hebt in der Auseinandersetzung mit dieser Auffassung die Bedeutung der Erhaltung aller qualitativ verschiedene [118]nen Formen und damit den möglichen Übergang von einer Form zur anderen hervor.<sup>124</sup> Das wesentliche Moment des Determinismus ist aber wiederum nicht die quantitative Erhaltung, sondern der mögliche Formwandel als Ausdruck objektiver qualitativer Veränderungen.

Sowohl bei der Bewegungsauffassung als auch bei den Erhaltungssätzen sind also wesentliche Momente des Determinismus vorhanden. Sie waren aber nicht ausgearbeitet. Der klassische Determinismus hebt im Hinblick auf die Bewegung den Ablauf der Bewegung, im Hinblick auf die Erhaltungssätze die quantitative Erhaltung hervor. Qualitative Veränderung und Ursachen der Bewegung sind Voraussetzung dieser Auffassung, werden jedoch erst im dialektischen Determinismus einer philosophischen Analyse unterzogen.

So erklärt sich das Schwanken mancher Physiker bei der Entwicklung einer neuen Determinismusauffassung zwischen klassischem Determinismus und Indeterminismus aus dem Unvermögen, die neuen wesentlichen Elemente des Determinismus hervorzuheben.

Werner Heisenberg erklärte: „Die Unbestimmtheitsrelationen zeigen fürs erste, daß eine genaue Kenntnis der Bestimmungsstücke, die in der klassischen Theorie zur Festlegung eines Kausalzusammenhangs notwendig sind, in der Quantentheorie unmöglich ist. Die weitere Folge der Unbestimmtheit ist, daß auch das künftige Verhalten eines derart ungenau bekannten Systems nur ungenau, d. h. nur statistisch vorhergesagt werden kann. Es ist einleuchtend, daß durch die Unbestimmtheitsrelationen die Grundlage für das präzise Kausalgesetz der klassischen Physik verlorengeht ...“<sup>125</sup>

<sup>122</sup> Ch. M. Fatalijew, Das Problem der Kausalität und die moderne Physik, a. a. O., S. 51 ff.

<sup>123</sup> Ebenda, S. 51.

<sup>124</sup> F. Engels, Dialektik der Natur, a. a. O., S. 361 ff.

<sup>125</sup> W. Heisenberg, Kausalgesetz und Quantenmechanik, Erkenntnis II (1931), S. 177.

Hier spricht Heisenberg offensichtlich von der klassischen Kausalitätsauffassung, und man könnte meinen, daß er *nur* die klassische Auffassung kritisierte. An anderer Stelle verbindet Heisenberg in richtiger Weise die Kausalität mit der Annahme objektiver Naturgesetze: „So wurde allmählich der Satz von der Kausalität eingeeengt und schließlich gleichbedeutend mit der Erwartung, daß das Geschehen in der Natur eindeutig bestimmt sei, daß also die genaue Kenntnis der Natur oder eines bestimmten Abschnitts aus ihr wenigstens im Prinzip genügt, die Zukunft vorauszubestimmen ... Wenn man das Wort Kausalität so eng interpretiert, spricht man auch von ‚Determinismus‘ und meint damit, daß es feste Naturgesetze gibt, die den zukünftigen Zustand eines Systems aus dem gegenwärtigen eindeutig festlegen.“<sup>126</sup>

[119] Heisenberg vereinheitlicht hier zwei nicht zusammengehörige Dinge. Einerseits bedeutet die Anerkennung der Kausalität die Anerkennung objektiver Gesetze, nach denen die materiellen Prozesse ablaufen. Andererseits erkennen wir diese Gesetze. Aber die Erkenntnis ist nicht vollständig, nicht absolut. Werden beide Gesichtspunkte vermengt, wie es Heisenberg hier tut, so gelangt man zur Auffassung, daß es keine objektive Kausalität gibt, wenn unsere Kenntnis der Gesetze nicht zur eindeutigen Vorhersage eines zukünftigen Zustands ausreicht. Objektive Kausalzusammenhänge und ihre Widerspiegelung in unseren wissenschaftlichen Theorien sind nicht dasselbe. Letzten Endes wendet sich Heisenberg gegen die klassische Auffassung der Kausalität. So muß man auch seine folgenden Ausführungen verstehen: „Aber erst im Laufe von zweieinhalb Jahrzehnten hat sich herausgestellt, daß die Quantentheorie tatsächlich sogar dazu zwingt, die Gesetze eben als statistische Gesetze zu formulieren und vom Determinismus auch grundsätzlich abzugehen.“<sup>127</sup>

Warum die Ersetzung der klassischen deterministischen Gesetzmäßigkeit durch eine statistische erfolgen muß, erläutert uns Heitler: „Aus dem bloßen Gebrauch des Wortes ‚Wahrscheinlichkeit‘ ist zu folgern, daß die Bahn des Elektrons nicht länger exakt voraussagbar ist. Was sich voraussagen läßt, ist lediglich die Wahrscheinlichkeit, das Elektron an einem Punkt zu finden. Dies kann im allgemeinen nur zur Sicherheit führen, wenn wir ein Ensemble von sehr vielen Teilchen haben. Hier muß deshalb, eine drastische Abweichung von der klassischen Idee des strengen Determinismus vorgenommen werden.“<sup>128</sup>

Die Ersetzung der deterministischen durch die statistische Gesetzmäßigkeit erfolgt demnach, weil die Bahn des Elektrons nicht länger exakt voraussagbar ist. Heitler setzt die Möglichkeit einer genauen Voraussage eines bestimmten Prozesses gleich mit der Anerkennung einer objektiven, d. h. unabhängig von unserem Bewußtsein existierenden Kausalität.

„Der voraussagbare Entwicklungsgang – die kausale Entwicklung des Anfangszustandes im engeren Sinne – setzt sich bis und nur bis zur nächsten Beobachtung fort. Dann wird die Kette der kausalen Entwicklung unterbrochen, die Wellenfunktion ändert sich plötzlich und nimmt eine Gestalt an, die der beobachteten physikalischen Größe und ihrem Zahlenwert entspricht. Von hier an beginnt eine neue stetige kausale Entwicklung, welche erlaubt, Wahr-[120]scheinlichkeiten für zukünftige Beobachtungen vorauszusagen – bis zur nächsten Beobachtung usw.“<sup>129</sup>

Die kausale Entwicklung wird hier zugleich als stetige Entwicklung angesehen, während der Sprung der  $\psi$ -Funktion, der z. B. bei der Beobachtung eintritt, den Grund für die Ablehnung des Determinismus darstellt. Heitler möchte sich nun vor agnostizistischen Schlußfolgerungen retten, die sich aus der Leugnung der Kausalität und der Einführung eines ursachelosen Sprungs ergeben. Demzufolge betont er: „Das Fehlen eines kompletten Determinismus heißt

<sup>126</sup> W. Heisenberg, Das Naturbild der heutigen Physik, a. a. O., S. 25.

<sup>127</sup> Ebenda, S. 28.

<sup>128</sup> W. Heitler, Die Abkehr von der klassischen Denkweise in der modernen Physik, in: Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher, Stuttgart 1956, S. 105.

<sup>129</sup> Ebenda, S. 109.

natürlich nicht, daß die Quantenmechanik weniger reichhaltig an präzisen Voraussagen ist als die klassische Physik. Die vollständige Beherrschung der atomaren Welt, die sie uns geschenkt hat, mag genügen, um eine solche Vermutung von der Hand zu weisen.<sup>130</sup>

Aber gerade diese Erklärung wirft wieder die Frage auf: Wie kann es trotz der behaupteten Nichtexistenz der Kausalität zu exakten Voraussagen für die Teilchen kommen? Hier liegt offensichtlich ein Widerspruch vor. Einerseits wird die Kausalität geleugnet, weil keine eindeutigen Voraussagen über das Verhalten des Einzelteilchens zu machen sind, andererseits wird die Möglichkeit von eindeutigen Voraussagen für eine Gesamtheit von Teilchen betont, ohne daß hieraus auf die Bestätigung der Kausalität geschlossen wird. Es wird aus dem Vorhandensein statistischer Gesetzmäßigkeiten fälschlich die Akausalität gefolgert.

Die Vertreter des Indeterminismus der Quantenmechanik wenden sich nach ihren eigenen Aussagen gegen die klassische Auffassung des Determinismus. Max Born beschreibt diese Auffassung:

„Die Newtonsche Physik ist deterministisch in folgendem Sinne: Wenn der Anfangszustand (Lagen und Geschwindigkeit aller Teilchen) eines Systems genau gegeben ist, so läßt sich aus den mechanischen Gesetzen der Zustand zu jeder andern Zeit (früher oder später) berechnen. Nach diesem Vorbild sind dann alle anderen Zweige der klassischen Physik aufgebaut worden. Allmählich wurde der mechanische Determinismus eine Art Glaubensartikel: die Welt als Maschine, als Automat ... der Gedanke ist ein Produkt der ungeheuren Erfolge der Newtonschen Mechanik, besonders in der Astronomie. Im 19. Jahrhundert wurde er zu einem philosophischen Grundprinzip der ganzen exakten Naturwissenschaft.“<sup>131</sup>

Damit hängt aber die klassische Auffassung des Determinismus sehr eng mit der klassischen Bewegungsauffassung zusammen, die ja ebenfalls [121] die gleichzeitige genaue Bestimmung von Lage und Geschwindigkeit eines Teilchens forderte. Die bei der Diskussion der klassischen Bewegungsauffassung gezeigten Beschränkungen gehen also auch in den Determinismus der klassischen Physik ein. Dementsprechend muß – ebenso, wie die Bewegungsauffassung von ihrer Einseitigkeit befreit wurde – auch der klassische Determinismus einer Kritik unterzogen werden, deren Ergebnis die Aufhebung seiner Beschränktheit sein muß. Born beginnt bereits mit einer solchen Diskussion des klassischen Determinismus. Er schreibt:

„Kann man wirklich auf Grund der klassischen Bewegungsgleichungen absolute Vorhersagen für alle Zeiten machen? Man sieht leicht an einfachen Beispielen, daß das nur der Fall ist, wenn man die Möglichkeit absolut exakter Messung (des Ortes, der Geschwindigkeit oder anderer Größen) annimmt. Denken wir uns ein Partikel, das auf einer geraden Linie reibungslos läuft zwischen zwei Endpunkten (Wänden), wo es vollkommen elastisch abprallt. Es bewegt sich mit konstanter Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  hin und her, und man kann genau sagen, wo es zu einer bestimmten Zeit sein wird. Ist aber eine kleine Ungenauigkeit  $\Delta v_0$  zugelassen, so ist die Ungenauigkeit der Vorhersage des Ortes zur Zeit  $t$  gleich  $t\Delta v_0$ , wächst also mit  $t$ . Wartet man lange genug, bis zur Zeit  $t_c = \frac{1}{\Delta v_0}l$ , wo  $l$  der Abstand der elastischen Wände ist, so ist die Ungenauigkeit  $\Delta x$  gleich dem ganzen Intervall  $l$  geworden. Man kann also überhaupt nichts mehr über die Lage in einem Zeitpunkt vorhersagen, der später ist als  $t_c$ . Der Determinismus schlägt also in völligen Indeterminismus um, wenn man auch nur die kleinste Ungenauigkeit der Geschwindigkeitsangabe zuläßt. Hat es aber einen Sinn, ich meine: einen physikalischen, nicht metaphysischen Sinn, von absoluten Angaben zu sprechen? Ist man berechtigt zu sagen, die Koordinate  $x = \pi$  cm, wo  $\pi = 3,1415 \dots$  die bekannte transzendente Zahl ist ... Nach dem von Einstein in der Relativitätstheorie und Heisenberg in der Quantentheorie gebrauchten heuristischen Prinzip sind solche Begriffe, die keiner denkbaren Beob-

<sup>130</sup> Ebenda, S. 111.

<sup>131</sup> M. Born, Physik im Wandel meiner Zeit, a. a. O., S. 180 f.

achtung entsprechen, aus der Physik zu eliminieren. Das ist auch hier ohne Schwierigkeiten möglich; man hat nur Aussagen wie  $x = \pi$  cm zu ersetzen durch: die Wahrscheinlichkeit der Werteverteilung von  $x$  hat bei  $x = \pi$  cm ein scharfes Maximum ... Kurz und gut, man muß auch die gewöhnliche Mechanik statistisch formulieren ... Ich möchte nur dies betonen: der Determinismus der klassischen Physik erweist sich als Trugbild, erzeugt durch eine Überschätzung mathematisch-logischer Begriffsbildungen. Er ist ein Idol, kein Ideal der Naturforschung und kann daher nicht als Einwand gegen die prinzipiell indeterministische Interpretation der Quantenmechanik gebraucht werden.<sup>132</sup>

[122] Wie wir gesehen haben, ist es jedoch in der klassischen Mechanik, unter Beachtung der Einschränkungen, die der Bewegungsbegriff erfährt, möglich, genaue Voraussagen über die Bewegung, genauer über das Resultat der Bewegung eines einzelnen Teilchens zu machen. Die Kritik Borns läuft nun darauf hinaus, daß es diese genauen Voraussagen praktisch gar nicht gibt. Angeblich bildet bereits die Aussage  $x = \pi$  cm eine abstrakte Feststellung, da keine Koordinate beobachtet werden kann, deren Länge  $\pi$  cm ist. Das wurde aber in der klassischen Physik keinesfalls geleugnet. Es wurde aber prinzipiell für möglich gehalten, daß auch praktisch durch die Verbesserung der Meßmethoden eine immer bessere Annäherung an die absolut genaue Lagebestimmung möglich wäre. Aus Borns Kritik ergibt sich keinesfalls der Indeterminismus der klassischen Physik. Sein Hinweis, daß auch die klassische Mechanik statistisch formuliert werden müßte, besagt nichts gegen den Determinismus. Born müßte dazu erst beweisen, daß statistische Interpretationen dem Determinismus widersprechen. Wenn Born auf die praktische Unmöglichkeit der Unterscheidung von  $\pi$  in der, sagen wir  $10^{10}$ . Dezimalstelle hinweist, so könnten wir ihm antworten: In dem Sinne sind alle unsere Aussagen praktisch Wahrscheinlichkeitsaussagen. Wir verweisen damit auf die Möglichkeit der Änderung dieser Aussagen durch neue Erkenntnisse, z. B. durch Verfeinerung unserer Beobachtungsmittel. In seinem Artikel „Ist die mathematische Statistik paradox“ sagt Freudenthal:

„Unsere Urteile sind Wahrscheinlichkeitsurteile, auch wenn wir sie im allgemeinen nicht mit einer (rohen oder numerisch verfeinerten) Wahrscheinlichkeitsangabe umkleiden.“<sup>133</sup>

Freudenthal begründet seine Auffassung damit, daß einmal kein prinzipieller Unterschied zwischen den Wahrscheinlichkeiten 1 und  $1 - 10^{-30}$ ; 0 und  $0 + 10^{-30}$ ;  $\frac{1}{2}$  und  $\frac{1}{2} + 10^{-30}$  besteht. Praktisch haben wir es mit den Wahrscheinlichkeiten 1, 0,  $\frac{1}{2}$  zu tun und handeln auch danach. Der geringe Unterschied zwischen der Gewißheit und der Wahrscheinlichkeit  $1 - 10^{-30}$  enthält aber weiter die Möglichkeit der Revision unserer Voraussage. Wir behandeln die Voraussage solange als Gewißheit, bis wir durch praktische Ergebnisse eines Besseren belehrt werden, d. h. bis sich Ursachen finden, die das vorausgesagte Ereignis unter gewissen Bedingungen nicht eintreten lassen. Wir formulieren dann mit der neuerworbenen Kenntnis eine neue Voraussage, der wir wieder die Wahrscheinlichkeit 1 zusprechen. In diesem Sinne analysiert Freudenthal einige Aussagen, wie: Die Zerfallswahrscheinlichkeit des [123] Radiumatoms pro Sekunde ist  $1,39 \cdot 10^{-11}$ ; die Elementarladung ist  $(4,803 \pm 0,009) \cdot 10^{-10}$  el st. c. g. s.; Kinderlähmung wird von einem Virus hervorgerufen. Er stellt fest, daß die Cournotsche Regel an diesen Aussagen nichts ändern kann (diese Regel besagt, daß eine Wahrscheinlichkeit nahe an 1 oder nahe an 0 gleich 1 oder 0 gesetzt werden kann) und schreibt dann:

„Nicht sprachliche Kunstgriffe, sondern nur Experimente können Änderungen dieser Aussagen veranlassen. Sollten sie sich als falsch herausstellen, so werde ich untersuchen, wie ich mich früher habe irren können. Sollten sie nicht widerlegt werden, so ist es nichts anderes als Prinzipienreiterei, wenn man sie ablehnen will wegen ihres statistischen Ursprungs und we-

<sup>132</sup> Ebenda, S. 181 f.

<sup>133</sup> H. Freudenthal, in: *Dialectica*, 45 (1958), S. 19.

gen der Möglichkeit, daß sie ihr Dasein einer ganz zufälligen, irreführenden Stichprobe verdanken.<sup>134</sup>

In diesem Sinne können wir auch von der Bornschen Kritik am klassischen Determinismus sagen, daß sie ihn nicht durch die Feststellung widerlegen kann, daß die Aussagen der klassischen Mechanik nicht absolute Gewißheit, sondern eine Wahrscheinlichkeit nahe an 1 besitzen. Unsere Aussagen über die Kausalität, das ist das Fazit dieser Betrachtung, sind eben nicht die Kausalität selbst, sondern nur eine annähernd exakte Widerspiegelung derselben. Diese Widerspiegelung ist richtig in dem durch die Erfahrung überprüften Bereich. Die Ausdehnung auf alle Bereiche der objektiven Realität kann nur unter der Voraussetzung gemacht werden, daß nicht neue Erfahrungen unsere bisherige Erkenntnis der Welt vertiefen. Zugleich hilft uns die Bornsche Kritik bei der Überwindung von philosophischen Verabsolutierungen der klassischen Mechanik. Der Indeterminismus, den Born in der klassischen Physik zu finden meint, ist dialektischer Determinismus. Auch ein klassischer Körper unterliegt in seiner Bedingtheit und Bestimmtheit deterministischen Bedingungen. Dabei können diese unwesentlich sein und vernachlässigt werden. Die Abstraktion von ihnen hebt jedoch ihre Existenz nicht auf. Deshalb muß eine philosophische Determinismusauffassung die in der einzelwissenschaftlichen Betrachtung vernachlässigten Bedingungen in die Untersuchung einbeziehen. Auch die klassische Physik muß bei einer richtigen philosophischen Deutung dem mechanischen Determinismus widersprechen. Den Weg zu dieser Deutung zeigt Born, indem er die Voraussetzungen des mechanischen Determinismus kritisiert. Damit wird wieder der Unterschied zwischen einer einzelwissenschaftlichen und einer philosophischen Theorie offensichtlich. Die klassische Physik ist eine relative Wahrheit. Sie kann dialektisch-materialistisch interpretiert werden. Wir wenden uns gegen die *metaphysische Interpretation* der klassischen Physik, aber nicht gegen die Physik. Dabei spielt [124] die Kritik Borns eine große Rolle. Sie zeigt, daß man in der klassischen Physik den Zufall nicht negieren darf. Die Kompliziertheit der objektiven Zusammenhänge wird auch dort deutlich. Viele Physiker erkannten sie jedoch erst durch die Ergebnisse der modernen Physik und warfen nun das Problem der Kritik des mechanischen Determinismus auf. Die moderne Physik hatte dabei schon zu neuen Einsichten in die objektiven Zusammenhänge geführt. Es ist unberechtigt, nun den Indeterminismus in der klassischen Physik nachweisen zu wollen.

Wir hatten gesehen, daß die Ausdehnung der klassischen Bewegungsauffassung auf die Bewegung der Elementarobjekte auf Widersprüche stieß, daß jedoch auch die klassische Bewegungsauffassung ein Körnchen absolute Wahrheit enthielt und nicht einfach verworfen werden konnte. Sie erwies sich als richtig für den Bereich, in dem die Körper sich langsam bewegen und ihre Wechselwirkung mit sehr viel kleineren Körpern bei der Bewegung zu vernachlässigen ist. Die klassische Physik betrachtet sich langsam bewegende, isolierte Körper. Für die Erkenntnis wurde damit von unwesentlichen Zusammenhängen abstrahiert. Die Bewegung wurde als Summe von Ruhezuständen betrachtet. Durch das Absehen von der Wechselwirkung mit sehr viel kleineren Körpern bewegten sich die isolierten Körper stetig auf ihren Bahnen. Diese Stetigkeit wurde nun zur Grundlage des klassischen Determinismus gemacht. Unter Voraussetzung der Stetigkeit der Bewegung und der Bedingung, daß sich das Teilchen zu jedem Zeitpunkt an einem genau definierten Ort befinden muß, wurde dann der klassische Determinismus definiert. Er besagt, daß die Bewegung jedes Körpers, sein Zustand zu jedem späteren Zeitpunkt genau bestimmt ist, wenn zu einem bestimmten Zeitpunkt Ort und Impuls dieses Körpers genau bestimmt sind. Der zukünftige Zustand kann dann beim Vorhandensein der genannten Bedingungen genau vorhergesagt werden.

Unter den vorhandenen Voraussetzungen war es nicht nötig, auf die Trennung von objektiver Kausalität und Widerspiegelung zu verweisen, da ja die klassische Physik bis ins 19. Jahr-

---

<sup>134</sup> Ebenda, S. 30.

hundert als Ideal angesehen und die Rückführung aller Erscheinungen und Gesetze auf mechanische Beziehungen gefordert wurde.

Eine wissenschaftliche Kritik des klassischen Determinismus muß nun von seinen nicht gerechtfertigten Einschränkungen ausgehen. Dazu gehört vor allem die Verabsolutierung relativer Kenntnisse der Physik und ihre Darlegung als philosophische Prinzipien.

Vom Standpunkt der marxistischen Philosophie unterzogen Marx und Engels den mechanischen Determinismus einer Kritik, wobei sie vor allem die einseitige, nur auf die Mechanik bezogene Haltung des früheren Materialismus kritisierten und die Ergebnisse aller Wissenschaften verallgemeinerten. Lenin ergänzte und erweiterte diese Kritik. Diese philosophische Analyse wurde vor dem einzelwissenschaftlichen Nachweis der Unhaltbarkeit des klassischen Determinismus durch die Unbestimmtheitsrelationen durchgeführt. Sie umfaßte im wesentlichen drei Punkte, die die materialistische Haltung, die Dialektik und die Erkenntnis der Kausalität betrafen:

1. Die materialistische Haltung zur Kausalität besteht in der Anerkennung der objektiven Kausalität. Engels schreibt: „Wer Kausalität leugnet, dem ist jedes Naturgesetz eine Hypothese.“<sup>135</sup> Diese Haltung nahm auch der mechanische Materialismus ein. Er unterschied aber nicht zwischen der Anerkennung der objektiven Kausalität und dem relativen Charakter unserer Widerspiegelung. Dadurch wurde die Anerkennung der objektiven Kausalität gleichgesetzt mit der Möglichkeit der absolut genauen Voraussage der zukünftigen Zustände materieller Prozesse. Lenin schreibt ergänzend zu Engels' Auffassung der Kausalität: „Die Anerkennung der objektiven Gesetzmäßigkeit, Kausalität, Notwendigkeit in der Natur ist bei Engels ganz klar ausgesprochen neben der Betonung des relativen Charakters unserer, d. h. der menschlichen, annähernden Widerspiegelung dieser Gesetzmäßigkeit in diesen oder jenen Begriffen.“<sup>136</sup>

Die Beschränktheit des mechanischen Materialismus bestand also nicht in der Anerkennung der objektiven Kausalität, sondern in der Leugnung der Relativität unserer Kenntnisse über die Kausalität. Die moderne Physik widerlegte deshalb keineswegs die objektive Kausalität, sondern erweiterte unsere Kenntnisse über sie.

2. Die metaphysische undialektische Haltung des mechanischen Materialismus, die von den Klassikern des Marxismus-Leninismus kritisiert wurde, besteht in der starren Entgegensetzung von Ursache und Wirkung. Friedrich Engels schrieb: „Auch finden wir bei genauerer Betrachtung ... daß Ursache und Wirkung Vorstellungen sind, die nur in der Anwendung auf den einzelnen Fall als solchen Gültigkeit haben, daß sie aber, sowie wir den einzelnen Fall in seinem allgemeinen Zusammenhang mit dem Weltganzen betrachten, zusammengehen, sich auflösen in der Anschauung der universellen Wechselwirkung, wo Ursachen und Wirkungen fortwährend ihre Stelle wechseln, das was jetzt oder hier Wirkung, dort oder dann Ursache wird und umgekehrt.“<sup>137</sup>

[126] Bei der Betrachtung der kausalen Zusammenhänge reißen wir damit die materiellen Prozesse aus ihrem universellen Zusammenhang heraus. Aber nur die Erkenntnis ihrer Wechselwirkung gibt uns ein genaues Bild der Wirklichkeit. Engels sagt in dem Zusammenhang: „Erst von dieser universellen Wechselwirkung kommen wir zum wirklichen Kausalitätsverhältnis. Um die einzelnen Erscheinungen zu verstehen, müssen wir sie aus dem allgemeinen Zusammenhang reißen, sie isoliert betrachten, und *da* erscheinen die wechselnden Bewegungen, die eine als Ursache, die andre als Wirkung.“<sup>138</sup>

---

<sup>135</sup> F. Engels, Dialektik der Natur, a. a. O., S. 499.

<sup>136</sup> W. I. Lenin, Materialismus und Empirio-kritizismus, in: W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, Berlin 1962, S. 152.

<sup>137</sup> F. Engels, Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft, a. a. O., S. 21 f.

<sup>138</sup> F. Engels, Dialektik der Natur, a. a. O., S. 499.

Lenin äußert anlässlich seines kritischen Hegelstudiums einen ähnlichen Gedanken: „Die Forderung der Vermittlung (des Zusammenhangs), das ist es, worum es sich bei der Anwendung des Verhältnisses der Kausalität handelt.“<sup>139</sup>

Wir können also die Kausalität als die konkrete Vermittlung des universellen Zusammenhangs betrachten.

3. Aus dieser dialektischen Auffassung der Kausalität ergeben sich auch Schlußfolgerungen für die Erkenntnis der Kausalität. Stellt die Betrachtung eines konkreten Ursache-Wirkungsverhältnisses nur einen Teil des universellen Zusammenhangs dar, so ist unsere Erkenntnis dieses Verhältnisses eine einseitige, annähernde Kenntnis der die Ursache und Wirkung bildenden materiellen Prozesse. Unsere Aufgabe kann es aber nicht sein, alle Kausalverhältnisse aufzusuchen, um etwas über die Wirkung einer bestimmten Ursache aussagen zu können. Die Vielfalt individueller Eigenschaften der Dinge und Erscheinungen der objektiven Realität würde uns vor unlösbare Aufgaben stellen. Die Untersuchung aller Kausalverhältnisse war jedoch das klassische Ideal, wie es im mechanischen Determinismus zum Ausdruck gebracht wird. Die genaue Kenntnis der Gegenwart sollte absolute Voraussagen der Zukunft ermöglichen. Nun würde aber die genaue Kenntnis der Gegenwart verlangen, daß wir nicht nur Ort und Impuls eines isolierten Teilchens oder aller isoliert gedachter Teilchen kennen, sondern auch die Beziehungen der Teilchen untereinander, ihre Wechselwirkung. Wegen des universellen Zusammenhangs, in dem jedes Teilchen selbst sehr viele Beziehungen hat und keinesfalls isoliert ist, sind wir also nicht in der Lage, eine genaue Kenntnis des Zustands eines Teilchens anzugeben. Das ist der richtige Kerngedanke, den die Kritik der Physiker am klassischen Determinismus enthält. Auch Friedrich Engels betont die Unmöglichkeit, alle Kausalzusammenhänge eines bestimmten Dings zu untersuchen:

[127] „Solange wir nicht nachweisen können, worauf die Zahl der Erbsen in der Schote beruht, bleibt sie eben zufällig ... Noch mehr. Die Wissenschaft, welche sich daransetzen sollte, den casus dieser einzelnen Erbsenschote in seiner Kausalverkettung rückwärts zu verfolgen, wäre keine Wissenschaft mehr, sondern pure Spielerei; denn dieselbe Erbsenschote allein hat noch unzählige andere, individuelle, als zufällig erscheinende Eigenschaften ... Die *eine* Erbsenschote gäbe also schon mehr Kausalzusammenhänge zu verfolgen, als alle Botaniker der Welt lösen könnten.“<sup>140</sup>

Engels folgert aus der Unmöglichkeit absoluter Voraussagen keinesfalls die Nichtexistenz der Kausalität. Er geht von der Anerkennung des objektiven, universellen Zusammenhangs der Dinge und Erscheinungen der objektiven Realität aus und anerkennt mit seiner Kausalitätsauffassung für jeden konkreten Zusammenhang die objektive Kausalität. Aber die Anerkennung der durchgängigen Kausalität ist für Engels nicht gleich mit der Anerkennung der notwendigen Erforschung aller dieser Kausalzusammenhänge. Er betont das Vorhandensein zufälliger Zusammenhänge, deren Verfolgung durch die Wissenschaft eine pure Spielerei wäre.

Friedrich Engels verweist auf den objektiven Zufall, d. h. auf Zusammenhänge zwischen Dingen und Erscheinungen, die fast keinen Einfluß besitzen. Sie brauchen jedoch in den Bewegungsgesetzen der klassischen Mechanik nicht beachtet zu werden, da z. B. die Einwirkung von Lichtstrahlen auf die Körper einmal nicht bekannt, aber auch so klein war, daß sie die Bewegung nicht wesentlich beeinflussen konnte. Im Gesetz werden die wesentlichen Zusammenhänge erfaßt, die die Bewegung bestimmen wie Geschwindigkeit und Lage des Körpers. Dabei wurde in der klassischen Mechanik der sich bewegende Körper als zu jedem Zeitpunkt eine genau bestimmte Lage besitzend gefaßt. Unwesentlich ist dabei die Ungenauigkeit des Ortes, die sich aus der Bewegung des Körpers dadurch ergibt, daß er sich bei seiner

<sup>139</sup> W. I. Lenin, Aus dem philosophischen Nachlaß, a. a. O., S. 83.

<sup>140</sup> F. Engels, Dialektik der Natur, a. a. O., S. 487 f.

Bewegung eben an keinem bestimmten Ort befindet. Dieser wirkliche Zusammenhang zwischen bestimmtem Ort und Bewegung des Körpers konnte wegen der relativ geringen Geschwindigkeit praktisch vernachlässigt werden.

Ergab sich deshalb die Voraussage für das Resultat der Bewegung eines Körpers in der klassischen Physik aus den für die Bewegung wesentlichen Bestimmungen, so müssen sich in der modernen Physik ebenfalls Voraussagen für zukünftige Zustände der Elementarobjekte ergeben, wenn die wesentlichen Beziehungen der Elementarobjekte in Gesetzen zusammengefaßt sind. Der klassische Determinismus muß nicht durch den Indeterminismus, sondern durch den dialektischen Determinismus ersetzt werden. Der dialektische [128] Determinismus faßt die Kausalität m. E. als direkte, fundamentale und konkrete Vermittlung des Zusammenhangs der Dinge und Erscheinungen.<sup>141</sup>

Damit ist die Kausalität eine Seite, ein Aspekt der Wechselwirkung. Die Erkenntnis der konkreten Kausalzusammenhänge ist ein wichtiger Bestandteil der Erkenntnis der Wechselwirkung. Indem wir immer mehr Zusammenhänge aufdecken, dringen wir ständig tiefer in das Wesen der objektiven Realität ein. Dabei kommt es darauf an, die für die Erkenntnis bestimmter Seiten der objektiven Realität wesentlichen Kausalzusammenhänge zu untersuchen. Diese wesentlichen Zusammenhänge erhalten wir durch die Betrachtung der allgemeinen Eigenschaften einer bestimmten Gruppe von Dingen und Erscheinungen. Die Kenntnis der wesentlichen Zusammenhänge gibt uns dann auch die Möglichkeit, Voraussagen über den zukünftigen Zustand materieller Prozesse zu treffen. Diese Voraussagen sind gültig in dem Rahmen, wo man die unwesentlichen, zufälligen Zusammenhänge als nicht vorhanden betrachten kann.

Nach dieser Auffassung stellt die klassische Mechanik eine notwendige Stufe der Erkenntnis der kausalen Zusammenhänge in der Physik dar. Sie ist gültig im Rahmen der von ihr betrachteten Bewegungen von Körpern, die sich mit relativ kleiner Geschwindigkeit bewegen und deren Wechselwirkung mit anderen materiellen Dingen, mit den Elementarobjekten vernachlässigt werden kann. Zugleich gibt damit die klassische Physik nur eine ungenaue, annähernd exakte Widerspiegelung der physikalischen Bewegung, der Kausalzusammenhänge in der Physik.

Die moderne Physik erweiterte die Kenntnis des Wesens der physikalischen Bewegung. Das hat, wie wir bereits gesehen haben, auch Auswirkungen auf die Auffassung von der Kausalität. So gab für manche Physiker erst die Entwicklung der Physik den Anstoß zur Überprüfung ihrer allgemeinen theoretischen Vorstellungen über Bewegung und Determinismus. Die Aufgabe einer Kritik des klassischen Determinismus bestand unseres Erachtens in der Aufhebung der starren Entgegensetzung von Ursache und Wirkung und der Berücksichtigung der Wechselwirkung. Hier hat die Physik bereits Großes geleistet. Es mußte jedoch auch das Verhältnis von Kausalität und Gesetz geklärt werden. Dazu ist es notwendig, die Welt nicht als eine Summe notwendiger Beziehungen zu fassen, die sich gegenseitig überlagern, sondern die Hierarchie unterschiedlicher Beziehungen und qualitativ verschiedener Bereiche anzuerkennen. Der klassische Determinismus war identisch mit der Anerkennung notwendiger Bewegungsabläufe klassischer Körper. Da die [129] ganze Welt aus qualitativ identischen kleinsten Teilchen bestehen sollte, konnte jede Erscheinung auf die mechanische Bewegung dieser Teilchen zurückgeführt werden. So wird die physikalische Bewegungstheorie verbunden mit philosophischen Aussagen zum mechanisch-deterministischen Weltbild.<sup>142</sup>

Die philosophische Kritik zeigte die qualitative Verschiedenheit der Prozesse, hob die einseitige Kausalauffassung auf und untersuchte die Bedingtheit und Bestimmtheit der Dinge und

<sup>141</sup> H. Hörz, Zum Verhältnis von Kausalität und Determinismus, in: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, 2/63.

<sup>142</sup> H. Hörz, Der dialektische Determinismus in Natur und Gesellschaft, Berlin 1962.

Erscheinungen im Gesamtzusammenhang. Dabei ergibt sich als wesentlich für den dialektischen Determinismus die Anerkennung der Kausalität als eines konkreten und direkten Zusammenhangs. Die Kausalität läßt uns zwischen Vergangenheit und Zukunft unterscheiden, während uns das Gesetz die wesentlichen, allgemeinen und notwendigen Beziehungen zeigt, die vergangene und zukünftige Prozesse verbinden. Damit erhalten wir Aussagen über die Zukunft. Wir unterscheiden jedoch – entgegen der klassischen Auffassung – zwischen Vergangenheit und Zukunft im Kausalgeschehen. Der Unterschied zwischen Gesetz und Kausalität kann nur hervorgehoben werden, wenn man die wesentlichen Formen des Zusammenhangs, wie Notwendigkeit und Zufall, Möglichkeit und Wirklichkeit, Teil und Ganzes, Struktur und Funktion usw. berücksichtigt. Damit hebt der dialektische Determinismus die Reichhaltigkeit der objektiven Beziehungen hervor, deren Hierarchie uns die Erkenntnis von Gesetzen einer Gesamtheit von unendlichen vielen Beziehungen gestattet, die wir in jedem materiellen Bereich vorfinden. Aus der Untersuchung vorliegender Kausalverhältnisse ergeben sich bei der Analyse die wesentlichen Ursachen und Bedingungen, die notwendig zu einer Wirkung führten. So untersuchte Galilei den freien Fall und kam zur Aufstellung des Fallgesetzes, indem er die wesentlichen Komponenten, wie Fallzeit, Fallweg und Erdbeschleunigung hervorhob. Er vernachlässigte unwesentliche Komponenten, wie die Reibung, die zu zufälligen Abweichungen beim Fall führten. Diese zufälligen Abweichungen sind untrennbarer Bestandteil des wirklichen freien Falls. Jeder frei fallende Körper unterliegt Einflüssen, die eine Einheit von Notwendigkeit und Zufall bilden.

Der klassische Determinismus ging davon aus, daß auch die zufälligen Abweichungen notwendig sind. Wird nun kein Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft, Kausalität und Gesetz gemacht, die Kausalität als notwendige Verbindung zwischen Ursache und Wirkung angesehen und alles als kausal bedingt betrachtet, dann steht man auf dem Standpunkt der schicksalhaften Unvermeidlichkeit wie der mechanische Determinismus.

[130] Anerkennt man aber die kausale Bedingtheit der Prozesse und Erscheinungen im Gesamtzusammenhang und die Kausalität als direkte (notwendige *und* zufällige) Vermittlung des Zusammenhangs, untersucht man die Formen des Zusammenhangs, so überwindet man den mechanischen Determinismus, ohne die kausale Bedingtheit leugnen zu müssen. Daraus ergibt sich ein Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft, Kausalität und Gesetz.

Ein Elementarteilchen, das auf einem bestimmten Ort des Schirms auftraf, ist notwendig, d. h. auf Grund der *Gesamtheit* der Bedingungen bestimmt, dort aufgetroffen. Die Analyse des Prozesses gibt uns mit der Quantenmechanik eine Theorie, die das wahrscheinliche Auftreffen voraussagt. Solange das Teilchen sich bewegt, das Auftreffen auf dem Schirm Zukunft ist, solange verändern sich die Bedingungen für das Verhalten des Teilchens. Seine Zukunft kann im bestimmten Rahmen gesetzmäßig vorausgesagt werden, aber nicht in der Einheit von Notwendigkeit und Zufall. Zufällig ist das Auftreffen eines Teilchens an einem bestimmten Ort. Dieser Zufall ist selbst wieder der Analyse unterworfen. Die Aufdeckung neuer Gesetze über die Struktur und Wechselwirkung der Elementarobjekte wird uns das notwendige Verhalten von Elementarobjekten bei der Umwandlung, bei der Kernwechselwirkung usw. erklären. Auch hier haben wir wieder die Einheit von Notwendigkeit und Zufall im Verhalten eines bestimmten Objekts. Was auf einer bestimmten Stufe Zufall ist, differenziert sich auf einer tieferen Stufe in Notwendigkeit und Zufall und ermöglicht dadurch die Aufdeckung neuer Gesetze. Der Fehlschluß des mechanischen Determinismus bestand in der Annahme, daß der Zufall im niederen Niveau zur reinen Notwendigkeit wird. Davon ausgehend wurde die Kausalität als notwendige Verbindung zwischen Ursache und Wirkung angesehen und die Einheit von Notwendigkeit und Zufall auseinandergerissen. Jeder wirkliche Vorgang ist nicht rein zufällig oder nur notwendig, sondern eine Einheit von Notwendigkeit und Zufall. Seine Analyse ermöglicht die Aufdeckung des Gesetzes für den Vorgang. Das Gesetz ist allgemein notwendig und wesentlich.

Von der dialektischen Determinismusauffassung ausgehend, wurden folgende Probleme interessant:

1. Ist eine deterministische Deutung der modernen Physik möglich, oder muß man jenen ernstzunehmenden Auffassungen zustimmen, die von einer indeterministischen Deutung der modernen Physik sprechen?
2. Stehen die dynamischen und statistischen Gesetze in einem sich ausschließenden Verhältnis? Man könnte es auf der Grundlage des klassischen Determinismus annehmen. Wenn es nicht der Fall ist, muß man etwas zu ihren wirklichen Beziehungen sagen. [131]
3. Welche Probleme ergeben sich bei der Widerspiegelung der dialektischen Beziehungen, vor allem des Widerspruchs, im Denken?

An diesen Problemen hat sich die dialektische Determinismuskonzeption zu bewähren.

## *2. Die deterministische Deutung der Quantentheorie*

In der Diskussion um eine deterministische Deutung der Quantentheorie wurden verschiedene Fragen unzulässig verbunden. Vor allem wurden zwei Probleme nicht genügend auseinandergelassen. Einmal verlangt eine deterministische Deutung der Quantentheorie den Nachweis der Vereinbarkeit der Quantenmechanik mit der Annahme einer durchgängigen Determiniertheit der Dinge und Erscheinungen der objektiven Realität. Wir hatten bereits gesehen, daß der klassische Determinismus diesen Nachweis nicht liefern kann. Beim Festhalten an seinen Forderungen und bei Anerkennung der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen kommt man zu einer Leugnung der Determiniertheit im Sinne des klassischen Determinismus in der Mikrophysik. Hier gilt es also vor allem nachzuweisen, daß die Mikrophysik zwar die Schranken des klassischen Determinismus sprengt, aber keine Akausalität des mikrophysikalischen Geschehens zuläßt, wie manche Wissenschaftler meinten.

Zweitens werden jedoch mit dieser deterministischen Deutung der Quantenmechanik auch philosophische Fragen aufgeworfen, die nur durch die Entwicklung der physikalischen Forschung selbst beantwortet werden können. Dazu gehört die bereits aufgeworfene Frage nach einer vollständigen Beschreibung des Verhaltens von Einzelobjekten. Die physikalische Entwicklung kann jedoch die deterministische Interpretation der Quantenmechanik im erstgenannten Sinne nicht ersetzen. Einerseits muß man deshalb solche Versuche ablehnen, die lediglich eine deterministische Uminterpretation der bestehenden Wahrscheinlichkeitsdeutung der  $\psi$ -Funktion vornehmen wollen, letztlich aber nur die Resultate der statistischen Deutung erhalten. In dieser Richtung verlief zeitweilig das Bemühen der Gruppe um de Broglie und Vigier sowie von Bohm und Terlezki. Andererseits hat jedoch auch diese Gruppe berechtigt die Frage nach der Weiterentwicklung der Quantenmechanik beantworten wollen. Dort trifft sie sich mit den Bemühungen Heisenbergs, Blochinzews, Iwanenkos und anderer Physiker. In dieser Richtung verlief die Diskussion auf dem Solvay-Kongreß in Brüssel 1961. Mit den neuen Ergebnissen, die die Physik in der nächsten Zeit bei der theoretischen Durchdringung der Struktur der Elementarteilchen bringen wird, werden sich neue Aspekte für unsere Determinismusauffassung verallgemeinern lassen. Für [132] jede Stufe der physikalischen Forschung, die durch eine bestimmte Theorie charakterisiert ist, ist die philosophische Verallgemeinerung notwendig. Die Entwicklung der Physik kann nicht die philosophische Interpretation ersetzen. Jede einmal erreichte Stufe in der physikalischen Entwicklung wird nicht einfach mit einer neuen Stufe als falsch abgetan. So wie die klassische Mechanik sich als Grenzfall der Quanten- und Relativitätsmechanik ergibt, so ist die Quantenmechanik Grenzfall einer allgemeinen Theorie. Damit sind aber die Versuche hinfällig, die die Unbestimmtheitsrelationen beseitigen wollen. Sie gelten für die Bedingungen, unter denen sie gefunden und untersucht wurden. Zweifellos mögen neue Einsichten die Unbestimmtheitsrelationen als eine relative Wahrheit erscheinen lassen. Was wir jedoch philosophisch durch sie

für die allgemeine Bewegungstheorie und den dialektischen Determinismus erkannten, wird absoluter Bestandteil der philosophischen Theorie bleiben, wenn auch auf neue Weise präzisiert und konkretisiert werden. Insofern fordert jede einzelwissenschaftliche Entwicklung auch philosophisches Umdenken, weil die allgemeinen Merkmale der philosophischen Theorie stets mit konkreten physikalischen Ergebnissen verbunden sind.

Bei der philosophischen Interpretation muß jede physikalische Theorie in ihrer Beziehung zum Determinismus untersucht werden. Wir werden uns deshalb mit der deterministischen Interpretation der Quantenmechanik, mit den Versuchen de Broglies und seiner Anhänger um eine neue deterministische physikalische Theorie sowie den neuesten Versuchen zu einer Theorie der Elementarteilchen beschäftigen müssen. Dabei kann die philosophische Diskussion der physikalischen Versuche nur einige Probleme andeuten. Die Entwicklung ist noch zu keinem relativen Abschluß gekommen. Es ist jedoch unbedingt notwendig, der physikalischen Entwicklung in der philosophischen Diskussion mehr Aufmerksamkeit als bisher zu schenken, vor allem hinsichtlich der neuesten Ergebnisse.

#### a) Determinismus und Quantenmechanik

Die bereits untersuchte dialektische Bewegungsauffassung gibt uns die Grundlage für eine deterministische Deutung der Quantenmechanik.

Die wesentliche Problematik, die bei der „Begründung“ des Indeterminismus eine Rolle spielte, war der Sprung der  $\psi$ -Funktion bei der Beobachtung. Genauer muß man sagen, daß es nicht um die Beobachtung geht, sondern um die Widerspiegelung des Übergangs von einem stationären Zustand in einen anderen durch den Sprung der  $\psi$ -Funktion. Dieser Sprung wurde von manchen Physikern als indeterminiert angesehen, weil er eine Durchbrechung des stetigen Ablaufs mit sich brachte, der im klassischen Determinismus die Grundlage der Beschreibung der Bewegung bildete.

[133] Die Erklärung dieses Sprungs ergibt sich aus der dialektischen Bewegungsauffassung. Wäre die Bewegung, wie im Schrödingerbild, nur kontinuierliche Veränderung, ausgedrückt in der Änderung der  $\psi$ -Funktion entsprechend der Schrödingergleichung, so wäre der Sprung ohne eine Ursache, die sich aus der Bewegungsauffassung ergibt. Die Ursache des Sprungs liegt ja gerade in der Einheit von kontinuierlicher Bewegung und diskontinuierlicher Wirkung, von Wellen- und Korpuskeleigenschaften. Unterbrechen wir die Bewegung bei der Messung, dann zeigen sich offensichtlich die Korpuskeleigenschaften, da das bewegte Elementarobjekt jetzt wie eine Korpuskel wirkt. Wird die Bewegung nach der Einwirkung fortgesetzt, so ist der Widerspruch neu gesetzt, was sich beim Durchgang durch einen Spalt zeigt.

Wird die Bewegung – wie im Heisenbergbild – überhaupt nicht erfaßt, dann wäre der Sprung ebenfalls ursachelos, da ja gerade die Gesetzmäßigkeit der Bewegung (Wechselwirkung) der Elementarobjekte diesen Sprung begründet. Da die Gesetzmäßigkeiten der Bewegung der Elementarobjekte die Gesetzmäßigkeiten ihrer Wechselwirkung sind, wird zugleich eine neue Beziehungslosigkeit der klassischen Mechanik aufgehoben.

$\psi$  als Lösung der Schrödingergleichung ist komplex. Dagegen waren die Lösungen der klassischen Physik selbst bei komplexer Schreibweise nur die Realteile. Wir haben es also in der Lösung der Schrödingergleichung mit zwei verschiedenen und doch zusammenhängenden Seiten zu tun. Nicht der Realteil allein, sondern Real- und Imaginärteil bilden die Lösung. Die Aufspaltung in der von uns bereits diskutierten Lösung der Schrödingergleichung als Überlagerung der stationären Zustände ist ein Hinweis darauf, daß mit dem Realteil die eine Seite (die Diskontinuität) und mit dem Imaginärteil, der sich als periodische  $e$ -Funktion zeigt, die andere Seite (die Kontinuität) des Widerspruchs erfaßt wird. Darauf weist hin, daß wir es auf der einen Seite mit  $\psi(x)$  nur mit der Ortsabhängigkeit und mit  $e^{-\frac{i}{\hbar} E_n t}$  mit Zeit- und Energieabhängigkeit zu tun haben. Betrachten wir nun nur die zeitliche Änderung des Quan-

tenzustands  $\psi$  nach der Schrödingergleichung, so vernachlässigen wir die relative Stabilität des Quantenzustands. Unser Wellenpaket zerfließt mit der Zeit. Wir haben es dann mit einem Gesetz zu tun, das die stetige Änderung des Zustands erfaßt.

Die Unmöglichkeit der Bewegungsbeschreibung der Elementarobjekte mit der Schrödingerschen anschaulichen Wellenmechanik führte Born zur Umdeutung der  $\psi$ -Funktion. Sie sollte keine tatsächliche Verteilung im Raum darstellen, sondern die Wahrscheinlichkeit angeben, mit der sich das Elektron in einer bestimmten Weise verhalten kann. Führen wir z. B. eine sehr [134] große Anzahl von Messungen  $a_1, a_2 \dots a_n$  am Zustand  $\psi$  aus, dann erhalten wir für den Mittelwert der Meßergebnisse

$$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_j = \int \psi^* A \psi d\tau^3 = (\psi, A \psi) = \bar{A},$$

Damit dient die Schrödingergleichung oder die Heisenbergsche Bewegungsgleichung nicht mehr zur Darstellung der Bewegung isolierter Teilchen, sondern bildet die Darstellung der Bewegung der Elementarobjekte. Ihren Wahrscheinlichkeitscharakter erhält die  $\psi$ -Funktion, wenn wir aus ihr Schlüsse auf klassische Parameter des Zustands ziehen.

Da das sich bewegende Elementarobjekt in dem Sinne keinen genau definierten Zustand besitzt, weil es sich wegen seiner Ortsveränderung nicht an einem bestimmten Ort befindet und wegen seiner Wechselwirkung nicht in einer stets gleichbleibenden Richtung, mit gleicher Energie und gleichem Impuls sich bewegt, müssen die Aussagen über Ort, Impuls, Richtung, Energie des Einzelteilchens Wahrscheinlichkeitscharakter besitzen. Durch den Zustand  $\psi$  des Gesamtsystems, der genau bestimmt ist, ergibt sich ein gewisses Intervall, in dem sich die gesamten Größen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit befinden.

Wir erhalten genaue Aussagen über den Zustand des Gesamtsystems wie über die Intensität usw. Aber wir vermögen über den Zustand des einzelnen Elementarobjekts nur Wahrscheinlichkeitsaussagen zu tätigen. Zu den dynamischen Gesetzen treten also statistische Gesetze zur Beschreibung der Bewegung der Einzelteilchen. Dabei drückt die  $\psi$ -Funktion die Möglichkeit (Wahrscheinlichkeit) eines bestimmten Zustandes der einzelnen Elementarobjekte aus. Diese Gesetze, die für das Einzelobjekt statistischen Charakter tragen, sind jedoch für die Gesamtheit dynamische Gesetze und beschreiben genau die zeitliche Änderung des Gesamtzustands. Für ein Einzelteilchen wird die durch die  $\psi$ -Funktion beschriebene Möglichkeit zur Wirklichkeit, indem wir die Kontinuität der Bewegung unterbrechen, indem wir messen, Dabei können wir nach den Unbestimmtheitsrelationen nur die Größen messen, die nicht voneinander abhängig sind. Messen wir z. B. den Ort des Teilchens, so können wir aus der Ortsmessung keinen Rückschluß auf den Impuls des Teilchens ziehen, da die Ortsmessung mit einem unbestimmten Comptonrückstoß begleitet ist. Formal drückt sich die Abhängigkeit von Ort und Impuls in der Nichtvertauschbarkeit der entsprechenden Operatoren aus. Allgemeiner können wir sagen: Sind die entsprechenden Operatoren vertauschbar, dann führt die Messung der dem einen Operator entsprechenden Größe nicht zu einer solchen Änderung der  $\psi$ -Funktion, daß die dem anderen Operator entsprechende Größe nicht mehr meßbar wäre. Sind die entsprechenden [135] Operatoren nicht vertauschbar, so ergibt sich bei der Messung, daß die Messung der einen Größe zu einer sprunghaften Änderung der  $\psi$ -Funktion führt, so daß die andere Größe nicht gemessen werden kann.

Das heißt nun keinesfalls, wie schon aus dem bisher Gesagten zu ersehen ist, daß die sprunghafte Änderung der  $\psi$ -Funktion keine Aussagen mehr über den wirklichen Zustand des Teilchens zuließe. Die zu messen unverträglichen Größen sind eben gerade die zwei Seiten des objektiven Widerspruchs, durch den die Bewegung charakterisiert ist. Wollen wir den Ort des Teilchens messen, so wollen wir, genau genommen, den Ruhezustand des Teilchens gewinnen. Das kann aber nicht ohne Auswirkung auf die Bewegung des Teilchens und die für sie charakteristischen Größen bleiben. Wollen wir die Geschwindigkeit messen, müssen wir alles

vermeiden, was die Bewegung des Teilchens stört. Das erreichen wir, wenn wir langwelliges Licht benutzen, dessen Einwirkung wir vernachlässigen können. Das muß sich aber notwendig auf die Aussagen über den Ruhezustand des Teilchens auswirken. Wir berücksichtigen also bei der Orts- und Impulsmessung eines bestimmten Teilchens mit der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation zugleich den dialektischen Charakter der Bewegung. Wir vernachlässigen bei der Ortsmessung die bei der Bewegung vorhandene Orts- und bei der Impulsmessung die durch die Wechselwirkung entstehende Impulsunschärfe des einzelnen Objekts. Ein richtiges Bild von der Bewegung erhalten wir aber nur, wenn wir die Vernachlässigung der durch die Bewegung entstehenden Ortsunschärfe sowie der Wechselwirkung, die wir gedanklich vornahmen, auch gedanklich wieder aufheben. Orts- und Impulsunschärfe der Einzelobjekte sind also Ausdruck der Bewegung dieser Objekte. Für die sich bewegenden Objekte kann es daher nur Wahrscheinlichkeitsaussagen über den genauen Ort und den genauen Impuls geben. Diese Aussagen bringen die Möglichkeit zum Ausdruck, die für bestimmte Impulse und Orte bestehen. Sie geben das durch die Bewegung bestimmte Intervall an, in dem sich bei Verwirklichung der Möglichkeiten, bei der Messung der Elementarobjekte die entsprechende Größe befinden muß. Wurde ein bestimmter Zustand verwirklicht, wird die Wahrscheinlichkeit für diesen Zustand gleich Eins, ist also Gewißheit. Die durch die  $\psi$ -Funktion ausgedrückte neue Wahrscheinlichkeit muß dementsprechend anders als vorher aussehen. Der Sprung der  $\psi$ -Funktion ist nichts anderes als der Sprung der Wahrscheinlichkeiten somit die Verwirklichung einer bestimmten Möglichkeit zum Ausdruck gebracht wird. Dieser Sprung charakterisiert aber nicht die Bewegung des einzelnen Objekts, sondern gerade die Unterbrechung der Bewegung, die Vernachlässigung bestimmter Seiten der Bewegung, der Wechselwirkung usw.

[136] Die Wechselwirkung von Erkenntnisobjekt und Erkenntnismittel ermöglicht uns also Schlüsse auf die objektive Bewegung zu ziehen. Wir müssen dabei bei bestimmten Experimenten bestimmte Zusammenhänge vernachlässigen, um die einzelnen Seiten des objektiven allseitigen Zusammenhangs herauszuarbeiten. So können wir bei der Impulsmessung die Wechselwirkung und bei der Ortsmessung die Interferenzerscheinungen vernachlässigen, da wir bei der Ortsmessung kurzwelliges Licht benutzen, bei dem die Beugung vernachlässigt werden kann, und bei der Impulsmessung langwelliges Licht, das einen vernachlässigbaren Comptonrückstoß mit sich bringt. Haben wir aber diese Seiten zur besseren Erkenntnis vernachlässigt, so müssen sie doch anschließend wieder gedanklich zusammengefügt werden, weil wir sonst ein einseitiges und damit falsches Bild der Wirklichkeit erhalten. Die Bewegung der Elementarobjekte ergibt sich dann als dialektischer Widerspruch zwischen Wellen- und Korpuskeleigenschaften der Elementarobjekte. Wir erhalten dynamische Gesetze für eine Gesamtheit von Objekten, die statistischen Charakter für das einzelne Objekt tragen. Damit enthält das Gesetz die Möglichkeit (Wahrscheinlichkeit), für das sich bewegende und damit wechselwirkende Elementarobjekt sich da und dort zu befinden, in einer bestimmten Richtung sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit zu bewegen. Mit der Verwirklichung einer dieser Möglichkeiten erhalten wir für das betrachtete Objekt das Bewegungsergebnis, die Gewißheit über einen bestimmten Zustand. Damit haben wir aber die Bewegung unterbrochen und nur die Seite der Gewißheit, der Wirklichkeit im dialektischen Widerspruch, erhalten. Die Möglichkeit der Bewegung haben wir vernachlässigt, die notwendig zur Wahrscheinlichkeit für die Zustände der Einzelobjekte führt.

Wir haben es also bei der Beobachtung mit einem Sprung der Wahrscheinlichkeit zu tun, während die Wahrscheinlichkeit eines nichtbeobachteten Zustands in den bisherigen Interpretationen der Quantentheorie gleichbleibt oder sich stetig verändert. So geht es entweder um die raum-zeitliche Darstellung des Elementarobjekts, die wir nur geben können, wenn wir beobachten, und die deshalb einen unkontrollierbaren Sprung ergibt. Daraus sollen sich dann die statistischen Aussagen ergeben. Oder wir haben die stetige (deterministische) Änderung

der Elementarobjekte zum Gegenstand, die nicht beobachtet werden. So stehen sich statistische Aussagen beim akausalen Sprung und deterministische Aussagen beim unbeobachteten Elementarobjekt als unvereinbar entgegen. Daher meint auch Robert Havemann, den Determinismus mit der Stetigkeit der Wellenausbreitung und die Statistik im Gegensatz zum Determinismus mit dem Korpuskelbild verbinden zu müssen: „Das Wellenbild ist deterministisch. Im Wellenbild kommen aber keine Korpuskeln vor. Übersetzt man die Aussagen des Wellenbilds in Aussagen [137] des Korpuskelbilds, so erhält man an Stelle der deterministischen jetzt statistische Aussagen.“<sup>143</sup>

Determinismus und Statistik werden einander entgegengestellt. Uns geht es aber um die deterministische Begründung statistischer Aussagen. Wir wollen keine Rückkehr zum klassischen Determinismus. Wir wollen vielmehr das durch die moderne Physik aufgeworfene Problem im dialektischen Determinismus behandeln. Dabei kann man nicht Kausalität oder Determinismus und Statistik als zwei Seiten der objektiven Prozesse betrachten. Gerade die Kausalität als Teil der Wechselwirkung ist Bestandteil der Bewegung als Veränderung überhaupt. Eine dialektische Bewegungsauffassung führt aber zu statistischen Aussagen.

Da die Bewegung der Elementarobjekte nur als Wechselwirkung erfaßt werden kann, muß die Betrachtung konkreter kausaler Zusammenhänge eine einseitige Darstellung der wirklichen Bewegung ergeben. Die moderne Physik weist also nach, daß die Kausalität nicht von der Wechselwirkung losgelöst werden darf, daß wir sie nur in Verbindung mit der Wechselwirkung richtig verstehen. Andererseits können wir allgemein nur zum Verständnis der Wechselwirkung kommen, wenn wir bestimmte Zusammenhänge, um sie besser zu erkennen, isolieren. So verfahren wir z. B. auch in den Gedankenexperimenten, die wir zur Beobachtung eines Elektrons machten und aus denen sich die Unbestimmtheitsrelationen für Ort und Impuls des Elektrons ergaben.

Betrachten wir zuerst den Ort des sich bewegenden Elektrons unter dem Mikroskop. Benutzen wir dazu langwelliges Licht, so erhalten wir eine zu große Ortsverschommenheit. Wir können auch sagen: Die Welleneigenschaften des Lichts gestatten uns keine genaue Ortsangabe. Die Welleneigenschaften sind also die Ursache für die Ortsungenauigkeit des Elektrons. Nehmen wir deshalb energiereiches kurzwelliges Licht, so erhalten wir eine genaue Ortsangabe, aber das energiereiche Licht wechselwirkt so mit dem Elektron, daß eine eventuelle gleichzeitige Impulsmessung nicht möglich ist. Wir können hier sagen, daß die gequantelte Energieabgabe oder die korpuskularen Eigenschaften des Lichts die Ursache für die Impulsungenauigkeit und Ortsgenauigkeit sind. Beide Experimente liefern uns nur eine Seite, ein Moment der Wechselwirkung. Nehmen wir langwelliges Licht und erhalten neben der Ortsunschärfe eine genaue Impulsangabe, so vernachlässigen wir die vorhandene Einwirkung des langwelligen Lichts auf das Elektron, d. h., wir vernachlässigen die Wechselwirkung zwischen Licht und Elektron. Damit [138] erhalten wir gedanklich ein sich isoliert bewegendes Elektron, das sich mit einer gewissen Geschwindigkeit bewegt. Wir haben mit dieser Kausalitätsbeziehung nur eine Seite der Bewegung der Elementarobjekte erfaßt, wodurch sie sich von den klassischen Objekten unterscheiden. Die zweite Seite des Unterschieds liefert uns ein anderes Experiment, bei dem wir eine genaue Ortsangabe durch Vernachlässigung der bei jeder Bewegung vorhandenen Ortsungenauigkeit erhalten. Wir betrachten hier die Wechselwirkung von Elektron und kurzwelligem Licht wiederum einseitig, indem wir die Einwirkung der Wechselwirkung auf den Impuls zwar hervorheben, aber annehmen, eine genaue Ortsangabe bekommen zu haben. Die Unbestimmtheitsrelationen zeigen aber gerade, daß für das sich bewegende Teilchen keine absolut genaue Kenntnis von Ort und Impuls möglich ist. Um ein wirkliches Bild über die Bewegung der Elementarobjekte zu bekommen,

<sup>143</sup> R. Havemann, Bemerkungen zur quantenmechanischen Komplementarität, Physikalische Blätter, 13. Jg. (1957), H. 7, S. 289.

müssen wir also die bei der kausalen Betrachtung vernachlässigte andere Seite gedanklich mit dem betrachteten Aspekt vereinen, um so ein Bild der wirklichen Wechselwirkung zu erhalten. Damit stellen wir auch die Beziehung zwischen Ort und Impuls her. Diese Beziehung erhielten wir durch die dialektische Betrachtung der Bewegung als Einheit von Kontinuum und Diskontinuum für jede Ortsveränderung und als Einheit von Wellen- und Korpuskeleigenschaften für die Bewegung der Elementarteilchen. Damit heben die Unbestimmtheitsrelationen die Kausalität nicht auf, sie weisen sie vielmehr als ein Moment der Wechselwirkung aus. Unsere diese Tatbestände zum Ausdruck bringenden Gesetze unterscheiden sich deshalb in gewisser Weise. Wir haben einerseits Gesetze, die unser Wissen über die objektiven Gesetzmäßigkeiten des Zusammenhangs von Ereignissen an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt zum Ausdruck bringen, also gewissermaßen die Wechselwirkung am bestimmten Ort, zur bestimmten Zeit. Diese Charakteristik würde z. B. für das Gesetz des Comptonrückstoßes zutreffen. Andererseits haben wir Gesetze, die den zeitlichen Verlauf bestimmter Ereignisse widerspiegeln. Offensichtlich sind in der Quantenmechanik die Wechselwirkungsgesetze dem Korpuskelbild zuzurechnen, da die Wirkung der Elementarobjekte stets korpuskular erfolgt. Die dynamischen Gesetze, wie die Schrödingergleichung, gehören zum Wellenbild. Nun ergibt sich nach den bereits zitierten Auffassungen der Vertreter der Kopenhagener Interpretation der Quantentheorie, daß sie die dynamischen Gesetze als Kausalgesetze und die Wechselwirkungsgesetze als den Kausalgesetzen entgegengesetzt betrachten. Wir hatten ja gesehen, daß der Zustand eines Systems zwischen den verschiedenen Beobachtungen im Heisenbergbild unverändert bleibt und im Schrödingerbild sich zeitlich ändert. Beide stimmen aber in der Aussage überein, daß sich bei der Beobachtung ein Sprung ergibt, der nicht kausal beschreibbar ist. [139] Dieser Sprung der Wahrscheinlichkeit  $\psi$  ergibt sich tatsächlich nicht aus der Schrödingergleichung des betrachteten Systems und schon gar nicht aus der Gleichung  $\psi = \text{const.}$  Beide Betrachtungen lassen ja die Wechselwirkung beiseite. Die Wechselwirkung bestimmt jedoch die Bewegung in entscheidender Weise. Das wird in den Unbestimmtheitsrelationen für Ort und Impuls zum Ausdruck gebracht. Durch die Wechselwirkung von kurzwelligem Licht und dem Objekt, dessen Impuls zu bestimmen ist, ergibt sich eine sehr große Unbestimmtheit des Impulses. Die positivistische Interpretation der Quantenmechanik verdeckt hier eine Lücke in der Beschreibung des universellen Zusammenhangs durch die Behauptung, daß diese Lücke nicht kausal bestimmt, also auch nicht zu untersuchen sei. Diese Lücke ist die Beschreibung der objektiven Bewegung, die philosophisch gesehen einen dialektischen Widerspruch, also eine Wechselwirkung, darstellt. Die physikalisch genauere Erfassung dieser objektiven Wechselwirkung würde zugleich auch die Ursache für die spezielle Wechselwirkung, wie sie bei der Beobachtung auftritt, enthalten.

Wie die Unbestimmtheitsrelationen den Zusammenhang von Wellen- und Korpuskeleigenschaften zeigen, so zeigen sie uns auch den engen Zusammenhang der Bewegung in Raum und Zeit mit der Kausalität. Beide schließen sich nicht aus. Nur eine genauere Erfassung der Bewegung liefert auch eine einzelwissenschaftliche Beschreibung des Sprungs bei der Beobachtung. Die theoretische Physik muß bei ihrer Weiterentwicklung vor allem den engen Zusammenhang von dynamischen und Wechselwirkungsgesetzen beachten. Da wir bei der Untersuchung der Bewegung der Elementarobjekte nicht von der Wechselwirkung absehen können, darf auch die raum-zeitliche Beschreibung nicht unabhängig von der Wechselwirkung gesehen werden. Dabei kann die Wechselwirkung nicht durch das Anhängen von Wechselwirkungsgliedern allein erfaßt werden, da eine genaue Beschreibung der Wechselwirkung eine immer größer werdende Anzahl von Wechselwirkungsgliedern verlangt. Es muß der Versuch gemacht werden, von der klassischen Auffassung des sich bewegenden isolierten Objekts abzugehen und den dialektischen Widerspruch der Bewegung einzelwissenschaftlich zu erfassen. Dabei muß die Wechselwirkung als Ausgangspunkt der physikalischen Beschreibung genommen werden. Der Quantenzustand ist bereits in der Interpretation Ausdruck

der Bewegung der Elementarobjekte, wenn man berücksichtigt, daß er dann eine Einheit sich widersprechender Seiten darstellt. Die Quantenmechanik widerspiegelt mit ihrem mathematischen Formalismus zugleich die mögliche Unterbrechung der Bewegung, die Lösung des zugrunde liegenden Widerspruchs. Die Form der Widerspiegelung dieser Unterbrechung ist das Auf-[140]suchen der entsprechenden Eigenwerte, die uns den stationären Zustand nennen, in dem sich das Objekt dann befindet.

Aus den bisherigen Betrachtungen können wir zusammenfassend über die deterministische Deutung der quantenmechanischen Vorgänge sagen: Determinismus hatten wir als die Bedingtheit und Bestimmtheit der Dinge und Erscheinungen im objektiven Gesamtzusammenhang mit anderen Dingen und Erscheinungen angesehen. Damit beziehen wir in die Determiniertheit der Dinge und Erscheinungen die Untersuchung der allgemeinsten Formen des Zusammenhangs ein. Wir zeigen, wie sich bestimmte Kausalverhältnisse nur unter bestimmten Bedingungen durchsetzen. In diesem Sinne ist das Determinismusprinzip allgemeiner als das Kausalprinzip, denn in jeder konkreten Untersuchung interessieren uns nur bestimmte Kausalverhältnisse, die wir aus dem Gesamtzusammenhang isolieren. Der Zusammenhang mit anderen Dingen und Erscheinungen spielt bei der Durchsetzung einer bestimmten Kausalrelation die Rolle der Bedingungen. Diese Bedingungen sind wesentlich bei der Untersuchung, ob und wie bestimmte Vorgänge determiniert sind.

Untersuchen wir die Determiniertheit der Vorgänge, die bei der Wechselwirkung zwischen Licht und Elementarteilchen vor sich gehen, so stellen wir eine wechselseitige Beeinflussung fest. Sowohl Licht als auch Elementarteilchen sind Ursache für die wechselseitige Veränderung. Im Experiment heben wir, wie beschrieben wurde, bestimmte Kausalverhältnisse unter Vernachlässigung der Rückwirkung hervor. Wir können in dieser Weise verfahren, weil wir die Bedingungen für die Durchsetzung eines Kausalverhältnisses, beispielsweise die Einwirkung bei langwelligem Licht auf die Impulsänderung des Elementarteilchens, so gewählt haben, daß diese Einwirkung objektiv unwesentlich wird. Wir haben es jedoch stets mit Kausalverhältnissen bei der Wechselwirkung von Partikeln zu tun.

Die Determiniertheit der Quantenprozesse ist jedoch mit dieser Feststellung nicht vollständig erklärt. Für den Durchgang durch den Spalt erfolgt zwar – durch die Gesamtheit der Kausalbeziehungen bedingt – das Auftreffen eines Elementarteilchens auf einem bestimmten Ort des Schirms. Für die von der Wissenschaft zu leistende Voraussagbarkeit ist das jedoch zu allgemein formuliert. Damit ist zwar jedem Indeterminismus die Möglichkeit zur physikalischen Stützung seiner Auffassung genommen, jedoch keine physikalische Aussage über das Auftreffen eines Teilchens an einem bestimmten Ort philosophisch begründet. Mit der Kausalität kann man die Wirklichkeit nicht allseitig erfassen. Die von uns vorauszusagende Wirkung wäre das Auftreffen eines Teilchens an einem bestimmten Ort. Die Ursache dafür ist die Gesamtheit der Zusammenhänge des Teilchens mit seiner Umgebung, sind die verschiedenen Formen der Wechselwirkung, die wir früher analysierten. [141] Bei der Hervorbringung dieser Wirkung spielen viele Kausalverhältnisse eine Rolle, deren Wirkungsgesamtheit auch die von uns untersuchte Wirkung hervorbringt. Diese Wirkung, das Auftreffen eines Teilchens auf einem bestimmten Ort des Schirms, ist, von der Vorhersage her gesehen, möglicher Art. Aus der Gesamtheit der Bedingungen ergeben sich auch andere Möglichkeiten. Unter Möglichkeit verstehen wir die objektiven Tendenzen der Veränderung der Wirklichkeit, Wirklichkeit sind die objektiv-real existierenden Zusammenhänge, Beziehungen usw. In der Quantenmechanik sind die objektiven Möglichkeiten des Auftreffens auf dem Schirm erfaßt. Wir kennen die gesetzmäßige Verteilung. Mit der gesetzmäßigen Verwirklichung bestimmter Möglichkeiten haben wir die Gesamtheit der Bedingungen, die auch unsere betrachtete Wirkung hervorbringen, genauer erkannt. Wir können allerdings nicht die Durchsetzung einer bestimmten Kausalrelation mit Gewißheit vorhersagen, sondern nur ihre Möglichkeit, ausgedrückt in der Wahrscheinlichkeit. Zugleich wird uns diese Aussage nur ermöglicht, weil

die Gesamtheit der Bedingungen objektive allgemeine und wesentliche, d. h. gesetzmäßige Beziehungen besitzt, die wir erkennen. Mit der von der Quantenmechanik erkannten gesetzmäßigen Verteilung der Elementarteilchen auf dem Schirm haben wir eine notwendige Beziehung erkannt, die im zufälligen Verhalten des einzelnen Teilchens zum Ausdruck kommt. So haben die Experimente von Suschkin, Bibermann und Fabrikant erwiesen, daß die von der Quantenmechanik erkannte gesetzmäßige Verteilung sich verwirklicht, wenn Elementarteilchen in großen Abständen durch den Spalt gehen. Das Auftreffen des Einzelteilchens ist zufällig, da Ort und Teilchen in keinem direkten inneren Zusammenhang miteinander stehen. Durch das Auftreffen einer großen Zahl von Teilchen verwirklicht sich jedoch die gesetzmäßige Verteilung immer besser.

Wir sehen hier bereits die enge Verbindung zwischen Wahrscheinlichkeitsaussagen und der objektiven Kausalität. Wahrscheinlichkeitsaussagen sind eine Widerspiegelung der objektiven Möglichkeiten und damit eine Annäherung an die Erkenntnis der kausalen Struktur der Wirklichkeit.

Eine deterministische Interpretation der Quantenmechanik steht also nicht im Widerspruch zu ihren Ergebnissen, sondern berücksichtigt vor allem die mit den Unbestimmtheitsrelationen zusammenhängenden physikalischen Ergebnisse. Sie weist jedoch die klassisch-deterministische Beschreibung des Ablaufs der Bewegung als Ausdruck der Determiniertheit zurück und untersucht die Wirkliche Verursachung der Bewegungsänderung (Zustandsänderung). Die physikalischen Zustände sind auch in der Quantenmechanik kausal bedingt und werden mit der Widerspiegelung der objektiven und der notwendig sich verwirklichenden Möglichkeiten erfaßt. [142]

b) Bemerkungen zu einer Quantentheorie nichtstatistischen Charakters

Die vom klassischen Determinismus abweichende statistische Interpretation der Quantenmechanik, die eng mit den Unbestimmtheitsrelationen verbunden ist, führte ständig zu versuchen, eine nichtstatistische Theorie aufzubauen. Sie sollte eine vollständige Beschreibung der Bewegung des Einzelobjekts liefern.

Bereits in den zwanziger Jahren hatte Louis de Broglie eine kausale Interpretation der Wellenmechanik versucht. Seine Theorie war linear und hielt den Einwänden der Vertreter der statistischen Deutung der Quantentheorie nicht stand. Eine kausale Interpretation der Quantenmechanik hatte vor allem die erwähnte exakte Beschreibung des Verhaltens des Einzelteilchens zu geben. Das konnte im Rahmen der Quantenmechanik nur mit Hilfe von verborgenen Parametern geleistet werden. Ihre Unkenntnis sollte zur statistischen Deutung der  $\psi$ -Funktion führen.

Gegen eine solche Einführung verborgener Parameter machte der Mathematiker John von Neumann berechtigte Einwände.<sup>144</sup> Er benutzte dazu die Form der in der Quantenmechanik üblichen Wahrscheinlichkeitsgesetze, die durch die Experimente bestätigt waren. Ein Kausal Ganzes existiert nach von Neumann, wenn von einer Anzahl Systeme alle im gleichen Zustand sind. Jede Variable muß in jedem System den gleichen Wert besitzen. Bei dieser Gleichverteilung der Werte auf die verschiedenen Systeme muß der mittlere Wert des Quadrats einer Größe gleich dem Quadrat des mittleren Wertes dieser Größe sein. ( $a^2 = (\bar{a})^2$ ). Bei einer großen Anzahl von Systemen wird das nicht der Fall sein, aber man kann sie in entsprechende Teilsysteme zerlegen, wo diese Bedingung gilt. Jedes nichtkausale Ganze läßt sich damit in kausale Teile zerlegen. John von Neumann wies aber nach, daß diese Zerlegung im Falle der Quantenmechanik nicht möglich ist. Ein Ganzes, das durch eine einzige Wellenfunktion gekennzeichnet ist, ist nicht zerlegbar.

<sup>144</sup> Vgl. J. v. Neumann, Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik, Princeton 1955.

De Broglie bemerkte zu dieser Argumentation: „Selbst wenn man trotz der immerhin sehr gründlichen Überlegungen v. Neumanns bei der Ansicht verbleibt, daß der Gedanke des reinen Zufalls in der Atomphysik noch nicht vollkommen überzeugt, so scheint doch die Frage nach dem Gegebensein des reinen Zufalls heute zur Diskussion zu stehen und die Aufmerksamkeit des Philosophen zu verdienen.“<sup>145</sup>

Wir haben bereits bei der Betrachtung der deterministischen Deutung der Quantenmechanik die Rolle des Zufalls erwähnt. Der Zufall ist ein Bestand-[143]teil des dialektischen Determinismus, der seinen Platz im System der determinierenden Bedingungen für einen materiellen Vorgang untersucht. Dabei ergibt sich, daß kein absoluter Zufall, d. h. ein Zusammenhang, der in jeder Beziehung ohne Grund ist, existiert. Der Zufall existiert als Erscheinungsform der Notwendigkeit. So ist die Ortsverteilung von Elementarteilchen nach der Beugung auf dem Schirm eine Anhäufung von Zufällen, die die Notwendigkeit zum Ausdruck bringt. In diesem Sinne muß man das Neumannsche Verbot gegen die Einführung verborgener Parameter als die Widerspiegelung der Existenz objektiver Zufälle betrachten.

Mit der Einbeziehung der dialektisch-materialistischen Auffassung vom Zufall ergeben sich jedoch zwei Seiten einer kausalen Interpretation der Quantenmechanik durch eine neue physikalische Theorie. Erstens wäre die Mißachtung der Gedanken John von Neumanns zu den verborgenen Parametern das Unverständnis der von der Quantenmechanik bestätigten dialektischen Determinismusauffassung. Man würde die in der Quantenmechanik widergespiegelte Existenz objektiver Zufälle leugnen: In dieser Richtung wurden auch einige Versuche zur Entwicklung der physikalischen Theorie unternommen. Die Schüler de Broglies wenden sich jedoch von dieser fehlerhaften Auffassung des Verhältnisses von Notwendigkeit und Zufall teilweise ab. Soweit sie aber auf ihrem Standpunkt beharren, kann man ihnen den Vorwurf der versuchten Rückkehr zum mechanischen Determinismus nicht ersparen.

Zweitens wird jedoch mit der Entwicklung der Physik notwendig eine neue physikalische Theorie über die Struktur der Elementarteilchen entstehen, in der bisher zufällige, unwesentliche Beziehungen wesentlich werden. Objektiver Zufall bedeutet nicht die Existenz eines Zusammenhangs, der in jeder Beziehung unwesentlich wäre. Insofern ist der Einwand der Vertreter einer kausalen physikalischen Theorie gegenüber den Einwänden John von Neumanns berechtigt, daß mit einer über die Quantenmechanik hinausgehenden Theorie das Verbot von Neumanns seinen Sinn für diese neue Theorie verliert. Das nicht einzusehen hieße, einen objektiv existierenden absoluten Zufall anzuerkennen und damit den Determinismus wirklich aufzugeben. In diesem Sinne kämpfen de Broglie, Vigier, Bohm und Terlezki gegen den Dogmatismus in der statistischen Deutung der Quantentheorie. In ihren Ausführungen sind jedoch beide Elemente nicht immer getrennt. Die Rückkehr zum mechanischen Determinismus wird manchmal mit Bemerkungen verbunden, die tatsächlich über die bisherige Theorie hinausweisen. So schrieb Terlezki: „Die Quantentheorie kann die Bewegung des einzelnen Mikroobjekts ... nicht vollständig widerspiegeln, sondern widerspiegelt nur das Verhalten einer Gesamtheit wesensgleicher Mikroobjekte, die entweder [144] gleichzeitig oder in einer aufeinanderfolgenden Serie von Versuchen festgestellt werden ... Die Kenntnis der Wahrscheinlichkeit des gegebenen Zustandes des Mikroobjekts gibt noch keinen vollständigen Aufschluß über seinen wahren Zustand, und folglich widerspiegelt die quantenmechanische Beschreibung mit Hilfe der Wellenfunktion den Zustand des Objekts nicht vollständig. Von der Wahrscheinlichkeitsbeschreibung zur vollständigen Widerspiegelung der Zustände des Mikroobjekts überzugehen ist bei den bestehenden Deutungen des quantenmechanischen Apparats wegen einiger Besonderheiten des Apparats, die durch die Unbestimmtheitsrelationen ausgedrückt werden, nicht möglich.“<sup>146</sup>

<sup>145</sup> L. de Broglie, *Licht und Materie*, Hamburg 1958, S. 192

<sup>146</sup> P. Terlezki, in: *Вопросы философии*, No. 5/1951, стр. 54.

Terlezki stellt die berechnete Forderung nach einer genaueren Beschreibung der Bewegung des Einzelobjekts. Aber diese genauere Beschreibung kann man nur erhalten, wenn einige Bedingungen erfüllt werden, die auf dem jetzigen theoretischen und experimentellen Stand noch nicht vollständig gegeben sind. Die gesetzmäßige Erfassung der Bewegung (des Zustands) eines Einzelteilchens macht die Aufdeckung allgemeiner und notwendiger Beziehungen zwischen wesentlichen Seiten innerhalb des Einzelobjekts erforderlich. Um Gesetze für das Verhalten des Einzelteilchens zu finden, müssen wir jene wesentlichen Bestimmungen kennen, die es von anderen unterscheiden. Das erfordert die Aufdeckung der Struktur der Elementarteilchen als notwendige Bedingung für den Fortschritt der Theorie.

Dabei kann die Theorie zu zwei Ergebnissen führen. Erstens kann sie durch die Untersuchung der inneren Struktur der Elementarobjekte zur Erkenntnis kommen, daß gesetzmäßige Beziehungen innerhalb des Elementarteilchens zu einer wesentlichen Unterscheidung der Teilchen voneinander führen können. Dann würden sich dynamische Gesetze für die Bewegung des Teilchens als Ausdruck seiner inneren gesetzmäßigen Beziehung ergeben. Zweitens kann sich die Bewegung eines Einzelteilchens aus der Bewegung einer zugrunde liegenden Gesamtheit ergeben. Diese neue Gesamtheit, beispielsweise ein Subquantenfeld mit sich bewegenden Subquanten, würde Aussagen über die Gesamtheit ermöglichen, die dynamischen Charakter für das Einzelteilchen als Repräsentanten der Gesamtheit hätten. In beiden Richtungen wird geforscht. Ergebnisse kann es nur über die Aufdeckung der inneren Struktur der Elementarteilchen geben.

Schon frühzeitig hat die Gruppe um de Broglie den Kampf gegen die dogmatische Erstarrung der physikalischen Entwicklung aufgenommen. De Broglie lehrte zwar, wie er selbst erklärt, seit 1927 die Wahrscheinlichkeitsdeutung der Quantentheorie, war jedoch mit den philosophischen [145] Schlußfolgerungen der Kopenhagener Deutung nicht einverstanden.<sup>147</sup> Anlässlich der Arbeiten seines Schülers Vigier betonte er die Notwendigkeit der weiteren physikalischen Forschung, um das dogmatische Festhalten an der Kopenhagener Interpretation zu durchbrechen.<sup>148</sup>

Auch Terlezki forderte das Aufdecken dynamischer Gesetze zur vollständigen Beschreibung des elementaren Geschehens. Dabei vertrat er die Auffassung, daß hinter jedem statistischen ein dynamisches Gesetz stecken müsse.<sup>149</sup>

Wie wir schon erwähnten, kann jedoch die vollständige Beschreibung des Zustands eines Einzelteilchens selbst wieder mit einer statistischen Theorie verbunden sein. Wenn auch die Entwicklung der Physik über die Richtigkeit oder Falschheit einer bestimmten physikalischen Konzeption entscheiden muß, so muß jedoch gleichzeitig jede Konzeption auch die philosophischen Resultate berücksichtigen, die durch Verallgemeinerung einer vorhergehenden Theorie gewonnen wurden. Solange eine Theorie mit Hilfe verborgener Parameter keine neuen Ergebnisse gegenüber der alten Quantenmechanik liefert, bedarf es dieser Theorie nicht. Aus der statistischen Deutung der Quantenmechanik entstehen keine philosophischen Schwierigkeiten für die deterministische Deutung der modernen Physik, die so grundsätzlicher Art wären, daß nur eine physikalische Theorie weiterhelfen könnte. Terlezki versichert jedoch, daß neue Resultate bereits vorliegen und nach Beseitigung mathematischer Schwierigkeiten in noch größerem Maße vorliegen werden.<sup>150</sup> Für die neue nichtlineare Theorie, die von de Broglie, Bohm, Vigier, Terlezki u. a. ausgearbeitet wurde, gilt, daß sie eine mögliche Variante

<sup>147</sup> Louis de Broglie und die Physiker, Hamburg 1955, S. 221.

<sup>148</sup> Louis de Broglie, Bleibt die Quantenmechanik indeterministisch?, in: Вопросы причинности в квантовой механике, Москва 1955, стр. 11 сл.

<sup>149</sup> J. P. Terlezki: Динамические и статические законы в физике, Москва 1949, стр. 20.

<sup>150</sup> J. P. Terlezki, Das Eindringen in die Tiefe der Elementarteilchen, in: Naturwissenschaft und Philosophie, Berlin 1960, S. 103 ff.

für die Weiterentwicklung der physikalischen Theorie gibt. Sie ist nicht etwa, wie es manchmal anklingt, aus philosophischer Notwendigkeit für die deterministische Interpretation der Quantenmechanik entstanden. Eine solche Interpretation liefert der dialektische Determinismus. Sie erfüllt jedoch ihre Aufgabe, wenn sie die physikalische Forschung weitertreibt.

Bei den Versuchen dieser Gruppe ist die Zugrundelegung materialistischer Thesen hervorzuheben. Daraus ergibt sich keineswegs schematisch eine physikalische Theorie. Da jedoch jede neue physikalische Theorie notwendig grundsätzliche philosophische Erörterungen erfordert, ist die bewußte An-[146]wendung des Materialismus zu begrüßen. Neben Terlezki<sup>151</sup>, Bohm<sup>152</sup> und anderen Physikern hebt auch Vigier die Bedeutung einer materialistischen Konzeption hervor. Er entwickelt die Prinzipien einer neuen Materiekonzeption: Ausgehend von der objektiven Natur der Materie und der Gesetze will er die unendliche Komplexität der Dinge zur Methode erheben. Jeder Bereich gibt nur grobe Merkmale des ihm zugrunde liegenden Niveaus. Der Raum besteht aus Bereichen, die Zeit aus Intervallen. Als zweiten Gedanken hebt er die Widersprüchlichkeit der Bewegung hervor. Drittens sollen die Gesetze als Ergebnis des Kampfes der Gegensätze im Inneren der Dinge aufgefaßt werden. Vigier schreibt dann:

„Um die allgemeine Wechselwirkung der Erscheinungen zu begreifen, erscheint es notwendig, sie aus ein und demselben materiellen Feld abzuleiten, das die gegensätzlichen Erscheinungen wechselweise hervorbringt und zerstört, wobei es durch die Widersprüche entgegengesetzter Tendenzen hindurch die Einheitlichkeit des Ganzen hervorruft und aufrechterhält.“<sup>153</sup>

Von den allgemeinen Merkmalen dieser Konzeption her ist sie mit den von uns gemachten philosophischen Erwägungen vereinbar. Die Schwierigkeit besteht jedoch darin, diese allgemeinen Merkmale in einer konkreten physikalischen Theorie zum Ausdruck zu bringen. Erst dort wird sich die konkrete Anwendung der Dialektik als nützlich erweisen. Die Weiterentwicklung der physikalischen Theorie muß sich nicht notwendig in der Aufdeckung eines tieferen Niveaus als dem von der Quantenmechanik untersuchten vollziehen. Jedenfalls wäre eine solche Vorstellung sehr plausibel. Vigier meint dazu: „Die Ordnung auf einer bestimmten Stufe verdeckt die Unordnung auf einer niederen Stufe. Die Materie, die wir beobachten, verdeckt unerschöpfliche Bewegungen, die Bewegung, die wir beobachten, verdeckt Schöpfung und Zerstörung auf viel tieferen Ebenen. Nochmals: Dies ist nur eine Orientierung, entscheiden muß die Erfahrung.“<sup>154</sup>

Vigier hat mit der Betonung der Erfahrung völlig recht. Entscheiden über die Richtigkeit einer Theorie werden die von ihr gelieferten Resultate, die im Experiment überprüft werden können. Der von dieser Gruppe vertretenen Theorie liegt im Einklang mit den von Vigier entwickelten philosophischen Prinzipien die Vorstellung von der Existenz eines realen Subquantenfeldes zugrunde, das durch einige Feldfunktionen erfaßt wird. Die [147] Bewegungsgleichung des Subquantenfeldes ist nichtlinear. Diese Nichtlinearität der Grundgleichung zeigt eine gewisse Annäherung an andere Theorien, wie sie beispielsweise von Heisenberg entwickelt wurde. Deshalb schreibt Terlezki: „Es besteht die begründete Aussicht, daß sowohl die Heisenbergsche als auch die de Brogliesche Variante von der nichtlinearen einheitlichen Theorie der Elementarteilchen zu einer allgemeinen, vollkommeneren Theorie führen wird. Diese Theorie wird in der Lage sein, das Massenspektrum und die Grundparameter der Elementarteilchen zu berechnen sowie die Grundeigenarten ihrer Struktur zu erklären.“<sup>155</sup>

Damit wendet sich die genannte Gruppe von Physikern immer mehr der Erforschung der inneren Struktur der Elementarteilchen zu, die auch von den Kritikern der de Broglieschen

<sup>151</sup> Ebenda.

<sup>152</sup> D. Bohm, *Причинность и случайность в современной физике*, Москва 1959.

<sup>153</sup> J. P. Vigier, *Eine neue Konzeption der Materie?*, in „Tagebuch“, Wien, Januar 1960, 15. Jg., Nr. 1.

<sup>154</sup> Ebenda.

<sup>155</sup> *Naturwissenschaft und Philosophie*, a. a. O., S. 112.

Richtung in der Physik als die nächste Aufgabe anerkannt wird. Dabei werden sich neue Einsichten für das Bewegungsproblem und die vollständige Beschreibung des Zustands einzelner Elementarteilchen ergeben. Es geht also nicht mehr um eine einfache physikalische Uminterpretation der Quantenmechanik, um damit eine Rückkehr zur klassisch-deterministischen Beschreibung des Ablaufs der Bewegung zu ermöglichen. Auch die Weiterentwicklung der Physik wird nicht zu einem solchen Ergebnis führen. Sie wird jedoch vielleicht zur Aufstellung von Gesetzen für das Verhalten von Einzelobjekten in dem bereits charakterisierten Sinn kommen. Das wäre jedoch keine Rückkehr zum klassischen Determinismus, da die Anerkennung der Existenz des objektiven Zufalls auch für die neue Theorie Bedingung wäre. Wenn bisher Zufälliges sich in anderer Beziehung (auf einem anderen Niveau) als notwendig erweisen sollte, so werden in dieser Beziehung (auf diesem Niveau) neue Zusammenhänge zufällig sein. Ob die konkrete physikalische Theorie der Gruppe um de Broglie Erfolg haben wird, kann nur die physikalische Forschung selbst zeigen.

c) Entwicklung einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen

Unsere Aufgabe kann es nicht sein, alle Einwände gegen die statistische Deutung der Quantentheorie zu untersuchen. Besondere Bedeutung für die physikalische Entwicklung haben solche Einwände, die auf Schwächen in der bisherigen Theorie hinweisen. Die Quantenmechanik ist experimentell bestätigt und hat durch die marxistischen Philosophen eine philosophisch richtige Interpretation erhalten. Es gibt zwar noch Probleme, die zu diskutieren sind. Sie betreffen jedoch nicht den formalen Apparat und die experimentelle Grundlage der Quantenmechanik, sondern ihre philosophische Interpretation. Dabei zeigten sich bei unseren Betrachtungen gewisse Ein-[148]schränkungen bei der Beschreibung der Bewegung und der Determiniertheit der Elementarobjekte. Diese Einschränkungen können nur durch den Fortschritt der physikalischen Theorie selbst geändert werden. Im vorhergehenden Abschnitt sahen wir gerade, daß die physikalische Entwicklung nur weiterführt, wenn man sich nicht nur die physikalische Uminterpretation der erreichten Ergebnisse zum Ziel stellt. Eine physikalische Uminterpretation hat nur Sinn, wenn sie zu neuen experimentell überprüfbaren Resultaten führt. Gerade das brachte den Fortschritt in den Arbeiten der Gruppe de Broglies mit sich.

Wir hatten dabei schon gesehen, daß die Weiterentwicklung der Physik wesentlich mit den Untersuchungen über die innere Struktur der Elementarteilchen verbunden ist. Heisenberg hat den Versuch unternommen, genauere Voraussagen über die Eigenschaften des Systems der Elementarteilchen zu machen. Aus einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen will er vor allem die Massen der Teilchen als Eigenlösungen des Materiefeldes erhalten. Die durch die ständige Entwicklung von Elementarteilchenbeschleunigern mögliche experimentelle Untersuchung der Elementarobjekte unter den verschiedensten Bedingungen hat ein umfangreiches experimentelles Material über die Elementarobjekte geliefert. Damit wird die Aufstellung einer Theorie der Elementarteilchen möglich und dringend erforderlich.

Besondere Bedeutung haben dabei die Arbeiten Hofstadters, der 1961 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurde. Bei einem Beschuß von Elektronen mit Protonen von rund einer Milliarde eV stellte er die Abhängigkeit der Ablenkung von der Richtung des Auftreffens fest. Es ergeben sich deutliche Abweichungen vom Streubild eines punktförmigen Protons. Hofstadter betrachtet das Proton als eine positiv elektrisch geladene Materiewolke mit einem Radius von 1,4 fermi ( $1 \text{ fermi} = 10^{-13} \text{ cm}$ ).

Mit diesen Experimenten ist jedoch noch keine Aussage über eine der strittigen Fragen der modernen Physik gemacht worden. Um einen eventuellen harten Kern des Protons nachweisen zu können, brauchte er Energien von mindestens sechs Milliarden eV. Beschleuniger von sehr großen Ausmaßen sind zur Zeit im Bau und werden weiteres Material zu dieser Frage liefern.

Auf dem Solvay-Kongreß des Jahres 1961 standen sich nach dem Bericht W. Heisenbergs zwei Richtungen in der Diskussion gegenüber. „Die konservative Richtung“, meint Heisenberg, „die auf der Konferenz hauptsächlich von dem Amerikaner Wightman vertreten wurde, geht von der Quantentheorie des elektromagnetischen Feldes aus, die schon vor dreißig Jahren formuliert worden war ... Bei den Elementarteilchen macht sie eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen eigentlichen Elementarteilchen, die [149] in ihrer Mitte ein ‚hartes‘ punktförmiges Zentrum besitzen, um welches herum sich eine ‚weiche‘ Energiewolke ausdehnt, und den zusammengesetzten Teilchen, in denen es ein solches Zentrum, als einen besonderen ausgezeichneten Feldpunkt nicht gibt.“<sup>156</sup>

Die radikale Richtung leugnet die Existenz von Teilchen mit einem harten punktförmigen Kern und den Unterschied zwischen einfachen und zusammengesetzten Teilchen. Sie benutzt die S-Matrix zur Beschreibung der Vorgänge.

Heisenberg selbst verneint ebenfalls den grundsätzlichen Unterschied zwischen elementaren und zusammengesetzten Teilchen, benutzt aber eine Feldtheorie zur Beschreibung.<sup>157</sup> Er erklärte bereits im Jahre 1955 zur Behandlung der Elementarteilchenprobleme mit Hilfe der Störungstheorie: „Wenn jedoch die Wechselwirkung mit wachsender Energie zunimmt, so muß die Konvergenz der Störungstheorie bei einer gewissen Energie aufhören. Es können dann beim Stoß zweier sehr energiereicher Teilchen viele neue Teilchen auf einmal erzeugt werden, aber die Störungstheorie ist zur Behandlung solcher Vorgänge prinzipiell ungeeignet.“<sup>158</sup>

Heisenberg verweist hier auf die Wechselwirkung als entscheidendes objektives Merkmal, das in der neuen Theorie zu berücksichtigen ist. Wir hatten bereits bei der Kritik der klassischen Bewegungsauffassung auf die Bedeutung der Wechselwirkung verwiesen, die die störungstheoretische Behandlung der Bewegung zu einer einseitigen Erfassung des Wesens der Bewegung macht. Zweifellos haben solche einseitigen Betrachtungen große Bedeutung für die Entwicklung der Erkenntnis. Jede Betrachtung hebt bestimmte Seiten der objektiv-realen existierenden Dinge und Erscheinungen hervor. Aber unsere Erkenntnis faßt das Wesen der objektiv-realen Vorgänge immer besser, bezieht immer mehr Seiten in die Untersuchung ein. Um die Wechselwirkung als Grundlage der Bewegung richtig erfassen zu können, leistete der dialektische Materialismus wichtige Vorarbeit. Er untersuchte allgemeinste Formen, in denen sich die Wechselwirkung vollzieht. Dazu gehören die Durchsetzung der Notwendigkeit im Zufall, die Verwirklichung von Möglichkeiten usw. Damit wurde der dialektische Determinismus nicht mehr auf die konkrete Vermittlung des Zusammenhangs (Kausalität) beschränkt, sondern es wurden weitere Formen des Zusammenhangs untersucht. Erst damit konnte die Determiniertheit der Dinge und Erscheinungen im Gesamtzusammenhang philosophisch genauer erfaßt werden. Die moderne Physik entwickelt nun in ihren Theorien eine physikalische Determinismusauffassung die ebenfalls den Zusammenhang tiefer erkennen muß. Damit geht sie zugleich über den klassischen Determinismus hinaus. Heisenberg schreibt dazu:

„Als obersten Grundsatz beim Suchen nach einer Theorie der Elementarteilchen wird man aufstellen müssen: Es wird sich bei einer solchen Theorie um eine Grundgleichung für die Materie, nicht aber für einzelne Elementarteilchen handeln, und aus dieser Grundgleichung für die Materie müssen sich alle Elementarteilchen etwa als Eigenlösungen ergeben. Daraus geht auch sofort hervor, daß die Elementarteilchen in dieser Theorie eine ähnliche Rolle spielen werden, wie die stationären Zustände eines komplizierten atomaren Systems in der Quantenmechanik ... Ferner entstehen hier die Elementarteilchen sozusagen gleichzeitig mit ihrer

<sup>156</sup> K. Rudzinski, *Ins Innerste der Materie*, in: Frankfurter Allgemeine vom 2. 12. 1961.

<sup>157</sup> Ebenda.

<sup>158</sup> W. Heisenberg, *Der gegenwärtige Stand der Theorie der Elementarteilchen*, in: *Die Naturwissenschaften*, 42. Jg., H. 24, 1955, S. 638.

Wechselwirkung; der Begriff des freien Teilchens ohne Wechselwirkung wird also sinnlos. Alle Versuche, die Massen der Elementarteilchen aus Gleichungssystemen zu bestimmen, die noch keine Wechselwirkung enthalten, sind also von vornherein zum Scheitern verurteilt.<sup>159</sup>

Wir hatten den klassischen Determinismus als einen Versuch gezeigt, die Bewegung von Körpern in ihrem Ablauf zu beschreiben. Dieser Versuch war für die Beschreibung relativ isolierter Körper, deren Wechselwirkung in Beziehung auf den Körper zufällig war, gelungen. Wir hatten bereits auf die verschiedenen Formen der Wechselwirkung, die für die Bewegung entscheidend sind, hingewiesen. Dabei wurden die innere, die notwendige Wechselwirkung mit der Umgebung und die zufällige äußere Wechselwirkung unterschieden. Jede dieser Formen der Wechselwirkung kann natürlich in Gesetzen, die vom Stand unserer Erkenntnis abhängig sind, gefaßt werden. Das ist möglich, weil objektive Gesetze diese Wechselwirkung bestimmen. Die klassische Mechanik erfaßte den Ablauf der Bewegung relativ isolierter Körper und ihre zufällige Wechselwirkung (Stoß, Druck). Die Quantenmechanik erfaßte im wesentlichen die Bewegung der Elementarobjekte ebenfalls in ihrer Wechselwirkung. Sie mußte bereits die anderen Formen der Wechselwirkung einbeziehen, abstrahierte aber noch von der inneren Struktur. Sie entwickelte deshalb Gesetze, die einerseits den Ablauf der Bewegung statistisch beschrieben und die Wechselwirkung der Elementarobjekte mit anderen Elementarobjekten erfaßten. Wesentlich in einer neuen Theorie sind vor allem Aussagen über die innere Struktur der Elementarobjekte. Damit werden sich auch neue Einsichten in die Beschreibung der Bewegung ergeben.

[151] Indem Heisenberg von der physikalischen Seite auf die Einbeziehung der Wechselwirkung als notwendigen Bestandteil der physikalischen Theorie der Elementarteilchen verweist, erfaßt er auch philosophisch die Bewegung tiefer als der klassische Determinismus. Die Einbeziehung der Wechselwirkung als inneres Merkmal der Gleichung ist eine Widerspiegelung der objektiven Bewegung, die nur als Wechselwirkung gefaßt werden kann. Damit erscheint aber auch die Wechselwirkung nicht mehr als durch die Beobachtung hervorgerufen, sondern als wesentliches objektives Merkmal der Bewegung.

Die moderne Physik erfaßt das Wesen der Bewegung der Materie in ihren physikalischen Erscheinungsformen tiefer. Damit nähert sie sich immer mehr an allgemeinste philosophische Aussagen an. Andererseits muß die marxistische Philosophie ihre Aussagen weiter konkretisieren. Sie wird dabei nicht zu Aussagen physikalischen Charakters kommen. Aber Physiker und Philosophen werden und können sich bei der Diskussion theoretischer Fragen der modernen Physik begegnen. Noch sind die Aussagen über verschiedene Formen der Wechselwirkung, über die allgemeinsten Formen des Determinismus sehr allgemein. So könnte die festgestellte Übereinstimmung zwischen der philosophischen Forderung nach Untersuchung der Bewegung als Wechselwirkung und der physikalisch notwendigen Einbeziehung der Wechselwirkung als direkter Bestandteil des Gleichungssystems als unbefriedigend bezeichnet werden. Das ist jedoch nicht der Fall. Beide Forderungen sind mit anderen Aussagen, Forschungsarbeiten usw. verbunden. Die Philosophie untersucht die Formen dieser Wechselwirkung. Die Physik muß das gleiche tun. Sie muß die verschiedenen Formen, in denen sich die Wechselwirkung vollzieht, in den Gleichungen richtig erfassen. Demzufolge sind physikalische Diskussionen um den Übergang von der störungstheoretischen Behandlung der Bewegung der Elementarteilchen zur Einbeziehung der Wechselwirkung als innere Bedingung von eminenter philosophischer Bedeutung. Damit kann von den Philosophen keinesfalls die störungstheoretische Betrachtung als überholt dargelegt werden. Aber sie können auf die Bedeutung beider Betrachtungsweisen im Hinblick auf eine philosophische Bewegungstheorie eingehen. Die Zukunft wird die Wichtigkeit gemeinsamer Diskussionen zwischen Physikern und Philosophen um die Entwicklung der physikalischen und philosophischen Theorien erweisen.

---

<sup>159</sup> Ebenda, S. 640.

Auch die von Heisenberg geforderte Widerspiegelung der Materie als Ganzes in einer Grundgleichung trägt viel allgemeineren Charakter als die vorhergehenden Theorien. Damit erhöht sich aber auch der komplizierte Charakter der mathematischen Behandlung. Je genauer wir die Wirklichkeit erfassen, desto mehr Seiten müssen wir berücksichtigen. Es handelt sich dabei nicht um die Summe der Seiten, die beachtet werden müssen, denn wir decken [152] immer allgemeinere Beziehungen auf. Aber aus dieser Grundgleichung müssen sich dennoch alle wesentlichen experimentellen Ergebnisse folgern lassen, wenn wir die entsprechenden Randbedingungen einsetzen. Konnten wir in der klassischen Theorie noch bestimmte Grundeigenschaften der Materie, wie Wellen- und Korpuskeleigenschaften auf verschiedene materielle Objekte verteilen, so war das bereits in der Quantenmechanik nicht mehr möglich. Bei einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen werden uns immer mehr dieser objektiven dialektischen Widersprüche begegnen, die im Denken, und vor allem in der mathematischen Formulierung, richtig widergespiegelt werden sollen. So erweist sich die Forderung nach Symmetrie als ein wesentliches Merkmal für die allgemeine Theorie. Sie wird jedoch durch das Experiment für bestimmte materielle Bereiche als durchbrochen nachgewiesen. Es ergibt sich eine bestimmte Anhäufung von Teilchen gegenüber den Antiteilchen in dem uns bekannten Bereich des Weltalls, ebenso haben die Teilchen eine bestimmte Spiralität. Pfozter trifft dazu folgende Feststellung:

„Mit der erwiesenen Spannweite der Teilchensymmetrie vom Elektron zum Nukleon nehmen die vordem noch rein spekulativen Vorstellungen über nur strukturell verschiedene Erscheinungsformen einer einheitlichen Grundsubstanz Energie (Heisenberg) deutliche Umrisse an. Sie berechtigt zu der Hoffnung, daß die Vielgestaltigkeit der Elementarteilchen, die seit den dreißiger Jahren das kurz vorher nahezu befriedigende Bild vom Aufbau der Materie mehr und mehr verwirrte, schließlich in die Erkenntnis einer noch großartigeren Einfachheit des Bauplans unserer rational faßbaren Welt einmünden wird.“<sup>160</sup>

Dieser Hoffnung geben viele theoretische Physiker Ausdruck. Jedoch verweist beispielsweise Iwanenko auf die Probleme der Anhäufung von Teilchen mit bestimmten Eigenschaften in unserem Bereich.<sup>161</sup> Diskutiert man dieses Problem vom philosophischen Standpunkt, so erweist sich die allgemeine Forderung der Symmetrie als vollständig berechtigt. Sie findet ihre Begründung in der allgemeinen These von der Unendlichkeit der Materie. Wenn die Materie unendlich ist, dann muß sie auch alle Erscheinungsformen in allen möglichen Zuständen besitzen. Mathematisch gesehen müssen Reaktionsgleichungen von links nach rechts und von rechts nach links gelesen werden können, d. h. wirkliche Reaktionen in beiden Richtungen widerspiegeln. Andererseits kann es auf Grund bestimmter Bedingungen in be-[153]stimmten Bereichen des unendlichen Alls Konzentrationen von Materieformen mit ganz bestimmten Eigenschaften geben. Dadurch wird die Symmetrie in diesem Bereich durchbrochen. Philosophisch gesehen geht damit in die physikalische Betrachtung das Problem der Symmetrie und Asymmetrie als Beziehung zwischen Endlichkeit und Unendlichkeit ein. Das wirft neue Probleme für die Forderungen an die einheitliche Elementarteilchentheorie auf. Die Einheit der Welt ist eine Einheit von qualitativ verschiedenen Materieformen. Eine einheitliche Theorie der physikalischen Zustände wird sich deshalb nicht nur mit einer Grundsubstanz begnügen können. Im Laufe ihrer Entwicklung wird sie zur Betrachtung verschiedener solcher Grundsubstanzen übergehen müssen, die die Grundeigenschaften der physikalischen Erscheinungsformen der Materie widerspiegeln. Der Versuch, eine einheitliche physikalische Theorie mit einer Grundsubstanz zu finden, ist jedoch völlig berechtigt. Damit wird ein notwendiger Schritt zur neuen Erkenntnis gegangen. Dabei muß man sich schon jetzt über den komplizierten Charakter der Feldgröße im klaren sein, die die Materie widerspiegeln soll. In

<sup>160</sup> G. Pfozter, Antiproton und Antineutron, in: Physikalische Blätter, 13 (1937), S. 164.

<sup>161</sup> D. Iwanenko, Bemerkungen zu einer einheitlichen nichtlinearen Theorie der Materie, in: Max-Planck-Festschrift, Berlin 1958, S. 357.

ihr sind die bereits bekannten Widersprüche zwischen Symmetrie und Asymmetrie und weitere Widersprüche mit gesetzt. Das hat große Bedeutung für die sich ergebenden philosophischen Schlußfolgerungen.

Für die Arbeit auf dem Gebiet der philosophischen Probleme der Physik ergibt sich aus den Bemühungen der Physiker um eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen die Aufgabe, das vorhandene theoretische Material philosophisch zu verallgemeinern und an der Diskussion um die Weiterentwicklung der Physik teilzunehmen. Als Hilfe für diese Diskussion gilt es vor allem, die Hinweise der Physik für eine allgemeine Theorie der Bewegung und des Determinismus weiter zu verarbeiten und die Widerspiegelung dialektischer Widersprüche im Denken exakter zu erforschen.

Indem die Physik in ihren Theorien immer genauer die dialektischen Widersprüche erfaßt, bringt sie selbst das dialektisch-materialistische Denken unter den Physikern hervor. Diese prinzipielle Feststellung darf einerseits nicht über den Schwierigkeiten einer philosophischen Diskussion physikalischer Probleme vergessen werden. Andererseits darf sie nicht die ganze Kompliziertheit der philosophischen Verallgemeinerung verdecken. Physikalische Aussagen sind noch keine philosophischen Gesetze. Die falsche Verallgemeinerung physikalischer Aussagen kann schnell zu falschen philosophischen Thesen führen, wie die positivistischen Tendenzen einiger Vertreter der Kopenhagener Interpretation zeigten.

Die Erörterungen in diesem Abschnitt sollten darauf hinweisen, daß die deterministische Deutung der Quantenmechanik nicht von der Entwicklung der Physik selbst abhängig ist. Die durch die experimentelle Situation be-[154]stätigten Ergebnisse, also die Gesetze der Quantenmechanik, einschließlich der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen, stimmen mit dem dialektischen Determinismus überein. Der klassische Determinismus ist nicht mehr in der Lage, die Ergebnisse der modernen Physik philosophisch zu erfassen. Der klassische Determinismus ist jedoch auch nur eine historisch berechtigte Stufe auf dem Wege zur Erkenntnis der objektiven Determiniertheit. Der dialektische Determinismus erfaßt die Kompliziertheit der Bedingtheit und Bestimmtheit der Dinge und Erscheinungen im objektiven Gesamtzusammenhang. Er untersucht selbst die wesentlichen Formen dieses Zusammenhangs und ist in diesem Sinne nie abgeschlossen. Mit der Entdeckung neuer Beziehungen durch die Einzelwissenschaft erweisen sich bestimmte, bislang unwesentliche Formen des Gesamtzusammenhangs als wesentlich. Das gilt zum Beispiel für die Untersuchung verschiedener Formen der Wechselwirkung in der Physik und die Änderung des Begriffs Möglichkeit in der physikalischen Forschung.<sup>162</sup> Damit wird auch im dialektischen Determinismus die Ausarbeitung ganz bestimmter Seiten wichtig.

Die Weiterentwicklung der Physik hat nun einerseits keine Negierung der getroffenen philosophischen Verallgemeinerungen zur Folge, da sich die physikalischen Ergebnisse einer bestätigten Theorie immer wieder als Grenzfall einer neuen Theorie ergeben. Andererseits bestätigt eine neue Theorie die philosophischen Thesen tiefer und genauer. Sie ist eine tiefere Erfassung der objektiven Bewegung und Determiniertheit physikalischer Objekte. Damit nähert sie sich auch mehr der philosophischen Theorie an und beseitigt Mängel der physikalischen Theorie, die durch die philosophische Analyse ebenfalls sichtbar wurden. So untersucht eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen die Formen der Wechselwirkung und damit die objektive Determiniertheit genauer als die klassische Physik.

---

<sup>162</sup> Vgl. H. Hörz, Bemerkungen zum Begriff des Faktischen in der Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik in: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, Heft 1/1962, S. 80 ff.

### 3. Über das Verhältnis von dynamischen und statistischen Gesetzen

Aus den bisherigen Ausführungen ergeben sich bereits wesentliche Hinweise für die Behandlung des Verhältnisses von dynamischen und statistischen Gesetzen.<sup>163</sup> Die deterministische Deutung der Quantentheorie schließt [155] die statistischen Gesetze ein. Versuche der absoluten Entgegenstellung von dynamischen und statistischen Gesetzen müssen scheitern. Dynamische Gesetze bestimmen eindeutig die Veränderung eines Systems, wobei die Kenntnis des Anfangszustandes des Systems mit Hilfe des Gesetzes den Endzustand des Systems liefert. Dabei wird bei der Untersuchung der objektiven Gesetze und ihrer Formulierung bewußt von möglichen äußeren Einwirkungen abgesehen, um die gesetzmäßige Veränderung des Systems auf Grund der objektiven wesentlichen und notwendigen Beziehungen des Systems erfassen zu können.

Statistische Gesetze erfassen dagegen nicht den eindeutigen Ablauf der Veränderung, da sich aus der Kenntnis des Anfangszustands keine eindeutige Vorhersage des Endzustands ergibt. Bei beiden Formulierungen sind wir noch in der Sphäre der Widerspiegelung geblieben. Wir haben die Rolle der dynamischen und statistischen Gesetze mit Hilfe der Vorhersagbarkeit des zukünftigen Zustands bestimmt. Wir müssen später noch die objektiven Grundlagen untersuchen, die zu dieser Verschiedenheit in der Voraussagbarkeit führen. Erst dann haben wir den wirklichen Zusammenhang zwischen dynamischen und statistischen Gesetzen sowie der objektiven Determiniertheit erfaßt.

a) Die Bedeutung statistischer Aussagen

Für die Beschreibung der Bewegung der Elementarobjekte hat die Statistik große Bedeutung. Die Bewegung wird in der Schrödingergleichung als stetige Änderung des Zustands  $\psi$  erfaßt. Dieser Zustand ist aber keine direkt meßbare Größe. Zur Messung müssen wir die Bewegung unterbrechen, das Resultat der Bewegung erfassen.

Messen kann man den Ort oder den Impuls der Objekte. Wollen wir eine Aussage über den Ort eines Teilchens erhalten, so ergibt sich als Vorhersage aus der Gleichung ein Mittelwert für  $x$ :  $(\psi, x \psi) = \int \psi^* x \psi dr^3 = x$ .

Interpretieren wir  $\psi^2$  als Wahrscheinlichkeitsdichte, so ist  $x$  eine Wahrscheinlichkeit für die Lage des Teilchens. Daraus ergibt sich eine bestimmte Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Teilchen und damit eine notwendige Voraussage für die Gesamtheit von Teilchen. Solche genau voraussagbaren Ereignisse für eine Gesamtheit von Teilchen sind z. B. die Aussagen, daß [156] nach einer genau angebbaren Zeit die Hälfte der Kerne einer beliebigen radioaktiven Substanz zerfallen sind. Diese Halbwertszeit ist bekannt. Wir können auch die Intensitätsverteilung von Elementarobjekten nach der Beugung beim Auftreffen auf eine Photoplatte oder Zählrohre angeben. Aus der zufälligen Bewegung einzelner Teilchen ergibt sich die notwendige Intensitätsverteilung. Aus dem zufälligen Zerfall hinreichend vieler einzelner Kerne ergibt sich die Zeit, nach der notwendig die Hälfte der Atome zerfallen sein muß. Der zufällige Zerfall des einzelnen Atoms, die zufällige Bewegung des einzelnen Elementarobjekts sind also Ausdruck der inneren Notwendigkeit der Gesamtheit sich bewegender Teilchen oder Atome. Dabei ist das zufällige Verhalten des einzelnen Atoms nicht grundlos, aber unwesentlich für die Aussage über die Gesamtheit. Wir können hier mit Engels sagen: Man

---

<sup>163</sup> Der Begriff des Gesetzes wird in der marxistischen Literatur in verschiedener Weise verwandt. Er dient erstens zur Kennzeichnung der objektiven notwendigen, allgemeinen und wesentlichen Beziehungen. Dabei unterscheidet sich der Begriff Gesetz vom Begriff Gesetzmäßigkeit. Unter Gesetzmäßigkeit verstehen wir die Gesamtheit der [155] Gesetze in einem objektiven Bereich. Zweitens wird der Begriff Gesetz zur Kennzeichnung der vom Menschen formulierten und erkannten gesetzmäßigen Beziehungen benutzt.

In diesem Sinne sprechen wir auch in unserer Arbeit vom Fallgesetz, von bestimmten dynamischen und statistischen Gesetzen und meinen damit die vom Menschen erkannten Beziehungen. Dabei sind die vom Menschen erkannten Beziehungen Widerspiegelungen der objektiven gesetzmäßigen Zusammenhänge.

könnte alle Physiker der Welt damit beschäftigen, die Gründe für den Zerfall eines ganz bestimmten Atoms zu suchen. Aber das wäre pure Spielerei und keine Wissenschaft mehr. Die Wissenschaft untersucht die notwendigen Beziehungen, die zwischen wesentlichen Seiten der wirklichen Prozesse bestehen.

Untersuchen wir die notwendigen Beziehungen zwischen wesentlichen Seiten einer Gesamtheit, wie z. B. den Zerfall von Atomen oder der Bewegung von Elementarobjekten, so müssen wir eine Vielzahl von gleichartigen Erscheinungen analysieren. Dabei wird vom Individuellen, vom Einzelnen abstrahiert und das Allgemeine hervorgehoben. So gelingt es aus einer Vielzahl von Zufällen, die innere Notwendigkeit aufzudecken. Verfahren wir in dieser Weise bei den Elementarobjekten, d. h., abstrahieren wir von den individuellen Eigenschaften und Beziehungen. und untersuchen ihre allgemeinen, wesentlichen Beziehungen, so erhalten wir die Gesetze, die ja eben die allgemeinen und notwendigen Beziehungen zwischen wesentlichen Seiten dieser Gesamtheit zum Ausdruck bringen. Diese Gesetze lassen aber für das Verhalten des einzelnen Objekts stets einen gewissen Spielraum. Das Gesetz setzt sich in dem Verhalten der einzelnen Objekte als Tendenz durch, als die dem zufälligen Verhalten eigene Notwendigkeit.

Suchen wir Gesetze für das Verhalten der Teilchen, so können wir auf Grund der uns bekannten Gesetze Rückschlüsse auf das Verhalten der Einzelteilchen ziehen. Die moderne Physik untersuchte die statistische Verteilung der Elementarobjekte und ist heute dabei, das statistische Verhalten theoretisch zu deuten. Dabei wurde versucht, die Statistik dem Determinismus entgegenzusetzen. Wir haben bisher bereits gesehen, daß es keine ursachelosen Sprünge gibt. Damit muß aber auch der Gegenüberstellung von Statistik und Determinismus ein Fehlschluß zugrunde liegen. Mises schreibt [157] dazu in seinem Aufsatz „Über kausale und statistische Gesetzmäßigkeit in der Physik“:

„Die rationelle Atomistik seit D. Bernoulli ist der Versuch, den Determinismus zu retten. Sie hat den Determinismus nicht gerettet, ja, sie ist ihm überhaupt keine Stütze geworden. Alle tatsächlichen Erfolge der physikalischen Atomistik von Boltzmann an sind ausschließlich dadurch erzielt worden, daß man den Ansätzen der klassischen Physik statistische Überlegungen hinzugefügt hat.“<sup>164</sup>

Mises stellt zwei Voraussetzungen für die Statistik auf: 1. Vielheit, d. h. eine große Zahl von Einzelercheinungen, 2. molekulare Unordnung, d. h. Regellosigkeit der Anordnung. Damit wird in der Statistik die Voraussetzung dafür geschaffen, das Wesen des Verhaltens dieser Einzelercheinungen zu erfassen. Aber die bloße statistische Beschreibung einer Vielzahl von Fällen bringt das Wesen nicht offen zum Ausdruck. Zugleich muß für die statistische Beschreibung von den wirklichen Beziehungen zwischen den Einzelercheinungen abgesehen werden. Das ist die zweite Voraussetzung bei Mises. Werden nun, wie es im Positivismus der Fall ist, nur Beobachtungstatsachen beschrieben, so gibt es für das Verhalten der Einzelercheinungen nur die statistische Beschreibung. Die tatsächlich vorhandenen Beziehungen zwischen den Einzelercheinungen werden damit als nicht vorhanden betrachtet, da sie ja in der statistischen Beschreibung gerade vernachlässigt werden. Wenn wir von den individuellen Besonderheiten, Beziehungen usw. absehen, sind wir zwar in der Lage, das Verhalten der Elementarobjekte zu beschreiben, aber wir können nicht die allgemeinen Beziehungen zwischen ihnen aufdecken und so das Wesen ihrer Bewegung begreifen, da wir von jeglichen Beziehungen überhaupt abstrahiert haben. Statistische Überlegungen und ihre Richtigkeit sind damit zwar keine Stütze, aber auch keine Widerlegung der Kausalität. Deuten wir die Statistik positivistisch, so erhalten wir beziehungslose Einzelfakten, für deren Verteilung die statistischen Gesetze gelten. Da wir von den kausalen Beziehungen abstrahiert haben, können

<sup>164</sup> R. v. Mises in: Erkenntnis, Bd. I (1930), S. 195.

wir auch keine Aussage über die Kausalität oder Akausalität der Welt machen. In folgender Weise könnte etwa ein Positivist argumentieren:

Ich habe die Beobachtungsapparaturen, die sich nach den klassischen Gesetzen verhalten. Also gilt hier der klassische Determinismus. Ich habe die Elementarobjekte, deren Zustand sich entweder nicht oder stetig entsprechend der Schrödingergleichung ändert. Mit der Schrödingergleichung ist die Bewegung der Elementarobjekte determiniert. Will ich jedoch mit meinen Apparaten Aussagen über die Elementarobjekte erhalten, dann füh-[158]ren die Unbestimmtheitsrelationen zu Unbestimmtheiten von Ort, Impuls, Energie, Zeit usw. Diese Unbestimmtheiten sind ursachelos, da sie sowohl die Stetigkeit des durch die Schrödingergleichung beschriebenen Ablaufs durchbrechen als auch dem klassischen Determinismus zuwiderlaufen. Ich kann aber das Verhalten der Objekte bei der Beobachtung statistisch beschreiben. So erhalte ich statt der deterministischen Beschreibung der Vorgänge in Raum und Zeit deren statistische Beschreibung, während der Determinismus für die klassischen Apparate und die unbeobachteten Elementarobjekte gilt: Statistische und kausale Gesetzmäßigkeiten schließen also einander aus, sind komplementär. Soweit der angenommene Gedankengang eines Positivisten.

Hier wird die Kausalität nicht als Vermittlung des Zusammenhangs genommen. Nur so kann es geschehen, daß die Wechselwirkung zwischen verschiedenen Elementarobjekten als Nachweise für die Akausalität angesehen wird. So paradox es klingt: Die Positivisten „beweisen“ die Akausalität, indem sie neue kausale Zusammenhänge aufdecken. Diese Paradoxie ist eben durch die Beschränktheit der klassischen Kausalitätsauffassung entstanden, wo entweder zur gleichen Zeit an einem bestimmten Ort eine Wechselwirkung stattfand (Stoßprozeß), bei der keine Unbestimmtheit des Impulses auftrat, oder irgend etwas sich stetig, ohne Wechselwirkung bewegte, wobei der sich bewegende Körper zur gleichen Zeit sich stets an einem bestimmten Ort befand. Diese Auffassung wurde durch die Unbestimmtheitsrelationen widerlegt. Die neuerkannten kausalen Zusammenhänge widersprechen also der bisherigen Kausalitätsauffassung, zeigten die Relativität der von der klassischen Physik gemachten Erkenntnisse.

Die Vertreter der positivistischen Deutung setzten nun die bisherige Erkenntnis der Kausalität mit der objektiven Kausalität gleich und behaupteten, daß die objektive Kausalität durch die Unbestimmtheitsrelationen widerlegt sei. Sie gaben den Materialismus auf, um die Beschränktheit des klassischen Determinismus beizubehalten.

Die Materialisten dagegen zeigen die Beschränktheit des klassischen Determinismus. So schreibt Schpolski: „Es ist keineswegs erstaunlich oder paradox, daß wir den Zustand von Mikroteilchen *mit den ihnen nicht eigenen Begriffen der klassischen Mechanik* nicht genau beschreiben können, sondern eine statistische Methode benutzen müssen. Hieraus kann man jedoch auf keinen Fall den Schluß der Unhaltbarkeit des Kausalitätsgesetzes in der Mikrowelt ziehen. Es zeigt sich nur, daß die quantitative Formulierung des Kausalitätsprinzips für ein System kleiner fester Körper auf Mikroteilchen nicht anwendbar ist und daß die Beschreibung des Zustandes eines Mikroteilchens durch [159] Angabe der gleichzeitigen Werte aller Koordinaten und aller Impulse nicht der Natur des Mikroteilchens entspricht.“<sup>165</sup>

Die Bedeutung der Statistik liegt in der Beschreibung des Verhaltens von Einzelercheinungen, ihrer statistischen Verteilung. Die Statistik gibt wichtige Hinweise für die Erfassung des Wesens der objektiven Bewegung der Elementarobjekte, aber sie reicht dazu nicht aus.

Lenin untersucht in einer ganz anderen Beziehung die Bedeutung der Statistik. Seine Bemerkungen sind jedoch auch für unsere Betrachtungen wesentlich:

---

<sup>165</sup> E. W. Schpolski, *Atomphysik*, Bd. 1, Berlin 1960, S. 366.

„Tatsachen sind, nimmt man sie in ihrer *Gesamtheit*, in ihrem *Zusammenhang*, nicht nur ‚hartnäckige‘, sondern auch unbedingt beweiskräftige Dinge. Nimmt man aber einzelne Tatsachen, losgelöst vom Ganzen, losgelöst aus ihrem Zusammenhang, sind die Daten lückenhaft, sind sie willkürlich herausgegriffen, dann ist es eben nur ein Jonglieren mit Daten ... Man muß versuchen, aus exakten und unbestreitbaren Tatsachen ein Fundament zu errichten, auf das man sich stützen kann ... Damit es wirklich ein Fundament wird, kommt es darauf an, nicht einzelne Tatsachen herauszugreifen, sondern den Gesamtkomplex der auf die betreffende Frage bezüglichen Tatsachen zu betrachten, ohne eine einzige Ausnahme ...“<sup>166</sup>

Die Bedeutung der Statistik – auch der physikalischen Statistik – besteht darin, daß sie uns das Material für das zu errichtende Fundament liefert, auf das wir uns bei der Deutung der Unbestimmtheitsrelation stützen wollen. Aber sie gibt uns nicht die Deutung selbst und zeigt uns nicht die Tatsachen in ihrer Gesamtheit, in ihrem Zusammenhang. Man muß also letzten Endes von ihr aus weitergehen, um das Wesen der physikalischen Prozesse aufzudecken. Die physikalische Statistik zeigt die Besonderheiten der Bewegung der Elementarobjekte, ihre Verteilungen beim Auftreffen auf einer Photoplatte. Sie weist nach, daß die gleichzeitige Bestimmung von Ort und Impuls nicht möglich ist. Von ihren Ergebnissen aus muß man zum Wesen der Bewegung vordringen, das wir als dialektischen Widerspruch charakterisierten. Damit wird jedoch lediglich die philosophische Verallgemeinerung des durch die Statistik gelieferten Materials vorgenommen. Die einzelwissenschaftliche Aufgabenstellung, die sich daraus ergibt, besteht in der einzelwissenschaftlichen Erfassung des Wesens der Bewegung. Der bekannte Sowjetwissenschaftler Gnedenko gibt drei Aufgaben der Statistik an:

- „1. Die Sammlung statistischer Daten, d. h. von Angaben, die einzelne Besonderheiten irgendwelcher Massenerscheinungen charakterisieren, [160]
2. die statistische Untersuchung der gewonnenen Daten; sie besteht in der Aufdeckung der Gesetzmäßigkeiten, die man auf Grund der gegebenen Massenbeobachtungen feststellen kann,
3. die Ausarbeitung von Verfahren zur statistischen Kontrolle und zur Analyse der statistischen Daten.“<sup>167</sup>

Bei dieser Kennzeichnung der Aufgaben der Statistik weist der zweite Punkt zugleich über ihren Rahmen hinaus. Die Gesetzmäßigkeiten, die wir auf Grund der Massenbeobachtungen feststellen können, sind nicht nur statistische Gesetze über die Intensitätsverteilung usw., sondern Ausdruck notwendiger Beziehungen zwischen wesentlichen Seiten. Während wir bei der Sammlung der Daten von den Beziehungen zwischen den Einzelercheinungen abstrahieren, muß unsere Untersuchung des Materials die wesentlichen Beziehungen zwischen den Einzelercheinungen aufdecken. Wir dürfen also nicht nur die statistische Frage nach dem Verhalten beantworten, indem wir zeigen, wie sich die Einzelercheinungen verhalten, sondern wir müssen auch die Frage nach dem „Warum“ beantworten. Die Beantwortung der letzten Frage ist zwar nie abgeschlossen, da die Gesetze die wesentlichen, nicht aber alle Seiten zum Ausdruck bringen, aber die Erkenntnis des Wesens der objektiven Prozesse hilft uns bei der Ausnutzung der Prozesse im Dienste des Menschen, da sie eine Voraussage erlaubt, die praktisch ausreichend ist. So waren und sind die Voraussetzungen der klassischen Physik praktisch ausreichend für kleine Geschwindigkeiten mit vernachlässigbarer Wechselwirkung bei bewegten Körpern mit anderen, sehr viel kleineren. Die Statistik der Elementarobjekte wies darauf hin, daß die Voraussagen der klassischen Physik im Gebiet der Elementarobjekte nicht zutreffen. Die Erkenntnis des Wesens der makrophysikalischen war also nur ein Teil des Wesens der physikalischen Prozesse. Die Statistik zeigte, daß neue, bisher unbeachtete Zusammenhänge bestehen müssen. Diese Zusammenhänge waren die Wechselwirkung und

<sup>166</sup> W. I. Lenin, Statistik und Soziologie, in: W. I. Lenin, Werke, Bd. 23, Berlin 1957, S. 205 f.

<sup>167</sup> B. W. Gnedenko, Lehrbuch der Wahrscheinlichkeitsrechnung Berlin 1957, S. 199.

die relativ hohen Geschwindigkeiten der Elementarobjekte. Die Statistik war damit zugleich die Probe auf die Kausalität. Sie bestätigte nicht die bisher bestehende Auffassung. Es mußten also Ursachen dafür vorhanden sein, weshalb sich die Elementarobjekte anders als die klassischen Objekte verhielten. Die Statistik zeigte diese Ursache nicht. Man mußte dazu die Beschränktheit der klassischen Bewegungsauffassung beseitigen und damit tiefer in das Wesen der physikalischen Bewegung eindringen, um eine Erklärung für das statistische Verhalten der Elementarobjekte zu erhalten. Der dabei aufgedeckte dialektische Charakter der Bewegung gab die gewünschte Erklärung, erforderte aber zugleich auch die Aufhebung der Beschränktheit des klassischen Determinismus. Bisher unwesentliche Zusammenhänge wurden für die Erfassung des Wesens der Bewegung der Elementarobjekte bedeutsam. Das mußte auch zu einer anderen als der klassischen Statistik führen. Während der Interpretation der klassischen Statistik die klassische Bewegungsauffassung zugrunde lag, mußte die Deutung der Quantenstatistik die Einseitigkeit dieser Bewegungskonzeption überwinden. In der Statistik mußten bisher unwesentliche Zusammenhänge zwischen Ort und Impuls, Energie und Zeit beachtet werden. Sie gab nicht mehr die Bewegung isolierter, langsam sich bewegender Körper wieder, sondern die Bewegung wechselwirkender Elementarobjekte, die sich mit hoher Geschwindigkeit bewegten. Damit änderte sich auch der Charakter der Voraussagen über den wirklichen Zustand eines einzelnen Körpers oder Elementarobjekts. Während der klassische Determinismus absolut genaue Voraussagen für diesen Zustand ermöglichte, folgt aus der dialektischen Bewegungsauffassung, daß absolut genaue Voraussagen für Einzelercheinungen nicht möglich sind. Es ergeben sich für das Verhalten des sich bewegenden Elementarobjekts Wahrscheinlichkeitsaussagen. Aber nicht alle Voraussagen sind Wahrscheinlichkeitsaussagen. Das Verhalten der Gesamtheit von Elementarobjekten kann um so genauer ausgesagt werden, je größer die Gesamtheit ist.

Dieser Zusammenhang von Wesen und Statistik zeigt uns auch, daß der Entwicklungsprozeß der modernen Physik bei weitem noch nicht abgeschlossen ist. Physik ist eben nicht nur die Sammlung statistischen Materials, philosophisch gesagt, die Aufdeckung von Beziehungen zwischen Beobachtungstatsachen, sondern auch die Deutung des statistischen Materials, die Aufdeckung des Wesens der uns umgebenden physikalischen Prozesse. Diese Aufdeckung trägt Prozeßcharakter, wie uns die Entwicklung der bisherigen Physik zeigt.

b) Objektive Unterscheidungsmerkmale der dynamischen von den statistischen Gesetzen

Wir hatten bereits auf die Unterscheidung der Gesetze durch die Art der Voraussagbarkeit hingewiesen. Dabei galt es zunächst, die Auffassung zurückzuweisen, daß die statistischen Gesetze der objektiven Kausalität widersprechen. Darin erschöpft sich jedoch nur eine Seite der philosophischen Aufgabe. Es kommt darauf an, Merkmale herauszuarbeiten, die tatsächlich eine Unterscheidung zwischen beiden Gesetzen aus den Formen der objektiven Determiniertheit heraus gestatten. Damit wird dann zugleich der Unterschied in den Voraussagen erklärt.

Geht man von den Untersuchungen des dialektischen Determinismus über die Formen des objektiven Zusammenhangs aus, so ergibt sich, daß die Kausalität die konkrete Vermittlung des objektiven Zusammenhangs ist. Damit widerspiegeln sowohl dynamische als auch statistische Gesetze auf eine spezifische Art kausale Zusammenhänge. Ihr Unterschied kann nicht in der grundsätzlichen Unterscheidung zwischen kausaler und nichtkausaler Abhängigkeit bestehen. Die Wirklichkeit und die objektive Determiniertheit wäre auch vereinfacht erfaßt, wenn man nur den Ausgangszustand eines Systems und den Endzustand betrachten würde, ohne den Prozeß selbst einer Analyse zu unterziehen. Bereits bei der Bewegung hatten wir die Notwendigkeit dieses Vorgehens gesehen. Ebenso ergibt sich bei der Untersuchung der Determiniertheit der Dinge und Erscheinungen die notwendige Analyse des Verursachungsprozesses einer Wirkung. Zweifellos bringt die Ursache unter bestimmten Bedingungen notwendig eine bestimmte Wirkung hervor. Die Analyse der Bedingungen zeigt uns

jedoch den Zusammenhang verschiedener Kausalverhältnisse untereinander. Dadurch wird in einem aus vielen Kausalzusammenhängen bestehenden System die Wirkung einer Ursache erst zur Möglichkeit, die sich nur unter bestimmten Bedingungen verwirklicht. In den Gesetzen widerspiegeln wir das durch die funktionale Abhängigkeit bestimmter Parameter von anderen. So ergibt sich aus der funktionalen Abhängigkeit des Fallwegs von der Erdanziehung und der Fallzeit im Galileischen Fallgesetz die Widerspiegelung der objektiven Möglichkeit für einen frei fallenden Körper. Diese Möglichkeit wird von ihm unter den Bedingungen der Erdanziehung immer verwirklicht.

In der philosophischen Analyse kann man hinsichtlich der Kausalität festhalten, daß im frei fallenden Körper verschiedene objektive Zusammenhänge vorhanden sind. Dazu gehört der Zusammenhang der Masse des Körpers mit der Erdanziehung, der Zusammenhang mit der Umgebung usw. All das sind kausale Zusammenhänge. Nur ihre objektive Existenz ermöglicht uns die Aufstellung von Gesetzen. Aber das Gesetz ist nicht die direkte Kopie der Gesamtheit dieser Zusammenhänge. Bereits im objektiven Verlauf des Falls drängen sich der wissenschaftlichen Betrachtung die Unterscheidung zwischen wesentlichen und unwesentlichen Zusammenhängen auf. Bei der direkten wissenschaftlichen Analyse zeigte sich beispielsweise, daß man für den Fall die innere Struktur, die Größe und die Masse des fallenden Körpers vernachlässigen kann. Dabei muß der Fall jedoch unter idealen Bedingungen im luftleeren Raum vor sich gehen. Man kann auch Schwankungen der Erdanziehung in verschiedenen Gegenden der Erde vernachlässigen. Diese kausalen Zusammenhänge sind für die Erfassung der allgemeinen, wesentlichen und notwendigen Zusammenhänge zweitrangig. Sie gewinnen jedoch als Bedingungen für die Gültigkeit des Gesetzes Bedeutung. Wird eine dieser Bedingungen für den Fall wesentlich, dann reicht unsere Theorie zur Beschrei-[163]bung des Falls, die auf der sekundären Bedeutung dieser Bedingung aufbaute, nicht mehr aus, um ihn zu beschreiben. So wird im Flugwesen nicht der Idealfall in der Existenz eines möglichst luftleeren Raums zugrunde gelegt. Dort wird für die Betrachtung des Flugs der Luftwiderstand wesentlich. Diesen Faktor hatten wir im Galileischen Gesetz als unwesentlich beiseite gelassen.

Dieses, jedem Wissenschaftler geläufige Verhältnis der verschiedenen Faktoren zueinander wird von der Philosophie analysiert. Aus den verschiedensten objektiven Zusammenhängen werden die Zusammenhänge herausgehoben, die in einem bestimmten objektiven Zusammenhang wesentlich sind. Sie sind in dem bestimmten Zusammenhang notwendig, während die anderen zufällig sind. Für das Fallgesetz ist der Zusammenhang zwischen Fallzeit, Fallweg und Erdanziehung notwendig, der Luftwiderstand zufällig. Damit ist nicht gesagt, daß der Physiker nur mit dem Fallgesetz den freien Fall in einem luftleeren Raum berechnen könnte, sondern er kann das überall dort, wo der Luftwiderstand entweder vernachlässigbar ist oder nicht gerade als wesentliche Bedingung ausgenutzt werden soll.

Diese notwendigen, wesentlichen Beziehungen, die wir in den Gesetzen erfassen, bestimmen eindeutig den Zusammenhang zwischen dem Anfangs- und Endzustand des betrachteten Systems. Sie tragen damit dynamischen Charakter. Auch das Fallgesetz ist demnach ein dynamisches Gesetz für den freien Fall eines Körpers unter den bestimmten Bedingungen für die Gültigkeit des Gesetzes.

Werden bestimmte unwesentliche Bedingungen durch neue Experimente oder die Untersuchung anderer Zusammenhänge wesentlich, werden also in bestimmter Beziehung zufällige zu notwendigen Zusammenhängen, so haben sich die Bedingungen für die Gültigkeit eines Gesetzes geändert. Es kommt zur Berücksichtigung anderer, bereits untersuchter Gesetze oder zur Aufstellung völlig neuer Theorien. Das letztere war notwendig durch die den Wellen-Korpuskel-Dualismus nachweisenden Experimente. Damit wurden Bedingungen für die klassische Punktmechanik, die unwesentlich, zufällig waren, notwendig und mußten berücksichtigt werden. So erwies sich die notwendige Wechselwirkung der Elementarobjekte als

Grundlage für die Aufstellung statistischer Theorien über die Bewegung der Elementarobjekte. Die relativ hohen Geschwindigkeiten und die Wechselwirkung führten zu den Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen. Mit der Quantenmechanik wurde nun die Frage nach der Unterscheidung zwischen dynamischen und statistischen Gesetzen akut. Man versuchte dabei einmal die Unterscheidung zwischen der Erfassung kausaler und nichtkausaler Zusammenhänge. Das führte zum Indeterminismus und damit zur Absage an die Wissenschaft. [164] Diese Auffassung kann man als widerlegt betrachten. Immer mehr Naturwissenschaftler wenden sich vom offenen Indeterminismus ab, obwohl noch oft indeterministische Auffassungen implizit in ihren philosophischen Äußerungen enthalten sind. Zweitens wollte man die statistischen Gesetze als eine Erfassung des Zufalls deklarieren. Die statistischen Gesetze sind jedoch ebenfalls eine Widerspiegelung notwendiger, wesentlicher Seiten der Wirklichkeit und erfassen so nur die Notwendigkeit, die dem Zufall zugrunde liegt. Das gilt aber ebenfalls für die dynamischen Gesetze. In neuerer Zeit wird nun, ausgehend von Heisenberg, die Unterscheidung in der Einführung des Begriffs der Möglichkeit gesehen. Während die dynamischen Gesetze nach dieser Auffassung eine direkte Widerspiegelung wirklicher Zusammenhänge darstellen, erfassen die statistischen Gesetze nur die Möglichkeit. Das führt zu einer ungerechtfertigten Trennung zwischen Möglichkeit und Wirklichkeit und damit von statistischen und dynamischen Gesetzen. In diesem Zusammenhang wird dann der Unterschied zwischen klassischer und moderner Physik in der unterschiedlichen Anwendung der Gesetze gesehen. Die klassische Physik soll danach Gesetze dynamischen Charakters und die moderne Physik Gesetze statistischen Charakters zur Grundlage haben.

Auch die letztere Auffassung kann das Verhältnis von statistischen und dynamischen Gesetzen nicht klären. Bereits beim Fallgesetz sahen wir die Widerspiegelung der objektiven Möglichkeit für den freien Fall. Diese Möglichkeit wurde unter den Bedingungen der Gültigkeit des Gesetzes notwendig verwirklicht. Hier haben wir einen Ansatzpunkt zur weiteren philosophischen Analyse. In der klassischen Physik wurden im wesentlichen relativ voneinander isolierte Objekte betrachtet, deren Wechselwirkung für die Bewegung des Einzelobjekts zufälligen Charakter trug. Ebenso war für die Beschreibung der Bewegung die innere Struktur, d. h. die Gesamtheit der inneren Wechselbeziehungen eines Objekts oder Systems von Objekten, unwesentlich. Selbst dort, wo die Statistik benutzt wurde, beispielsweise in der Gastheorie, rechnete man mit der prinzipiellen Möglichkeit einer Berechnung der Bahn des einzelnen Moleküls. Im wesentlichen berücksichtigte man dabei eine Gleichverteilung der verschiedenen Bestimmungsstücke (Energie usw.) auf die einzelnen Individuen des Systems. Damit wurde die statistische Behandlung zu einer Beschreibung einer Summe von relativ isolierten Einzelobjekten, die zwar miteinander wechselwirken, deren Wechselwirkung aber zufälligen Charakter trägt. Man rechnete nicht mit der Individualität der Teilchen, sondern betrachtete sie als wesentlich gleich, berücksichtigte auch nicht die durch die Gesamtheit auftretenden inneren Wechselbeziehungen des Systems, sondern sah die Einzelobjekte als relativ isoliert an. Die Erfolge der klassischen Statistik erweisen die Richtigkeit [165] dieser Abstraktion. Auf ihrer Grundlage wurden die objektiven Möglichkeiten in einem System von Einzelobjekten – ausgedrückt in Wahrscheinlichkeiten – als gleichverteilt angesehen. Bereits die Untersuchung tiefer Temperaturen widerlegte die Gleichverteilung der Energie. Die Untersuchungen Max Plancks führten zur Aufstellung einer neuen Statistik. Die Gleichverteilung der Wahrscheinlichkeiten erwies sich als unrichtig für die neuen Untersuchungsobjekte. Die neue Theorie mußte die inneren Wechselbeziehungen der Teile eines Systems berücksichtigen. Das Ergebnis war ein dynamisches Gesetz für die Gesamtheit. Dieses Gesetz trug statistischen Charakter für die Teile des Systems.<sup>168</sup>

---

<sup>168</sup> Vgl. K. Zweiling, Dialektische Gesetzmäßigkeiten in den atomaren und subatomaren Prozessen, in: Naturwissenschaft und Philosophie, S. 129 ff.

Mit der klassischen Interpretation des Verhältnisses von statistischen und dynamischen Gesetzen war diese Bezeichnung nicht vereinbar. Dynamische Gesetze waren danach Gesetze des Verhaltens von Einzelobjekten und statistische Gesetze Summengesetze für das Verhalten einer Gesamtheit. In der klassischen Auffassung konnte die Unterscheidung nur in dem Unterschied zwischen Einzelobjekt und Gesamtheit gefunden werden, da der Inhalt der Gesetze wesentlich gleich war. Die Gesetze der Gesamtheit wurden noch nicht als etwas wesentlich Neues gegenüber der Summe von Gesetzen des Verhaltens von Einzelobjekten angesehen. Philosophisch gesehen wurde das Ganze noch als die Summe der Teile betrachtet. Mit der modernen Physik wurde dem Physiker die dialektische Beziehung zwischen Teil und Ganzem in physikalischer Gestalt bekannt. Das Ganze erwies sich als mehr denn die Summe der Teile. Statistische Gesetze ergaben zwar eindeutige Beziehungen zwischen dem Anfangs- und Endzustand einer Gesamtheit, aber nicht zwischen den Zuständen des Einzelobjekts. Damit erwies sich einmal das Verhalten der Gesamtheit als wesentlich und notwendig, bestimmt in den physikalischen Gesetzen der Gesamtheit. Das Verhalten der Einzelobjekte war dagegen zufällig, aber im Wirken des Zufalls setzte sich die Notwendigkeit durch.

In diesem Sinne unterscheidet sich philosophisch gesehen beispielsweise die Schrödingergleichung nicht vom Fallgesetz. In beiden Fällen verwirklicht sich das Gesetz im zufälligen Verhalten einzelner Objekte. Das Gesetz spiegelt hier wie dort die wesentlichen und notwendigen Beziehungen wider, die den Verlauf des Einzelobjekts oder der Gesamtheit bestimmen. Sowohl bei der Gesamtheit als auch beim Einzelobjekt verwirklicht sich das Gesetz im zufälligen Verhalten der Einzelobjekte. Deshalb können wir beide Gesetze als dynamisch bezeichnen, wenn wir die Schrödingergleichung auf die [166] Gesamtheit beziehen und damit eine notwendige Verteilung der Gesamtheit erhalten.

Philosophisch gesehen ergibt sich auch eine, jedoch nicht in dem Verhältnis von Notwendigkeit und Zufall zu suchende Spezifik beider Gesetze. Der Physiker kann nicht mit der Aufstellung eines dynamischen Gesetzes für das Verhalten einer Gesamtheit zufrieden sein. In seinen Experimenten untersucht er die konkreten Vorgänge, das zufällige Verhalten des Einzelobjekts. Aussagen über das Verhalten des Einzelobjekts erhalten wir aus beiden Arten von Gesetzen. Aus dem Fallgesetz ergibt sich *eine* Möglichkeit für den freien Fall, die sich in jedem einzelnen Fall notwendig verwirklicht. Dabei können wir von gewissen unwesentlichen Schwankungen absehen. Wir haben sie bereits bei der Untersuchung des Verhältnisses von Notwendigkeit und Zufall berücksichtigt. Aus der notwendigen Verteilung für das Verhalten einer Gesamtheit ergibt sich jedoch für die Einzelobjekte eine gesetzmäßig verbundene Reihe von Möglichkeiten, die nur durch die Gesamtheit notwendig verwirklicht werden, im Einzelfall jedoch zufälligen Charakter tragen. Hinsichtlich des dynamischen Charakters des Verteilungsgesetzes ergibt sich damit kein Unterschied zwischen Fall- und Verteilungsgesetz, wohl aber hinsichtlich des Verhaltens des Einzelobjekts. Ein frei fallender Körper verwirklicht notwendig die im Fallgesetz vorgesehene Möglichkeit. Ein Elementarobjekt hat beim Durchgang durch einen schmalen Spalt, von der Veränderung des Systems her gesehen, viele Möglichkeiten. Eine davon wird notwendig verwirklicht. Welche gerade realisiert wird, ist für die allgemeine Gesetzmäßigkeit insofern zufällig, als diese nicht für bestimmte Elementarobjekte ganz bestimmte Möglichkeiten vorschreibt. Die Realisierung ist insofern nicht völlig zufällig, als nur eine der durch das Gesetz bestimmten Möglichkeiten verwirklicht werden kann.

Aus diesem Tatbestand kann man folgende Schlußfolgerungen ziehen:

1. Der Zusammenhang der Möglichkeiten ergibt sich aus der objektiven Kausalität. Durch die Gesamtheit der Bedingungen bestimmt (Wechselwirkung des Teilchens mit der Umwelt, innere Struktur), trifft das Teilchen notwendig auf einem Punkt des Schirms nach dem Durchgang durch einen Spalt auf. Es wirken also objektive Kausalzusammenhänge. Wäre das

nicht der Fall, könnte man auch die gesetzmäßige Verteilung der Möglichkeiten für das Objekt nicht erfassen.

2. Der statistische Charakter des Verteilungsgesetzes ergibt sich aus der Gesamtheit von Möglichkeiten. Das Einzelobjekt muß nicht notwendig hinsichtlich des Verhaltens der Gesamtheit eine *bestimmte* Möglichkeit verwirklichen. Aus der gesetzmäßigen Erfassung der Gesamtheit ergibt sich für das [167] Einzelobjekt ein Rahmen für sein Verhalten, der ihm noch gewissen Spielraum gewährt. Dieser Spielraum läßt nun keinen Platz für eine freie Entscheidung des Elektrons. Wie wir im ersten Punkt hervorhoben, muß es notwendig auf einem bestimmten Punkt auftreffen. Aber diese Notwendigkeit ist durch die Gesamtheit der wesentlichen und unwesentlichen Faktoren bedingt. Jedoch nur die für die Gesamtheit wesentlichen Faktoren sind für das Verteilungsgesetz berücksichtigt worden und konnten es auf Grund des Standes unserer Erkenntnis. Dabei ergibt sich eine statistische Verteilung für das Verhalten des Einzelobjekts. Darin widerspiegelt sich der Zusammenhang der Teile des Gesamtsystems, das gesetzmäßige Verhalten der Gesamtheit. Das Einzelobjekt muß notwendig eine der Möglichkeiten verwirklichen.

3. Für die weitere physikalische Forschung ergibt sich also die Möglichkeit, weitere wesentliche Bedingungen zu berücksichtigen, um das Verhalten des Einzelobjekts exakter bestimmen zu können. Ein dynamisches Gesetz für das Verhalten des Einzelobjekts läge jedoch erst vor, wenn das Einzelobjekt die im Gesetz gegebene eine Möglichkeit notwendig verwirklichen muß. Vom bisherigen Stand der Erforschung des Verhaltens der Gesamtheit ist das Teilchen in seinem Verhalten zufällig an einem bestimmten Ort, weil sich aus dem Verhalten der Gesamtheit für dieses Teilchen nicht notwendig eine zu verwirklichende Möglichkeit ergibt. Auch hier zeigt sich bereits die Notwendigkeit des Verhaltens des Teilchens. Es kann nur eine der durch das Gesetz gegebenen Möglichkeiten verwirklichen. Welche es verwirklicht, wird durch die Gesamtheit der wesentlichen und unwesentlichen Faktoren – innere Struktur und Beziehung zur Umgebung – bestimmt.

Die Berücksichtigung der objektiven Determiniertheit und ihrer verschiedenen Formen ermöglicht uns also, die Einheit und Spezifik der dynamischen und statistischen Gesetze herauszuarbeiten. Ihre Einheit besteht darin, daß sie die objektive Kausalität widerspiegeln, indem sie die wesentlichen und notwendigen Beziehungen eines einzelnen Objekts oder eines Systems von Objekten mit seiner Umgebung hervorheben. Diese gesetzmäßigen Beziehungen setzen sich im zufälligen Verhalten durch. Die Spezifik der dynamischen und der statistischen Gesetze besteht darin, daß die dynamischen Gesetze nur eine Möglichkeit für das Verhalten des Objekts zulassen, die notwendig verwirklicht werden muß. Das kann für das Einzelobjekt oder für eine Gesamtheit von Objekten zutreffen. Das statistische Gesetz dagegen gibt eine gesetzmäßig zusammenhängende Reihe von Möglichkeiten, die durch das Einzelobjekt verwirklicht werden können.

Sieht man ab vom klassischen Fall der Beschreibung relativ isolierter Objekte, die nur zufällige äußere Wechselwirkungen durchführen, so ergibt sich [168] die Einheit von statistischen und dynamischen Gesetzen in der Weise, daß die Gesetze für die Gesamtheit dynamisch, aber für die Teile dieser Gesamtheit statistisch sind.

Es handelt sich also bei der Unterscheidung zwischen dynamischen und statistischen Gesetzen nicht einfach um Fragen der Vorhersagbarkeit und damit des Standes unserer Erkenntnis, wobei die Zukunft wieder eine eindeutige dynamische Vorhersagbarkeit erlaubt. Dynamische und statistische Gesetze erfordern die Betrachtung der Formen des objektiven Zusammenhangs. Weil sich aus dem Verhalten einer Gesamtheit nicht durch Gleichverteilung auf das Verhalten der Einzelobjekte schließen läßt, weil also das Ganze mehr ist als die Summe der Teile, ist der statistische Charakter der Aussagen über das Verhalten von Einzelobjekten innerhalb einer Gesamtheit notwendig. Vom Verhalten der Gesamtheit her ist die statistische

Beschreibung der Einzelobjekte vollständig. Will man das Verhalten des Einzelobjekts erfassen, muß man über die Theorie der Gesamtheit hinausgehen, neue wesentliche Bedingungen berücksichtigen und eine Theorie für das Verhalten von Einzelobjekten schaffen. Die Voraussagbarkeit ergibt sich also als ein Merkmal der Widerspiegelung der objektiven Determiniertheit vor allem der objektiv existierenden Verwirklichung von Möglichkeiten.

c) Über den Fortschritt der physikalischen Theorie

Es ist notwendig, von der Analyse der Beziehung zwischen dynamischen und statistischen Gesetzen her einige Bemerkungen zum Fortschritt der physikalischen Theorie zu machen. Gerade zu diesem Problem gibt es Diskussionen zwischen verschiedenen Gruppen von Physikern. Der Kreis um de Broglie, Vigier, Bohm und Terlezki stellte sich zur Aufgabe, die dynamischen Gesetze des Verhaltens der Einzelobjekte zu finden, die hinter den statistischen Gesetzen liegen. Bereits der bisherige Diskussionsstand zeigt, daß eine einfache Uminterpretation physikalischer Fakten nicht möglich ist. Die Theorie der erwähnten Gruppe führt in bisher nicht erforschten Bereichen zu neuen Effekten. Die Vertreter der statistischen Deutung der Quantentheorie, z. B. Fock, verweisen auf die vollständige Beschreibung des Verhaltens der Einzelobjekte durch die Quantenstatistik. Das ist in dem oben erwähnten Sinne richtig, da wir vom Standpunkt des Verhaltens der Gesamtheit her nicht mehr über das Verhalten des Einzelobjekts aussagen können. Insofern sind Angriffe auf den statistischen Charakter der Quantenmechanik sinnlos, wenn sie nicht den Fortschritt der Physik im Auge haben. Selbst dann sind sie jedoch nicht als Angriffe zu betrachten. Die Weiterentwicklung der Physik muß ja auch die Ergebnisse der Quantenmechanik, da sie sich für einen bestimmten Bereich als richtig erwiesen haben, umfassen.

[169] Auch der sowjetische Physiker Satschkow bringt zum Ausdruck, daß die Theorie der verborgenen Parameter eine tiefe Verallgemeinerung der Quantenstatistik darstellt und die Möglichkeit dynamischer Gesetze für das Verhalten des Einzelobjekts zum Ausdruck bringt.<sup>169</sup> Gegen eine solche Auffassung wurde manchmal der Vorwurf des Mechanizismus erhoben, weil damit ein Zurückgehen auf den mechanischen Determinismus gefordert sein sollte. Zweifellos kann die Forderung nach dynamischen Gesetzen der Einzelobjekte mechanizistisch sein. Sie muß es aber nicht. Mechanizistisch ist sie, wenn von einer prinzipiellen Trennung von dynamischen und statistischen Gesetzen ausgegangen wird, der dynamische Charakter statistischer Gesetze für die Gesamtheit keine Beachtung findet und die dynamische Darstellung relativ isolierter Einzelobjekte in ihrem Bewegungsablauf ohne Beziehung zur Statistik gefordert wird. In der Diskussion um die moderne Physik wird ein solch extremer mechanizistischer Standpunkt nicht vertreten, obwohl es *Anklänge* daran bei der Gruppe um de Broglie gab. Nicht mit dem Mechanizismus verbunden ist die Forderung nach der Untersuchung der dynamischen Gesetze der Einzelobjekte unter Berücksichtigung des Verhältnisses von dynamischen und statistischen Gesetzen. Soweit es sich um Gesamtheiten handelt, was u. E. zukünftig in der Physik immer der Fall sein wird, haben wir es mit der untersuchten Einheit von dynamischen und statistischen Gesetzen zu tun. Wir sind davon überzeugt, daß die zukünftige Physik mit Gesamtheiten von Beziehungen usw. operiert, weil die relative Isolierung der klassischen Objekte ein Spezialfall der Physik ist. Die bisherigen Untersuchungen und die weiteren Entwicklungstendenzen zeigen die Notwendigkeit der Untersuchung der Bewegung als Wechselwirkung. Innere Struktur und Wechselwirkung mit der Umgebung sind notwendige Untersuchungsobjekte auch beim weiteren Vordringen in noch kleinere Räume und höhere Energien. Die Kompliziertheit der zu untersuchenden konkreten physikalischen Objekte wächst. Dabei wird einerseits unsere Einsicht in das Wesen der physikalischen Bewegung vertieft, indem wir immer größere Bereiche in relativ einfachen Theorien erfassen können. Andererseits wächst der Einfluß von immer neuen, wesentlichen inne-

<sup>169</sup> Проблема причинности в современной физике, Москва 1960, стр. 302.

ren und äußeren Beziehungen, so daß mit einer Rückkehr zum klassischen Ideal des isolierten Objekts mit zufälliger äußerer Wechselwirkung nicht zu rechnen ist.

Daraus ergibt sich nun keineswegs die Notwendigkeit der ständigen Einheit von statistischen und dynamischen Gesetzen auch in der Erkenntnis. Es kann sich eine Lage ergeben, wo wir nur die dynamischen Gesetze einer [170] bestimmten Art von Elementarteilchen kennen. Das ist möglich durch die weitere Erforschung der Struktur der Elementarteilchen. Mit weiteren Aussagen über diese Struktur ist eine Charakterisierung der Elementarteilchen durch innere Wechselbeziehungen verbunden, die ihre Bestimmung von der Gesamtheit her ergänzt. Gelingt es uns, durch die Strukturforschung wesentliche Merkmale zur Unterscheidung verschiedener Gruppen von Elementarteilchen zu finden, so haben wir die Möglichkeit, mit Hilfe dieser Merkmale dynamische Gesetze zu formulieren. Wesentlich ist dabei, daß das Merkmal der statistischen Beschreibung von der unmöglichen Unterscheidung der Einzelobjekte untereinander durch die weitere Erforschung der Struktur der Elementarteilchen ergänzt wird. Dann können wir zu einer Charakterisierung der Einzelobjekte (nicht des Einzelobjekts) durch allgemeine, wesentliche und notwendige Merkmale gelangen.

Würde das bedeuten, daß die Einheit von statistischen und dynamischen Gesetzen aufgehoben wäre? Zweifellos nicht. Vom Standpunkt der Quantenmechanik her wird auch der Fortschritt der Physik nicht die Notwendigkeit der Beschreibung quantenmechanischer Gesamtheiten aufheben können. Die dann gefundenen dynamischen Gesetze für das Verhalten von Einzelobjekten sind nicht für alle Gruppen einer quantenmechanischen Gesamtheit gleichartig, was wir schon heute sagen können. Wenn es aber der Fall wäre, müßte heute schon eine Gleichverteilung der Wahrscheinlichkeiten möglich sein. Die quantenmechanische Gesamtheit muß sich also als eine Gruppe verschiedener dynamischer Gesetze für die Einzelobjekte darstellen lassen. Der Zusammenhang dieser Gesetze wird in den Gesetzen der Gesamtheit zum Ausdruck gebracht. So hebt die eventuelle Auffindung dynamischer Gesetze nicht die Bedeutung der statistischen Gesetze auf. Das unterscheidet unsere Auffassung vom klassischen Herangehen.

Man muß die Frage aber auch vom Standpunkt der eventuell entdeckten dynamischen Gesetze betrachten. Ihr Zusammenhang wird durch die quantenmechanischen Gesetze der Gesamtheit hergestellt. Wenn man mit der philosophischen These von der Unendlichkeit ernst macht, dann kann man sich nicht mit der Aufdeckung dynamischer Gesetze für das Verhalten von Gruppen von Einzelobjekten zufriedengeben, sondern muß nach den materiellen Teilen der inneren Struktur des Teilchens suchen, die durch die dynamischen Gesetze auf statistische Weise beschrieben werden. Selbst die Aufdeckung wesentlicher Beziehungen für das Verhalten von Gruppen von Einzelobjekten würde dann wiederum die Aufgabe stellen, von diesem Fortschritt der Physik zur Ausarbeitung neuer Theorien statistischen Charakters überzugehen.

[171] Deshalb haben wir gesagt, daß die Trennung von dynamischen und statistischen Gesetzen mechanizistisch ist. Damit wird aber nicht gefordert, die physikalische Forschung in einem Bereich als unzureichend zu betrachten, wenn sie bisher nur eine Seite dieser Einheit entdeckt hat. Das ständige weitere Vordringen in das Wesen der Erscheinungen wird uns stets vor neue Probleme bei der Erforschung dieses Verhältnisses stellen. Gefundene statistische Gesetze machen die Aufdeckung dynamischer Gesetze zur Aufgabe, die durch die entdeckten statistischen Gesetze miteinander verbunden sind. Gefundene dynamische Gesetze verlangen die Erforschung ihres statistischen Gehalts in bezug auf die zugrunde liegenden materiellen Bestandteile der beschriebenen Einzelobjekte.

Damit sind wir in der philosophischen Betrachtung von den bisherigen Ergebnissen der Physik selbst etwas abgegangen. Aber wir haben mögliche Entwicklungstendenzen untersucht, die sich aus dem bereits aus den Ergebnissen der Physik analysierten Zusammenhang zwi-

schen statistischen und dynamischen Gesetzen ergeben. Von diesem Standpunkt aus sind die theoretischen Diskussionen der modernen Physik in den verschiedenen Richtungen völlig berechtigt. Einerseits versucht man durch Strukturuntersuchungen genauere Aussagen über das dynamische Verhalten der Einzelobjekte zu erhalten. Diese Ergebnisse sollen in einer allgemeinen Theorie der Elementarteilchen münden. Andererseits will man mit Hilfe von Subquanten und ihrem Verhalten zu dynamischen Aussagen über das Verhalten der Einzelobjekte kommen. Diese Aussagen würden für die Subquanten jedoch wiederum statistischen Charakter tragen.

Wesentliche Fortschritte für die Theorie der Elementarteilchen sind jedoch vor allem durch die experimentellen Untersuchungen zu erzielen. Besonders die Untersuchung extrem kurzlebiger Teilchen wird die Überprüfung der verschiedenen Hypothesen gestatten. In Berkeley entdeckte man beispielsweise das Omega-Meson mit einer Lebensdauer von  $10^{-22}$  s. In Dubna, Genf, Berkeley, Brookhaven usw. arbeiten die Physiker an der experimentellen Grundlage der Elementarteilchentheorie. Heisenberg rechnet damit, daß noch hundert der kurzlebigen Teilchen entdeckt werden. Die nächsten Jahre werden zweifellos viele experimentelle Ergebnisse liefern. Heisenberg hatte mit H. P. Dürr in einer Untersuchung „Zur Theorie der seltsamen Teilchen“ fünf neue extrem kurzlebige Elementarteilchen errechnet, darunter auch das Omega-Meson. Vier der Teilchen sind gefunden. Ihre Massenzahlen entsprechen ungefähr den Voraussagen. Andere Eigenschaften müssen noch untersucht werden. Ihre Untersuchung wird weiterhelfen. Heisenberg meint in seinem Interview mit Rudzinski: „Sie werden damit eine wichtige Ent-[172]scheidung über unser gegenwärtiges Verständnis der Welt der Elementarteilchen treffen.“<sup>170</sup>

Das sind jedoch Entscheidungen, die weit über die philosophische Kompetenz hinausgehen, die aber in ihrer theoretischen Verarbeitung eventuell neue philosophische Probleme aufwerfen und uns auch bei der Betrachtung des Verhältnisses von dynamischen und statistischen Gesetzen weiterbringen werden. Eine Rückkehr zum mechanizistischen Standpunkt gibt es nicht mehr. Auch neue philosophische Untersuchungen müssen das bisher gesicherte philosophische Material berücksichtigen.

#### *4. Die Widerspiegelung der objektiven Widersprüche im Denken*

Wir wiesen bereits darauf hin, daß es für die Philosophie notwendig ist, die philosophischen Grundlagen für eine richtige Widerspiegelung der dialektischen Widersprüche im Denken zu schaffen. Die Diskussion über solche Fragen spielte im Zusammenhang mit den Wahrscheinlichkeitsaussagen der modernen Physik eine große Rolle. In der philosophischen Bearbeitung der Probleme trat jedoch die mit dieser Diskussion verbundene wirkliche Problematik gegenüber der Verteidigung der Logik etwas in den Hintergrund. Das war unbedingt notwendig in der Auseinandersetzung mit solchen Auffassungen, die neben den Wahrheitswerten „Wahr“ und „Falsch“ der formalen Logik noch den dritten Wert „absolut unbestimmt“ einführen wollten. Offensichtlich geht es nicht um die Einführung eines solchen Wertes, wenn man die wirkliche Problematik betrachtet. Jedoch zeigen sich dabei Grenzen der formalen Logik, die der Widerspiegelung der dialektischen Widersprüche im Denken nicht völlig gerecht werden. Zweifellos darf man entsprechend der allgemeinen Gültigkeit des Satzes vom ausgeschlossenen Widerspruch kein Urteil bilden, wobei Dasselbe Demselben zugleich und in derselben Beziehung zukommt und nicht zukommt. Dieser Satz hat für die Bildung von Urteilen allgemeine Bedeutung.

Die formale Logik bringt jedoch nicht eindeutig den Prozeßcharakter der Erkenntnis zum Ausdruck. Sie zeigt die notwendigen logischen Bedingungen, denen ein formuliertes Urteil genügen muß. Sie zeigt jedoch nicht den Übergang von einer relativen Wahrheit zu einer

<sup>170</sup> K. Rudzinski, *Ins Innere der Materie*, a. a. O.

anderen. Dieser Übergang muß sich ebenfalls wieder nach allgemeinen Gesetzen vollziehen. Dabei sind die inhaltlichen Fragen wesentlich, aber es dürfte nicht ausreichen, formale und dialektische Logik durch die Untersuchung extensionaler und intensionaler Beziehungen zu unterscheiden, wie dies für Georg Klaus charakteristisch ist.<sup>171</sup>

[173] Bei der Bewegung eines Teilchens müssen wir die Kontinuität gedanklich unterbrechen, um eine Aussage über die Lage des Teilchens machen zu können. Über die Lösung dieser Schwierigkeit, wie sie de Broglie gibt, berichtet Borel in seinem Artikel „Louis de Broglie und das Institut Henri Poincaré“. In den Vorlesungen de Broglies, die er 1929/30 über die Theorie der Quantelung der neuen Mechanik hielt, habe er gezeigt, „welche Rolle in der neuen Mechanik die kühne und doch mit dem Experiment übereinstimmende Hypothese gespielt hat, wonach ohne Frage auf eins der Grundpostulate der klassischen Logik verzichtet werden muß, denn von den beiden Aussagen: eine Korpuskel befindet sich an Punkt A und dieselbe Korpuskel befindet sich nicht an Punkt A, läßt sich nicht die eine als wahr und die andere als falsch bezeichnen, selbst wenn man sich nicht bemüht zu wissen, welche wahr ist; jetzt darf es nur noch heißen: Es besteht eine Wahrscheinlichkeit (A), daß die Korpuskel sich an A befindet.“<sup>172</sup>

Während wir über die Wahrscheinlichkeitsaussagen der modernen Physik später noch sprechen werden, glauben wir nicht, daß die moderne Physik die Logik widerlegt.

Mit der Aussage, daß sich das Teilchen an einem bestimmten Ort und nicht an ihm befindet, ist kein logischer, sondern ein dialektischer Widerspruch gegeben. Das Vorhandensein eines logischen Widerspruchs würde verlangen, daß Dasselbe Demselben in derselben Beziehung und zugleich zukäme und nicht zukäme. Das ist aber nicht der Fall. Die klassische Physik machte die Voraussetzung, daß das Teilchen sich in einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort befand. Die moderne Physik wies nach, daß diese Aussage falsch ist. Also gilt nach den Gesetzen der Logik, daß das sich bewegende Teilchen in einem bestimmten Zeitpunkt sich nicht an einem bestimmten Ort befindet: Das ist aber genau die Aussage, die wir machen. Weshalb benutzen wir aber auch die andere Aussage, daß sich das Teilchen zugleich an einem bestimmten Ort befindet und nicht an ihm befindet? Hier machen wir eine Aussage über den dialektischen Widerspruch der Bewegung, wobei wir mit dem „und“ zwei Eigenschaften verbinden, die dem Teilchen zwar zugleich, aber nicht in derselben Beziehung zukommen. Das Teilchen befindet sich an einem Ort, wenn wir die Bewegung des Teilchens diskontinuierlich beschreiben. Das Teilchen befindet sich nicht an einem Ort, wenn wir die Möglichkeit der Bewegung, ihre Kontinuität erfassen. Diese beiden Aussagen sind durch die Erfahrung überprüft, sie sind wahr. Die Bewegung des Teilchens besteht nun nicht entweder aus diskontinuierlicher oder aus kontinuierlicher Bewegung, sondern ist die Einheit von [174] Kontinuität und Diskontinuität. Wir müssen den Teilchen also beide Eigenschaften, sowohl an einem Ort zu sein als auch nicht an dem Ort zu sein, zusprechen, aber in verschiedener Beziehung. Die Dialektik untersucht gerade diese verschiedenen Beziehungen und ihren Zusammenhang untereinander. Die formale Logik dagegen macht über verschiedene Beziehungen verschiedene Aussagen, ohne den Zusammenhang der verschiedenen Beziehungen zu untersuchen. Das ist auch nicht ihre Aufgabe.

Man muß also zu den von Borel angeführten Aussagen noch die Beziehung angeben, und wir erhalten dann wahre Aussagen. Aus der modernen Physik folgt nicht die Falschheit eines Grundgesetzes der Logik, wohl aber die Falschheit der Verabsolutierung der formalen Logik zur *allgemeinen* Erkenntnismethode. Daß die Logik den Zusammenhang der verschiedenen Beziehungen, z. B. zwischen Kontinuität und Diskontinuität, nicht untersucht, heißt nicht, daß man diesen Zusammenhang überhaupt nicht untersuchen soll. Man muß nur bei der Un-

<sup>171</sup> Vgl. G. Klaus, Einführung in die formale Logik, Berlin 1959, S. 98.

<sup>172</sup> Louis de Broglie und die Physiker, a. a. O., S. 197.

tersuchung beachten, daß man über formal logische Beziehungen hinausgeht. Offenbar muß aber dennoch die Logik weiter Gültigkeit behalten. Es ergibt sich neben der Wahrheit und Falschheit von Sätzen nicht außerdem noch ihre Wahrscheinlichkeit. Wir können die Wahrscheinlichkeit nicht mit der Aufhebung des Satzes vom ausgeschlossenen Dritten begründen. Das Urteil „Die Korpuskel befindet sich am Punkt A“ ist wahr, wenn es sich um eine ruhende oder um eine mit einem Gerät wechselwirkende Korpuskel handelt. Das Urteil „Die Korpuskel befindet sich nicht am Punkt A“ ist wahr, wenn es sich um eine bewegte Korpuskel handelt. Betrachten wir aber die Bewegung nicht von einem bestimmten Punkt, sondern von verschiedenen Beziehungen aus, deren Einheit die Bewegung ausmacht, dann ist auch das folgende Urteil wahr: Die Korpuskel befindet sich an einem Punkt (Diskontinuität) und zugleich nicht an einem Punkt (Kontinuität). Die Wahrheit dieses Urteils beeinträchtigt keineswegs die Wahrheit der beiden vorhergehenden Urteile. Das letztere ist ein Urteil der Form:  $A$  und  $B$ . Es ist aus den Urteilen  $A$  und  $B$  zusammengesetzt, die beide wahr sind, so daß das Urteil ( $A$  und  $B$ ) ebenfalls wahr sein muß. Der Widerspruch der Bewegung ist eben nicht logischer, sondern dialektischer Art. Damit ergibt sich das Problem der logischen Erfassung dialektischer Widersprüche. Zweifellos muß nun einerseits die philosophische Betrachtung die inhaltlichen Fragen von Aussagenverbindungen untersuchen. Aber wir meinen auch, daß es allgemeine Denkgesetze geben muß, die den Zusammenhang von Aussagenverbindungen ausdrücken und doch nicht bei der Beschränktheit der formalen Logik hinsichtlich der Untersuchung von Aussagenbeziehungen stehenbleiben. Georg Klaus wendet sich berechtigt gegen die Beschränkung der Logik auf die klassische Logik. Er fordert die Beachtung der neuesten [175] Ergebnisse der mathematischen Logik.<sup>173</sup> Hier liegen jedoch bereits einzelwissenschaftliche Ergebnisse vor, die selbst wieder einer philosophischen Interpretation bedürfen. So zeigt die moderne Logik, daß das Entscheidungsproblem nur für Teilgebiete der Logik gelöst ist. Klaus schreibt, „daß aus allgemein philosophischen Gründen zu erwarten ist, daß man niemals ein Entscheidungsverfahren konstruieren kann, das es gestattet, jedes logische Problem, das jemals aufgetaucht ist oder auftauchen wird, zu entscheiden“<sup>174</sup>. Mit der Entwicklung der modernen Logik kann deren philosophische Interpretation nur durch die dialektische Logik als philosophische Disziplin gegeben werden.

Hier kann es sich nur um einige Bemerkungen zu diesem Problem handeln, da das vorliegende Material noch unzureichend ist, um abschließend urteilen zu können. Bereits an anderer Stelle sind wir auf ähnliche Probleme eingegangen,<sup>175</sup> möchten jedoch den dort zum Ausdruck gebrachten Standpunkt weiter präzisieren.

Zunächst ist die Frage nach der Bedeutung der dialektischen Logik zu stellen. Wir wollen bei ihrer Beantwortung von den Problemen der Widerspiegelung der Ergebnisse der modernen Physik im Denken ausgehen.

Weizsäcker vertritt im Zusammenhang mit den Wahrscheinlichkeitsaussagen der modernen Physik die Auffassung, daß es nicht darauf ankäme, die Physik zu verändern, wie manche Physiker meinen. Er schreibt: „Nur die Logik bedarf einer Abänderung.“<sup>176</sup>

Über die Probleme der Entwicklung der Physik haben wir bereits gesprochen. Wir können also jetzt die Probleme der Widerspiegelung der dialektischen Bewegungs- und Determinismuskonzeption im Denken betrachten.

Nehmen wir das Urteil: „Der Körper befindet sich in seiner Bewegung an keinem *bestimmten* Ort“ ( $A$ ). Dieses Urteil muß notwendig durch das Urteil ergänzt werden: „Der sich bewegen-

<sup>173</sup> G. Klaus, Einführung in die formale Logik, a. a. O., S. 390.

<sup>174</sup> Ebenda, S. 111.

<sup>175</sup> H. Hörz, Über die Widerspiegelung der Bewegung der Elementarobjekte im Denken, in: Naturwissenschaft und Philosophie, S. 233 ff.

<sup>176</sup> C. F. v. Weizsäcker, Komplementarität und Logik, in: Zum Weltbild der Physik, Stuttgart 1958, S. 806.

de Körper befindet sich in bezug auf das Resultat seiner Bewegung an einem bestimmten Ort“ (*B*). Nur beide Urteile zusammengenommen widerspiegeln die Bewegung. Aber die durch die formale Logik möglichen Aussagenverbindungen geben uns nicht die Möglichkeit, neue wissenschaftliche Ergebnisse daraus abzuleiten. Die Verbindung der Aussagen *A* und *B* durch „und“ liefert uns eine Aussagenverbindung, in der beide Urteile beziehungslos nebeneinanderstehen. Man könnte sie durch [176] Urteile ersetzen, die inhaltlich nichts miteinander zu tun haben. Offensichtlich kann man nun in extensionalen Beziehungen, wie sie durch die Aussagenlogik gegeben sind, diesen inneren Zusammenhang beider Urteile als notwendig sich ergänzende Beschreibungen der Bewegung nicht ausdrücken.

Vor einer ähnlichen Frage steht Weizsäcker bei seinen Betrachtungen. Er löst sie, indem er die Gültigkeit des Satzes vom ausgeschlossenen Dritten nur noch für entschiedene Aussagen gelten läßt. Es gibt jedoch Wahrscheinlichkeitsaussagen, die nicht völlig entscheidbar sind, solange sich das zu betrachtende System verändert. Weizsäcker meint dazu: „In der Sprache von Neumanns: der Projektionsoperator hat nur die Eigenwerte 1 und 0, aber er braucht nicht auf Hauptachsen zu sein. Wir vermuten also, die Quantenphysiker benutzten tatsächlich, wenn auch vielleicht meist unbewußt, seit der Entdeckung der Komplementarität eine Logik, die von der klassischen abweicht. Wir müssen dann nach den Gesetzen dieser Logik fragen.“<sup>177</sup>

Es mag manche anfechtbare Meinung Weizäckers in seinem Artikel zu dieser Frage geben. Das hängt mit bestimmten positivistischen Thesen der Kopenhagener Deutung zusammen. Sein Anliegen jedoch erscheint einleuchtend und diskussionswürdig. Die moderne Physik muß, ausgehend von der analysierten Einheit von dynamischen und statistischen Gesetzen, neue Aussagenverbindungen untersuchen, die einerseits nicht dem Satz vom ausgeschlossenen logischen Widerspruch widersprechen, aber andererseits über die durch die formale Logik gegebenen Aussagenverbindungen hinausgehen. Die bloße Formulierung des dialektischen Widerspruchs in einwandfreien Aussagenverbindungen ist noch keine wissenschaftliche Erkenntnis. Es ist wohl richtig, folgende Aussage zu machen: „In bezug auf die Bewegung befindet sich das Elementarobjekt an keinem bestimmten Ort, und in bezug auf das Resultat der Bewegung befindet es sich an einem bestimmten Ort.“ Das ist nur die Aussagenverbindung „*A* und *B*“ und noch keine neue Aussage *C*. Diese neue Aussage hat die moderne Physik geliefert. Sie schloß von dem sich verändernden System auf das Resultat der Bewegung eines Einzelobjekts und machte dabei die Aussage: „Das Elementarobjekt befindet sich zum Zeitpunkt *t* mit der Wahrscheinlichkeit *w* am Ort *x*“ (*C*). Das ist eine neue Aussage und keine einfache Aussagenverbindung elementarer Aussagen. Die Grundlage dieser Aussage *C* sind die Aussagen *A* und *B* und vor allem ihre notwendige Einheit, die hier zum Ausdruck gebracht wird.

In der klassischen Physik bestand kein wesentlicher Unterschied zwischen dieser Aussage *C* und der Aussage *B*. Im wesentlichen bestand nur eine sich notwendig verwirklichende Möglichkeit für das Einzelobjekt, die sich ent-[177]weder aus einem dynamischen Gesetz oder aus dem statistischen Gesetz durch Gleichverteilung ergab. Die dialektische Einheit von dynamischen und statistischen Gesetzen in der modernen Physik gibt jedoch verschiedene Möglichkeiten, die verwirklicht werden müssen. Daraus ergibt sich für die Aussage *C*, daß ein Einzelobjekt verschiedene Möglichkeiten hat, solange das System sich verändert, zu dem es gehört. Wie wir gesehen haben, ist das nicht unserer Unkenntnis zuzuschreiben. Mit der Veränderung des Systems verändern sich auch noch die objektiven Bedingungen, die das Teilchen notwendig auf einem bestimmten Punkt eines Leuchtschirms auftreffen lassen. Aber diese Bedingungen können sich nur gesetzmäßig in der Weise verändern, daß im Ergebnis

---

<sup>177</sup> Ebenda, S. 297.

der Endzustand des Gesamtsystems der gesetzmäßigen Verteilung der Wahrscheinlichkeiten entspricht.

Das sich bewegende Einzelobjekt hat also verschiedene Möglichkeiten für den Ort, an dem es im Resultat seiner Bewegung auftritt. Diese Möglichkeiten sind in der Mathematik durch Wahrscheinlichkeiten gegeben, die untereinander zusammenhängen. In dem Zeitpunkt, da das Teilchen auf einem bestimmten Ort auftritt, kann es unmöglich noch auf andere auftreffen. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreffen des Teilchens an diesem Ort wird im Zeitpunkt des Auftreffens 1, also Gewißheit. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreffen dieses Teilchens an anderen Orten wird in diesem Zeitpunkt 0, also Unmöglichkeit. Die gesetzmäßig verbundene Reihe der Wahrscheinlichkeiten für die Einzelobjekte eines Systems verändert sich also beim Endzustand des Systems in verwirklichte Möglichkeiten mit der Wahrscheinlichkeit 1. Für das Einzelobjekt wird diese Reihe zu 1 für einen Ort, für die anderen wird sie 0.

Mit diesem Tatbestand verstoßen wir nun nicht gegen die formale Logik. Jede Aussage erweist sich im Resultat der Veränderung als wahr oder falsch. Für die Gesamtheit des sich verändernden Systems gilt wegen des dynamischen Charakters seines Bewegungsgesetzes die absolute Wahrheit der Aussagen. In der Gesamtheit müssen notwendig alle Möglichkeiten verwirklicht werden. Für die Gesamtheit ist die Größe der Wahrscheinlichkeit eine Aussage über die Intensität der auftreffenden Elementarobjekte. Für das Einzelobjekt erhalten wir im Endergebnis eine absolut wahre Aussage und eine Reihe absolut falscher Aussagen.

Das Urteil *C* reduziert sich also im Ergebnis der Veränderung des Systems auf das Urteil *B*. Darin ist schon ausgedrückt, daß diese Reduktion allein nicht die Erkenntnis ausmacht. Wir versuchen ja, gerade die Bewegung stets genauer und exakter zu erfassen, um aus dem Zustand der Veränderung Aussagen über den Endzustand des sich verändernden Systems zu machen. Das Urteil *C* widerspiegelt die objektive Veränderung der Bedingungen. Es ist [178] für das Einzelobjekt eine relative Wahrheit. Diese Relativität ist objektiv, nicht durch Erkenntnisstranken bedingt und auf die vorhandenen objektiven Bedingungen und ihre Veränderung im Laufe der Veränderung des Systems bezogen. Diese Relativität kann nicht beseitigt werden, da die objektive Veränderung der Bedingungen nicht beseitigt werden kann. Jedoch kann der Fortschritt der Erkenntnis eine tiefere Einsicht in die wesentlichen Beziehungen der Bewegung der Einzelobjekte bringen. Mit der Aufstellung dynamischer Gesetze für das Einzelobjekt bleibt zwar die Relativität des Urteilsinhalts, bezogen auf die Gesamtheit, bestehen. Es kommt jedoch zu absolut wahren Aussagen, d. h. zum Aufzeigen einer notwendig sich verwirklichenden Möglichkeit für das Einzelobjekt, genauer für eine Gruppe von Objekten. Diese Gruppe verhält sich zu den anderen Gruppen entsprechend den Gesetzen der Gesamtheit.

Will man nun mit der Forderung Weizsäckers ernst machen, so muß man die Gesetze für die Beziehungen zwischen verschiedenen Aussagen aufdecken. Das kann nicht nur eine Aufgabe intensionaler Analyse sein, da das Verhältnis von dynamischen und statistischen Gesetzen in seiner Allgemeinheit nicht nur in der Physik auftritt. Unabhängig von den inhaltlichen Aussagen in der Wahrscheinlichkeitsverteilung ergibt sich folgendes Bild: die Widerspiegelung objektiver dialektischer Widersprüche fordert bei der Betrachtung des Widerspruchs zwischen Individuum und System die Beachtung der Beziehungen der zwei Seiten des Widerspruchs auch im Urteil. Das sich verändernde System muß so analysiert werden, daß sich Aussagen für das Verhalten der Individuen dieses Systems ergeben. Wegen der durch die Veränderung der Individuen hervorgerufenen Veränderung der Bedingungen für ihre eigene Existenz ergeben sich aus der gesetzmäßigen Veränderung des Systems eine gesetzmäßig verbundene Vielzahl von Möglichkeiten. Diese Möglichkeiten sind durch die objektive Gesetzmäßigkeit des Gesamtsystems miteinander verbunden. Die Bedingungen können sich nur

im Rahmen dieser Gesetzmäßigkeit ändern. Aber der gegenwärtige Zustand des Einzelobjekts oder Gruppen von Objekten ist daher nicht eindeutig vorherbestimmt. Es ergeben sich notwendig Wahrscheinlichkeitsaussagen als Ausdruck des gesetzmäßigen Verhaltens der Einzelobjekte im Rahmen der Gesamtheit. Diese Wahrscheinlichkeitsaussagen sind damit erkenntnistheoretisch nicht weniger bedeutsam. Sie bringen ein tiefes Verständnis des Verhaltens von Einzelobjekten im Rahmen einer Gesamtheit zum Ausdruck.

Betrachtet man die Widerspiegelung dieser objektiven Beziehungen im Denken, dann ergeben sich mehr Beziehungen, als von der formalen Logik mit den Wahrheitswerten wahr und falsch berücksichtigt werden. Es wäre eine mechanistische Interpretation des Satzes vom ausgeschlossenen Dritten, [179] wenn man ihn so auffassen würde, als ließe er keine anderen Möglichkeiten als wahr oder falsch zu. Das ist richtig, soweit es sich um das Resultat der Bewegung, um die Lösung objektiv dialektischer Widersprüche geht. Durch das Wirken objektiver Widersprüche bedingt, ergeben sich jedoch bei der Widerspiegelung in der Physik notwendig miteinander verbundene Aussagen. Ihren inneren Zusammenhang nutzt die Wissenschaft zu Aussagen über das Resultat einer Veränderung. Sie schließt dabei vom gesetzmäßigen Verhalten der Gesamtheit auf deren Bestandteile. Diese Aussagen müssen einen gewissen Spielraum für die sich gesetzmäßig vollziehende Veränderung der Bedingungen lassen, die für das Resultat der Veränderung, über das wir eine Aussage machen, entscheidend sind. Damit erhalten wir kein Chaos in unseren Aussagen, sondern eine genauere Widerspiegelung des Prozeßcharakters der von uns untersuchten Erscheinungen. Unsere Aussagen sind für die praktischen Bedürfnisse hinreichend genau. Sie werden ständig verbessert, indem wir immer genauer das Wesen der objektiven Veränderung erfassen. Damit gewinnen aber Wahrscheinlichkeitsaussagen als Widerspiegelung objektiver Veränderung immer mehr an Bedeutung. Interpretiert man nun den Satz vom ausgeschlossenen Dritten als die Ablehnung von Aussagen, die prinzipiell unentscheidbar sein sollen, dann ist das zutreffend. Aber das hebt nicht die Bedeutung der Untersuchung solcher Aussagen auf, die prinzipiell im Resultat der Veränderung entscheidbar sind, aber schon aus der Veränderung heraus Aussagen über das Resultat der Veränderung machen und dort nicht im Sinne der klassischen Logik als wahr oder falsch entscheidbar sind. Für diese Urteile gelten Wahrscheinlichkeiten für das ausgesagte Resultat. Das Elementarteilchen muß also auf einem Ort auftreffen, aus dem gesetzmäßigen Verlauf der Veränderung ergibt sich jedoch schon eine Aussage für das Auftreffen des Teilchens am Ort  $x$ , die jedoch nur Wahrscheinlichkeitscharakter trägt.

Hier zeigt sich auch das neue Herangehen des dialektischen Materialismus an die Fragen der Voraussagbarkeit. Weil er die Formen der objektiven Determiniertheit berücksichtigt, kann er den Zufall nicht wie der klassische Determinismus einfach leugnen und eine eindeutige Vorherbestimmtheit annehmen. Er muß die Veränderung wesentlicher Seiten des Zusammenhangs berücksichtigen, die Einfluß auf das Objekt hat, über das wir eine Aussage machen wollen.

Im Sinne der klassischen Logik sind die Urteile  $A$ ,  $B$  und  $C$  wahr. Jedoch kann nichts über den Zusammenhang der drei Urteile ausgesagt werden. Um den Zusammenhang zu berücksichtigen, müssen wir über den Bereich der formalen Logik hinausgehen. Georg Klaus charakterisiert ihn so: „Die Gesetze der Logik gelten nur für absolut wahre oder falsche Urteile. Gehen [180] beliebige Urteile in logische Beziehungen ein, so müssen wir sie, um die Gesetze der formalen Logik überhaupt anwenden zu können, wenigstens im Rahmen der betreffenden Überlegungen als absolut wahr oder falsch betrachten.“<sup>178</sup> Damit behandelt die formale Logik die mit dem Resultat der Veränderung, mit der Lösung der dialektischen Widersprüche zusammenhängenden Aussagen. Wahrscheinlichkeitsaussagen werden von ihr nur auf die Wahrheit oder Falschheit der ausgesagten Wahrscheinlichkeit untersucht, nicht auf den Pro-

---

<sup>178</sup> G. Klaus, Einführung in die formale Logik, a. a. O., S. 69.

zeß der Veränderung, der schließlich die Wahrscheinlichkeit zu Wahrheit oder Falschheit machen wird. Mit Hilfe der formalen Logik können wir dann das fertige Resultat konstatieren. Verschiedene Beziehungen werden in den „mehrwertigen Logiken“ untersucht. Dieser Ausdruck ist irreführend, da es sich nicht um die Einführung einer neuen Logik handelt, sondern um die Untersuchung extensionaler Beziehungen zwischen verschiedenen Urteilen, die in einem notwendigen Zusammenhang miteinander stehen. Dabei ergeben sich neben den Wahrheitswerten wahr und falsch, also den Wahrscheinlichkeiten 1 und 0, verschiedene Wahrscheinlichkeitswerte, die nicht einfach eine arithmetische oder geometrische Reihe bilden, sondern in einem gesetzmäßigen Zusammenhang miteinander stehen. Dieser gesetzmäßige Zusammenhang wird wesentlich durch den Inhalt der untersuchten Gesetzmäßigkeit mitbestimmt, hat aber auch, wie die Wahrscheinlichkeitstheorie zeigt, allgemeinen Charakter.

Was kann man über das Gebiet der Untersuchung extensionaler Beziehungen zwischen notwendig zusammenhängenden Aussagen, also über die Widerspiegelung dialektischer Beziehungen, sagen?

1. Entsprechende Untersuchungen werden bereits durchgeführt, sowohl in der Wahrscheinlichkeitstheorie als auch in den mehrwertigen Logiken. Sie haben von dem erläuterten philosophischen Standpunkt aus bisher viel zu wenig Beachtung gefunden. Die philosophische Grundlage dieser Bemühungen kann nur in der dialektischen Logik als der Anwendung der Gesetze des dialektischen Materialismus auf die Beziehung von Denkbestimmungen untereinander gefunden werden.

2. Die zweiwertige Logik wird dadurch nicht aufgehoben. Ihre Gesetze müssen bei der Formulierung jeder Aussage berücksichtigt werden, reichen jedoch nicht aus, um die ganze Kompliziertheit der Wirklichkeit zu erfassen. Alle Aussagen einer mehrwertigen Logik und der Wahrscheinlichkeitstheorie müssen in dem angeführten Sinne der Charakterisierung als wahr oder falsch entsprechen. Ihr wissenschaftlicher Gehalt erfordert aber auch die Berücksichtigung der Aussage, die sie über zukünftige Ereignisse machen. In dieser Beziehung werden sie erst verifiziert. Dabei stehen wir aber nicht auf einem solchen Wissensstand, daß ein Elementarobjekt entweder auf einem Ort auftritt oder nicht. Das entspräche der klassischen formalen Logik. Wir wissen mehr. Wir kennen die gesetzmäßige Verteilung der Wahrscheinlichkeiten und können eine absolut wahre Aussage über die Wahrscheinlichkeit des Auftreffens des Objekts an diesem Ort machen. In bezug auf das spätere Resultat, nämlich das Auftreten auf dem Ort, ist das aber keine absolut wahre oder falsche Aussage, sondern sie gibt eine Wahrscheinlichkeit, die später 0 oder 1 wird.

3. Man kann sich nun zwar auf den Standpunkt stellen, jede Aussage genüge der formalen Logik, was zweifellos vollkommen zutrifft. Die Analyse verschiedener Aussagen erfordert jedoch weitergehende Untersuchungen über die Beziehungen zwischen den Aussagen, die die formale Logik nicht aufheben und doch über sie hinausgehen.

Wir haben in diesem Kapitel verschiedene Probleme untersucht, die mit einer deterministischen Deutung der Quantentheorie im Zusammenhang stehen. Bei unseren Betrachtungen ergab sich zweierlei. Erstens ist der dialektische Determinismus mit den Ergebnissen der modernen Physik vereinbar. Er weist jede unwissenschaftliche, indeterministische Deutung dieser Ergebnisse zurück und verallgemeinert die Ergebnisse der modernen, Physik wissenschaftlich. Zweitens bestand jedoch das Anliegen nicht nur darin, die Vereinbarkeit von dialektischem Determinismus und moderner Physik zu zeigen und unwissenschaftliche Deutungsversuche zurückzuweisen, sondern auf der Grundlage des dialektischen Materialismus auch einige Perspektiven der weiteren Entwicklung zu diskutieren. Erst darin zeigt sich die wirkliche Bedeutung des dialektischen Materialismus. Er braucht und darf nicht physikalische Ergebnisse nach ihren Entdeckungen lediglich rechtfertigen, sondern muß an der Diskussion um die Weiterentwicklung der Physik teilnehmen. Wie das im wesentlichen gesche-

hen kann, ist hier angedeutet worden. Für die größere Wirksamkeit des dialektischen Materialismus in dieser Richtung sind jedoch vor allem die Beschäftigung der Naturwissenschaftler mit der marxistischen Philosophie und die Vertiefung der naturwissenschaftlichen Kenntnisse der marxistischen Philosophen erforderlich.

Der dialektische Determinismus liefert ein System von zusammenhängenden Sätzen, die noch nicht in allen Folgerungen überprüft sind und überprüft sein können. Eben diese Folgerungen als eine Konkretisierung der allgemeinen Thesen haben heuristischen Wert für den Einzelwissenschaftler. Zu ihrem Verständnis muß er jedoch selbst philosophische Kenntnisse besitzen. [182]

## **Kapitel V**

### **Zu einigen erkenntnistheoretischen Problemen der Quantentheorie**

#### *1. Zum Verhältnis von Physik und Philosophie, Theorie und Methode*

Bisher haben wir uns mit der immanenten Verbindung von Physik und Philosophie befaßt. Jede physikalische Entdeckung wirft neue philosophische Probleme auf. Wir haben Lösungsmöglichkeiten auf der Grundlage des dialektischen Materialismus diskutiert. Die marxistische Philosophie kann durch richtige philosophische Verallgemeinerung zu heuristischen Hinweisen für die Weiterentwicklung der physikalischen Forschung kommen. Dazu ist der Meinungsstreit um die philosophische Problematik des physikalischen Tatsachenmaterials zwischen marxistischen Philosophen und Physikern erforderlich.

Es ergibt sich jedoch ein neues Problem. Hervorragende Physiker beschäftigen sich nicht nur mit der philosophischen Deutung einzelner Theorien. Sie diskutieren allgemeine erkenntnistheoretische und philosophische Fragen, die Bedeutung für ihre einzelwissenschaftliche Arbeit haben. Dabei taucht auch in den Publikationen von Physikern aus den kapitalistischen Ländern die interessante Frage nach dem Zusammenhang dialektisch-materialistischer Begriffe mit der modernen Physik auf. So schreibt Werner Heisenberg: „Man erkennt aus den Formulierungen vor allem, wie schwierig es wird, wenn man versucht, neue Sachverhalte in ein altes, aus früherer Philosophie stammendes System von Begriffen zu pressen oder, um eine alte Redeweise zu brauchen, wenn man probiert, neuen Wein in alte Schläuche zu füllen. Solche Versuche sind immer peinlich; denn sie verführen dazu, sich immer wieder mit den unvermeidbaren Rissen in den alten Schläuchen zu befassen, statt sich über den neuen Wein zu freuen. Man kann nicht vernünftigerweise erwarten, daß jene Denker, die vor über hundert Jahren den dialektischen Materialismus eingeführt haben, die Entwicklung der Quantentheorie hätten vorhersehen können. Ihre Begriffe von Materie und Wirklichkeit konnten un[183]möglich den Ergebnissen unserer heutigen verfeinerten Technik angepaßt sein.“<sup>179</sup>

Damit begibt sich der hervorragende Physiker Heisenberg auf ein ihm fachlich fremdes Gebiet. Er diskutiert die Brauchbarkeit philosophischer Begriffsbildungen. Dabei greift er das Grundproblem des dialektischen Materialismus, die Anerkennung der objektiven Realität, die in der Materiedefinition enthalten ist, aus der Fülle philosophischer Begriffe heraus. Sein Anliegen ist die Berücksichtigung modernster physikalischer Ergebnisse auch in den allgemeinsten Begriffen. Er greift jedoch ungerechtfertigterweise den dialektischen Materialismus an. Es könnte nach Heisenberg so erscheinen, als ob der dialektische Materialismus veraltet sei. Das ergibt sich vor allem aus einer bei vielen bürgerlichen Physikern anzutreffenden falschen Gleichsetzung des dialektischen Materialismus mit den unter den Naturwissenschaftlern im vergangenen Jahrhundert üblichen materialistischen Auffassungen. Determinismus wird im wesentlichen als mechanistischer Determinismus gefaßt. Materie wird mit Stoff gleichgesetzt. Der Erkenntnisprozeß wird nicht als tätige Veränderung der Wirklichkeit erkannt. Kurz, die große Umwälzung in der Philosophie, die mit der Ausarbeitung der marxistischen Philosophie stattgefunden hat, ist von vielen bürgerlichen Wissenschaftlern noch gar nicht verstanden worden.

Die Klassiker des Marxismus-Leninismus kritisierten die mechanisch-materialistische Interpretation der Ergebnisse der Naturwissenschaft bereits zu einer Zeit, da der mechanische Materialismus unter den Naturwissenschaftlern noch vorherrschte. Dabei wurden der Materiebegriff, die allgemeinsten Bewegungsgesetze und die allgemeinsten Beziehungen in der objektiven Realität ausgearbeitet. In diesem Zusammenhang wurden bereits wesentliche erkenntnistheoretische Probleme gelöst. Deshalb braucht sich kein Naturwissenschaftler zu wundern,

---

<sup>179</sup> W. Heisenberg, Physik und Philosophie, a. a. O., S. 113 f.

wenn die marxistischen Philosophen bei der Klärung der genannten Fragen immer wieder auf die Klassiker des Marxismus-Leninismus zurückgreifen, denn schon die damalige Naturwissenschaft wies Entwicklungstendenzen auf, die, philosophisch verallgemeinert, noch heute von Bedeutung sind.

Andererseits war die Quantentheorie im vergangenen Jahrhundert noch nicht entwickelt. Kein Philosoph ist in der Lage, Entdeckungen späterer Zeiten *exakt* vorauszusagen. Ist er jedoch Vertreter einer wissenschaftlichen, d. h. der marxistischen Philosophie, dann widersprechen seine Voraussagen nicht diesen Entdeckungen. Jede neue wissenschaftliche Entdeckung ist einerseits mit den Grundsätzen einer wissenschaftlichen Philosophie verein-[184]bar und wirft andererseits auch neue Probleme für die Philosophie auf. Aus den Arbeiten der Klassiker des Marxismus-Leninismus lernen wir das richtige Herangehen an die philosophische Interpretation naturwissenschaftlicher Ergebnisse. Dabei gilt es aber auch, die neuen Fragen und Probleme auszuarbeiten, die mit spezifischen Umwälzungen in bestimmten Einzelwissenschaften verbunden sind.

Der Naturwissenschaftler, der die Bedeutung des dialektischen Materialismus verneint, nimmt sich damit selbst das methodische Hilfsmittel zur richtigen philosophischen Interpretation seiner Ergebnisse. Wie in jeder Wissenschaft liegt auch in der marxistischen Philosophie keine schematische Lösung aller auftretenden Probleme vor. Sie bietet jedoch eine gesicherte und wissenschaftlich überprüfte Grundlage, mit deren Hilfe man an die Lösung aller auftretenden Probleme herangehen kann. Die Diskussion allgemeiner philosophischer Probleme durch Physiker gibt dabei den marxistischen Philosophen die Möglichkeit, ihren Standpunkt im Meinungsstreit zu erläutern. In den Diskussionen mit Physikern um philosophische Fragen gewinnt die Klärung des Verhältnisses von Theorie und Methode im dialektischen Materialismus immer mehr an Bedeutung. Der dialektische Materialismus ist eine Theorie der allgemeinsten Beziehungen und Gesetze der Natur, der Gesellschaft und des Denkens. Probleme, wie das Verhältnis von Kausalität und Gesetz, der Klassifizierung der Gesetze, das Verhältnis von Materie und Bewußtsein usw., werden von den Einzelwissenschaften aufgeworfen, können aber nicht vom Material einer Einzelwissenschaft her gelöst werden. Wir hatten das deutlich in der Beziehung zwischen der philosophischen und physikalischen Bewegungs- und Determinismusauffassung gesehen. Dabei hat der Zusammenhang zwischen philosophischer und physikalischer Theorie verschiedene Aspekte. Wir benutzten das physikalische Material, um die philosophischen Aussagen zu bestätigen und die philosophischen Begriffe zu präzisieren. So ergab sich aus der modernen Physik die Einheit von Materie und Bewegung; die Definition der Bewegung als Veränderung überhaupt wurde bestätigt und die durchgängige Wirksamkeit der objektiven Kausalität erkannt. Die moderne Elementarteilchenphysik verlangte die Erweiterung des Bewegungsbegriffs durch die Umwandlung der Objekte ineinander und bestätigte dabei die Einheit der Welt in der Materialität in diesem Bereich. Der Begriff der Wechselwirkung wurde durch die physikalischen Untersuchungen bereichert. Es wäre jedoch einseitig, wenn man nur diese Seite des Verhältnisses von Philosophie und Physik berücksichtigen würde.

Die Beschäftigung mit den philosophischen Problemen der Physik betrifft Grenzprobleme zweier Wissenschaften: der Physik und der Philosophie. Dabei haben sich beide Wissenschaften im Laufe einer langen historischen Ent-[185]wicklung zur heutigen Form ausgebildet. Im Altertum, in den Werken von Aristoteles, Demokrit u. a. haben wir noch die Einheit von Physik und Philosophie. In der Emanzipation der Physik von der Philosophie kommen zwei Tendenzen des historischen Erkenntnisprozesses zum Ausdruck. Einerseits erkennen wir die Differenzierung der Wissenschaften, die entsprechend den zu untersuchenden materiellen Objekten zu einer selbständigen Existenz verschiedener Wissensbereiche führte. Andererseits zeigte sich jedoch in der auch weiter vorhandenen Verbindung zwischen Physik und Philosophie die Tendenz zur Integration der relativ selbständigen Wissensgebiete. Jede Ein-

zelwissenschaft leistet ihren Beitrag zum Weltbild, zur Anschauung über die Welt als Ganzes. Mit der ständig fortschreitenden Differenzierung der Wissenschaften brachte diese Tendenz zur Integration für die Philosophie die Aufgabe mit sich, wissenschaftlich die Grundlage der Weltanschauung zu bestimmen, indem sie die allgemeinsten Gesetze der Natur, der Gesellschaft und des Denkens aufdeckt.

Mit der Entdeckung dieser Gesetze im vergangenen Jahrhundert durch Marx und Engels und ihrer Weiterentwicklung durch Lenin hat sich die Aufgabe der Philosophie gewandelt. Die erste große Etappe der Entwicklung philosophischen Denkens ist mit der Begründung einer wissenschaftlichen Philosophie durch die Aufdeckung der allgemeinsten Gesetze der Natur, der Gesellschaft und des Denkens abgeschlossen. Diese Etappe war notwendig mit der Differenzierung der Wissenschaft verbunden. Wissenschaftliche Philosophie ist nicht mit den genialen Intuitionen der alten Griechen über die Zusammenhänge der Welt gleichzusetzen; obwohl diese mit zu den Voraussetzungen für die Ausarbeitung eines wissenschaftlichen Weltbildes gehören. Um die Gesetze der Welt als Ganzes aufdecken zu können, mußte eine ungeheure Arbeit geleistet werden. Die einzelnen materiellen Bereiche, Objekte und Beziehungen waren zu erforschen. Nachdem jedoch das Material durch die Einzelwissenschaften geliefert worden war, nachdem die gesellschaftliche Entwicklung auch die wissenschaftliche Betrachtung der Gesellschaft ermöglicht hatte, mußte die Zusammenfassung dieses Materials bei wissenschaftlicher Verallgemeinerung die allgemeinsten Gesetze der Natur, der Gesellschaft und des Denkens liefern. Mit der Entdeckung dieser Gesetze wurde die Philosophie als Wissenschaft begründet. Dazu haben die vormarxistischen Philosophen ebenfalls ihren Beitrag geleistet. Ohne die vormarxistische Philosophie wäre die marxistische nicht denkbar.

Dazu beigetragen haben aber auch die Einzelwissenschaften, darunter die Physik. Nicht umsonst hebt Engels die philosophische Bedeutung des Energiesatzes neben der Entdeckung der Zelle und der Darwinschen Entwicklungstheorie hervor. Er schreibt: „Dank diesen drei großen Entdeckungen [186] und den übrigen gewaltigen Fortschritten der Naturwissenschaft sind wir jetzt so weit, den Zusammenhang zwischen den Vorgängen in der Natur nicht nur auf den einzelnen Gebieten, sondern auch den der einzelnen Gebiete unter sich im ganzen und großen nachweisen und so ein übersichtliches Bild des Naturzusammenhangs in annähernd systematischer Form, vermittelt der durch die empirische Naturwissenschaft selbst gelieferten Tatsachen darstellen zu können.“<sup>180</sup>

Die Darstellung dieses Bildes wurde von Engels bereits in Angriff genommen, aber nicht vollständig durchgeführt. Die Herausgabe der Manuskripte von Marx hielt ihn davon ab, seine Fragment gebliebene „Dialektik der Natur“ auszuarbeiten.

Die Aufgabe der Philosophie in der folgenden Etappe ihrer Entwicklung konnte nicht darin bestehen, die entdeckten Grundgesetze ständig neu zu entdecken oder in den neu geschriebenen Werken einfach zu wiederholen. Es konnte aber auch nicht die Aufgabe der Philosophie sein, die entdeckten Gesetze zu ignorieren. Die Diskussion mußte, wenn sie von den neuesten Ergebnissen der Philosophie ausgehen wollte, auf der Grundlage der bereits gemachten Entdeckungen erfolgen. Dabei standen dieser Diskussion mehrere hemmende Faktoren entgegen. Da die marxistische Philosophie zugleich die theoretische Grundlage des wissenschaftlichen Sozialismus bildet, war die Anerkennung ihrer Grundgesetze mit einer politischen Haltung verknüpft. Deshalb stieß sie auf heftige Ablehnung reaktionärer gesellschaftlicher Kräfte.

Erschwerend wirkte für viele Naturwissenschaftler auch die Tatsache, daß es lange Zeit wenig von marxistischen Philosophen ausgearbeitetes, für die Naturwissenschaftler in den kapitalistischen Ländern zugängliches, wissenschaftliches Material zu den philosophischen Pro-

---

<sup>180</sup> F. Engels, Ludwig Feuerbach und der Ausgang der klassischen deutschen Philosophie, in: K. Marx/F. Engels, Werke, Band 21, a. a. O., S. 295.

blemen der Naturwissenschaft gab. Das führte zu einer Unterschätzung der marxistischen Philosophie durch manche Naturwissenschaftler.

Auch die eine gewisse Zeit herrschende unschöpferische Atmosphäre in der marxistischen Philosophie hinsichtlich der Probleme der Naturwissenschaft hemmte das Bündnis zwischen marxistischen Philosophen und Naturwissenschaftlern. Der ungenügende wissenschaftliche Meinungsstreit und die administrative Abfertigung diskussionswürdiger Probleme hinderte die weitere und tiefere Ausarbeitung des dialektischen Materialismus als allgemeiner Methodologie auch für die Arbeit des Naturwissenschaftlers. Deshalb wurde oft nur die Bestätigung philosophischer Aussagen durch physika-[187]lische Ergebnisse als philosophische Aufgabe betrachtet. Das macht die Philosophie zu einer Sammlung von Beispielen für bestimmte Thesen. Ein großer Teil der marxistischen Philosophen und Physiker benutzte jedoch die vorliegenden bestätigten philosophischen Thesen zur Deutung neuer Sachverhalte. Damit erwies sich die marxistische Philosophie als wissenschaftliche Denkmethode. Die metaphysische Bewegungs- oder Determinismusauffassung war für die moderne Physik zur Deutung der physikalischen Ergebnisse ungeeignet. Bereits die einfache Ortsveränderung in der klassischen Physik zeigte den dialektischen Widerspruch von Kontinuität und Diskontinuität. Jedoch war die Ortsveränderung auch noch für das metaphysische Denken zugänglich, wenn man die Bewegung als das Befinden eines Körpers an einem bestimmten Ort faßte. Der Welle-Korpuskel-Dualismus verlangte dialektisches Denken.

Hier half die Lehre vom dialektischen Widerspruch – ein Bestandteil der dialektisch-materialistischen Theorie – als methodisches Hilfsmittel zur Deutung dieses Dualismus. Zugleich erforderte die statistische Deutung der Quantenmechanik nicht nur die Entwicklung neuer physikalischer Vorstellungen, sondern damit verbunden die Loslösung vom metaphysischen Denken. Die Komplementaritätsthese erwies sich als eine Annäherung an das dialektische Denken. Damit verbindet sich der spontane Materialismus der Physiker, durch die Entwicklung der Physik hervorgerufen, mit dialektischen Elementen des Denkens. Dieser Übergang vom metaphysischen zum dialektischen Denken der Physiker bringt erkenntnistheoretische Schwierigkeiten mit sich; die sich teilweise in idealistischen Thesen äußern.

Die Aufgabe der marxistischen Philosophen besteht in der Analyse der philosophischen Aussagen der Physiker zu erkenntnistheoretischen Problemen, um die Annäherung an den dialektischen Materialismus zu zeigen und den dialektischen Materialismus als Denkmethode selbst besser auszuarbeiten.

Hier hemmte die philosophische Forschung eine ganze Zeit die von Stalin vertretene Trennung von Theorie und Methode. In den Stalinschen sogenannten Grundzügen des dialektischen Materialismus wurden die Grundzüge des Materialismus als Theorie und die der Dialektik als Methode deklariert. Damit war die in jeder Wissenschaft vorhandene Einheit von Theorie und Methode durchbrochen. Der dialektische Materialismus ist aber eine wissenschaftliche Theorie, d. h. eine Gesamtheit überprüfter Beziehungen und Gesetze über die Wirklichkeit. Nicht nur einigen seiner Thesen kommt methodische Bedeutung zu. Jede Erkenntnis, die durch die Praxis überprüft ist, kann zur weiteren Erkenntnis ausgenutzt werden. Auch die These von der [188] Einheit der Welt in der Materialität hat methodische Bedeutung. Als Bestandteil der Denkmethode ermöglichte sie uns die Deutung der „virtuellen Prozesse“ in der modernen Physik als Widerspiegelung objektiv-realer Prozesse, die die Kernwechselwirkungen vermitteln. Zugleich weist sie über die bisherigen einzelwissenschaftlichen Forschungsergebnisse hinaus, indem sie die Aufdeckung des Mechanismus der Kernwechselwirkungen verlangt. So wird eine philosophische These, wenn sie zur Deutung bestimmter Sachverhalte herangezogen wird, zum heuristischen Arbeitsmittel für die weitere Forschung. Das sahen wir auch beim philosophischen Begriff der Wechselwirkung. Die für die Systemerhaltung und das Systemverhalten bestimmende innere Wechselwirkung fordert, als methodischer Hinweis be-

nutzt, die Aufdeckung der Struktur des Elementarteilchens. Die Gesetze der Struktur werden neue Einsichten in das Verhalten der Elementarteilchen vermitteln.

Gerade diese methodische Seite der philosophischen Thesen wurde bisher noch ungenügend ausgearbeitet. Sie verlangt die Konfrontierung des einzelwissenschaftlichen Materials mit der philosophischen These und dabei die Ausarbeitung der Anforderungen, die sich aus der These an die einzelwissenschaftliche Forschung ergeben. Das ist eine Aufgabe für die Gemeinschaftsarbeit von Physikern und Philosophen. Da es sich bei der marxistischen Philosophie um ein geschlossenes System von Grundthesen, Gesetzen und Beziehungen handelt, kann die methodische Bedeutung einzelner philosophischer Sätze nur unter Berücksichtigung anderer philosophischer Erkenntnisse herausgearbeitet werden. Zeitweilig wurde der Materialismus als methodisches Prinzip gegenüber der Dialektik vernachlässigt. Wir sahen aber, daß die Ausarbeitung der These von der Einheit der Welt in der Materialität für jeden materiellen Bereich gesondert erfolgen muß. Dabei muß die objektive Dialektik berücksichtigt werden. Bereits für den im Gesamtzusammenhang kleinen Bereich der Kernwechselwirkung verlangte die methodische Ausnutzung der These von der materiellen Einheit der Welt die philosophische Interpretation der „virtuellen Prozesse“, die Untersuchung der Wechselwirkung usw. Zweifellos kann man nicht die Gesamtheit der philosophischen Theorie berücksichtigen. Das wollen wir auch nicht. Wir wollen aber vor der Lostrennung einzelner Thesen aus dem System der Philosophie warnen, weil damit nichts erreicht wird. So verfuhr Stalin, wenn er beispielsweise aus der These vom objektiven Zusammenhang den methodischen Hinweis ableitete, daß man alles im Zusammenhang sehen müsse. Damit ist noch nichts über die Hierarchie der Zusammenhänge gesagt. Eine konkrete philosophische Untersuchung fordert nicht nur die Beachtung des Zusammenhangs, sondern die Berücksichtigung der Formen des Zusammenhangs: Was ist unter bestimmten Bedingungen zufällig und unwesentlich? [189] Was wird ein wesentlicher Zusammenhang? Wie werden objektive Möglichkeiten verwirklicht? Fragen dieser Art müssen ausgehend von der Theorie über den objektiven Zusammenhang beantwortet werden. Erst dadurch wird die methodische Bedeutung theoretischer Erkenntnisse des dialektischen Materialismus deutlich. Deshalb ist die Ausarbeitung des dialektischen Materialismus als Methode zur Untersuchung bestimmter Bereiche nicht durch die Umformulierung theoretischer Erkenntnisse in methodische Hinweise erledigt. Dazu ist die philosophische Deutung der Ergebnisse in diesem Bereich, die Ausnutzung des dialektischen Materialismus als Denkmethode erforderlich, um heuristische Hinweise für die weitere Forschungsarbeit zu gewinnen. Erst damit erweist sich die marxistische Philosophie als Methode zur weiteren Erforschung der Wirklichkeit. Die Unzufriedenheit mancher Einzelwissenschaftler mit der Philosophie hat ihre Ursache auch in der ungenügenden Ausarbeitung des dialektischen Materialismus als Denkmethode und Methode zur weiteten Erkenntnis der Wirklichkeit.

Der Physiker muß sich bei der Entwicklung neuer Aufgaben in der Grundlagenforschung stets mit der philosophischen Bedeutung der vorhandenen Theorien auseinandersetzen. Das zeigt uns der philosophische Streit um die Aufstellung der Relativitäts- und Quantentheorie. Die physikalischen Fragen nach der Einführung eines Koordinatenoperators oder einer Elementarlänge, nach der Struktur der Elementarobjekte usw. haben einen philosophischen Aspekt. Sie werfen Probleme für die philosophische Bewegungstheorie oder andere philosophische Theorien und Gesetze auf. Dabei muß sich der Physiker, der noch nicht bewußter Materialist ist, selbst methodische und heuristische Hinweise für die weitere Forschung erarbeiten. Die Gemeinschaftsarbeit mit den marxistischen Philosophen würde hier die bessere Ausnutzung bereits vorhandener methodischer Hilfsmittel ermöglichen.

Manche Physiker in den kapitalistischen Ländern sind unzufrieden mit der Philosophie. Sie kennen meist nur die bürgerliche Philosophie oder haben sich mit der marxistischen Philosophie nicht eingehend oder nur mit Sekundärliteratur beschäftigt. So versuchen sie, philosophische Probleme ohne Hilfe der Philosophen zu lösen.

Dementsprechend schrieb Heisenberg über die philosophische Deutung der Quantentheorie durch Bohr: „So formte sich in ihm die neue Deutung der Quantentheorie auch in der philosophischen Sprache, an die ihn der Umgang mit den Atomen in 15 Jahren gewöhnt hatte und die den Problemen am besten angemessen schien. Aber dies war nicht die Sprache einer der traditionellen philosophischen Richtungen: Positivismus, (mechanischer – H. H.) [190] Materialismus, Idealismus; sie war in ihrer Substanz anders, wiewohl sie Elemente aller dieser Denksysteme enthielt.“<sup>181</sup>

Eben auf diese Substanz, in der sie anders als die bisherigen philosophischen Systeme war, kam es den Physikern an. Sie entwickelten dabei fruchtbare philosophische Ansätze zur Deutung der physikalischen Theorie, verbanden sie jedoch auch mit idealistischen Thesen. Ohne Hilfe durch die ausgearbeitete dialektisch-materialistische Methode und Theorie arbeiteten diese Physiker methodische Prinzipien wie das der Komplementarität aus. Sie fanden dabei auch Lösungen ihrer Probleme, indem sie eklektisch Thesen verschiedenen philosophischen Systemen übernahmen. Gerade das zog ihnen aber die Kritik der marxistischen Wissenschaftler zu und führte zur Unzufriedenheit mit der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie durch Physiker wie Einstein, Planck, von Laue und Schrödinger.

Wolfgang Pauli brachte seine Meinung über die fruchtlosen philosophischen Streitereien in einer ablehnenden Haltung zu einer bestimmten philosophischen Richtung zum Ausdruck: „Zur Orientierung der Philosophen möchte ich gleich bemerken, daß ich selbst keiner bestimmten philosophischen Richtung angehöre, die einen mit den Silben ‚ismus‘ endenden Namen trägt. Darüber hinaus bin ich auch dagegen, spezielle physikalische Theorien, wie z. B. die Relativitätstheorie oder die Quanten- oder Wellenmechanik, speziellen ismen zuzuordnen, obwohl dies zuweilen von physikalischer Seite her geschieht. Meine allgemeine Tendenz ist vielmehr, zwischen extremen Richtungen eine gewisse Mitte einzuhalten.“<sup>182</sup>

Es ist bemerkenswert, daß Pauli nicht etwa zur Ablehnung der Philosophie überhaupt kommt.

Zweifellos ist eine spezielle physikalische Theorie keiner philosophischen Theorie zuzuordnen. Aber jede Theorie wirft allgemeine philosophische Fragen auf. Dabei ist es oft schwer, zwischen einer hypothetischen Aussage und einer bewiesenen Feststellung zu unterscheiden. Wirkliche Hilfe erhält der Physiker nur durch die Ausnutzung der Philosophie zur Deutung der Ergebnisse und zur Diskussion der weiteren Forschungsrichtung. Gerade das verlangt die Ausarbeitung des dialektischen Materialismus als Methode der weiteren Erforschung der Wirklichkeit. Die Bedeutung der Philosophie für die Physik muß deutlich gemacht werden durch die Beantwortung der von den Physikern aufgeworfenen Fragen. C. F. von Weizsäcker schreibt dazu: „Die moderne Physik hat philosophische Fragen aufgeworfen, die im Rah-[191]men der bekannten philosophischen Systeme der Vergangenheit und der Gegenwart schwerlich eine vollständige Antwort finden werden.“<sup>183</sup>

Die Betonung der notwendigen philosophischen Antworten auf Fragen der Physiker zeigt, daß der Zusammenhang zwischen der physikalischen Theorie und der philosophischen Deutung immer enger wird. Dadurch ergibt sich die philosophische Diskussion als entscheidender Faktor für den Fortschritt der Einzelwissenschaft. Bewußte Anwendung des dialektischen Materialismus als Methode ist ein notwendiges Hilfsmittel in dieser Diskussion, das von den marxistischen Philosophen vorbereitet werden muß. Dabei stimmen wir Pauli zu, wenn er die einfache Zuordnung von philosophischer und physikalischer Theorie als unbefriedigend ansieht. Nicht die Zuordnung hilft weiter, sondern die tiefe philosophische Durchdringung des Sachverhalts. Das ist eine wissenschaftliche Leistung, die der Physiker nicht unbedingt allein

<sup>181</sup> W. Heisenberg, Die Entwicklung der Deutung der Quantentheorie, in: Physikalische Blätter 7 (1956), S. 293.

<sup>182</sup> W. Pauli, Phänomen und physikalische Realität, in: Dialectica, 41/42 (1957). S. 36.

<sup>183</sup> C. F. v. Weizsäcker, Zum Weltbild der Physik, Stuttgart 1958, S. 80.

vollbringen muß. Wenn er es schafft, erweist er sich gleichzeitig als bedeutender Philosoph. Jedoch treten Schwierigkeiten dabei auf. Auch den Physikern in den kapitalistischen Ländern wird immer mehr die Abhängigkeit ihres Denkens von verschiedenen Faktoren klar.

Heisenberg hebt für das philosophisch-weltanschauliche Denken hervor, „daß die ganze Struktur unseres Denkens in unserer Jugend durch Ideen geformt wird, auf die wir in dieser Zeit stoßen“. Diese Ideen bildeten für die Mehrzahl der Physiker in den kapitalistischen Ländern die idealistischen, den dialektischen Materialismus bekämpfenden Philosophien. Weiter zeigt Heisenberg, „daß wir zu einer Gemeinschaft oder Gesellschaft gehören. Diese Gemeinschaft wird zusammengehalten durch gemeinsame Gedanken ...“<sup>184</sup> Die Gesellschaft, in der die genannten Physiker leben, ist kapitalistisch. Durch sie wird auch ihre Stellung zum dialektischen Materialismus bestimmt. Die Entwicklung der Physik bringt den dialektischen Materialismus hervor. Das zwingt diese Physiker zum dialektisch-materialistischen Denken. Den dialektischen Materialismus bewußt als Methode ausnutzen heißt aber, die theoretische Grundlage des wissenschaftlichen Sozialismus anerkennen. Dieser Zusammenhang bringt viele Konflikte für diese Physiker mit sich.

Wenn Heisenberg vom Wissenschaftler intellektuelle Ehrlichkeit fordert,<sup>185</sup> so möchten wir diese Forderung auch auf die Beschäftigung der Physiker aus den kapitalistischen Ländern mit dem dialektischen Materialismus anwenden. Der dialektische Materialismus wird ihnen bei der philosophischen Interpretation der Ergebnisse der modernen Physik und bei der Lösung [192] der erkenntnistheoretischen Probleme, die beim Übergang vom mechanisch-materialistischen zum dialektisch-materialistischen Denken entstehen, helfen.

Die Vertreter des dialektischen Materialismus sind sich bewußt, daß es dabei nicht um die Anpassung von Tatsachen an Prinzipien geht, sondern um die wissenschaftliche Untersuchung der Tatsachen und ihrer Beziehungen. Unter Anerkennung des gesicherten Wissens der modernen Physik gilt es die dabei auftauchenden Probleme zu diskutieren. Die marxistische Philosophie hat dazu vorrangig folgende Aufgaben zu lösen: In Zusammenarbeit mit den Physikern führt der marxistische Philosoph die wissenschaftliche Verallgemeinerung der Ergebnisse der modernen Physik unter Ausnutzung der zur Verfügung stehenden methodologischen Hilfsmittel des dialektischen Materialismus durch. Dabei gilt es vor allem, die erkenntnistheoretischen Probleme weiter auszuarbeiten, die für den Physiker mit dem Übergang zum dialektisch-materialistischen Denken entstehen. Es müssen aber auch die Kategorien und Gesetze des dialektischen Materialismus konkretisiert werden.

Aus der Verallgemeinerung der physikalischen Ergebnisse ergibt sich für den die Möglichkeit der Teilnahme an der gemeinsamen Diskussion zwischen Physikern und Philosophen um die Richtung der Weiterentwicklung der Physik. Dazu muß er vor allem den dialektischen Materialismus als Methode zur weiteren Erforschung der Wirklichkeit ausarbeiten. Das erfordert die Aufhebung der metaphysischen Trennung von Theorie und Methode und die Ausnutzung der im dialektischen Materialismus vorhandenen Erkenntnisse.

Dabei ist der dialektische Materialismus nicht nur Methode, sondern auch Methodologie. Wie G. Klaus hervorhebt, gibt er den Methoden der Induktion, Deduktion, Analyse, Synthese usw. eine wirklich wissenschaftliche Grundlage und läßt sie als Momente der philosophischen Methode erscheinen.<sup>186</sup> Davon ausgehend, muß das Verhältnis von philosophischer und einzelwissenschaftlicher Methode untersucht werden.<sup>187</sup> Das ist eine weitere Aufgabe für

<sup>184</sup> W. Heisenberg, Physik und Philosophie, a. a. O., S. 114.

<sup>185</sup> Ebenda.

<sup>186</sup> G. Klaus, Philosophie und Einzelwissenschaft, Berlin 1958, S. 69.

<sup>187</sup> G. A. Podkoritow, Das Verhältnis der dialektischen Methode zu den einzelwissenschaftlichen Methoden, in: Вопросы философии 6/62, стр. 36 сл.

den Philosophen, die spezielle Arbeiten zur Rolle des Experiments, des Modells usw. erfordert.

Die Lösung dieser Aufgaben entspricht dem Anliegen des Physikers an den Philosophen. W. Macke schreibt dazu: „Abschließend möchte der Verfasser den Wunsch aussprechen, in gleicher Weise, wie er es selbst versucht hat, nämlich mit Worten der alltäglichen Sprache in ihrer alltäglichen Bedeutung, [193] vom Philosophen über dessen Probleme so unterrichtet zu werden, daß sie dem Physiker besser als bislang zugänglich werden – denn nur in dieser gegenseitigen Befruchtung kann der tiefere Sinn einer solchen Begegnung von Philosophen und Physikern gesehen werden.“<sup>188</sup> Dabei ist Professor Macke keineswegs so zu verstehen, als wolle er eine Darlegung der philosophischen Probleme in einer unexakten Ausdrucksweise. Es geht um eine philosophisch exakte Darlegung der philosophischen Probleme der Naturwissenschaft. Das Ergebnis ist zugleich eine Begriffserklärung, da der Naturwissenschaftler oft noch mit Begriffen des mechanischen Materialismus operiert.

In den bisherigen Veröffentlichungen in unserer Republik zu dieser Problematik wurde noch zuwenig auf die notwendige Diskussion um die Weiterentwicklung von Physik und Philosophie eingegangen. Zwar behandelt Georg Klaus die Rolle der Philosophie für die Naturwissenschaft. Er hebt auch die Bedeutung der Philosophie für die Einschätzung naturwissenschaftlicher Hypothesen hervor. Man gewinnt dabei jedoch den Eindruck, als ob der Philosoph das Richteramt über die Gültigkeit bestimmter Thesen übernehmen könne. Klaus schreibt: „Aber die Philosophie wird selbst eine naturwissenschaftliche Theorie, die logisch widerspruchsfrei ist und auch den bekannten Beobachtungen nicht widerspricht, noch nicht vorbehaltlos als richtig anerkennen. Sie wird es nämlich dann nicht tun, wenn eine solche Theorie den allgemeinsten Auffassungen von Natur und Gesellschaft widerspricht, d. h. also zwar im engeren Rahmen der Fachwissenschaft widerspruchsfrei ist, aber nicht im Gesamtrahmen unseres Wissens von der Welt.“<sup>189</sup> Klaus ist zuzustimmen, wenn er damit jede Einführung von Mystizismus und Übersinnlichem in die Naturwissenschaft als philosophisch unhaltbar qualifiziert. Probleme tauchen jedoch dort auf, wo einzelwissenschaftliche Theorien einander nicht vollständig entsprechen, aber eine Gruppe von Tatsachen richtig erklären.

Dort findet auch der wissenschaftliche Meinungsstreit in der Philosophie statt. Es kann verschiedene Auffassungen zur Deutung physikalischer Sachverhalte geben. In der Diskussion um die Determinismusauffassung in der modernen Physik anerkennen die sowjetischen Physiker die objektiv-reale Existenz kausaler Beziehungen und diese objektiven Beziehungen als den Inhalt unserer Kenntnisse. Der Streit geht jedoch auf der Grundlage dieser Voraussetzungen über die Möglichkeit der Erkenntnis des Zustands von Einzelteilchen.<sup>190</sup> Fock verteidigt die Kopenhagener statistische Deutung. Blochinzew versucht, über die Ensemble zu dieser Erkenntnis vorzudringen. [194] Terlezki anerkennt prinzipiell die gesetzmäßige Erfassung der Bahn eines Einzelteilchens. Das ist ein physikalisches und philosophisches Problem. Philosophisch gesehen ergibt sich folgendes: Entweder die Naturwissenschaft hat diese Problematik völlig allein zu lösen, dann wäre die Philosophie nur in der Lage, bereits vorhandene Gesetze und Ergebnisse der Naturwissenschaft zu interpretieren, oder die Philosophie hat inhaltlich etwas zu sagen. Wir halten den zweiten Standpunkt für richtig. Die Philosophie hat die allgemeinsten Gesetze der Bewegung ausgearbeitet. Diese Gesetze haben auch im Bereich der Natur Gültigkeit. Also kann der Philosoph, ausgerüstet mit der Kenntnis der Formen des objektiven Zusammenhänge, mitsprechen, wenn die konkreten Formen des Zusammenhangs in der Mikrophysik diskutiert werden. Seine Aufgabe ist dabei nicht die direkte einzelwissenschaftliche Entdeckung. Er soll vielmehr Anregungen für die Forschungsrich-

<sup>188</sup> Naturwissenschaft und Philosophie, a. a. O., S. 211.

<sup>189</sup> G. Klaus, Jesuiten – Gott – Materie, Berlin 1958, S. 83.

<sup>190</sup> Проблемы причинности в современной физике, Москва 1960, стр. 303.

tung geben. Durch die Ausarbeitung des dialektischen Materialismus als Methode zur weiteren Erforschung des entsprechenden Bereichs ist er dazu in der Lage.

Dabei muß vorausgesetzt werden, daß der Philosoph Kenntnisse auf dem naturwissenschaftlichen Gebiet besitzt, über das er diskutieren will. Andererseits ist es vorteilhaft, wenn der sich mit der marxistischen Philosophie vertraut gemacht hat. Es würde die Zusammenarbeit erleichtern, wenn der Physiker exakt formulierte philosophische Fragen dem Philosophen zur Beantwortung vorlegt. Die Ausarbeitung schon dieser Fragen ist jedoch schwierig.

Der Philosoph hat beim wissenschaftlichen Meinungsstreit in Physik und Philosophie nicht die Funktion eines Richters, sondern eines gleichberechtigten Diskussionspartners. Die Naturwissenschaft ist ein System von experimentell gesicherten Aussagen, allgemeinen Theorien, aber auch unbestätigten Hypothesen. Je mehr die Naturwissenschaftler sich mit dem dialektischen Materialismus vertraut machen, desto mehr tritt dann die gemeinsame Diskussion zwischen Naturwissenschaftlern und Philosophen um die Weiterentwicklung der Theorie in den Vordergrund. Die Philosophie ist ein System von allgemeinsten Gesetzen und Kategorien, die in allen Bereichen gültig sind. Sie umfassen aber auch die Anwendung dieser Gesetze und Kategorien auf das konkrete Material.<sup>191</sup> Soweit es nun um die Weiterentwicklung der einzelnen Wissenschaft geht, ist die Diskussion um die Hypothesen der Einzelwissenschaft identisch mit der Erörterung einer konkreten Anwendung der Philosophie in der entsprechenden Fachdisziplin. Dabei stellt der Einzelwissenschaftler die Fragen ausgehend von seiner genauen Kenntnis der ex-[195]perimentellen Grundlage, der bisherigen Theorien und der möglichen Schlußfolgerungen aus Experimenten und Theorie für die Entwicklung der Wissenschaft. Der Philosoph kann auf Grund seiner eingehenden Kenntnis der allgemeinsten Gesetze an dieser Diskussion teilnehmen. Die Anwendung der Gesetze der Philosophie auf die Einzelwissenschaft und die Bestimmung der Forschungsrichtung ist das Ergebnis, dieses Diskussion.

Wir können also in der Beziehung zwischen Physik und Philosophie unter Beachtung der Einheit von Methode und Theorie folgendes feststellen: Erstens sind die Ergebnisse der modernen Physik zur Bestätigung und Präzisierung der marxistischen Philosophie auszunutzen. Das erfordert die philosophische Verallgemeinerung des vorliegenden Tatsachenmaterials. Zweitens ist der dialektische Materialismus als Denkmethode auszuarbeiten. Das erfordert die Analyse dialektischen und materialistischen Denkens unter den Physikern. Diese Elemente treten bei der physikalischen Erforschung der Wirklichkeit und der philosophischen Deutung spezieller Theorien auf. Sie zeigen sich auch, wie in diesem Kapitel noch dargelegt werden soll, bei der Beantwortung erkenntnistheoretischer Fragen. Überall ist der Übergang vom mechanisch-materialistischen zum dialektisch-materialistischen Denken feststellbar. Der dialektische Materialismus ist die den Ergebnissen der Physik, vor allem auch der modernen Physik, entsprechende Denkmethode. Sie ermöglicht die wissenschaftliche philosophische Verallgemeinerung dieser Ergebnisse. Davon ausgehend kann drittens der dialektische Materialismus als Methode bei der weiteren Erforschung der Wirklichkeit ausgenutzt werden. Dabei kann und will er nicht die einzelwissenschaftlichen Methoden ersetzen. Er bleibt philosophische Methode und hilft bei der Ausarbeitung heuristischer Hinweise für die weitere Forschung, die mit einzelwissenschaftlichen Methoden erfolgen muß. Viertens ist der dialektische Materialismus als Methodologie die wissenschaftliche Grundlage für die einzelwissenschaftlichen Methoden. Er begründet den Zusammenhang von Experiment und Theorie, Induktion und Deduktion, Anschaulichkeit und Begriff usw. Die ungenügende Beachtung aller Seiten in diesem Verhältnis hemmt die philosophische und physikalische Forschung.

---

<sup>191</sup> Vgl. G. W. Platonow/M. N. Rutkewitsch, Über die Dialektik der Natur als philosophische Wissenschaft, in: Вопросы философии 3/63, стр. 134 след.

Die moderne Physik zwingt den Physiker nicht nur zur philosophischen Deutung seiner physikalischen Ergebnisse, sondern auch zur Beschäftigung mit allgemeinen erkenntnistheoretischen Problemen, wie der Existenz der objektiven Realität und ihrer Erkenntnis, der Rolle der Begriffe usw. Er braucht eine wissenschaftliche Philosophie, die ihm auch bei der Lösung dieser Probleme hilft.

Die materialistische Dialektik befaßt sich nicht nur mit den Formen des Zusammenhangs in Natur und Gesellschaft. Die dort vorhandene objek-[196]tive Dialektik wird im Denken als Dialektik der Begriffe oder subjektive Dialektik widergespiegelt. Der Prozeß der individuellen und gesellschaftlichen Erkenntnis ist ebenfalls Forschungsgegenstand des dialektischen Materialismus. Seine Anwendung auf diesen Bereich ist die dialektisch-materialistische Erkenntnistheorie. Wir haben uns bisher vor allem mit der objektiven Dialektik der von der Quantentheorie untersuchten physikalischen Prozesse befaßt. Dabei haben wir auch einige Bemerkungen zur Widerspiegelung dialektischer Widersprüche im Denken gemacht. Die moderne Physik wirft jedoch auch erkenntnistheoretische Probleme auf, die sich aus den modernen Untersuchungsmethoden der Physiker ergeben. Aus diesem Grunde, meinte Heisenberg, seien die dialektisch-materialistischen Begriffe von Materie und Wirklichkeit der modernen Technik nicht mehr angepaßt. Unsere Aufgabe ist nun die Überprüfung dieser Behauptung und die Ausnutzung der Erkenntnistheorie zur Behandlung der von der Quantentheorie aufgeworfenen Probleme.

## *2. Zum Problem der objektiven Realität in der Quantentheorie*

Das Problem der objektiven Realität in der Quantentheorie stand von Anfang an im Vordergrund der philosophischen Diskussion. Die Entdeckung des Welle-Korpuskel-Dualismus und die Beschränkung der Anwendbarkeit der klassischen Begriffe auf die mikrophysikalischen Objekte durch die Unbestimmtheitsrelationen hatten die Frage aufgeworfen: War unser klassisches Bild von den physikalischen Objekten richtig oder nicht? War es richtig, so war im klassischen Sinne die moderne Physik keine Widerspiegelung der objektiven Realität. War es nicht richtig, so mußte eine neue Deutung für die Ergebnisse der Quantenmechanik gefunden werden, die eine neue Vorstellung von der objektiven Realität zum Inhalt hatte.

Eben hier führten zeitweilige positivistische Einflüsse in der Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik zu einer Verwischung der wirklichen Problematik durch die Leugnung der objektiv-realen Existenz der Elementarobjekte mit ihren widersprüchlichen Eigenschaften. Erst mit der Wendung der Vertreter der Kopenhagener Deutung gegen den Positivismus trat die volle Problematik der Verbindung der physikalischen Ergebnisse mit einer wissenschaftlichen Vorstellung von der objektiven Realität wieder in den Vordergrund. Während zu Beginn dieser Diskussion in den zwanziger und dreißiger Jahren die positivistische Verwirrung in der Subjekt-Objekt-Problematik im Vordergrund stand, geht heute die Diskussion um das Verständnis der objektiven Realität der Elementarobjekte. Davon zeugen die [197] Bemerkungen Heisenbergs über den Begriff des Faktischen und Auffassungen Borns über den Begriff der Invarianz.

Omeljanowski hebt u. E. in zutreffender Weise zwei Fragen hervor, die der moderne Physiker beantworten muß, um seine Stellung zum Realitätsproblem zu beziehen. Erstens muß geklärt werden, ob die physikalischen Begriffe einen objektiven Inhalt haben, der außerhalb und unabhängig vom menschlichen Bewußtsein existiert. Zweitens muß die Frage beantwortet werden: Wie kann man von den Beobachtungen auf die objektiv-realen Eigenschaften der Elementarobjekte, auf die Vorgänge zwischen den Beobachtungen schließen?<sup>192</sup> Diese Fra-

---

<sup>192</sup> M. E. Omeljanowski, Das Realitätsproblem in der Quantenphysik, in: „Deutsche Zeitschrift für Philosophie“, Heft 3/60, S. 280 ff. Es kommt bei der Diskussion dieser Fragen auch auf die Herausarbeitung des richtigen Kerns der Auffassungen der Physiker in ihren Äußerungen zum Realitätsproblem an. Dieser konkreten Betrachtung

gen sind eng miteinander verbunden. Die erkenntnistheoretischen Schwierigkeiten bei der Beantwortung der zweiten Frage führten manche Physiker zur Verneinung der ersten. Im wesentlichen entspricht jedoch eine Bejahung der ersten Frage, d. h. die Anerkennung der objektivrealen Existenz der Elementarobjekte mit ihren Eigenschaften; dem spontanen Materialismus des Physikers. Problematisch ist für ihn, soweit er den mechanisch-materialistischen Standpunkt der Erkenntnis der Natur vertritt, die Beantwortung der zweiten Frage. Sie hängt mit der in der Physik wesentlich gewordenen Rolle des Meßinstruments zusammen. Ehe wir deshalb auf die Diskussionen der Begriffe des Faktischen und der Invarianz eingehen, wollen wir etwas zu dieser Problematik sagen.

a) Die Rolle des Meßgeräts in der Quantenmechanik

In der klassischen Mechanik war prinzipiell die Orts- und Impulsbestimmung einzelner sich bewegender Körper gleichzeitig möglich. Bei der Beobachtung dieser Körper gab es keinen wesentlichen Einfluß der Beobachtungs-[198]mittel auf die Bewegung dieser Körper. Die hervorragenden Erfolge der klassischen Mechanik bei der Beobachtung der Himmelskörper bringen diese Tatsache am deutlichsten zum Ausdruck. Bei der Berechnung der Bewegungsbahnen der Himmelskörper war nicht im entferntesten daran zu denken, daß eine wesentliche Änderung der Bewegung dieser physikalischen Objekte durch die Beobachtung des Menschen eintreten könnte.

Die moderne Physik zeigte nun jedoch die korpuskelhafte Wirkung der Lichtquanten. Sie besitzen eine bestimmte Energie, mit der sie beim Auftreffen auf Elementarteilchen deren Bewegungsbestimmungen wesentlich verändern. Greifen wir auf das Gedankenexperiment Heisenbergs von der Beobachtung des Elektrons unter dem Mikroskop zurück. Durch die Wechselwirkung von Lichtquant und Elektron kommt es zu Impulsänderungen oder Ortsungenauigkeiten, die eine Anwendung der klassischen Begriffe Ort und Impuls zur Bestimmung der Bewegung nur bedingt zulassen. Benutzt man dabei energiereiches, also kurzwelliges Licht, so erhält man eine merkliche Impulsänderung des zu beobachtenden Elementarteilchens. Das Ergebnis ist jedoch eine ziemlich exakte Ortsbestimmung. Je größer der Fehler bei der Bestimmung des Impulses, desto genauer ist nach den Unbestimmtheitsrelationen die Ortsbestimmung.

Andererseits kann man mit der Benutzung von energiearmem, langwelligem Licht eine genaue Impulsbestimmung erhalten, bekommt jedoch durch Beugungserscheinung eine Ortsunschärfe, die die Bestimmung des Ortes unmöglich macht. Man kann also unter Annahme der Gültigkeit der Unbestimmtheitsrelationen, die experimentell bestätigt sind, nie gleichzeitig Ort und Impuls eines Teilchens genau bestimmen. Legt man frühere Bestimmungen zugrunde, so begeht man einen Fehler, da sie sich bei den Beobachtungen ändern.

So weit gehen die Ergebnisse, die uns die Beobachtung von Elementarobjekten zum Zwecke der Bestimmung ihrer Bewegungsparameter bei Anwendung der Unbestimmtheitsrelationen liefert. Sie führten zur Einbeziehung der Meßinstrumente in die Deutung der objektivrealen Bewegung der Elementarobjekte durch die Physiker.

---

tung der Begriffe des Faktischen usw., wird bei Omeljanowski wenig Beachtung geschenkt. Das trifft auch auf sein Buch „Philosophische Probleme der Quantenmechanik“ (Berlin 1962) zu. Neben der richtigen Kritik positivistischer Tendenzen sind viele Einschätzungen enthalten, die das Anliegen der Physiker ungenügend hervorheben. So beachtet er nicht das echte Problem der Aufdeckung gesetzmäßiger Beziehungen zwischen Einzelobjekt und Gerät. Durch seine Kritik der Gerätekategorie behandelt er ungenügend den Schluß von der Beobachtung auf nicht beobachtbare physikalische Objekte (vgl. S. 45 ff.; 51; 139 ff.; 148 f.; 154; 169; 190 f.; 217). Die Anwendung der Unbestimmtheitsrelationen auf das einzelne Objekt wird als Idealismus eingeschätzt, das Komplementaritätsprinzip ebenfalls als idealistisch entlarvt (s. S. 41; 170 u. a.).

Die Behandlung der von ihm aufgeworfenen zweiten Frage fordert jedoch die Berücksichtigung positiver Ansätze zur Lösung der Probleme bei den Physikern. Das ist selbstverständlich mit einer philosophischen Kritik unzureichender Verallgemeinerungen verbunden.

Fock gab folgende Einteilung der experimentellen Anordnung: Er unterschied erstens den Teil, in dem das Objekt vorbereitet wird, zweitens den Teil, in welchem es sich in fixierten äußeren Verhältnissen befindet, und drittens den Teil, in welchem es gemessen (registriert) wird. Davon ausgehend bezeichnet er die Teile der Versuchsanordnung als vorbereitenden, eigentlich arbeitenden und registrierenden Teil. Als Beispiel nennt er die Elektronenbeugung am Kristall, bei der die Quelle eines monochromatischen Elektronenbündels – Blenden und andere vor dem Kristall befindliche Ein-[199]richtungen – als vorbereitender Teil betrachtet werden. Der arbeitende Teil ist der Kristall und der registrierende Teil eine Photoplatte oder ein Zähler. Man kann nun nach Fock den Schlußteil der Versuchsanordnung variieren, während die ersten beiden Stadien unverändert bleiben. Dabei erhält man Wahrscheinlichkeitsverteilungen für verschiedene Größen, wie Energie, Geschwindigkeit und räumliche Lage. Fock schließt seine bereits bekannte Auffassung von der objektiven Charakteristik des Zustands eines Objekts durch die Wellenfunktion an. Er schreibt: „Alle genannten Wahrscheinlichkeitsverteilungen können nun parametrisch durch ein und dieselbe Wellenfunktion ausgedrückt werden, welche von dem Schlußstadium des Experiments nicht abhängt und somit ein objektives Charakteristikum des Zustandes des Objekts unmittelbar vor dem Schlußstadium darstellt. Durch entsprechende Abstraktion wird man auf den Begriff des quantenmechanischen Zustands eines Objekts geführt.“<sup>193</sup>

Focks prinzipielle Darlegung der Versuchsanordnung läßt uns unsere Problematik des Realitätsbegriffs besser verstehen. Mit dem vorbereitenden und arbeitenden Teil des Experiments haben wir Bedingungen geschaffen, wie sie in der Natur im wesentlichen auch vorkommen. Natürlich gibt es keine mit Blenden usw. versehene Experimentiereinrichtung, aber es gibt dort ebenfalls Beugung an Kristallen. Es gibt, um bei dem Gedankenexperiment Heisenbergs zu bleiben, Wechselwirkung zwischen Quant und Elektron. Wenn nun die Wellengleichung eine Charakteristik der möglichen Realisierungen im registrierenden Teil ergibt, so gibt sie damit eine Charakteristik der objektiven Möglichkeiten unabhängig davon, ob ein registrierender Teil einer Experimentiereinrichtung vorhanden ist oder nicht.

Die erwähnten Experimente gestatten uns durch die mögliche Variierung der Bedingungen im Experiment die klare Bestimmung ganz bestimmter objektiver Eigenschaften der Elementarobjekte. Damit erhalten wir durch das Experiment philosophisch gesprochen eine Erscheinung, die uns bestimmte Momente des Wesens der erscheinenden objektiv-real existierenden physikalischen Objekte vermittelt. Ebenso erhalten wir in bestimmten Experimenten Kenntnis von den Welleneigenschaften und in anderen von den Korpuskeleigenschaften der Elementarobjekte. Aber mit diesen Erscheinungen haben wir keineswegs bereits das Wesen der untersuchten Objekte erkannt. Wir haben ja bewußt im Experiment solche Bedingungen geschaffen, die bestimmte, in der objektiven Realität zusammenhängende Eigenschaften aus ihrem Zusammenhang relativ isolieren und sie mit besonderer Deutlichkeit in den Experimenten zeigen. Wenn wir die Bedingungen des Experiments nun so ein [200] richten, daß auch andere, vielleicht entgegengesetzte Eigenschaften sichtbar werden, schaffen wir uns die Voraussetzung zur theoretischen Deutung des wirklichen Zusammenhangs der verschiedenen Eigenschaften der einheitlichen Elementarobjekte. Nehmen wir aus dem einen Experiment die Bestimmung der Welleneigenschaften und aus dem anderen die Bestimmung der Korpuskeleigenschaften, so hat die Theorie nun die Aufgabe, diese relativ isoliert betrachteten Eigenschaften in der Weise zusammenzufassen, daß sich bestimmte Schlußfolgerungen über das objektiv-reale Verhalten der einheitlichen Elementarobjekte ergeben, die ebenfalls mit Hilfe von Experimenten überprüft werden können. Genau dieses Resultat liefert für die Bewegung der Elementarobjekte die Quantenmechanik. Die Unbestimmtheitsrelationen, aus den

---

<sup>193</sup> V. Fock, Über die Deutung der Quantenmechanik, a. a. O., S. 188.

Experimenten als theoretische Deutung gewonnen, zeigen uns deshalb das objektiv-reale Verhalten der Elementarobjekte auch unabhängig von der Beobachtung.

Bei Betrachtung des Gedankenexperiments von Heisenberg wird deutlich, daß für die Formulierung des Ergebnisses der Bewegungsbestimmung des Elektrons nicht das für die Beobachtung notwendige Mikroskop wichtig ist, sondern die objektive Wechselwirkung zwischen Lichtquant und Elektron. Nehmen wir die Focksche Einteilung des Experiments, so ist hier ebenfalls wesentlich, daß die Wellenfunktion eine (genaue oder unvollständige) Charakteristik des Verhaltens der Objekte in äußeren, d. h. vom Beobachter unabhängigen, aber im Experiment vom Beobachter hergestellten Umständen darstellt, während der wesentliche, der registrierende Teil eines Experiments, zunächst aus der Betrachtung ausgeschlossen werden kann. Auch hier ist also nicht die Einwirkung des Meßinstruments entscheidend, sondern die experimentelle Anordnung soll uns bestimmte objektiv existierende Eigenschaften der Elementarobjekte beobachten lassen.

Der Schluß von Experiment und Beobachtung auf die objektiv-reale Existenz der Eigenschaften der Elementarobjekte erweist sich also vom Standpunkt des Materialismus als durchaus gerechtfertigt und widerspricht in keiner Weise den Ergebnissen der modernen Physik. Allgemein formuliert zeigt er die Berechtigung des Schlusses von unseren Beobachtungen überhaupt auf die Existenz einer objektiven Realität und damit objektiver Gesetzmäßigkeiten. Diesen Schluß zu leugnen wäre gleichbedeutend mit dem Übergang zum Idealismus und der Leugnung der Existenz objektiver Gesetzmäßigkeiten. Damit wäre jedoch der Wissenschaft ihr Forschungsobjekt entzogen.

Man kann nur zur Leugnung dieses Schlusses kommen, wenn man bereits die Leugnung der objektiven Realität voraussetzt und von diesem Standpunkt aus argumentiert. Geht man von der mechanisch-materialistischen Auf-[201]fassung aus, so stimmten in der klassischen Physik Wesen und Erscheinung überein. Die Beobachtung der Bewegung der Körper ergab einerseits objektiv-real existierende Welleneigenschaften, die den objektiv-realen Wellen (Lichtwellen, Wasserwellen usw.) zukamen. Andere Beobachtungen zeigten die Existenz objektiver Körper, die mit Hilfe der Punktmechanik erfaßt wurden. Durch die experimentell erwiesene Existenz beider sich widersprechender Eigenschaften an einheitlichen Objekten mußte der Physiker entweder diesen Widerspruch theoretisch erklären und damit die objektive Realität als etwas auffassen, das sich in den Experimenten in widersprüchlichen Eigenschaften zeigt. Das hieß zugleich, die Auffassung von der Gleichheit von Wesen und Erscheinung aufzugeben und das Experiment bereits als einen vom Menschen geschaffenen Analysator der Wirklichkeit zu verstehen, der in bestimmten Erscheinungen nur ein Moment des Wesens der objektiven Realität zeigte. Das Experiment analysierte bereits die Wirklichkeit. Der Physiker mußte die verschiedenen Ergebnisse dieser Analyse synthetisch in der Theorie zusammenfassen.

Er hatte aber auch die Möglichkeit, den alten Standpunkt der objektiv-realen und isolierten Existenz der im Experiment auftretenden Eigenschaften beizubehalten. Dann zeigte ihm zwar ein Experiment nicht nur ein Moment des Wesens, sondern das ganze Wesen, aber der Physiker war dann gezwungen, auf die Anerkennung einheitlich existierender, objektiv-realer Elementarobjekte mit widersprüchlichen Eigenschaften zu verzichten. Das bedeutete jedoch in der Konsequenz die Unmöglichkeit, einen Schluß von der Beobachtung auf die objektive Realität anzuerkennen. Wesentlich für das Auftreten der Eigenschaften war nun die Anordnung des Experiments, die Einwirkung des Beobachtungsmittels auf das Elementarobjekt. Damit wurde als Ursache der experimentellen Ergebnisse nicht mehr die widersprüchliche Natur der objektiv-real existierenden Elementarobjekte, sondern die Experimentiereinrichtung genommen. Das, was uns also eine Nachricht über die Außenwelt vermittelte, wurde als Ursache für den Inhalt dieser Nachricht angesehen. Damit ist man jedoch offensichtlich beim

Positivismus gelangt. Um diesen Standpunkt wirksam bekämpfen zu können, mußten die Physiker der Kopenhagener Schule deshalb um das wirkliche Verständnis des Erkenntnisprozesses ringen. Es galt zu begreifen, daß nicht die Experimentiereinrichtung die Ursache für das gesetzmäßige Verhalten der Elementarobjekte ist.

Die Experimente vermitteln uns Kenntnisse über das objektive Verhalten der Elementarobjekte, denn der Ausgang eines Experiments hängt nicht vom Wunsch und Willen des Experimentators ab. Er kann nur bestimmte Seiten hervorheben. Etwas anderes bedeutet aber objektives Verhalten nicht. [202] Objektiv heißt unabhängig vom Bewußtsein des Menschen, d. h., der Mensch kann sich das Verhalten der Elementarobjekte nicht wünschen. Das ist für den Naturwissenschaftler trivial. Jedoch können daraus weitgehende theoretische Schlußfolgerungen gezogen werden. Die neue experimentelle Situation in der Quantenmechanik zeigte die Grenzen der klassischen Beschreibung der Bewegung physikalischer Objekte. Die bei der Beobachtung auftretende Wechselwirkung zwischen Lichtquant und Elementarteilchen, die zur Beschränkung der Anwendbarkeit der klassischen Begriffe durch die Unbestimmtheitsrelationen führte, mußte der Erkenntnis der objektiv-realen Wechselwirkung auch unabhängig von der Beobachtung dienen. Das Wesen der Einwirkung des Meßinstruments auf die Elementarobjekte ist also die objektiv-reale Wechselwirkung der Elementarobjekte. Insofern spiegelt diese Einwirkung des Meßinstruments tatsächlich etwas qualitativ Neues wider. Bei dieser Feststellung jedoch anzuhalten, heißt bei der Erscheinung stehenzubleiben und nicht den wissenschaftlichen Schluß von dieser Feststellung auf die objektiv-reale Wechselwirkung als wesentlichen Faktor für die Bewegung der Elementarobjekte ziehen.

Damit ist zwar die Frage nach der Berechtigung des Schlusses von der Beobachtung auf die objektiv-realen Eigenschaften der Elementarobjekte geklärt, aber noch nicht die Schwierigkeit beseitigt, die mit der Anwendung der klassischen Begriffe in der Beschreibung der experimentellen Ergebnisse zusammenhängt. Wir können Fock nur zustimmen, wenn er schreibt:

„Alle Eigenschaften des Mikroobjekts, einschließlich der spezifisch quantenmechanischen (d. h. derjenigen, für deren Formulierung die klassische Mechanik nicht ausreicht), müssen aus der Einwirkung des Mikroobjekts auf klassisch beschreibbare Meßinstrumente erschlossen werden.“<sup>194</sup>

Diese Auffassung gilt es jedoch in bezug auf unsere Frage nach der Realität in der Quantenmechanik zu präzisieren:

1. Die Benutzung von klassisch beschreibbaren Meßinstrumenten ist tatsächlich Voraussetzung für die Beobachtung der Elementarobjekte. Ihre Benutzung ermöglicht uns die Beobachtung bestimmter Erscheinungen, deren Ursache die objektiv-real existierenden Elementarobjekte sind.
2. Da die Benutzung der klassischen Meßinstrumente klassisch widerspruchsvolle Eigenschaften der Elementarobjekte zutage fördert, müssen wir den Schluß ziehen, daß die von der Quantenmechanik beobachteten Objekte uns neue Eigenschaften der objektiven Realität zeigen, die die klassische Mechanik bei der Beschreibung der Bewegung physikalischer Objekte vernachlässigen konnte. Die Benutzung klassischer Meßinstrumente ermöglicht uns also, Schlüsse in bezug auf das nicht-klassische Wesen der objektiv-real existierenden Eigenschaften der Elementarobjekte zu ziehen.
3. Die mit dem Experiment durchgeführten Analysen der objektiven Realität, die relativ isolierte Betrachtung bestimmter Eigenschaften ermöglicht uns die theoretische Zusammenfassung der gewonnenen experimentellen Ergebnisse. Mit dieser Theorie können wir besser als mit der klassischen Mechanik die Bewegung physikalischer Objekte erfassen, da wir neue

---

<sup>194</sup> Ebenda, S. 185.

Bestimmungen für die Darstellung der Bewegung in der Theorie einführen mußten, die unsere erweiterten Erkenntnisse über die objektiv-realen Eigenschaften der Elementarobjekte ausdrücken. Zugleich wissen wir, daß auch diese Theorie nur eine annähernde Beschreibung der Wirklichkeit ist und der Erweiterung bedarf.

Was wir also als Ergebnis unserer Schlüsse aus der Einwirkung des Mikroobjekts auf klassische Meßinstrumente erhalten, ist unabhängig vom Meßinstrument. Es ist eine Aussage über die objektiv-realen Eigenschaften der Mikroobjekte. Diese Eigenschaften kommen den Objekten zu, ob wir sie beobachten oder nicht. Das Experiment und die Theorie erlauben uns, ausgehend von der Beobachtung wesentlicher Eigenschaften im Experiment, auf das Verhalten der Teilchen auch außerhalb der Beobachtung zu schließen. Damit ermöglicht uns die Quantenmechanik neue Aussagen über die objektive Realität, die sich von der klassischen Mechanik unterscheiden. Erkenntnistheoretische Schwierigkeiten bei der Deutung des Sachverhalts hatten manche Physiker – Anhänger der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie – zu idealistischen Äußerungen geführt. Die objektive Realität war reicher an Beziehungen, als die klassische Physik aufgedeckt hatte. Sie stellte den Wissenschaftler stets vor neue Fragen. Es wurden neue Eigenschaften, neue Objekte und neue Zusammenhänge erkannt.

Theorie und Wirklichkeit erwiesen sich als nicht deckungsgleich. Mit der klassischen Vorstellung von der Wirklichkeit geben manche Physiker die Anerkennung der objektiven Realität überhaupt auf.<sup>195</sup> Sie hatten die Entwicklung des philosophischen Materiebegriffs durch den dialektischen Materialismus dabei nicht berücksichtigt. Lenin definierte die Materie als eine philosophische Kategorie zur Bezeichnung der objektiven Realität, d. h. dessen, was außerhalb und unabhängig vom menschlichen Bewußtsein existiert.<sup>196</sup> Dieser Begriff faßt in seiner Allgemeinheit alle Objekte, Eigenschaften und [204] Beziehungen, die der Mensch entdeckt hat und noch entdeckt. Er hebt nur hervor, daß die Objekte usw. nicht vom Bewußtsein, d. h. von der Widerspiegelung in Begriffen, Theorien und Hypothesen, abhängig sind. Diese Auffassung fordert den Physiker geradezu auf, das existierende Weltbild und die neuesten physikalischen Theorien nicht als endgültig zu betrachten, sondern stets nach neuen unbekanntem und unerahnten Objekten und Eigenschaften zu suchen. Dabei forscht er mit Hilfe von Experimenten. Er verändert die zu untersuchenden Objekte, indem er sie bestimmten Bedingungen unterwirft. Damit schafft er sich Vorgänge, deren innerer Zusammenhang und Ablauf unabhängig von ihm ist, aber durch Geräte registriert und dadurch beschrieben werden kann. Diese Beschreibung führt ihn zu Schlußfolgerungen über das objektiv-reale Verhalten physikalischer Objekte außerhalb des Experiments. Er baut eine Theorie zur Deutung einer Gruppe von Erscheinungen auf. Sie erweist sich als relativ richtig im Rahmen der praktisch überprüften Schlußfolgerungen. Neue Experimente verlangen neue Theorien, wie bestimmte Theorien Experimente zur Überprüfung von Schlußfolgerungen verlangen. Die tätige Veränderung der Welt, die Praxis hilft dem Menschen bei der Erkenntnis. Der einzelne Forscher analysiert im Experiment bestimmte Objekte und Beziehungen. Dabei hebt er reproduzierbare objektive, d. h. vom menschlichen Bewußtsein, jedoch nicht von den objektiven Bedingungen unabhängige Zusammenhänge hervor. Diese in Gesetzen ausgedrückten Beziehungen widerspiegeln objektive Verhältnisse im Bewußtsein. Über die Erscheinung im Experiment erkennt der Forscher ein Moment des Wesens durch richtige wissenschaftliche Verallgemeinerung. Abhängig vom menschlichen Bewußtsein ist die Erkenntnis, unabhängig von ihm der objektive Zusammenhang, das objektive Gesetz. Unabhängig vom Menschen sind die materiellen Objekte, Beziehungen und Eigenschaften, abhängig vom Menschen sind die Mittel, die er zu ihrer Erkenntnis konstruieren muß.

<sup>195</sup> Diese idealistischen Tendenzen wurden mehrfach scharf kritisiert. Vgl. z. B.: M. E. Omeljanowski, Philosophische Fragen der Quantenmechanik, Berlin 1962.

<sup>196</sup> Vgl. W. I. Lenin, Materialismus und Empiriekritizismus, a. a. O., S. 124.

Heisenberg hob die Verfeinerung der experimentellen Technik hervor. Sie liefert uns ständig neue Kenntnisse. Insofern bereichert sich unser Wissen über die Materie. Der philosophische Materiebegriff umfaßt aber auch noch nicht Erkanntes, nicht in seiner Struktur und Spezifik, sondern nur in dem allgemeinen Merkmal, daß es unabhängig vom menschlichen Bewußtsein ist. Erst durch die tätige Veränderung, die Erkenntnis der objektiven Realität und die Ausnutzung der Erkenntnisse zur weiteren Veränderung entsprechend den menschlichen Zielen und Zwecken wird der Mensch zum Schöpfer der Welt. Auch damit hebt er nicht die Unabhängigkeit der erkannten Beziehungen von seinem Bewußtsein auf.

[205] Deshalb diskutiert Heisenberg eigentlich gar nicht die Materiedefinition, wenn er Probleme der Quantentheorie, wie das Verhältnis von Objekt und Gerät, hervorhebt. Das sind Erkenntnisprobleme. Sie erfordern Antwort auf folgende Fragen: Wie sind die Elementarobjekte strukturiert? Welche Bedingungen determinieren das Verhalten der Elementarobjekte? Welche Bewegungsgesetze bestimmen das Einzelobjekt? Diese Fragen verlangen intensive physikalische Forschung zu ihrer Beantwortung. Menschliche Entdeckerfreude und menschliches Leistungsvermögen, der Entwicklungsstand der wissenschaftlichen Geräte und die materiellen Möglichkeiten sind einige Faktoren, die den schnellen Erkenntnisfortschritt bestimmen. Zu erkennen ist auch hier die Materie, d. h. das, was außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein existiert.

Mit der Leninschen Materiedefinition haben wir also eine Grundlage für weitere Diskussionen. Jede neue Entdeckung zeigt neue Seiten der physikalischen Objekte, die von philosophischem Interesse sind. Das eigentliche Anliegen des Physikers ist hierbei die philosophische Analyse neuer Seiten der objektiven Realität und die Klärung auftauchender erkenntnistheoretischer Probleme. Da jedoch manche Physiker die wissenschaftliche Materiedefinition noch nicht anerkennen, werden ihre erkenntnistheoretischen Fragen auch mit Formulierungen verbunden, in denen das Veralten des Materiebegriffs behauptet wird, wie das bei Heisenberg der Fall ist. Es ist deshalb interessant, die Realitätsvorstellung solcher Physiker zu analysieren. Durch die Entwicklung der Physik bestimmt, veränderten sich die Auffassungen Bohrs, Borns und Heisenbergs.

b) Die Realitätsvorstellung Niels Bohrs, Max Borns und Werner Heisenbergs

Die Vorstellungen von der objektiven Realität, wie wir sie zuletzt von Heisenberg, Bohr und Born vertreten finden, verdienen deshalb Beachtung, weil sie einerseits die erkenntnistheoretischen Probleme der Physiker erneut zur Diskussion stellen. Man muß also untersuchen, wie weit diesen die jetzigen Auffassungen gerecht werden. Andererseits sind sie Ausdruck der Loslösung vom Positivismus. Man muß also beachten, wie weit sie den Positivismus mit ihrer Kritik treffen.

Nach der Aufstellung des Komplementaritätsprinzips durch Bohr stand von seiten der Marxisten die Auseinandersetzung mit der Leugnung der objektiven Realität, die mit diesem Prinzip teilweise verbunden wurde, im Vordergrund. So wird in einer Arbeit des sowjetischen Wissenschaftlers Gornstein über den Positivismus das Komplementaritätsprinzip nicht als ein physikalisches, sondern als ein subjektiv-idealistisches philosophisches Prin-[206]zip bezeichnet, das mit der Verneinung der Objektivität und der Kausalität der Mikroobjekte verbunden ist: „Daraus, daß die Quantenmechanik die Mikroerscheinungen mit Hilfe makroskopischer Geräte erforscht, folgt durchaus nicht, daß die Mikroerscheinungen selbst durch die Geräte hervorgebracht werden, daß sie im Beobachtungsprozeß entstehen. Diese subjektiv-idealistische Lösung der grundlegenden philosophischen Frage nach den Wechselbeziehungen zwischen Subjekt und Objekt folgt nicht aus der Quantenmechanik.“<sup>197</sup>

<sup>197</sup> T. N. Gornstein, in: *Современны субъективны идеализм*, Москва 1957, стр. 356.

Die Behandlung der Subjekt-Objekt-Problematik durch die Vertreter der Kopenhagener Deutung war tatsächlich wesentlich durch die subjektiv-idealistische philosophische Haltung des Positivismus beeinflusst. Eigentlich ging es jedoch den Physikern um ein anderes Problem. Sie hatten die Frage nach der Berechtigung des Schlusses von den beobachteten Erscheinungen auf die nicht-beobachteten Eigenschaften der physikalischen Objekte zu prüfen, da die Einwirkung des Meßgeräts auf die physikalischen Objekte sich als wesentlich erwies. So richtig also die Kritik am Positivismus in der Haltung zur Subjekt-Objekt-Problematik ist, so falsch ist es, die philosophische Diskussion mit den Naturwissenschaftlern darauf zu beschränken. Der Naturwissenschaftler muß notwendig in seiner philosophischen Haltung, soweit er idealistische Thesen vertritt, widersprüchlich sein, da er stets auch spontaner Materialist ist. Gerade das führt ihn zur Revision idealistischer Thesen, sobald ihr Widerspruch zu seiner wissenschaftlichen Arbeit offensichtlich wird.

Wir hatten bereits darauf hingewiesen, daß die Physiker mit dem Komplementaritätsprinzip eine angemessene Deutung des physikalischen Sachverhalts gaben, der mit den Unbestimmtheitsrelationen verbunden ist. Diese Deutung war theoretisch unzureichend, hob jedoch bereits den Zusammenhang zwischen Wellen- und Korpuskeleigenschaften, wenn auch nur für die Theorie hervor.<sup>198</sup> Verbunden mit der Anerkennung der objektiven Realität der Elementarobjekte und ihrer Eigenschaften, mußte dieses Prinzip zu einer wissenschaftlichen Deutung des Zusammenhangs der sich widersprechenden Wellen- und Korpuskeleigenschaften führen. Zumindest war mit dem Komplementaritätsprinzip der tatsächliche Zusammenhang zwischen beiden Eigenschaften festgestellt und damit die Forderung nach philosophischer Begründung dieses Zusammenhanges gegeben.

[207] Max Born hatte sich bereits sehr früh vom Positivismus distanziert, ohne sich in allen Fragen konsequent von dessen Problemlösungen lossagen zu können: Er hielt jedoch konsequent an der Anerkennung einer objektiven Realität fest. Dabei versuchte er, diese Auffassung auch theoretisch zu untermauern. Er wendet sich vor allem gegen die positivistische Leugnung der Erkennbarkeit des Wesens der untersuchten physikalischen Objekte. Von den ständig wechselnden Erscheinungen muß man nach Born zu ihren Invarianten kommen. Mit ihnen hat man das Wesen erkannt. Gemäß Max Born sind die Erscheinungen vom Experiment abhängig, die Invarianten jedoch nicht. Der sowjetische Gelehrte Suworow hebt die Bedeutung der Bornschen Realitätsauffassung im Kampf gegen den Positivismus hervor und zeigt zugleich ihre Mängel.<sup>199</sup> Zu diesen Mängeln ist vor allem die Auffassung Borns zu rechnen, wonach nur die Invarianten objektiv-real sind, während die Erscheinungen an die Beobachtungen gebunden sind. Zwei Gedanken, die bei der Behandlung der Realitätsproblematik wesentlich sind, werden jedoch in der bisherigen Auseinandersetzung noch zu wenig beachtet: Suworow kritisiert vom Standpunkt des dialektischen Materialismus Borns Auffassung, der mit Hilfe der Invarianten die objektive Realität logisch konstituieren will und schreibt: „Die Frage nach dem Typ der Transformationen, über die die Unveränderlichen zu finden sind, lösen wir auf dem Wege der Erforschung der äußeren Welt und der praktischen Prüfung der Ergebnisse dieser Forschungsarbeit. Daraus folgt, daß wir hierbei zuerst von der physikalischen Realität ausgehen und dann erst die Unveränderlichen herausfinden ... Die Existenz der ‚physikalischen Realität‘, genauer gesagt der objektiven Realität ist Ausgangsposition und Voraussetzung für die physikalischen Forschungsarbeiten und nicht die logische Schlußfolgerung aus der gefundenen Unveränderlichen.“<sup>200</sup>

<sup>198</sup> Omeljanowski hebt hervor, daß der Gedanke der Komplementarität ein Schritt zur Dialektik ist. (M. E. Omeljanowski, Das Realitätsproblem in der Quantenphysik, in: „Deutsche Zeitschrift für Philosophie“, 3/60, S. 285.)

<sup>199</sup> Vogel stellte die Auffassungen Borns und Suworows zusammen und hob dabei besonders den materialistischen Kern der Bornschen Thesen hervor. Vgl. Um das Weltbild des modernen Naturwissenschaftlers, in: Das Hochschulwesen, 1959.

<sup>200</sup> Ebenda, S. 16.

Unter dieser Voraussetzung der objektiven Realität als Grundlage unserer Forschungsarbeit tritt auch die von Max Born erwähnte Problematik auf. Es geht um die logische Fassung der objektiven Realität, d. h. um die wissenschaftliche Definition des Materiebegriffs. Erst die marxistische Philosophie gibt die wissenschaftlich exakte und begründete Materiedefinition. Engels hob gerade diese Seite in der Auseinandersetzung mit den mechanischen Materialisten hervor. Er bezeichnet den Materiebegriff „als reine Gedankenschöpfung und Abstraktion“. Bei seiner Definition wird „von den qualitativen Verschiedenheiten der Dinge“ abgesehen.<sup>201</sup>

[208] Neben der berechtigten Kritik an der Bornschen Auffassung muß man gerade diese Seite hervorheben, weil sie ein Ansatzpunkt für das Heranführen der Physiker an die dialektisch-materialistische Erkenntnistheorie ist. Born versucht mit seinen Invarianten die Eigenschaften zu finden, die unabhängig von dem Wechsel der Erscheinungen konstant bleiben. Dabei wird er selbst zur Überzeugung kommen, daß es sich innerhalb der Physik um eine relative Konstanz handelt. So änderte sich die Invarianz der Länge mit dem Übergang von der Galilei- zur Lorentz-Transformation. Invariant war nun die raum-zeitliche Beschreibung eines Ereignisses. Damit war man tiefer in die Erkenntnis des Wesens physikalischer Raum-Zeit-Zusammenhänge eingedrungen. Der erkenntnistheoretisch richtige Gedanke von der notwendigen Abstraktion unveränderlicher Eigenschaften, um zum Begriff der Materie zu kommen, muß deshalb aus der Physik herausführen. Diese absolut unveränderlichen Eigenschaften (im Rahmen der Grundfrage der Philosophie zur Definition des Materiebegriffs) sind die Existenz der Dinge und Erscheinungen außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein. Damit haben wir die logische Schlußfolgerung aus den gefundenen Unveränderlichen im Materiebegriff.

Born beginnt mit der Abstraktion von unwesentlichen Unterschieden in den Erscheinungen, und findet das Wesen in den Invarianten. Aber diese Invarianten sind selbst noch relativ invariant, sind veränderlich. Born versucht, bereits mit den physikalischen Invarianten den Materiebegriff zu fassen. Der Abstraktionsprozeß muß jedoch weitergeführt werden. Es muß auch von den in den wesentlichen Bestimmungen festgehaltenen qualitativen Unterschieden der physikalischen Objekte, ihrer Energie, ihrem Spin, ihre Ladung usw. abstrahiert werden, um zum Materiebegriff zu kommen. Lenin stellt bei der Definition des Materiebegriffs die Frage: „Ist dem Menschen, wenn er das Rote sieht, das Harte empfindet usw., die objektive Realität gegeben oder nicht?“<sup>202</sup> Eben diese Frage muß der Physiker beantworten, wenn er die Elementarobjekte im Experiment beobachtet. Born beantwortet sie bejahend, wobei er mit den Invarianten diese objektive Realität gefunden zu haben meint. Lenin fordert die Bejahung dieser Frage mit Hilfe des Materiebegriffs. „Ist aber die Realität gegeben, dann braucht man für diese objektive Realität einen philosophischen Begriff, und dieser Begriff ist schon vor sehr langer Zeit geschaffen worden, dieser Begriff ist eben die Materie. Die Materie ist eine philosophische Kategorie zur Bezeichnung der objektiven Realität, die dem Menschen in seinen Empfindungen gegeben ist ...“<sup>203</sup> Born [209] muß sich mit seinem Begriff der Kritik aussetzen, weil die Invarianten der Physik keine wirklich unveränderlichen Eigenschaften sind. Aber er hat bereits den richtigen Weg gefunden, der bei konsequenter Fortführung auch über den Rahmen der Physik hinaus zur wissenschaftlichen Materiedefinition führt. Diese Definition umfaßt alle bereits bekannten und noch zu untersuchenden wissenschaftlichen Objekte nach ihren allgemeinsten Merkmalen. Sie existieren außerhalb (real) und unabhängig (objektiv) vom Bewußtsein und werden vom Bewußtsein bei ihrer Einwirkung auf die Sinnesorgane widergespiegelt.

<sup>201</sup> F. Engels, Dialektik der Natur, a. a. O., S. 519.

<sup>202</sup> W. I. Lenin, Materialismus und Empiriokritizismus, a. a. O, S. 1213.

<sup>203</sup> Ebenda, S. 123 f.

Der zweite Gedanke Borns, der die mechanisch-materialistische Realitätsauffassung unter den Physikern erweitert und bisher zu wenig Beachtung fand, ist folgender: Born hebt die in der modernen Physik offensichtlich gewordene aktive Rolle des Subjekts im Erkenntnisprozeß hervor. Der Physiker schafft sich im Experiment beobachtbare (meßbare) objektive Erscheinungen, die ihm die Erkenntnis des Wesens der im Experiment beobachteten Erscheinungen durch Variation der Bedingungen ermöglicht. Max Born schreibt: „Was aber den gegebenen Eingriff des Beobachters in einer gegebenen experimentellen Situation betrifft, so trifft die Quantenmechanik bestimmte Feststellungen über das Wissen, das maximal gewonnen werden kann. Obwohl wir nicht alles wissen oder uns einem vollkommenen Wissen auch nur annähern können, so können wir doch durch Verbesserung unserer Instrumente gewisse beschränkte, aber wohl umrissene Kenntnisse erlangen, die unabhängig vom Beobachter und seinem Apparat sind, nämlich die invarianten Eigentümlichkeiten einer Anzahl in geeigneter Weise entworfener Experimente. Der Vorgang, durch welchen wir dieses Wissen erwerben, ist sicherlich durch das beobachtende Subjekt mitbedingt, was aber nicht bedeutet, daß die Ergebnisse der Realität entbehren.“<sup>204</sup>

Auf die von Born vertretene Auffassung der Beschränktheit unserer Kenntnisse werden wir später noch zu sprechen kommen. Sie entspringt aus der Zugrundelegung des klassischen Ideals von der Erkennbarkeit aller (notwendigen oder zufälligen) Beziehungen. Born hebt zweierlei hervor. Erstens ist der Beobachter für die Durchführung eines Experiments wesentlich. Er bedingt den objektiven Vorgang im Experiment mit und schafft bestimmte Bedingungen, unter denen der Vorgang abläuft. Damit fordert er die Reaktion der physikalischen Objekte auf diese Bedingungen heraus und kann diese Reaktionen erforschen. So wird im Experiment der objektive Vorgang nicht subjektiviert. Das beobachtende Subjekt wird jedoch in seiner wirklichen Rolle als erkennendes, die objektive Realität bewußt veränderndes Wesen [210] betrachtet. Zweitens hebt Born hervor, daß durch die aktive Rolle des Beobachters im Experiment die Realität der Ergebnisse nicht eingeschränkt wird. Wir erhalten also Kenntnisse über die objektive Realität und nicht nur, wie der Positivismus behauptet, über das Verhalten der physikalischen Objekte in einem bestimmten Experiment.

Die Anschauung Borns von der Aktivität des Subjekts entspricht der dialektisch-materialistischen Auffassung von der Rolle der Praxis im Erkenntnisprozeß. Damit wendet sich Born gegen die für den mechanischen Materialismus kennzeichnende Vernachlässigung der Rolle der Praxis, ohne zum Idealismus überzugehen. Das Vorgehen Borns ist dabei nicht einem bewußt dialektisch-materialistischen Herangehen an die Wirklichkeit gleichzusetzen. Es wird eine neue Problematik, die sich für Born durch die Ergebnisse der modernen Physik ergab, auf der Grundlage eines materialistischen Standpunktes ausgearbeitet. Dabei kommt es zu Schwankungen und falschen Thesen. Max Born erfaßt jedoch im wesentlichen die aktive Rolle des Menschen im Erkenntnisprozeß am Beispiel des physikalischen Experimentators.

Die Betrachtung der Bornschen Auffassung zeigte uns das Bestreben eines Physikers, seine Anerkennung der objektiven Realität theoretisch zu fassen. Damit sehen wir unsere schon oben erwähnte Äußerung bestätigt: Die Anerkennung der Komplementarität ist mit dem Materialismus verbunden. Das führt zu richtigen Gedanken über erkenntnistheoretische Fragen, die vom dialektischen Materialismus bewußt gestellt und beantwortet werden.

Nicht nur Max Born, sondern auch andere Physiker, frühere Anhänger positivistischer Thesen, verbinden die Komplementarität mit dem Materialismus. Der Begründer der Komplementarität, Niels Bohr, wendet sich gegen die Verwendung solcher Termini zur Kennzeichnung der Ergebnisse der modernen Physik, die zur Verwirrung führen und als eine Annäherung an den Idealismus betrachtet werden können. Ohne das direkt zu sagen, bezeichnet er

---

<sup>204</sup> M. Born, Physik im Wandel meiner Zeit, Braunschweig 1958, S. 156.

doch gebräuchliche Wendungen wie „Störung der Phänomene durch Beobachtung“ oder „den atomaren Objekten durch Messungen physikalische Attribute beilegen“ als „kaum vereinbar mit der Umgangssprache und praktischer Definition“.<sup>205</sup> Damit wendet er sich von solchen Formulierungen ab, die den Positivisten als Grundlage für ihre idealistische Deutung der Ergebnisse der Physik dienen. Bohr versteht unter Umgangssprache und praktischer Definition die Anerkennung der objektiven Realität. Er hebt den „vollkommen objektiven Charakter“ der Beschreibung atomarer Objekte in dem Sinne hervor, „daß nicht ausdrücklich auf einen individuel-[211]len Beobachter Bezug genommen wird“.<sup>206</sup> Niels Bohr sieht hinsichtlich der Anerkennung der objektiven Realität keinen prinzipiellen Unterschied zwischen der klassischen und der modernen Physik. Damit wird in durchaus richtiger Weise das gemeinsame Grundprinzip des mechanischen und dialektischen Materialismus betont. Bohr hebt aber auch die neuen Züge in der Realitätsvorstellung der Physiker hervor, die über die klassische Auffassung hinausgehen. Dazu zählt er die von uns bereits untersuchte Rolle des Meßgeräts, die auch bei Born zur Hervorhebung der aktiven Seite des Menschen im Erkenntnisprozeß führte. Weiter betont er die Bedeutung statistischer Gesetze zur Beschreibung der atomaren Phänomene und die Komplementarität. Tatsächlich bringen sowohl die Quantenstatistik als auch die Komplementarität neue Züge der objektiv-real existierenden Elementarobjekte zum Ausdruck, die in der klassischen Physik unbekannt waren.

Wir hatten schon bei der Untersuchung der Bewegungsauffassung die mit der Bohrschen Auffassung der Komplementarität verbundene Problematik untersucht. Wir hatten dort Fock zugestimmt, der die Bohrschen Ideen für einfügbar in den materialistischen Ideenkreis hielt.

Heisenberg benutzt zur Abgrenzung vom Positivismus und zur Darlegung der mit der Realitätsauffassung verbundenen Problematik den Begriff des „Faktischen“. Über die mit der Verwendung dieses Begriffs verbundene Problematik haben wir bereits an anderer Stelle gesprochen<sup>207</sup> und dabei zwei Mängel dieses Begriffs im Zusammenhang mit dem dialektisch-materialistischen Materiebegriff hervorgehoben: Erstens reduziert der Begriff des „Faktischen“ die objektiv-realen Erscheinungen, in denen das Wesen der Dinge und Erscheinungen sich in der Einwirkung auf andere Dinge und Erscheinungen zeigt, auf die beobachteten oder registrierten Erscheinungen. Das Faktische sind nach Heisenberg die in klassischen Begriffen beschreibbaren Dinge und Vorgänge. Damit grenzt sich Heisenberg zwar von einer extremen Subjektivierung des Experiments ab, aber der Begriff des Faktischen ermöglicht nicht den Übergang von Aussagen über beobachtete zu solchen über unbeobachtete Objekte. Zweitens gestattet uns der Begriff des Faktischen nicht, den Zusammenhang zwischen Wesen und Erscheinung richtig zu fassen. Dieser Zusammenhang ermöglicht es uns aber, von beobachteten Erscheinungen, die ein Moment des Wesens zum Ausdruck bringen, auf das Wesen der unbeobachteten Prozesse zu schließen. Mit dem Begriff des Faktischen werden jedoch die beobachteten von den unbeobachteten Erscheinungen getrennt. [212] Wenn man diese Mängel berücksichtigt, weist uns auch die mit dem Begriff des Faktischen verbundene Deutung Heisenbergs auf die Lösung bestimmter Probleme hin. Er hebt die für den Physiker neue Beziehung des Verhältnisses zwischen Möglichkeit und Wirklichkeit hervor, die tatsächlich für die Deutung der physikalischen Ergebnisse wesentlich ist. Im Zusammenhang mit der Realitätsauffassung Heisenbergs sei jedoch hier noch auf eine weitere Problematik eingegangen.

Wir hatten gesehen, daß Bohr die Anwendung der Statistik auf dem Gebiet der Quantenmechanik als wesentliches Merkmal der neuen Realitätsvorstellung betrachtete. Die statistische

<sup>205</sup> N. Bohr, Über Erkenntnisfragen der Quantenphysik, a. a. O., S. 173.

<sup>206</sup> Ebenda, S. 171.

<sup>207</sup> H. Hörz, Bemerkungen zum Begriff des ‚Faktischen‘ in der Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik, in: „Deutsche Zeitschrift für Philosophie“ 1/62, S. 75 ff.

Deutung der Quantenmechanik hat nun die Diskussion um den Wahrscheinlichkeitsbegriff in den Vordergrund gerückt. Ausgehend von der Situation in der Quantenmechanik diskutiert auch Heisenberg die Bedeutung dieser Funktion. Nach ihm besitzt sie objektive und subjektive Elemente: „Sie enthält Aussagen über Wahrscheinlichkeiten oder besser Tendenzen ... und diese Aussagen sind völlig objektiv, sie hängen nicht von irgendeinem Beobachter ab. Außerdem enthält sie Aussagen über unsere Kenntnis des Systems, die natürlich subjektiv sein müssen, insofern sie ja für verschiedene Beobachter verschieden sein können.“<sup>208</sup>

Heisenberg erkennt die Bedeutung der Wahrscheinlichkeitsfunktion für die Erkenntnis objektiver Möglichkeiten des Verhaltens der Elementarobjekte. Aber da er mit dem Begriff des Faktischen sich selbst verbietet, Aussagen über das Wesen des unbeobachteten Geschehens zu machen, muß er die Verwirklichung dieser Möglichkeiten nur auf das Experiment beziehen. Werner Heisenberg betrachtet den Übergang vom Möglichen zum Faktischen als wesentliches Merkmal der modernen Physik. Da sich in verschiedenen Experimenten verschiedene Möglichkeiten beispielsweise der Verteilung der Elementarobjekte nach dem Durchgang durch einen Spalt auf einem Lichtschirm verwirklichen, bringt der Übergang vom Möglichen zum Faktischen für Heisenberg die Einheit subjektiver und objektiver Elemente zum Ausdruck. Objektiv ist die Wahrscheinlichkeitsfunktion insofern, als in jedem Experiment nur solche Möglichkeiten verwirklicht werden können, die in der Funktion gegeben sind. Darin kommt der richtige Gedanke zum Ausdruck, daß die Wahrscheinlichkeitsfunktion eine richtige Widerspiegelung der objektiv vorhandenen Möglichkeiten ist. Für Heisenberg gibt die Funktion jedoch zugleich auch die unvollständige Kenntnis des Beobachters an, da der Beobachter nicht weiß, welche Möglichkeiten sich verwirklichen. Heisenberg spricht vom unvollständigen Wissen des Beobachters über [213] das System, das „nicht etwas vollständig Objektives“ sein kann.<sup>209</sup> Er wehrt sich jedoch gegen die Versuche, die Einheit von subjektiven und objektiven Elementen und die Einführung des Beobachters als Einführung subjektivistischer Züge in die Naturbeschreibung zu verstehen<sup>210</sup>, kann sich aber mit seiner Auffassung theoretisch nicht vollständig von derartigen Interpretationen seiner Thesen lossagen.

Gehen wir von der Anerkennung der objektiven Realität aus, so ist die Wahrscheinlichkeitsfunktion eine Widerspiegelung der objektiven Möglichkeiten für das Verhalten einer Gesamtheit von Elementarobjekten. Unsere Beobachtung vermittelt uns dabei ein Abbild der objektiven Wechselwirkung überhaupt. Was sich im Experiment als Übergang vom Möglichen ins Faktische zeigt, ist die objektive Realisierung bestimmter Möglichkeiten, wie sie auch unabhängig von der Beobachtung stattfindet. Nehmen wir die Kopenhagener Hypothese vom Beobachter, dann findet der Übergang nur während der Beobachtung statt. Die Wechselwirkung im Experiment ist dann nicht mehr Ausdruck der objektiven Wechselwirkung, sondern notwendig an das Experiment gebunden.

Mit der Anerkennung der objektiven Wechselwirkung, des objektiven, ständig (auch außerhalb der Beobachtung) sich vollziehenden Übergangs vom Möglichen ins Wirkliche, erweist sich die unvollständige Kenntnis des Systems als eine relativ vollständige Kenntnis. Was Heisenberg nämlich als unvollständige Kenntnis bezeichnet, ist die genaue Kenntnis der Wechselwirkung in der Wahrscheinlichkeitsfunktion, die uns die gesetzmäßige Änderung des Systems und die möglichen Lagen der Teilchen des Systems angibt. Heisenberg versucht die Problematik teilweise vom klassischen Standpunkt her zu verstehen. Dann ist natürlich unsere Kenntnis durch die Gültigkeit der Unbestimmtheitsrelationen unvollständig. Aber die klassischen Parameter Ort und Impuls reichen nicht zur Beschreibung der Bewegung aus. Schon diese Erkenntnis wäre ein vollständigeres Wissen über die objektive Bewegung, als es uns

<sup>208</sup> W. Heisenberg, Physik und Philosophie, a. a. O., S. 36.

<sup>209</sup> Ebenda, S. 112.

<sup>210</sup> Ebenda.

die klassische Mechanik liefert. Darüber hinaus gibt uns jedoch der quantenmechanische Formalismus auch die Möglichkeit, die Bewegung selbst genauer zu erfassen. Wir sind also von unvollständigerem Wissen zu vollständigerem Wissen über das objektiv-reale Verhalten der Elementarobjekte gekommen. Was Heisenberg als unvollständig erscheint; ist es nur im klassischen Sinne. Im Hinblick auf die Erkenntnis der objektiven Realität haben wir einen Schritt vorwärts getan. Damit zeigen uns die Realitätsvorstellungen Borns, Bohrs und Heisenbergs die Abwendung [214] hervorragender Naturwissenschaftler von positivistischen Ideen. Wir haben vor allem die Auffassungen dieser Physiker untersucht, weil sie lange Zeit selbst mehr oder weniger positivistische Ideen vertraten. Diese Untersuchung zeigte uns zwar einige Mängel, aber doch vor allem die Bestätigung des Leninschen Gedankens, daß die Physik dabei ist, den dialektischen Materialismus hervorzubringen.

c) Neue Züge der objektiven Realität in der Quantenmechanik

Wir haben in den Feststellungen vieler Physiker immer wieder die Bemerkung von einer neuen Wirklichkeitsvorstellung gefunden. Wo sie meinen, den dialektischen Materialismus angreifen zu müssen, wenden sie sich in Wirklichkeit gegen die mit der modernen Physik nicht zu vereinbarende klassische Auffassung von der objektiven Realität.

Für den marxistischen Philosophen ist die notwendige Erweiterung des mechanisch-materialistischen Materiebegriffs, der mit den Ergebnissen der klassischen Mechanik verbunden war, nicht neu. Für den Physiker galt jedoch lange Zeit nach der Ausarbeitung des wissenschaftlichen noch der mechanische Materiebegriff. Deshalb ist für den Physiker auch die Formulierung des Materiebegriffs etwas Neues.

Wodurch unterscheidet sich nun die Realitätsauffassung den modernen Physiker von der der klassischen Physik?

1. Während in der klassischen Physik Wellen- und Korpuskeleigenschaften verschiedenen Objekten zukamen, deckte die moderne Physik die Existenz objektiv-realer Wellen- und Korpuskeleigenschaften an einheitlichen Objekten auf. Damit wird das Problem der theoretischen Deutung der objektiv existierenden widersprüchlichen Eigenschaften aufgeworfen.

2. Die moderne Physik zeigte auch dem Physiker die Kompliziertheit des Erkenntnisprozesses. Wesen und Erscheinung existieren objektiv-real. Das Wesen eines Dinges erscheint. Das erfordert die exakte wissenschaftliche Analyse unserer Experimente, um das Moment des Wesens herauszufinden, das dort enthalten ist. Wenn in der klassischen Physik ein Experiment ausreichte, um den Wellen- oder Korpuskelcharakter eines Objekts zu erkennen, so erweist die moderne Physik die Notwendigkeit allseitiger Untersuchungen des Charakters physikalischer Objekte. Ein Objekt erscheint in einem Experiment als Welle, im anderen als Korpuskel. Erst beide Kategorien von Experimenten geben uns ein Bild vom Wesen des Objekts. Die erscheinenden Wesensmomente müssen theoretisch zusammengefaßt und in ihrem Zusammenhang untersucht werden. [215]

3. Die objektive Wechselwirkung der Elementarobjekte mit ihrer Umgebung wurde in der modernen Physik erkannt und untersucht. Dabei ergaben sich gesetzmäßige Zusammenhänge zwischen dem Verhalten eines Systems und dem der Individuen. Das führte zu einer Revision der klassischen Vorstellung des Individuums und zu statistischen Aussagen über das Verhalten von individuellen Objekten. Die objektive Wechselwirkung wurde oft einseitig nur als Wechselwirkung zwischen Untersuchungsobjekt und Meßgerät angesehen. Aber diese Wechselwirkung in der beobachteten Erscheinung läßt uns auf die Wechselwirkung in den Erscheinungen der Elementarobjekte (d. h. beobachtet oder nicht) schließen.

4. Es zeigte sich die Relativität unserer Kenntnisse von der objektiven Realität. Die klassische Physik war eine relativ richtige Widerspiegelung der objektiven Realität. Sie erwies sich jedoch nur unter bestimmten Bedingungen als gültig. Für die Bewegung der Elementarobjek-

te bedarf es der Quantenmechanik, die neue, objektiv-reale, zuvor vernachlässigte Beziehungen berücksichtigt. Daraus ergab sich für manche Physiker das Problem der Gültigkeit der Begriffe, das wir im nächsten Abschnitt untersuchen werden.

Diese für den Physiker neuen Züge der objektiven Realität sind von den marxistischen Philosophen bereits aus dem Material anderer Wissenschaften, aber auch der Physik in der Auseinandersetzung mit dem mechanischen Materialismus verallgemeinert worden. Es geht also nicht um das Füllen neuen Weins in alte Schläuche, wie Heisenberg meinte, sondern um die Ausnutzung dieser Arbeit der marxistischen Philosophen zur Deutung der Ergebnisse der modernen Physik. Wenn Heisenberg in der Auseinandersetzung mit Blochinzew meint, daß dieser den Begriff „objektiv“ anders als in der klassischen Physik gebrauchte<sup>211</sup>, so trifft das vollkommen zu. Der Begriff „objektiv“ wird von den Marxisten zur Kennzeichnung eines vom Bewußtsein unabhängigen Tatbestandes benutzt. Dieser Tatbestand wird mit Hilfe des Bewußtseins erkannt und durch das beobachtende Subjekt auch verändert. Das Ergebnis der Erkenntnis ist jedoch eine relativ genaue Widerspiegelung der objektiven Gesetzmäßigkeit.

So kehren wir nicht, wie Heisenberg glaubt, zur Ontologie des mechanischen Materialismus zurück.<sup>212</sup> Wir bleiben bei der materialistischen Auffassung, die auf der Stufe des dialektischen Materialismus die philosophischen Probleme der Physiker zu klären vermag. [216]

### *3. Über die Entwicklung der Begriffe*

Die Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Forschung werden in Begriffen formuliert. Begriffe dienen zur Mitteilung bestimmter Forschungsergebnisse. Aber Begriffe sind kein ewig feststehendes Werkzeug der Forschung und des Zusammenlebens. Begriffe entwickeln sich, verändern Inhalt und Umfang. So gehörte zum Begriffsinhalt des Atoms im Altertum die Unteilbarkeit. Die moderne Atomphysik wies jedoch seine Teilbarkeit nach. In der klassischen Raum-Zeitauffassung waren Raum und Zeit absolut, d. h. voneinander und von den materiellen Objekten unabhängig. In der Relativitätstheorie wird diese Absolutheit beseitigt und die Abhängigkeit der Raum-Zeit von den materiellen Objekten aufgedeckt.

Diese besonders in der Physik seit Beginn unseres Jahrhunderts notwendig gewordene Überprüfung von grundlegenden Begriffen stellte den Physiker vor die Frage nach der Gültigkeit der Begriffe und ihrer Grenzen. Engels hatte schon darauf hingewiesen, daß das Operieren mit Begriffen nicht eingeboren ist, sondern erlernt werden muß. Grundlage für die richtige Anwendung der Begriffe ist eine wissenschaftliche Erkenntnistheorie.<sup>213</sup>

Der hervorragende Physiker Max Born betrachtet als ein Kennzeichen der modernen Periode in der Physik das Erfassen eigentlich philosophischer Begriffe durch die physikalische Kritik. Er zählt dazu die Begriffe Raum, Zeit, Determinismus und Kausalität.<sup>214</sup>

Für unsere Problematik ist vor allem die Betrachtung der begrifflichen Situation in der Quantenmechanik interessant. Hier zeigt sich bei der Beschreibung der Experimente die notwendige Anwendung klassischer Begriffe, um das Ergebnis des Experiments festzuhalten. Aus dem Formalismus der Quantenmechanik erhalten wir bestimmte Voraussagen über die statistische Verteilung der Elementarobjekte nach Orten und Impulsen. Eine Messung beschreiben wir mit den klassischen Begriffen Ort und Impuls, Energie und Zeit. Entsprechend der Bedeutung, die die Kopenhagener Deutung den Meßgeräten zuweist, schlußfolgert Weizsäcker, „daß wir die Begriffe, in denen wir die Atome beschreiben, nicht einmal definieren können, ohne darauf Bezug zu nehmen, wie wir im aktuellen Experiment von den Atomen Kenntnis

<sup>211</sup> Ebenda, S. 113.

<sup>212</sup> Ebenda, S. 105.

<sup>213</sup> Vgl. F. Engels, Dialektik der Natur, a. a. O., S. 345 f.

<sup>214</sup> M. Born, Physik im Wandel meiner Zeit, S. 25.

nehmen“. Weizsäcker charakterisiert das Verhältnis von materiellem Objekt und Bewußtsein in folgender Weise: „Das isolierte materielle Objekt und das isolierte menschliche Bewußtsein erweisen sich gleichermaßen als fiktive Begriffe.“<sup>215</sup>

[217] Hier wird im wesentlichen gegen die mechanisch-materialistische Definition des Erkenntnisobjekts polemisiert. Weizsäcker verwechselt zwei Beziehungen, wobei es sowohl im Subjekt-Objekt-Verhältnis als auch im Verhältnis Materie und Bewußtsein um die Widerspiegelung der Wirklichkeit in Begriffen geht. Ist jedoch die Widerspiegelung richtig, d. h., erfaßt sie wesentliche Seiten der objektiven Realität, dann kann man nicht von fiktiven Begriffen sprechen. Um die Wirklichkeit begrifflich fassen zu können, müssen wir bestimmte Seiten hervorheben. So haben wir im Begriff Materie die gesamte objektive Realität, d. h. das, was außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein existiert, erfaßt. Der Begriff Bewußtsein umfaßt dagegen die Widerspiegelung der Materie. In der Grundfrage der Philosophie fragen wir nach dem Verhältnis der Wirklichkeit zu einer ihrer Eigenschaften. Mit der materialistischen Beantwortung dieser Frage heben wir die wissenschaftliche Erkenntnis vom Primat der Materie hervor. Dabei stellen wir auch begrifflich den objektiven Zusammenhang zwischen Materie und Bewußtsein wieder her. Wir fassen das Bewußtsein nicht nur als Widerspiegelung, sondern auch als Eigenschaft und Entwicklungsprodukt der Materie. Weil das Denken an das Gehirn und die entsprechenden materiellen Prozesse gebunden ist, ist es Eigenschaft der Materie. Weil die Eigenschaft der Widerspiegelung von der Materie gesetzmäßig auf einer bestimmten Stufe ihrer Entwicklung hervorgebracht wurde, ist das Bewußtsein ihr Entwicklungsprodukt. Seine Spezifik gegenüber anderen Eigenschaften und Entwicklungsprodukten der Materie ist die Eigenschaft der spezifisch menschlichen Widerspiegelung. Obwohl also das Bewußtsein von der Materie begrifflich isoliert wurde, wird auch begrifflich der Zusammenhang wiederhergestellt. Durch die Bestätigung der mit dieser begrifflichen Fassung ausgesagten Erkenntnisse durch die Wissenschaft erweist sich diese Begriffsbildung als richtige Widerspiegelung der objektiven Realität.

Auch die Bezugnahme auf die Experimente, die Weizsäcker bei der Definition der Begriffe der Atomphysik hervorhebt, bestätigt nicht seine Auffassung von den „fiktiven Begriffen“ isoliertes Objekt und Bewußtsein. Einerseits hebt er eine wirkliche Problematik hervor, da der Begriff „isoliertes Objekt“ einer Kritik unterzogen werden muß. Aber diese Kritik hängt mit der von der modernen Physik als wesentlich hervorgehobenen Wechselwirkung der Elementarobjekte zusammen, die aus der Rolle des Meßinstruments erschlossen wird. Andererseits verbindet jedoch Weizsäcker unzulässig den Begriff „isoliertes Objekt“ mit dem „fiktiven“ Begriff „isoliertes menschliches Bewußtsein“, der philosophisch im Materialismus einwandfrei definiert ist und keiner Revision bedarf.

[218] Aus Weizsäckers Ausführungen können wir zugleich entnehmen, daß die Entwicklung der Begriffe für einige Quantentheoretiker problematisch ist und zu Verwirrungen führt, wenn nicht genau geklärt wird, wie sich dieser Entwicklungsprozeß vollzieht. Heisenberg hat zu dieser Problematik seine Gedanken geäußert. Wir werden uns mit ihnen beschäftigen, weil wir glauben, daß sie bei manchen Physikern in ähnlicher Weise vorhanden sind.

Heisenberg vertritt die Auffassung, daß die in der Vergangenheit gebildeten Begriffe „hinsichtlich ihrer Bedeutung nicht wirklich scharf definiert“ sind. Die Begründung dafür ist für ihn in unserer Unkenntnis der „Grenzen ihrer Anwendbarkeit“ zu sehen. „Das gilt selbst“, schreibt er, „bei den einfachsten und allgemeinsten Begriffen wie Existenz oder Raum und Zeit. Daher wird es niemals möglich sein, durch rationales Denken allein zu einer absoluten Wahrheit zu kommen.“<sup>216</sup>

<sup>215</sup> C. F. v. Weizsäcker, Werner Heisenbergs Leben und Werk, in: Stuttgarter Zeitung vom 30. 11. 1961.

<sup>216</sup> W. Heisenberg, Physik und Philosophie, a. a. O., S. 71.

Des weiteren gibt es nach Heisenberg exakte, scharfe Definitionen von Begriffen im „Hinblick auf ihre Verknüpfung“. Er schreibt: „Tatsächlich geschieht dies, wenn die Begriffe ein Teil eines Systems von Axiomen und Definitionen werden, die man widerspruchsfrei in einem mathematischen Schema ausdrücken kann. Solch eine Gruppe von untereinander verbundenen Begriffen kann möglicherweise auf ein weites Feld von Erfahrungen angewendet werden und hilft uns dann, unseren Weg durch dieses Feld zu finden. Aber die Grenzen ihrer Anwendbarkeit werden im allgemeinen nicht genau oder nicht vollständig bekannt sein.“<sup>217</sup>

Die zweite Feststellung Heisenbergs hebt also seine erste nicht auf. Es handelt sich um exakt definierte Begriffe nur im Hinblick auf das Axiomensystem, aber nicht im Hinblick auf die Widerspiegelung der Wirklichkeit. Die Problematik wird hier auf die Begriffssysteme erweitert. Innerhalb des Systems ist der Begriff zwar genau definiert, das System ist jedoch nicht in jedem Falle anwendbar. Es unterliegt bestimmten Beschränkungen. So gilt beispielsweise die klassische Physik für Geschwindigkeiten, die gegenüber der Lichtgeschwindigkeit klein sind. Heisenberg entwickelt seine Gedanken zu diesem Problem auch an anderer Stelle. Er hebt die Notwendigkeit der Benutzung klassischer Begriffe und die Schranken hervor, die die Unbestimmtheitsrelationen ihrer Anwendung setzen. Die Newtonsche Theorie betrachtet Heisenberg als wissenschaftlich abgeschlossen. Sie gilt für alle Zeiten und ist stets Bestandteil der naturwissenschaftlichen Sprache. Heisenberg hält dabei für ein wesentliches Merkmal der abgeschlossenen Theorie, daß sie keine sicheren Aussagen über die Welt der Erfahrungen enthält. „Denn wie weit man mit den Begriffen dieser Theorie die Erscheinungen greifen [219] kann, bleibt im strengen Sinne unsicher und einfach eine Frage des Erfolgs.“<sup>218</sup>

Damit wiederholt Heisenberg den Gedanken von der begrenzten Anwendbarkeit von Begriffen und Theorien auf die Wirklichkeit. Er stellt jedoch mit Recht fest, daß jede abgeschlossene Theorie im begrenzten Bereich für alle Zeiten gilt.

Der Erkenntnisprozeß oder der Entwicklungsprozeß der Begriffe ist bei Heisenberg nicht ganz zutreffend erfaßt. Wie wir schon bei der Betrachtung des Begriffs des Faktischen sahen, behauptet Heisenberg, daß wir keine Aussagen über unbeobachtete Quantenprozesse machen könnten. Die Begründung für diese Auffassung finden wir auch bei der Darlegung seiner Gedanken über die Entwicklung der Begriffe. Heisenberg argumentiert: Man verlangt vom Physiker, er solle eine Beschreibung der wirklichen Vorgänge geben. Beschreiben kann man nur mit Hilfe der klassischen Begriffe. Die Aussagen in klassischen Begriffen sind jedoch unvollständig. Er folgert daraus: „Die Forderung, daß man beschreiben solle, was in einem quantentheoretischen Prozeß zwischen zwei aufeinanderfolgenden Beobachtungen geschehe, ist eine *contradictio in adjecto*\*, da das Wort ‚beschreiben‘ sich eben auf die Verwendung der klassischen Begriffe bezieht, während diese Begriffe doch in dem Raum zwischen zwei Beobachtungen nicht verwendet werden können. Sie können nur im Moment der Beobachtung angewendet werden.“<sup>219</sup>

Heisenberg trifft nun eine Unterscheidung zwischen Begriffen der gewöhnlichen Sprache und wissenschaftlichen Begriffen. „Die Begriffe der gewöhnlichen Sprache ... sind zwar nicht sehr wohldefiniert“, meint Heisenberg, „und können deshalb im Laufe der Jahrhunderte auch Änderungen erleiden, so wie sich die Wirklichkeit selbst verändert, aber sie verlieren doch niemals die unmittelbare Verbindung mit der Wirklichkeit.“<sup>220</sup>

---

<sup>217</sup> Ebenda.

<sup>218</sup> W. Heisenberg, Der Begriff „Abgeschlossene Theorie“ in der modernen Naturwissenschaft, in: *Dialectica* 7/8 (1948), S. 335. – \* Widerspruch zwischen Bedeutung eines Substantivs und dem hinzugefügten Adjektiv [z. B. „armer Krösus“].

<sup>219</sup> W. Heisenberg, *Physik und Philosophie*, a. a. O., S. 118 f.

<sup>220</sup> Ebenda, S. 168.

Die wissenschaftlichen Begriffe betrachtet Heisenberg als Idealisierungen, die aus Erfahrungen gewonnen sind und mit Hilfe von Axiomen und Definitionen präzisiert wurden. Er schreibt dazu: „Aber durch diesen Prozeß der Idealisierung und präzisen Definition geht die unmittelbare Verknüpfung mit der Wirklichkeit verloren. Die Begriffe passen immer noch sehr gut zu jener Teilwirklichkeit, die hier der Gegenstand der Forschung gewesen war. Aber die Entsprechung kann in anderen Gruppen von Erscheinungen verlorengehen.“<sup>221</sup>

[220] Heisenberg hebt hervor, daß seine Skepsis gegenüber wissenschaftlichen Begriffen keine Voraussetzung unüberschreitbarer Grenzen für die Anwendung des rationalen Denkens bedeute. Die Problematik seiner Haltung wird jedoch offensichtlich, wenn er Begriffe wie Gott, Geist, menschliche Seele, Leben zur gewöhnlichen Sprache rechnet, die dadurch mit der Wirklichkeit unmittelbar verbunden sind. Heisenbergs Auffassung über die Entwicklung der Begriffe enthält viele richtige Gedanken. Sie zeigt die durch die moderne Physik aufgeworfene Problematik. Da jedoch die richtigen Gedanken nicht konsequent zu Ende geführt werden, tauchen falsche Folgerungen auf, wie die Unmöglichkeit der Beschreibung des wirklichen Geschehens zwischen den Beobachtungen und die unmittelbare Verbindung des Begriffs Gott mit der Wirklichkeit.

Wir wollen deshalb die richtige Konsequenz der Heisenbergschen Gedanken herausarbeiten. Wie wir sahen, vertritt Heisenberg die Auffassung, daß die Verbindung der gewöhnlichen Begriffe mit der Wirklichkeit stabiler ist als bei den wissenschaftlichen Begriffen. Diese Auffassung kann man nur wissenschaftlich begründen, wenn man nicht einfach von gewöhnlichen, sondern von allgemeinsten philosophischen Begriffen spricht. Hier zeigt sich aber schon die Unhaltbarkeit der Heisenbergschen Unterscheidung zwischen beiden Begriffsarten. Die allgemeinsten philosophischen Begriffe, wie Materie, Bewußtsein, Raum-Zeit, Kausalität usw. sind noch größere Idealisierungen als die Begriffe der Einzelwissenschaften. Sie sind eben besser mit der Wirklichkeit verbunden, weil sie allgemeinere Merkmale als die spezifischen Begriffe eines Wissenschaftsgebiets umfassen. Diesen Gedanken hebt auch Lenin hervor, der feststellt, daß die wissenschaftlichen Abstraktionen die Wirklichkeit getreuer und vollständiger widerspiegeln.<sup>222</sup> Wenn wir in der marxistischen Philosophie Raum und Zeit als Existenzformen der Materie fassen, dann haben wir ein allgemeines philosophisches Merkmal hervorgehoben. Mit ihm wird die objektiv-reale Existenz der Raum-Zeit und ihre Abhängigkeit von der materiellen Bewegung erfaßt. Dabei muß die einzelwissenschaftliche Forschung diese Abhängigkeit stets genauer erforschen. Insofern ändert sich unser Wissen über die Raum-Zeit ständig. Die philosophische Aussage wird präzisiert, jedoch nicht verändert. Darüber hinaus bleibt das spezielle Wissen stets notwendiger Bestandteil unserer Erkenntnis, wie auch Heisenberg in seinen Ausführungen über die abgeschlossene Theorie hervorhob.

Ebenso verhält es sich mit anderen philosophischen Begriffen. Lenin betont, daß der Begriff der Materie nicht veralten kann, weil in diesem Begriff [221] allgemeinste Merkmale enthalten sind, die durch die einzelwissenschaftliche Forschung präzisiert werden, in ihrer Allgemeinheit jedoch nicht widerlegt werden können.<sup>223</sup> So wird jede neue Entdeckung diesen Begriff bereichern, da neue materielle Zusammenhänge aufgedeckt werden. Aber auch bei diesen neuentdeckten Erscheinungen wird es sich um etwas handeln, was außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein existiert und von ihm widerspiegelt wird. Die Formulierung dieser allgemeinsten philosophischen Begriffe war eine wissenschaftliche Tat, die erst auf einer hohen Stufe der Erkenntnis erfolgen konnte. Sie erforderte die Abstraktion von allen spezifischen, an den Fortschritt der Einzelwissenschaft gebundenen Merkmalen und die Herausarbeitung der allgemeinsten wesentlichen Eigenschaften, die in allen Bereichen der

<sup>221</sup> Ebenda.

<sup>222</sup> Vgl. W. I. Lenin, Aus dem philosophischen Nachlaß, a. a. O., S. 89.

<sup>223</sup> Vgl. W. I. Lenin, Materialismus und Empirio-kritizismus, a. a. O., S. 124.

objektiven Realität, in der Natur, in der Gesellschaft und im Erkenntnisprozeß existieren. Diese Leistung vollbrachte die marxistische Philosophie, die damit die Grundlagen einer wissenschaftlichen Philosophie begründete.

Wir können deshalb den von Heisenberg geahnten Unterschied zwischen verschiedenen Begriffsarten nicht in der unexakten Definition und langen Gültigkeit auf der einen Seite und der exakten Definition und beschränkten Gültigkeit auf der anderen Seite sehen. Die philosophischen Begriffe dürfen nicht weniger exakt definiert sein als die einzelwissenschaftlichen. Wo das noch nicht der Fall ist, muß die philosophische Forschung ihre Aufgabe in der exakten Definition sehen. Der Unterschied im Gültigkeitsbereich resultiert aus dem verschiedenen Grad ihrer Allgemeinheit. Haben wir für einen philosophischen Begriff die allgemeinsten Merkmale gefunden, so sind dieselben keiner einzelwissenschaftlichen Veränderung mehr unterworfen. Damit ist aber auch die Aussage so allgemein geworden, daß sie für den Einzelwissenschaftler nur geringen heuristischen Wert besitzt. Diesen heuristischen Wert erhalten die philosophischen Begriffe erst im Zusammenhang des gesamten philosophischen Systems des dialektischen Materialismus. So hat die Formulierung der Bewegung als Veränderung überhaupt noch wenig fördernde Bedeutung für die Wissenschaft. Aber der Zusammenhang der Bewegung mit der Materie, der in der Definition als Daseinsweise der Materie enthalten ist und die Beachtung der Raum-Zeit als der Existenzformen der Materie zeigt uns den engen Zusammenhang zwischen Raum-Zeit und materieller Bewegung, der in der modernen Physik untersucht wird.

Ebenso kann die Erforschung neuer Zusammenhänge in der Physik nur die allgemeine Formulierung des Determinismus als der Bedingtheit und Bestimmtheit der Dinge und Erscheinungen im Gesamtzusammenhang be-<sup>[222]</sup>stätigen. Aber darüber hinaus hat die Anwendung der Dialektik auf die Erforschung des Gesamtzusammenhangs, die Aufdeckung der allgemeinsten Formen dieses Zusammenhangs heuristischen Wert für die Festlegung der Forschungsrichtung.

Die allgemeinsten philosophischen Begriffe haben, einmal ausgearbeitet, lange Lebensdauer. Ihr *Inhalt*, d. h. die allgemeinsten wesentlichen Merkmale, ändert sich nicht. Es ändert sich jedoch mit der einzelwissenschaftlichen Forschung die *Form* dieser Begriffe. Zur Darlegung und Anwendung der marxistischen Philosophie werden die allgemeinsten Merkmale mit den spezifischen Kenntnissen der Einzelwissenschaften verbunden. Die einzelwissenschaftlichen Begriffe unterliegen jedoch, wie auch Heisenberg bestätigt, einer ständigen Entwicklung. So wurden in der klassischen Physik Ort und Impuls als unabhängig voneinander existierende Parameter der Bewegung klassischer Objekte angesehen. Die moderne Physik zeigte mit den Unbestimmtheitsrelationen die Abhängigkeit beider voneinander. Damit wurde die Grenze der Anwendbarkeit der klassischen Begriffe gezeigt. Sie können nicht mehr auf Quantenprozesse angewandt werden. Soweit können wir Heisenberg zustimmen. Er beachtet jedoch nicht, daß es sich bei der Anwendung der Begriffe Ort und Impuls auf Quantenprozesse nicht mehr um die klassischen Begriffe handelt, sondern daß unsere Erkenntnis eben bereits weiter vorgedrungen ist und den Zusammenhang dieser Begriffe als Ausdruck für den objektiven Zusammenhang zwischen-räumlicher Lage und Impuls eines Körpers berücksichtigt. In diesem Sinne gibt beispielsweise die Schrödingergleichung eine neue Definition von Ort und Impuls. Beide werden nun nicht mehr explizit definiert, sondern sind implizit in dieser Gleichung enthalten. Damit haben wir einerseits die Möglichkeit, unsere Experimente zu beschreiben. Andererseits berücksichtigen wir durch den neuen theoretisch ausgedrückten Zusammenhang von Ort und Impuls in der Schrödingergleichung auch die neuen Ergebnisse der Physik. Bei der Beschreibung des Experiments operieren wir also in Wirklichkeit nicht mehr mit den klassischen Begriffen. Deshalb kann uns auch nichts daran hindern, Aussagen darüber zu machen, was zwischen zwei Beobachtungen geschieht. Auch dort vollzieht sich das

quantenmechanische Geschehen entsprechend unseren gewonnenen Erkenntnissen über den Zusammenhang von Ort und Impuls.

Bereits der Fortschritt der Quantentheorie zeigt, daß unsere Kenntnis über Struktur und Bewegung der Elementarobjekte ständig erweitert wird. Unsere einzelwissenschaftlichen Begriffe haben also tatsächlich hinsichtlich ihrer Anwendung Schranken. Das Aufdecken dieser Schranken, d. h. die genaue Erforschung der Bedingungen für die Gültigkeit eines Systems einzelwissenschaftlicher Begriffe, ist wie die Aufdeckung der Unbestimmtheitsrelationen [223] eine neue wissenschaftliche Erkenntnis. Wie Heisenberg bei der Darlegung der Bedeutung abgeschlossener Theorien zeigte, ist dabei die Anwendung der abgeschlossenen Theorie unter den aufgedeckten Bedingungen völlig berechtigt. Diese absolute Gültigkeit ist der Kern absoluter Wahrheit, den jede an der Praxis überprüfte und als richtig erkannte Theorie enthält. Das Aufdecken ihrer Grenzen zeigt die Relativität der Wahrheit dieser Theorie. Sie ist richtig, bezogen auf bestimmte objektive Bedingungen. Sie ist unzureichend für neue Bedingungen, so wie die klassische Physik zur theoretischen Erfassung der Quantenprozesse unzureichend ist. Jedoch nähern wir uns mit jeder relativen Wahrheit, also mit jeder neuen physikalischen Theorie, der absoluten Wahrheit über die physikalischen Objekte. Diese Annäherung liegt in dem Kern absoluter Wahrheit begründet, den jede Theorie enthält. Wir erreichen die absolute Wahrheit jedoch nie, weil für jede Theorie im Laufe der Entwicklung auch die Grenzen ihrer Anwendbarkeit aufgedeckt werden.<sup>224</sup>

Heisenbergs Auffassung über die Entwicklung der Begriffe enthält also zwei grundsätzliche Mängel:

Erstens beachtet er nicht die Rolle einer wissenschaftlichen Philosophie. Das hat seinen Grund in den früher erwähnten gesellschaftlichen und erkenntnistheoretischen Ursachen. Wir möchten hier aber noch hinzufügen, daß für viele Naturwissenschaftler die wissenschaftliche Begründung philosophischer Begriffe deshalb nicht klar ist, weil sie sich einerseits ungenügend mit der marxistischen Philosophie beschäftigen. Zudem ist auch in den Veröffentlichungen marxistischer Philosophen nicht immer der größte Wert auf exakte Begriffsbestimmungen gelegt worden. Andererseits betrachten viele Physiker die Auseinandersetzungen der marxistischen mit der bürgerlichen Philosophie oft noch als einen Ausdruck der Unklarheit philosophischer Begriffsbestimmungen. Sie sehen nicht, daß es hier um die Verteidigung der wissenschaftlichen Philosophie mit exakten Begriffsbestimmungen gegen unwissenschaftliche Angriffe geht.

Ohne die Bedeutung der philosophischen Begriffe zu erkennen, muß Heisenberg notwendig zu einer unexakten Begründung des Unterschieds zwischen verschiedenen Begriffsarten kommen. Die allgemeinsten philosophischen Begriffe des dialektischen Materialismus – wie Materie, Bewegung, Raum-Zeit – sind dem Inhalt nach keiner Änderung unterworfen. Sie ändern jedoch mit der Entwicklung einzelwissenschaftlicher Ergebnisse ihre Form, da ihre allgemeinsten Merkmale stets mit dem durch die Einzelwissenschaften aufgedeckten Wissen verbunden werden. Die einzelwissenschaftlichen [224] Begriffe andererseits ändern sich im Laufe der wissenschaftlichen Entwicklung. Erhalten bleibt der in ihnen enthaltene Kern absoluter Wahrheit und der damit verbundene philosophische Inhalt. So bleibt mit der klassischen Mechanik beispielsweise die mit ihr verbundene Auffassung erhalten, daß die Physik objektive physikalische Objekte untersucht. Es ändert sich einzelwissenschaftlich die Anwendungsmöglichkeit einer bestimmten Theorie, da mit dem Fortschritt der Wissenschaft ihre Grenzen gezeigt werden. Philosophisch ändert sich damit die Form der philosophischen Begriffe. Die neuen Ergebnisse müssen berücksichtigt werden. Unter diesem Aspekt hatten wir ja auch die Änderung der Realitätsauffassung in der Quantenmechanik untersucht.

---

<sup>224</sup> Ebenda, S. 16 ff.

Zweitens beachtet Heisenberg nicht, daß es bei der Anwendung der Begriffe der klassischen Mechanik zur Beschreibung des quantenphysikalischen Geschehens gar nicht mehr die klassischen Begriffe sind, die wir benutzen. Wir berücksichtigen bereits unsere erweiterte Erkenntnis über die Anwendungsmöglichkeit dieser Begriffe. In diesem Sinne geben uns die Unbestimmtheitsrelationen nicht nur negativ einen Hinweis auf die Schranken der Anwendbarkeit dieser Begriffe, sondern sie zeigen uns auch positiv den Zusammenhang dieser Begriffe als Ausdruck objektiv-realer Zusammenhänge. Eben diese neue Erkenntnis ist Grundlage unserer Beschreibung der quantenphysikalischen Vorgänge. Wir benutzen die unserer neuen Erkenntnis entsprechende implizite Definition von Ort und Impuls und erhalten dabei statistische Aussagen. Unsere Erkenntnis geht dabei über die klassische Mechanik hinaus und zeigt uns die objektiv-reale Bewegung der Elementarobjekte genauer.

Damit erweist sich auch die Auffassung Borns als einseitig, der von einer physikalischen Kritik philosophischer Begriffe sprach. Anzuerkennen ist darin die Kritik an den mechanisch-materialistischen Auffassungen solcher Begriffe, wie Materie, Determinismus usw. Aber die in der marxistischen Philosophie begründeten Begriffe wurden keiner Revision unterzogen, sondern durch die Ergebnisse der modernen Physik in ihrem allgemeinsten Inhalt als richtig bestätigt. Einer Revision unterzogen wurden jedoch die einzelwissenschaftlichen Auffassungen über die raum-zeitliche Struktur, die materiellen Beziehungen, die Bewegung der physikalischen Objekte. Die Philosophie hält in der Definition die allgemeinsten Merkmale der Raum-Zeit, der Materie, der Bewegung usw. fest, ihre konkrete Struktur ist Gegenstand der Einzelwissenschaft. Deshalb werden sich einzelwissenschaftliche und philosophische Aussagen über Raum-Zeit usw. zwar gegenüberstehen, aber sich nicht widersprechen, sondern ergänzen, wenn es sich um gesicherte einzelwissenschaftliche Erkenntnisse und wissenschaftliche philosophische Aussagen handelt. Die innere Verbindung aufzudecken ist Aufgabe der For-[225]schung. Die Philosophie wird dabei auf den für alle Bereiche der objektiven Realität gültigen Kern einzelwissenschaftlicher Aussagen verweisen, während die Einzelwissenschaft die philosophischen Aussagen in ihrem Bereich konkretisiert. Daraus ergibt sich die mögliche Bereicherung und Präzisierung philosophischer Begriffe durch die Verallgemeinerung der Einzelwissenschaft und die heuristischen Hinweise für die Entwicklung der Einzelwissenschaft durch die Philosophen auf Grund der Kenntnis der allgemeinsten Zusammenhänge und Gesetze.

Wesentlich für die Betrachtung der Begriffsentwicklung ist dabei die Feststellung daß die Allgemeinheit der Begriffe uns einerseits von der Wirklichkeit entfernt, da wir keine bestimmten Ergebnisse, sondern eine Gesamtheit von Merkmalen mit einem Begriff bezeichnen. Andererseits nähern wir uns jedoch der Wirklichkeit dadurch mehr, weil es uns gelingt, die Wirklichkeit genauer zu erfassen. So sind die Begriffe Ort und Impuls noch sehr mit dem sinnlichen Erleben der mechanischen Ortsveränderung verbunden. Wir erfassen mit dem Ort die Lage eines Körpers, mit dem Impuls seine Kraftwirkung in der Zeiteinheit. Mit der in der Schrödingergleichung enthaltenen impliziten Definition von Ort und Impuls und dem quantenmechanischen Zustand haben wir uns einerseits von der Wirklichkeit (im Sinne sinnlichen Erlebens) entfernt, aber andererseits auch wieder genähert, indem wir die Bewegung der Elementarobjekte mit Hilfe des quantenmechanischen Zustands und seiner Definition mit Hilfe der Axiome der Quantenmechanik hinreichend genau erfassen.

#### *4. Die Rolle der Mathematik bei der Widerspiegelung der Elementarobjekte*

Die Verbindung zwischen Mathematik und Physik ist nicht neu. Seit dem Entstehen der klassischen Physik sind physikalische Theorien durch bestimmte mathematische Gleichungen charakterisiert, die als Axiome die grundlegenden Erfahrungen ausdrücken und aus denen weitere Folgerungen abgeleitet werden können. Man kann hier das Newtonsche Grundgesetz

$$K = p \equiv \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} \quad (\text{Kraft gleich Masse mal Beschleunigung}) \quad \text{als Grundlage der klassi-}$$

schen Physik und die Maxwell'schen Gleichungen als Grundlage der Elektrodynamik erwähnen. Georg Joos sieht die Mathematik als das Handwerkszeug des Theoretikers an. Er betont die Rationalisierung der Denkarbeit durch die Mathematik, „indem die Gewinnung wichtiger Folgerungen aus den Ausgangshypothesen in den ausgefahrenen Geleisen einmal gelernter Rechenregeln abläuft“<sup>225</sup>. Dabei warnt er vor der Überschätzung des Rech-[226]nerisch-Formalen. Der Physiker hat stets den Sinn seiner Rechenoperationen zu beachten. Deshalb spielt die Mathematik auch in der Physik keine selbständige Rolle. Die mathematische Formulierung bereits erkannter Gesetzmäßigkeiten ermöglicht, bei Kenntnis der mathematischen Regeln, die Berechnung der Folgerungen. Diese Folgerungen gilt es durch neue Experimente zu überprüfen. Jedoch hat die Anwendung der Mathematik heuristischen Wert, da sie auf neue Beziehungen verweist.

Auch für die Quantenmechanik gilt, daß die Formulierung der experimentellen Situation in der Mathematik (Schrödingergleichung, Heisenbergsche Wellenmechanik) zu einer Flut neuer Experimente führte, die ihren Ausgangspunkt in dieser mathematischen Formulierung hatten. Der sowjetische Wissenschaftler Satschkow verweist darauf, daß die allgemeinen physikalischen Vorstellungen über den Wellen-Korpuskel-Dualismus vor ihrer mathematischen Formulierung von vielen Physikern als hypothetisch angesehen wurden und sich ihr wirklicher Reichtum erst nach der mathematischen Formulierung offenbarte.<sup>226</sup> Entscheidend für den Fortschritt der physikalischen Theorie und die Überprüfung ihrer Resultate ist das Experiment. Joos schreibt über die Bedeutung der Erfahrung: „Woher entnimmt nun die Theorie ihre Hypothesen über die Zusammenhänge zwischen einzelnen physikalischen Größen und Vorgängen? In letzter Linie doch nur aus der Erfahrung. Es ist die Kunst des Theoretikers, aus dem Erfahrungsmaterial, so wie es vorliegt, Zusammenhänge von möglichst weittragender Bedeutung herauszulesen und daraus Folgerungen zu ziehen, die zu neuen Experimenten Anlaß geben.“<sup>227</sup>

Unter Beachtung dieses Zusammenhangs erweist sich die Mathematik auch als ein wichtiges Mittel zur Formulierung dieser Zusammenhänge von weittragender Bedeutung, von denen Georg Joos spricht. Mit Hilfe der von den Mathematikern geleisteten Arbeit kann man diese Folgerungen weiterentwickeln. Dabei bleibt kein Platz für die Loslösung der Mathematik von der objektiven Realität.

Lenin hatte bereits die Erfolge der Mathematik bei der Beschreibung der Naturgesetze als Ursache dafür bezeichnet, daß einige Mathematiker die Materie vergessen, die widerspiegelt wird.<sup>228</sup>

Der Marxismus weist begründet die Auffassungen zurück, daß der mathematische Kalkül eine freie Schöpfung des menschlichen Geistes unabhängig [227] von der objektiven Realität sei. Zweifellos gehört die Mathematik zu den wichtigsten Schöpfungen des menschlichen Denkens wie jede große wissenschaftliche Leistung. Aber so wie die Mathematik aus den praktischen Bedürfnissen der Menschen entstand, ihre Axiome Ausdruck ständig wiederholter Erfahrungen sind, so widerspiegeln auf freilich sehr viel kompliziertere Weise die modernen Operatoren und ihre Beziehungen die objektiv-realen Beziehungen. Physikalisch sinnvoll wird die Mathematik, wenn sie zur Darstellung bestimmter erkannter materieller Zusammenhänge benutzt wird und ihre Ergebnisse wiederum in die Sprache des Experiments übersetzt werden. Dabei kann diese Übersetzung sehr kompliziert sein.

Eine mit der grundsätzlichen Haltung zum Verhältnis von Physik und Mathematik zusammenhängende Fragestellung wurde durch Heisenberg aufgeworfen. Auch hier gilt die Mei-

<sup>225</sup> G. Joos, Lehrbuch der theoretischen Physik, a. a. O., S. 2.

<sup>226</sup> Satschkow, О материалистическом истолковании квантовой механики, Москва 1959, стр. 33.

<sup>227</sup> G. Joos, Lehrbuch der theoretischen Physik, a. a. O., S. 2.

<sup>228</sup> W. I. Lenin, Materialismus und Empiriokritizismus a. a. O., S. 310.

nung Heisenbergs wiederum nur als Ausdruck für erkenntnistheoretische Fragestellungen, die bei der philosophischen Interpretation der Ergebnisse der modernen Physik für manche Physiker eine wesentliche Rolle spielen. Es geht darum, wie man den mathematischen Formalismus der Quantenmechanik zur Deutung einer gegebenen experimentellen Situation benutzen sollte. Die Lösung dieser Frage mußte eine richtige philosophische Deutung des objektiv-realen Verhaltens der Elementarobjekte zum Inhalt haben. Heisenberg erwähnt zwei Wege der Lösung. Erstens gibt Bohrs Begriff der Komplementarität nach Heisenberg eine widerspruchsfreie Deutung der Quantenmechanik, da er die Anwendung des Wellen- und Korpuskelbilds zur Beschreibung des objektiv-realen Verhaltens der Elementarobjekte ermöglicht, wobei die durch die Unbestimmtheitsrelationen gegebenen Anwendungsgrenzen berücksichtigt werden. Tatsächlich enthält die Komplementaritätstheorie, wenn man sie materialistisch interpretiert, d. h. als eine Annäherung des Physikers an das dialektisch-materialistische Denken betrachtet, und sie in diesem Sinne konsequent weiterentwickelt, einen gangbaren Weg zur widerspruchsfreien Deutung der Unbestimmtheitsrelationen. Uns interessiert jedoch hier der von Heisenberg erwähnte zweite Lösungsweg. Dazu schreibt er: „Statt zu fragen: Wie kann man in dem inzwischen bekannten mathematischen Schema eine gegebene experimentelle Situation beschreiben?, stellte man die andere Frage: Ist es vielleicht so, daß nur solche experimentellen Situationen überhaupt in der Natur vorkommen, die in dem mathematischen Formalismus der Quantentheorie auch ausgedrückt werden können? Die Annahme, daß dies tatsächlich die richtige Fragestellung sei, führte zu Begrenzungen in der Anwendung der Begriffe, die die Grundlage der klassischen Physik seit Newton gebildet hatten.“<sup>229</sup>

[228] Hier könnte es so scheinen, als ob Heisenberg die Rolle der Mathematik überschätzt. Tatsächlich waren bei ihm entsprechende Tendenzen vorhanden. Wenn er an anderer Stelle vom Verflüchtigen der objektiven Realität der Elementarteilchen in die durchsichtige Klarheit der Mathematik spricht,<sup>230</sup> dann kommt darin durchaus das von Lenin kritisierte Vergessen der Materie zum Ausdruck. Aber das ist nur die eine Seite. Der Erfolg der Mathematik verleitete manche Mathematiker und Physiker zur Behauptung, daß nur das in Wirklichkeit existiere, was die Mathematik erlaube. In diesem Sinne ist es auch für P. Jordan „eine wunderbare Entdeckung“, „daß das fragliche Reich der mikrophysikalischen Gebilde trotz der Unmöglichkeit, es im Sinne der gewohnten Realitätsvorstellung zu beschreiben, einer mathematischen Beschreibung zugänglich ist, die ... als von erstaunlicher innerer Einfachheit und durchsichtigster Klarheit zu erkennen ist“.<sup>231</sup> Damit wird die Mathematik gegenüber der objektiv-realen Existenz als primär ausgegeben.

Bereits die Grundvoraussetzung für diese Behauptung ist unrichtig. Die objektive Realität der mikrophysikalischen Gebilde braucht in keiner Weise gelehnt zu werden. Die Deutung der physikalischen Ergebnisse verlangt im Gegenteil die Anerkennung der objektiven Realität. Damit wird eher die Mathematik zu einer spezifischen Form der Widerspiegelung objektiv-realer Beziehungen im Bewußtsein des Menschen. Sie kann die objektiv-realen Beziehungen mehr oder weniger genau widerspiegeln. Sie ist nicht das Kriterium für die objektiv-reale Existenz der Elementarobjekte. Der Beweis dafür liegt nicht nur in der für die Wissenschaft notwendigen Anerkennung der objektiven Realität; diese Auffassung wird auch durch den Fortschritt der mathematischen Beschreibung selbst bestätigt. So ist der quantenmechanische Formalismus nur für bestimmte experimentelle Ergebnisse zur Beschreibung geeignet. Er gilt nur für kleine Energien ( $E < m_0c^2$ ), wo der Prozeß der Paarerzeugung keine wesentliche Rolle spielt.

Der Begriff der objektiven Realität umfaßt mehr erkannte und nicht erkannte Beziehungen als eine bestimmte mathematische Theorie widerspiegelt. Bei Anerkennung der objektiven

<sup>229</sup> W. Heisenberg, Physik und Philosophie, a. a. O., S. 26.

<sup>230</sup> W. Heisenberg, Das Naturbild der heutigen Physik, Hamburg 1955, S. 12

<sup>231</sup> P. Jordan, Das Bild der modernen Physik, Berlin 1957, S. 45.

Realität bringt jedoch Heisenbergs Fragestellung einen wichtigen Gedanken für das Verhältnis von Mathematik und Physik zum Ausdruck. Die mathematische Beschreibung der mikrophysikalischen Prozesse erfaßt die Wirklichkeit tiefer als die bloße Beobachtung des Experiments. In diesem Sinne wendet sich die Haltung der Physiker, wenn sie auf der Grundlage eines bewußten Materialismus erläutert wird, gegen den Positivismus. Die Anerkennung der Bedeutung der Mathematik [229] für die Erkenntnis der wirklichen Prozesse ist die Anerkennung der Bedeutung der begrifflichen Erkenntnis überhaupt. Eingedenk der Warnung von Physikern vor der Überschätzung des Mathematisch-Formalen beachten wir den engen Zusammenhang zwischen mathematischen Beziehungen und ihrem physikalischen Sinn. Mathematische Gleichungen sind exakte begriffliche Widerspiegelungen objektiver physikalischer Beziehungen. Liefert uns das Experiment mehr Beziehungen als wir im formulierten Gesetz berücksichtigen, so heben wir dafür im Gesetz allgemeine, d. h. objektiv vielen Dingen und Erscheinungen gemeinsame und wesentliche, diese Erscheinungen charakterisierende und bestimmende Eigenschaften, Beziehungen hervor. Damit ermöglicht uns die mathematische Formulierung von Gesetzmäßigkeiten Aussagen über erkannte und auch über noch nicht erkannte Beziehungen. Eben damit geht sie über die Beobachtung im Experiment hinaus. Haben wir also eine gewisse Verbindung zwischen einem mathematischen Formalismus (Quantenmechanik) und physikalischen Prozessen (objektiv-reales Verhalten der Elementarobjekte bei Energien, die klein gegenüber  $m_0c^2$  sind), dann beschreibt unser Formalismus die wesentlichen Eigenschaften dieser Prozesse unter den angegebenen Bedingungen. Damit haben wir mit dem mathematischen Formalismus zugleich ein theoretisches Instrument in der Hand, das uns Aussagen über bisher unbekannte Prozesse, Teilchen usw. liefern kann. So ergibt die richtige mathematische Widerspiegelung tatsächlich die existierenden Zustände der widergespiegelten Prozesse. Die Lage ist vergleichbar mit den Erfolgen der Chemiker bei der Aufdeckung neuer Elemente nach der Entdeckung des Periodensystems oder mit dem Auffinden des Mesons nach seiner theoretischen Vorhersage. In den Worten Heisenbergs finden wir also durchaus einen rationellen Kern.

Dabei spielt eine große Rolle, was wir allgemein über die begriffliche Erkenntnis sagten. Das Experiment liefert uns den Quantenzustand bei der Beobachtung in klassischen Begriffen. Wir erhalten eine Charakteristik des Quantenzustands durch Ort und Impuls, wobei für diese Begriffe die Unbestimmtheitsrelationen gelten. Der mathematische Formalismus umfaßt jedoch mit dem Quantenzustand die Einheit des wirklich existierenden Zustands und gibt das Gesetz für dessen Veränderung. Damit ergeben sich aus der Theorie, da sie die Wirklichkeit genauer als eine bloße Beschreibung des Experiments faßt, neue Folgerungen, die eine Beobachtung allein nicht liefert. Erst die theoretische Analyse mit Hilfe der Erhaltungssätze führte zur Suche und Entdeckung des Neutrinos. Zweifellos liefern auch viele Experimente neue, in der Theorie nicht enthaltene Beziehungen. Das führt dann zur notwendigen Erweiterung der Theorie und damit des mathematischen Formalismus. Die Entwicklung der mathematischen Physik ist abhängig von [230] der Entwicklung der Erkenntnis der objektiv-realen Eigenschaften der physikalischen Objekte.

Die Entdeckungen Max Plancks bei der Untersuchung der Hohlraumstrahlung führten zur Entwicklung einer neuen Statistik. Der Wellen-Korpuskel-Dualismus brachte nach seiner Aufdeckung die de Brogliesche Hypothese von der Allseitigkeit dieses Dualismus mit sich und führte zur Aufstellung der Unbestimmtheitsrelationen. Damit war eine theoretische Deutung bereits getätigter Experimente erreicht. Compton-Streuung, Photoeffekt usw. erhielten ihren Platz in einer bestimmten Theorie. Zugleich war jedoch auch die Anregung für neue Interferenzexperimente usw. gegeben. Bei diesen weiteren Experimenten tauchten ebenfalls neue Schwierigkeiten auf, die mit der bisherigen Theorie nicht zu erklären waren. Die Paarerzeugung und Paarvernichtung von Elementarteilchen erforderte die Erweiterung der Quantenmechanik durch die Quantenelektrodynamik.

Man kann also auch bei der Betrachtung der Rolle der Mathematik in der Quantentheorie die Bedeutung der Mathematik nur fassen, wenn man sie als Widerspiegelung des objektiven Verhaltens der Elementarobjekte ansieht. Dabei erhält die Theorie neue Impulse durch solche Experimente, die in dieser Theorie nicht gedeutet werden können und deshalb die Erweiterung der bisherigen Theorie und ihres mathematischen Formalismus verlangen. Andererseits besteht die Bedeutung einer mathematisch formulierten physikalischen Theorie in der Ausnutzung des bereits erarbeiteten mathematischen Hilfsapparats zur Ausarbeitung der Folgerungen aus den allgemeinen Gesetzen (Gleichungen) dieser Theorie. Dabei verflüchtigt sich die objektive Realität nicht in die Klarheit der Mathematik, wie Heisenberg meint. Es wird aber auch nicht die große Bedeutung der Mathematik für den Fortschritt der physikalischen Theorie geleugnet. Die mathematische Formulierung der mikrophysikalischen Prozesse ist nichts Wunderbares im Jordanschen Sinne, demzufolge die Mathematik nichtreale Gebilde beschreibt. Die Mathematik in ihrer physikalischen Bedeutung faßt die Wirklichkeit – hier physikalische Zustände – tiefer und genauer als die auf sinnliche Wahrnehmung gegründete Beobachtung in einem Experiment. Worin bestehen nun die neuen Charakteristika bei der Verwendung der Mathematik in der Quantentheorie?

Hervorheben muß man die Verwendung modernster mathematischer Methoden, wie das Rechnen mit Tensoren und Spinoren. Die Kompliziertheit der verwendeten mathematischen Ausdrücke zur Widerspiegelung objektiv-realer Zustände zeigt die Kompliziertheit dieser Zustände und den Fortschritt bei ihrer Erkenntnis. Der klassische Zustand, d. h. die Erkenntnis des objektiven Zustands physikalischer Körper in der klassischen Physik, war [231] relativ einfach. Hier war der Zustand durch die gleichzeitige Angabe von Ort und Impuls eines Körpers charakterisiert. Die Unbestimmtheitsrelationen zeigen die Relativität dieser Erkenntnis. Sie gilt nur unter den Bedingungen der klassischen Mechanik überhaupt, wenn kleine Geschwindigkeiten und Wechselwirkungen zwischen relativ voneinander isolierten Körpern vorliegen. Der quantenphysikalische Zustand ist dagegen mathematisch komplizierter, weil er bereits eine genauere Kenntnis des wirklichen physikalischen Zustands zum Ausdruck bringt. Er stellt die Einheit sich widersprechender, aber objektiv-real vorhandener Eigenschaften des quantenphysikalischen Zustands dar, deren Zusammenhang in den Unbestimmtheitsrelationen ausgedrückt wird. Ebenso, wie die Charakterisierung des Zustands mathematisch komplizierter wird, ist auch die Erkenntnis der Veränderung dieses Zustands, formuliert in Gleichungen für diesen Zustand, komplizierter. Die Hamiltonsche Beziehung zwischen Ort und Impuls ist mathematisch einfacher zu behandeln als die Einwirkung der Operatoren auf den Quantenzustand in der Heisenbergschen Quantenmechanik. Mit der Entwicklung der physikalischen Theorie werden auch die Gleichungen (Dirac-Gleichung, Heisenbergsche Gleichung) komplizierter. Die Kompliziertheit mathematischer Methoden ist ganz allgemein ein Hinweis auf die widergespiegelte komplizierte Wirklichkeit. Dieser Tendenz zur Entwicklung der mathematischen Physik steht jedoch eine andere entgegen, auf die wir noch genauer eingehen müssen, nämlich der Übergang zu allgemeineren Theorien.

Neben der Anwendung modernster mathematischer Methoden ist das Verhältnis von Mathematik und Quantenmechanik durch die Verwendung einer neuen Art der Statistik gekennzeichnet. In der klassischen Physik beschrieb man Prozesse statistisch und war fest von der Möglichkeit der Beschreibung des Verhaltens des Einzelobjekts überzeugt. Wir hatten bereits die verschiedenen Auffassungen charakterisiert, die der Quantenmechaniker zur Beschreibung des Verhaltens des Einzelobjekts einnehmen kann. Es steht fest, daß im quantenmechanischen Formalismus das Beschreiben des Einzelobjekts nicht möglich ist. Man braucht dazu in der Quantenmechanik nicht berücksichtigte „verborgene Parameter“. Ihre Anwendung führt jedoch, wie J. v. Neumann bewies, bereits über die Quantenmechanik hinaus.<sup>232</sup> Es

---

<sup>232</sup> Vgl. J. v. Neumann, Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik, a. a. O.

zeigt sich hier eine neue Erkenntnis der modernen Physik. Sie hat es mit einer neuen Art der Wechselwirkung zu tun. Die Elementarobjekte wirken nicht als relativ voneinander isolierte physikalische Körper aufeinander ein, sondern ihr Zusammenhang untereinander ist enger als in der klassischen Physik zum Ausdruck gebracht wird. Die genaue Untersuchung dieses Zusammenhangs wird in der Zukunft zu genaueren Bestimmungen der Struktur bestimmter Elementarteilchen führen. Aber die damit verbundenen Experimente können vom quantenmechanischen Formalismus nicht mehr erfaßt werden.

In der Entwicklung der Quantenmechanik und den darüber hinaus weisenden Entwicklungsperspektive zeigt sich immer mehr die Tendenz zur Aufstellung allgemeiner Theorien, die einen größeren Bereich objektiv-realer Eigenschaften, Beziehungen usw. umfassen. Dabei gewinnen auch bestimmte Züge der mathematischen Behandlung an Bedeutung. Heisenberg zeigt das am Beispiel der von ihm diskutierten Grundgleichung der Materie. Es handelt sich um eine nicht-lineare Wellengleichung für einen Feldoperator, „der als der mathematische Repräsentant der Materie – nicht irgendeiner bestimmten Art von Elementarteilchen oder Wellen – gelten kann“. Der Kern dieser Gleichung ist die mathematische Symmetrie. Heisenberg hofft auf eine „sehr einfache Formulierung der Naturgesetze“. Er kann jedoch keinen guten Grund für „diese Hoffnung auf Einfachheit“ angeben.<sup>233</sup> Neben der anfangs erwähnten Kompliziertheit der mathematischen Ausdrücke und Verbindungen haben wir es in der modernen Physik mit einem mathematischen Formalismus zu tun, der immer größere Bereiche physikalischer Objekte in einfachen, mathematischen Grundgleichungen beschreibt. Dabei ist diese Einfachheit relativ. Sie bezieht sich zunächst auf eine formale Einfachheit. Die in der „einfachen“ Gleichung benutzten Ausdrücke und Beziehungen tragen den bereits charakterisierten komplizierten Charakter mathematischer Methoden bei ihrer inhaltlichen Behandlung und Deutung. Weiterhin beziehen sich solche Gleichungen auf größere Bereiche, als sie bisher erforscht wurden. In der Heisenbergschen Theorie sollen nicht bestimmte Elementarteilchen erfaßt werden, sondern als Eigenlösungen aus der Grundgleichung hervorgehen. Es handelt sich eben um eine einheitliche Theorie der Materie. Die Gleichung ist deshalb nicht *absolut einfach* im Vergleich zu den Gleichungen der klassischen Physik, sondern *relativ einfach* im Vergleich zu dem umfangreichen Gebiet objektiv-realer Beziehungen, die damit umfaßt werden. Diese Einfachheit ist ein Charakteristikum bisheriger mathematischer Formalismen gewesen. Sie wird von Heisenberg und anderen Physikern auch als charakteristisches Merkmal eines mathematischen Formalismus für eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen erwartet.

Diese charakteristischen Züge der mathematischen Behandlung moderner physikalischer Probleme sind ein Ausdruck der Bedeutung der Mathematik bei der Widerspiegelung der Eigenschaften der Elementarobjekte im Denken, vor allem also bei der tieferen theoretischen Erfassung dieser Eigenschaften. Dabei verstehen wir die Rolle der Mathematik, ihre notwendige Entwicklung und Verbindung mit der physikalischen Entwicklung nur, wenn wir sie als Widerspiegelung objektiv-realer Beziehungen fassen. In der Verbindung mit der physikalischen Theorie liefert uns der mathematische Formalismus eine exakte Formulierung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten, wissenschaftliche Voraussagen und Hinweise für neue Experimente.

##### 5. Die Einheit der Welt und die Entwicklung allgemeiner Theorien

Wir haben bislang die Beantwortung einer philosophischen Begründung für die von Heisenberg ausgedrückte Auffassung von der Einfachheit der Naturgesetze offengelassen. Diese Begründung kann man nur geben, wenn man die philosophische Bedeutung einer Tendenz der theoretischen Entwicklung untersucht, die immer mehr in den Vordergrund der wissenschaftlichen Arbeit tritt und vor allem in der Physik deutlich zu spüren ist.

<sup>233</sup> Vgl. W. Heisenberg, Physik und Philosophie, a. a. O., S. 53 f.

Bereits im vergangenen Jahrhundert hätte man mit der Entwicklung der Elektrodynamik einen Zusammenhang zwischen zwei bisher getrennt behandelten Erscheinungen aufgedeckt, der Elektrizität und dem Magnetismus. Andererseits bestanden mit der Wellentheorie des Lichts und der Korpuskeltheorie zur Beschreibung der Ortsveränderung physikalischer Körper zwei Theorien, die zwei objektiv getrennte Bereiche, so meinte man, beschrieben. Die moderne Physik stellte in der Quantenmechanik auch den Zusammenhang zwischen diesen beiden Bereichen her. Man hatte damit die Elektrodynamik zur Beschreibung elektrischer Eigenschaften und die Quantentheorie zur Beschreibung der Quantenprozesse. Die Erweiterung der Quantenmechanik führte zur Einbeziehung der mit der elektrischen Ladung zusammenhängenden Eigenschaften und der magnetischen Eigenschaften (Spin) in eine Theorie der Elementarobjekte, zur Quantenelektrodynamik.

Andererseits vollzog sich eine Entwicklung von der Behandlung der raum-zeitlichen Struktur der Wirklichkeit als unabhängig von der wirklichen Bewegung zur Aufstellung der Relativitätstheorie. Die Abhängigkeit der Raum-Zeit von der wirklichen Bewegung wurde berücksichtigt.

So entstanden zwei große Theorien zur Beschreibung des Verhaltens physikalischer Objekte: die Relativitäts- und die Quantentheorie. Unabhängig von den bisherigen noch nicht vollständig gelungenen Versuchen der Vereinigung beider Theorien kann man aus der Analyse der physikalischen Erkenntnis den Schluß ziehen, daß diese Vereinigung stattfinden wird.

[234] Betrachtet man andererseits den spezielleren Aspekt der Entwicklung der Quantentheorie selbst, so sehen wir die Anstrengungen der Physiker auf die Entwicklung einer allgemeinen Theorie der Elementarteilchen gerichtet.

Damit entwickelt sich unsere Erkenntnis der physikalischen Prozesse immer mehr zu einem zusammenhängenden System, das einerseits immer mehr neue Objekte und andererseits tiefere Kenntnisse über bereits bekannte Objekte umfaßt. Als logische Konsequenz dieser Entwicklung betrachten die Physiker ihr Anliegen nach einer allgemeinen Theorie der Elementarteilchen oder nach einer einfachen Formulierung der Naturgesetze. Heisenbergs Auffassung kann hier wiederum als Ausdruck des Wissens der Physiker um ihre Aufgabe bei der Entdeckung der wirklichen Einheit der Welt in der Materialität gesehen werden. Er sagt über die Aufgaben der Naturwissenschaft: „Wenn die Naturwissenschaft das Problem der Materie untersucht, so muß sie zunächst die Formen der Materie studieren. Die unendliche Vielfalt und Wandelbarkeit der Formen der Materie muß das unmittelbare Objekt der Forschung sein; die Anstrengungen müssen darauf gerichtet sein, Naturgesetze zu finden, einheitliche Prinzipien, die als ein Leitfaden durch dieses unendliche Feld dienen können. Daher konzentriert die exakte Naturwissenschaft und besonders die Physik seit langer Zeit ihr Interesse auf eine Analyse der Struktur der Materie und der Kräfte, die für diese Struktur verantwortlich sind.“<sup>234</sup>

Werner Heisenberg erklärt sehr zutreffend den Zusammenhang der naturwissenschaftlichen Forschung mit dem philosophischen Problem der Materie. Die Naturwissenschaft untersucht die Formen der Materie, ihre Umwandlung ineinander. Dabei ist stillschweigende Voraussetzung die Existenz der Materie, d. h. auch die Existenz der objektiv-realen Elementarobjekte. Lenin verweist darauf, daß es unzulässig ist, diese oder jene Lehre von der Struktur der Materie mit einer erkenntnistheoretischen Kategorie gleichzusetzen. Man darf die Frage nach den neuen Eigenschaften neuer Arten der Materie nicht mit der Frage nach den Quellen unseres Wissens, nach der Existenz einer objektiven Wahrheit verwechseln.<sup>235</sup> Lenin grenzt damit die einzelwissenschaftliche, physikalische Fragestellung von der philosophischen ab. Diese berechnete Abgrenzung heißt jedoch nicht, daß beide beziehungslos nebeneinanderstehen. Wir

<sup>234</sup> Ebenda, S. 121.

<sup>235</sup> Vgl. W. I. Lenin, Materialismus und Empirio-kritizismus a. a. O., S. 124.

hatten bereits auf den engen Zusammenhang zwischen philosophischen und physikalischen Aussagen hingewiesen. Dieser Zusammenhang wird durch die Entwicklung der Physik selbst immer mehr verdeutlicht. Der Erkenntnisweg des Physikers führt zur Bestätigung philosophischer Aussagen. Dabei muß sich die physikalische immer mehr der philosophischen Aussage nähern. Diese Annäherung bedeutet einerseits eine immer genauere Präzisierung der allgemeinen philosophischen Aussage. Dafür hatten wir schon Beispiele in der Entwicklung der Raum-Zeit-Theorie gesehen. Sie ergibt jedoch andererseits auch eine Begegnung der naturwissenschaftlichen Forschung mit der philosophischen Analyse. Die Physik stellt heute die Frage nach der Einheit der Welt direkter, als das früher der Fall war. Die materielle Einheit der Welt im mechanischen Materialismus war eine Einheit auf der Grundlage der Rückführbarkeit aller Beziehungen auf mechanische. Sie war damit eine Vereinfachung des wirklichen Zusammenhangs qualitativ verschiedener Formen der Materie. Die moderne Physik untersucht die Einheit qualitativ verschiedener materieller Erscheinungen. Dabei reduziert sich die qualitative Verschiedenheit nicht nur auf die qualitativ verschiedenen Grundformen der Bewegung (anorganische, organische, gesellschaftliche), sie gilt auch innerhalb jeder Bewegungsform. Das wird von Heisenberg hervorgehoben, wenn er für die Physik die Untersuchung nicht nur der Vielfalt; sondern auch der Wandelbarkeit der Formen der Materie fordert. Die Auffassungen des modernen Physikers von der Einheit der Welt sind nicht mehr mit denen der klassischen Physik vergleichbar. Es geht bei Heisenbergs Untersuchungen nicht um die Rückführung qualitativ verschiedener Materieformen (Elementarteilchen) auf quantitative Beziehungen qualitativ identischer Formen. Seine Theorie wird nur Erfolg haben, wenn die mathematischen Symbole, die den Ausgangszustand in einer allgemeinen Feldgleichung widerspiegeln, als Widerspiegelung einer Einheit qualitativ verschiedener Formen oder Materie verstanden werden. So muß man auch die Heisenbergsche Urmaterie interpretieren. Nur aus einer Widerspiegelung der Einheit qualitativ verschiedener Formen der Materie, ausgedrückt im mathematischen Symbol, können sich Folgerungen ergeben, die die konkreten Formen (Elementarteilchen und ihre Eigenschaften) widerspiegeln. Auf der Solvay-Konferenz in Brüssel im Oktober 1961 erklärte Heisenberg: „Die Experimente der letzten Zeit zwingen dazu, bei der Bemühung um ein theoretisches Verständnis nicht nur einzelne Elementarteilchen, sondern ihr ganzes kompliziertes ‚Spektrum‘, das heißt, sie alle gemeinsam zu betrachten ... Man kann ... kaum daran zweifeln, daß es schließlich gelingen wird, eine solche einheitliche Theorie der Elementarteilchen mathematisch zu formulieren und in ihr die Naturerscheinungen darzustellen.“<sup>236</sup>

Heisenberg bestätigt damit die von uns genannte Annäherung der physika-[236]lischen Aussagen an allgemeinste philosophische Thesen. Hier werden die Materieformen nicht als relativ isoliert voneinander in eigenen Theorien betrachtet. Entsprechend der philosophischen These von der Einheit qualitativ verschiedener Materieformen wird die Einheit der Elementarteilchen betont, ohne ihre qualitative Verschiedenheit zu vernachlässigen. So soll das Ergebnis der Heisenbergschen „Weltformel“ das Massenspektrum der Elementarteilchen sein.

Die Entwicklung der Physik selbst zwingt Heisenberg zur richtigen philosophischen Erkenntnis der Einheit der Welt. Die Erkenntnis vieler neuer, vor allem instabiler Elementarteilchen, schien nach Heisenberg vom Gedanken an die Einheit der Materie wegzuführen. Jedoch wäre das, meint er, „keine angemessene Deutung des Sachverhalts“. Die Teilchen können ineinander umgewandelt werden. Heisenberg schreibt dazu: „Also in anderen Worten: die Versuche haben die völlige Verwandelbarkeit der Materie gezeigt. Alle Elementarteilchen können in Stößen hinreichend hoher Energien in andere Teilchen umgewandelt oder einfach aus kinetischer Energie erzeugt werden, und sie können sich in Energie, z. B. in Strahlung, verwandeln. Daher haben wir hier tatsächlich den endgültigen Beweis für die Ein-

<sup>236</sup> K. Rudzinski, *Ins Innerste der Materie*, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 2.12.1961.

heitlichkeit der Materie. Alle Elementarteilchen sind aus demselben Stoff gemacht, den wir nun Energie oder universelle Materie nennen können; sie sind nur verschiedene Formen, in denen die Materie erscheinen kann.<sup>237</sup>

Heisenberg nähert sich hier von der physikalischen Seite her einer durch philosophische Analyse gewonnenen These. Der Kern der Heisenbergschen Gedanken ist die Einheit der Welt in der Materialität. Die Einheit fassen wir dabei mathematisch in einem Symbol für den ursprünglichen Zustand oder „Urzustand“. Das Ergebnis einer richtigen Darstellung der Veränderung dieses Zustands müssen qualitativ verschiedene Eigenschaften der Elementarteilchen sein.

Mit diesem Zusammenhang zwischen philosophischer These (Einheit der Welt) und naturwissenschaftlicher Aussage (Vielfalt und Umwandelbarkeit der Elementarteilchen) gewinnen wir neues Verständnis für eine Bemerkung Lenins über die Erkenntnis. Er schrieb: „Einerseits muß die Erkenntnis der Materie bis zur Erkenntnis (zum Begriff) der Substanz vertieft werden, um die Ursachen der Erscheinungen zu finden. Andererseits ist die wirkliche Erkenntnis der Ursache die Vertiefung der Erkenntnis von der Äußerlichkeit der Erscheinungen her bis zur Substanz.“<sup>238</sup>

[237] Mit dieser Bemerkung ist u. E. keinesfalls die Anerkennung einer Substanz im Sinne einer Materie-an-sich hinter den Erscheinungen verbunden. Lenin betrachtet die Materie als eine philosophische Kategorie zur Bezeichnung qualitativ verschiedener Materieformen, deren Einheitlichkeit nur in der Existenz außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein besteht und in der möglichen Widerspiegelung durch unser Bewußtsein. Das würde jedoch auch für absolut isoliert voneinander existierende Dinge und Erscheinungen ein einheitliches Merkmal bedeuten. Lenins Forderung geht auf eine Vertiefung der Erkenntnis bis zum Begriff der Substanz, d. h. der in den Erscheinungen wirksamen Ursachen. Diese Erkenntnis haben wir in der These von der *Einheit* der Welt in der Materialität. Die Begründung dieser These gab Engels in der Auseinandersetzung mit der Dühringschen Auffassung von der Einheit der Welt im Sein. Das Wesen der Engelsschen Kritik besteht nach unserer Meinung dabei in folgendem:

1. Die Behauptung von der Einheit der Welt im Sein faßt die Dinge und Erscheinungen nur durch ihre Existenz zusammen. Damit ist keine Unterscheidung zwischen diesen Dingen und Erscheinungen getroffen. Aussagen über weitere Merkmale als die bloße Existenz werden ausgeschlossen.
2. Die wirkliche Erkenntnis beginnt jedoch erst dort, wo wir den Dingen gemeinsame und nicht gemeinsame Merkmale zusprechen. Für die Erkenntnis sind die Unterschiede der Dinge wichtig.
3. Um über die Unterschiede etwas aussagen zu können, muß das allgemeinste Merkmal herausgearbeitet werden, das die wirkliche Einheit der Welt zum Ausdruck bringt und Aussagen über die Unterschiede zuläßt.
4. „Die wirkliche Einheit der Welt besteht in ihrer Materialität, und diese ist bewiesen nicht durch ein paar Taschenspielerphrasen, sondern durch eine lange und langwierige Entwicklung der Philosophie und der Naturwissenschaft.“<sup>239</sup>

Die These von der Einheit der Welt in der Materialität umfaßt die Erkenntnis von der Existenz des wirklichen Zusammenhangs der Dinge und Erscheinungen. Diesen Zusammenhang gilt es konkret zu erforschen. Die Philosophie untersucht die allgemeinsten und die Naturwis-

---

<sup>237</sup> W. Heisenberg, Physik und Philosophie, a. a. O., S. 131.

<sup>238</sup> W. I. Lenin, Aus dem philosophischen Nachlaß, a. a. O., S. 78.

<sup>239</sup> F. Engels, Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft, a. a. O., S. 41.

senschaft die spezifischen Formen dieses Zusammenhangs in der Natur. Aber diese Erkenntnis ist nur der allgemeine Ausdruck für unser Wissen, daß es materielle Ursachen für jede Wirkung gibt, daß objektive Beziehungen zwischen den Dingen und Erscheinungen existieren. Deshalb fordert Lenin die Erkenntnis der wirklichen Ursache, um von der Erscheinung bis zur Substanz vorzudringen. Eben diese Ergänzung der Erkenntnis der Einheit der Welt liefert die moderne Physik auf ihrem Gebiet. Die philosophische These von der Einheit der Welt in der Materialität war auch richtig, als die Physik noch isolierte Körper untersuchte, deren Zusammenhang äußerlich war. Dieser Zusammenhang wurde in Druck- und Stoßgesetzen erforscht. Im wesentlichen wurde jedoch in der klassischen Physik die Bewegung isolierter Körper beschrieben. Erst die moderne Physik führte mit ihrer Untersuchung der Umwandelbarkeit der Elementarteilchen die Vertiefung der Erkenntnis von der Einheit der Welt in der Materialität auf ihrem Gebiet bis zur Erkenntnis der Substanz durch. Sie zeigte den inneren Zusammenhang der Elementarteilchen, ihre Umwandelbarkeit ineinander unter Beibehaltung der relativen Selbständigkeit der Elementarteilchen. Sie fand damit die Ursache für solche Erscheinungen wie Paarerzeugung, Auftreten neuer Elementarteilchen, Kernzerfall usw.

Damit treffen sich in dieser speziellen These die philosophische Analyse, die das Vorhandensein eines inneren Zusammenhangs zwischen den physikalischen Objekten als Ausdruck der Einheit der Welt voraussagt, mit der einzelwissenschaftlichen Forschung, die die wirkliche, substantielle Einheit aufdeckt. Sie tut das, indem sie bestimmte Elementarteilchen erforscht, die Bedingungen ihrer Umwandelbarkeit untersucht und dabei diesen Zusammenhang theoretisch erfaßt.

Die von uns charakterisierte Tendenz der Aufstellung allgemeiner Theorien findet nun ihre philosophische Begründung in der These von der Einheit der Welt in der Materialität. Eben der wirkliche Zusammenhang der qualitativ verschiedenen Dinge und Erscheinungen ermöglicht es uns, immer größere Bereiche mit relativ einfachen mathematischen Gleichungen zu erfassen. Diese Gleichungen sind Ausdruck für gefundene physikalische Gesetzmäßigkeiten, die relativ große Bereiche umfassen. Da es sich bei der wirklichen Einheit der Welt nicht um eine Einheit qualitativ gleichartiger Erscheinungen handelt, kann man auch nicht mit dem Aufdecken einer einzigen Theorie als Ausdruck für die Einheit der Welt rechnen. Die Einheit der Welt wird in verschiedenen allgemeinen Theorien ausgedrückt. Auch die bürgerliche Naturphilosophie befaßt sich mit dieser Tendenz der naturwissenschaftlichen Entwicklung. Frey nennt den Gedanken „der Einheitlichkeit und des Zusammenhangs der Welt“ eine „Voraussetzung naturwissenschaftlichen Denkens“.<sup>240</sup> Sie kann nach Frey nicht vollständig beweisbar sein. Natürlich gehört dieser Gedanke zu den Grundvoraussetzungen der wissenschaftlichen Arbeit, jedoch muß er dazu mit der Anerkennung der Materialität der Welt verbunden sein. In verschiedenen Zeitabschnitten spielte der Gedanke, von der materiellen Einheit der Welt jedoch eine unterschiedliche Rolle. Er verleitete in der klassischen Physik durch Vereinfachung des wirklichen Zusammenhangs zum Ideal der Rückführung aller Beziehungen auf mechanische Gesetze. Es geht also nicht nur, wie Frey meint, um diese Voraussetzung des naturwissenschaftlichen Denkens, sondern um eine philosophisch exakte Fassung dieses Zusammenhangs als einer Einheit qualitativ verschiedener Dinge. Eben das gelingt Frey nicht, da er die Rolle der Philosophie unterschätzt. Ein Ausdruck dafür ist die bereits erwähnte Auffassung von der Unbeweisbarkeit der Einheit der Welt.

Frey lehnt zwar die Forderung nach einem einzigen abbildenden System zur Erfassung der Einheit der Welt ab. Es gibt immer wieder eine unendliche Fülle nicht erkannter Erscheinungen. Er kommt zu einer „unendlichen Systemreihe“, wobei immer wieder alte Systeme durch neue ersetzt werden. Eine Systemkonvergenz gibt es nach seiner Auffassung nur für endliche

<sup>240</sup> G. Frey, Gesetz und Entwicklung in der Natur, Hamburg 1958, S. 50.

Teilbereiche.<sup>241</sup> So hat Frey die Entwicklung der physikalischen Theorie nur einseitig erfaßt und das Bestreben, der Naturwissenschaftler nach einer einheitlichen Theorie nur für begrenzte Bereiche zugestanden. Damit ist die Unendlichkeit von ihm nur nach der Seite der schlechten Unendlichkeit gefaßt worden. Er sieht das Fortschreiten der Theorie allein im Erfassen neuer materieller Dinge oder Bereiche. Es geht jedoch auch um das Fortschreiten in der Erkenntnis wesentlicher Beziehungen. Dabei finden wir eine Einheit qualitativ verschiedener Dinge und Erscheinungen. So wie die Physik für einen Teilbereich, nämlich die Theorie der Elementarteilchen, eine einheitliche Theorie sucht, so muß auch die Berechtigung einer einheitlichen Theorie für alle Bereiche existieren. Weil aber Frey und mit ihm viele Physiker die wirkliche Rolle der Philosophie nicht erkennen, können sie auch nicht zu einer allseitigen Begründung für die Berechtigung allgemeiner Theorien kommen.

Frey behauptet, „daß die Welt als Ganzes niemals Objekt möglicher Erfahrung sein kann“<sup>242</sup>. Zweifellos experimentieren wir nicht mit der Welt als Ganzem, aber das dürfte eine triviale Aussage sein. Die Entwicklung der Wissenschaft zeigt jedoch den inneren Zusammenhang der Dinge und Erscheinungen. Sie deckt allgemeine Beziehungen auf, die nicht nur in der Natur, sondern auch in der Gesellschaft gelten. Solche allgemeinen Beziehungen sind Aussagen über die Welt als Ganzes auf der Grundlage von Erfahrungen. Diese Erfahrungen zu verallgemeinern ist Aufgabe der marxisti-[240]schen Philosophie. Sie untersucht die allgemeinsten Beziehungen zwischen Bewegung, Materie, Raum und Zeit, deckt die Entwicklungsgesetze auf und gibt eine wissenschaftliche Erkenntnistheorie.<sup>243</sup> Die Philosophie untersucht also die Gesetze der objektiven Realität als Ganzes, der gemeinsamen Beziehungen zwischen den qualitativ verschiedenen objektiv-realen Dingen und Erscheinungen. Damit haben wir eine im wesentlichen geschlossene Theorie über die allgemeinsten Beziehungen der objektiven Realität, die natürlich erst auf einer hohen Stufe der einzelwissenschaftlichen Entwicklung entstehen konnte. Innerhalb dieser Theorie spielt nun erst die „schlechte“ Unendlichkeit eine Rolle. Die Grundvoraussetzungen der marxistischen Philosophie bleiben erhalten, aber mit dem fortschreitenden Wissen ändert sich die Form der philosophischen Aussagen. So ist die marxistische Philosophie kein abgeschlossenes Dogma, sondern unterliegt der Entwicklung wie jede Wissenschaft.

Wegen der qualitativen Verschiedenheit der materiellen Erscheinungen muß man jedoch auch die Existenz allgemeiner Theorien auf den einzelwissenschaftlichen Ebenen anerkennen. Eine solche Theorie wäre die einheitliche Theorie der Elementarteilchen. Diese einzelwissenschaftlichen Theorien können sich nun im Laufe der Entwicklung nicht nur in der Form, sondern auch im Inhalt ändern, da ihr Bereich sich stets erweitert. Es werden sowohl neue Forschungsobjekte als auch neue Beziehungen zwischen bekannten Objekten entdeckt, die zu einer inhaltlichen Änderung einer allgemeinen Theorie führen können.

Das Problem der Entwicklung allgemeiner Theorien kann also nicht unabhängig von der Philosophie behandelt werden. Aus der *allgemeinen philosophischen* Behandlung der Einheit der Welt ergeben sich die Grundlagen für die *einzelwissenschaftlich allgemeine* Fragestellung. Wir haben bereits auf die Begründung der Heisenbergschen Forderung nach einer allgemeinen Theorie hingewiesen. Diese Theorie liefert die Spezifik der materiellen Einheit der Welt für einen bestimmten Bereich (Elementarteilchenphysik). Die Einheit der Welt in der Materialität ist eine Einheit qualitativ verschiedener Dinge und Erscheinungen, qualitativ ver-

---

<sup>241</sup> Ebenda, S. 68.

<sup>242</sup> Ebenda, S. 51.

<sup>243</sup> Für das Problem des Determinismus wird dieser Zusammenhang zwischen Philosophie und einzelwissenschaftlicher Aussage gezeigt bei: H. Hörz, Zum Verhältnis von Kausalität und Determinismus, in: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, 3/61; H. Hörz, Der dialektische Determinismus in Natur und Gesellschaft, Berlin 1962.

schiedener Bewegungsformen. Das gibt uns auch Hinweise für die Berechtigung allgemeiner Forderungen an eine einheitliche Theorie der Elementarteilchen:

Die wirkliche Einheit der Welt ist die Grundlage für die einfache mathematische Formulierung physikalischer Zusammenhänge. Es handelt sich [241] dabei um Gesetze, d. h. um allgemeine und wesentliche Beziehungen und notwendige Zusammenhänge. Solche Zusammenhänge gibt es, weil die materielle Welt eine Einheit bildet. Die Aufdeckung dieser Zusammenhänge ist zugleich eine Bestätigung für die Richtigkeit der philosophischen These von der materiellen Einheit der Welt.

Es handelt sich dabei um eine Einheit qualitativ verschiedener Dinge und Erscheinungen auch in einem bestimmten Bereich. Die qualitative Verschiedenheit verweist uns auf die Kompliziertheit des mathematischen Formalismus, beispielsweise auf die mögliche Nichtlinearität der Gleichungen als Ausdruck für den komplizierten objektiven Zusammenhang.

Somit ergibt sich die Berechtigung für die allgemeinen Symmetrieforderungen aus der Unendlichkeit des Zusammenhangs. Unendlichkeit heißt auch, daß man die Existenz einander entgegengesetzt gerichteter Prozesse anerkennen muß. Es gibt also keine ausgezeichneten Richtungen, Prozesse usw. Da wir es jedoch in der Physik mit Teilbereichen zu tun haben, ist die Forderung der Symmetrie, die der Unendlichkeit entspricht, eine Idealforderung, die im Teilbereich durch Asymmetrien durchbrochen werden kann. Es gilt also stets die Einheit von Symmetrie und Asymmetrie als Ausdruck für die Einheit von Endlichkeit und Unendlichkeit zu beachten.

#### *Schlußbemerkungen*

Wir haben uns mit den philosophischen Problemen einer speziellen physikalischen Theorie beschäftigt. Ebenso wie bei der Quantentheorie ergeben sich bei der Analyse einzelwissenschaftlicher Theorien eine Vielzahl philosophischer Probleme. Verdeckt werden sie zuweilen durch die Scheu mancher Naturwissenschaftler vor philosophischen Äußerungen. In der Quantentheorie ist das nicht der Fall. Seit der Begründung der Quantenmechanik haben wir eine interessante philosophische Diskussion, die mit der Entwicklung der Quantentheorie nicht etwa nachläßt. Der marxistische Philosoph steht dabei oft vor der schwierigen Aufgabe, die philosophischen Äußerungen hervorragender Physiker einzuschätzen. Dabei treten verschiedene Extreme auf. Man darf die hinter idealistischen Äußerungen verborgenen wirklichen philosophischen Probleme nicht unterschätzen. Diese Probleme und Lösungsversuche dürfen jedoch auch nicht dazu verleiten, sie einfach als Bestandteil des dialektischen Materialismus zu betrachten. Auch das schablonenhafte Einordnen der Physiker in bestimmte philosophische Kategorien wird der wirklichen Problematik nicht gerecht. Wir halten es für angebracht, einen Unterschied zwischen dem Vertreten einer idealistischen These durch einen Physiker und einen reaktionären Philosophen zu machen. Nehmen wir die [242] These von der Indeterminiertheit und Akausalität der Mikrophysik, die einige Physiker vertraten, und die Behauptung des Indeterminismus durch einen reaktionären Philosophen.

Der Naturwissenschaftler trägt durch seine wissenschaftliche Leistung zum Fortschritt des menschlichen Denkens bei. Der Marxismus-Leninismus ist der Bewahrer und Verfechter alles fortschrittlichen Gedankenguts. Die Aufgabe des Philosophen im Imperialismus besteht jedoch in der Rechtfertigung der herrschenden Ordnung, der Herrschaft der reaktionärsten und kriegslüsternten Kreise. Soweit er sich offen von dieser Aufgabe distanziert, wird er selbst zum Angriffsobjekt seiner Fachkollegen. Der reaktionäre Philosoph braucht die Akausalität des Geschehens für seine idealistische Theorie, die einerseits, da sie unwissenschaftlich ist, jede Maßnahme der herrschenden Klasse rechtfertigen läßt, andererseits den dialektischen Materialismus, die wissenschaftliche Weltanschauung widerlegen soll. Dazu nutzt der idealistische Philosoph die erkenntnistheoretischen Unklarheiten des Naturwissenschaftlers

aus. Der Marxist kann die Leistung des Naturwissenschaftlers nur richtig herausarbeiten, wenn er zugleich den Kampf gegen die Ausnutzung falscher Thesen dieses Naturwissenschaftlers zur Rechtfertigung einer unwissenschaftlichen philosophischen Theorie führt. Das verstehen manche bürgerlichen Naturwissenschaftler nicht ganz. Sie sehen nur ihre Fachprobleme und nicht die objektive Wirkung ihrer Thesen im ideologischen Kampf.

Der Naturwissenschaftler ist auf Grund seiner wissenschaftlichen Arbeit spontaner Materialist. Diesen spontanen Materialismus gilt es bewußt zu machen. Der Naturwissenschaftler, der idealistische Thesen vertritt, steht mit seiner Auffassung im Widerspruch zur objektiven Bedeutung seiner Arbeit. Man muß ihm zu einer richtigen philosophischen Verallgemeinerung seiner eigenen Arbeit verhelfen und damit den Widerspruch lösen. Der reaktionäre Philosoph dagegen vertritt eine philosophische These nur, wenn sie mit seiner reaktionären Theorie übereinstimmt. Dort kann es sich also nur um eine Kritik der gesamten Theorie handeln.

Hinter den Äußerungen von Naturwissenschaftlern stecken, soweit sie meinen, philosophische Schlußfolgerungen aus ihrer Arbeit ziehen zu können, wirkliche Probleme. Der Naturwissenschaftler entwickelt oft in einer unexakten Ausdrucksweise neue, philosophisch interessante Gedanken. Auch wenn es sich um idealistische Vorstellungen handelt, muß man dem Naturwissenschaftler bei der Lösung der neuen Probleme helfen. Der reaktionäre Philosoph dient jedoch im wesentlichen den Aufgaben der herrschenden Klasse, indem er Unklarheiten der Naturwissenschaftler ausnutzt, um seinen Thesen den Anstrich der Wissenschaftlichkeit zu geben.

[243] Für den Naturwissenschaftler birgt die philosophische Terminologie Schwierigkeiten. Er verfällt leicht einer anfechtbaren Ausdrucksweise, wenn sie ihm zum Ausdruck zu bringen scheint, was er meint. Der idealistische Philosoph hilft jedoch nicht bei der Klärung des wirklichen Anliegens des Naturwissenschaftlers, er zeigt ihm nicht die richtige Verallgemeinerung seiner Ergebnisse, sondern verwirrt ihn noch mehr. Gerade das ist aber die Aufgabe der Philosophie: Sie muß zur richtigen Deutung beitragen und durch die kritische Analyse des Materials um den Fortschritt von Physik und Philosophie ringen.

Lenin bemerkte bereits 1908 in seinem „Materialismus und Empirio-kritizismus“: „Die moderne Physik liegt in Geburtswehen. Sie ist dabei, den dialektischen Materialismus zu gebären. Die Entbindung verläuft schmerzhaft. Außer den lebendigen und lebensfähigen Wesen kommen unvermeidlich gewisse tote Produkte, einige Abfälle zum Vorschein, die in die Kehrichtgrube gehören.“<sup>244</sup>

Diese Bemerkung Lenins ist oft zitiert worden. Man entnahm ihr einerseits die Zuversicht von der Bedeutung des dialektischen Materialismus für die moderne Physik und andererseits die Notwendigkeit des Kampfes gegen die idealistischen Ansichten der Naturwissenschaftler. Dabei wurde jedoch manchmal die von Lenin zum Ausdruck gebrachte Kompliziertheit des Prozesses vernachlässigt, in dessen Verlauf die Physik den dialektischen Materialismus hervorbringt. Das führte zu einseitigen Einschätzungen philosophischer Ansichten bürgerlicher Physiker. Auch die Kompliziertheit des Verhältnisses von Physik und Philosophie wurde manchmal vernachlässigt. Die Behauptung, daß eine physikalische Tatsache eine philosophische These bestätigt, reicht nicht aus. Selbst dieser erste Schritt der philosophischen Analyse physikalischer Tatsachen muß bewiesen werden. Er führt uns beim Eindringen in die philosophische Problematik einer physikalischen Theorie zu vielen neuen Fragen und Problemen, die durch die Behauptung allein nicht gefunden werden.

Der Philosoph muß vor allem die immanente Verbindung von Philosophie und Physik beachten. In einer einzelwissenschaftlichen Arbeit erweist sich der Physiker schon als spontaner

<sup>244</sup> W. I. Lenin Materialismus und Empirio-kritizismus, a. a. O., S. 316.

Materialist und Dialektiker. Explizite philosophische Äußerungen sind ein Schritt über dieses spontane materialistische und dialektische Verhalten und Denken hinaus. Dabei kann es sich um philosophische Äußerungen zu einer speziellen Theorie handeln, wie das bei der Komplementaritätstheorie in der Anwendung auf die Quantenmechanik der Fall war, oder um direkte philosophische Probleme, wie die Anerkennung [244] der objektiven Realität usw. Die Analyse der philosophischen Anschauungen eines Denkers muß bei einer Gesamteinschätzung diese Aspekte berücksichtigen.

Uns ging es in erster Linie um die immanente Verbindung der Quantentheorie mit den philosophischen Problemen der Bewegung, der Wechselwirkung und des Determinismus. Bei der Diskussion dieser Probleme stießen wir jedoch auch auf allgemeine erkenntnistheoretische Fragen, die von der Entwicklung der Physik und den Physikern aufgeworfen wurden. Wir hoffen hinsichtlich dieser Probleme Anregungen zur weiteren Diskussion gegeben zu haben. Die Entwicklung der Quantentheorie ist noch nicht abgeschlossen, aber auch die philosophische Diskussion geht weiter. Aus dem Meinungsstreit werden neue philosophische Einsichten erwachsen, die zur Entwicklung der marxistischen Philosophie beitragen und eine Hilfe der Philosophie für die Arbeit des Physikers darstellen können.